القانون الثاني للديناميكا الحرارية

Second Law of Thermodynamics

القانون الثاني هو قانون طبيعي له صيغ كثيرة منها:
" في أي دورة ثيرموديناميكية كاملة تكون الحرارة الاجمالية المضافة زائدًا صافي الشغل المبذول قيمة أكبر من الصفر"

$$Q_{in} + W_{net} > Zero$$

أي أنه في أي منظومة تستمد حرارة لتنتج شغل صافي يجب أن يتم طرح جزء من الحرارة (المحركات) وأي منظومة لتطرد حرارة من وسط درجة حرارته منخفضة إلى وسط درجة حرارته عالية يجب أن يبذل فيها شغل (ثلاجة)

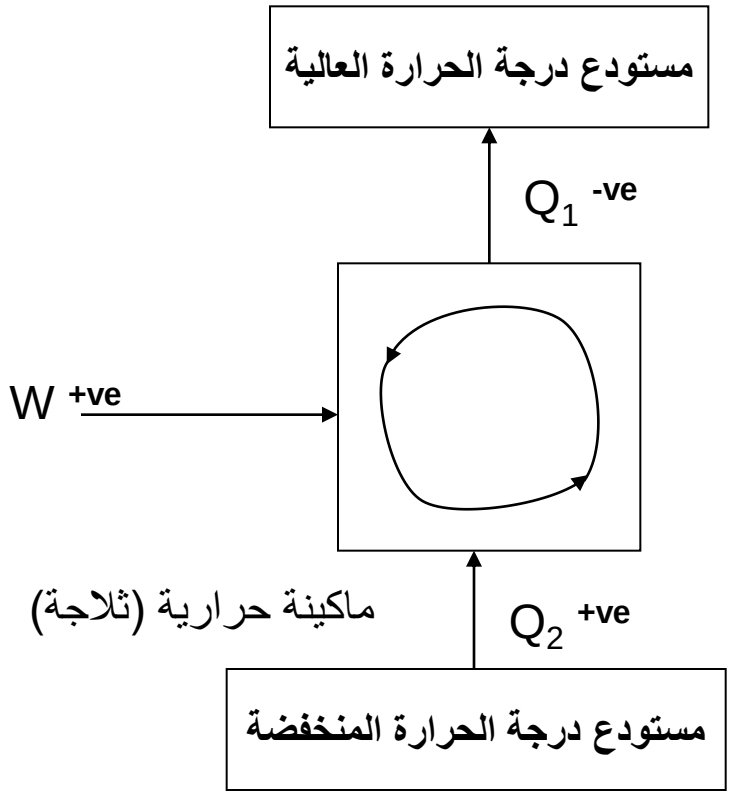
صيغ أخرى للقانون الثاني :

"من المستحيل على المحرك الحراري أن ينتج شغل صافي إذا كان يتبادل الحرارة مع مستودع حراري واحد فقط".

”يستحيل انشاء آلة تعمل بشكل دوري يكون أثرها الوحيد هو نقل حرارة من جسم بارد إلى جسم أسخن منه بدون بذل طاقة“.

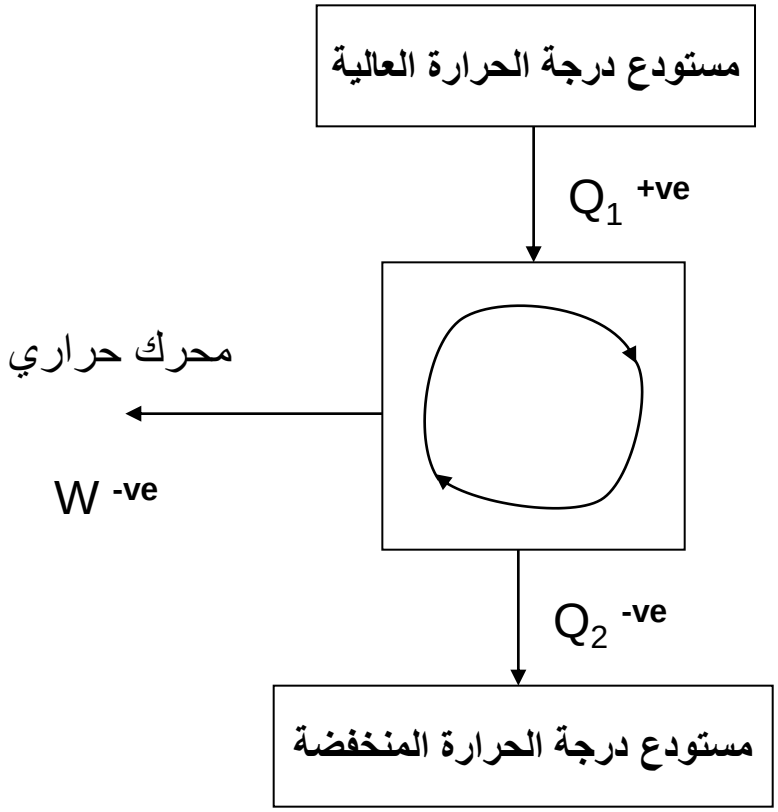
الماكينة الحرارية Heat Engine

هي عبارة عن منظومة تعمل بشكل دوري مستمر وتعبر حدودها أي من الشغل والحرارة وهي إما مضخة حرارة Heat Pump أو محرك حراري Engine



W > Zero

$$COP_{ref} = \frac{Q_2}{W} \cdots, COP_{hp} = \frac{Q_1}{W}$$



$Q_1 > W$

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

الاختلاج / القصور الحراري (الانتروبيا) Entropy (S)

هو خاصية ثيرموديناميكية برزت كأحد نتائج القانون الثاني

حيث أنه للدورة الكاملة $\oint \frac{dQ}{T} = dS$

وللاجراء الأديباتي بين نقطتين (1) و (2) : $\frac{dQ}{T} \neq Zero = dS$

$$\therefore \Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

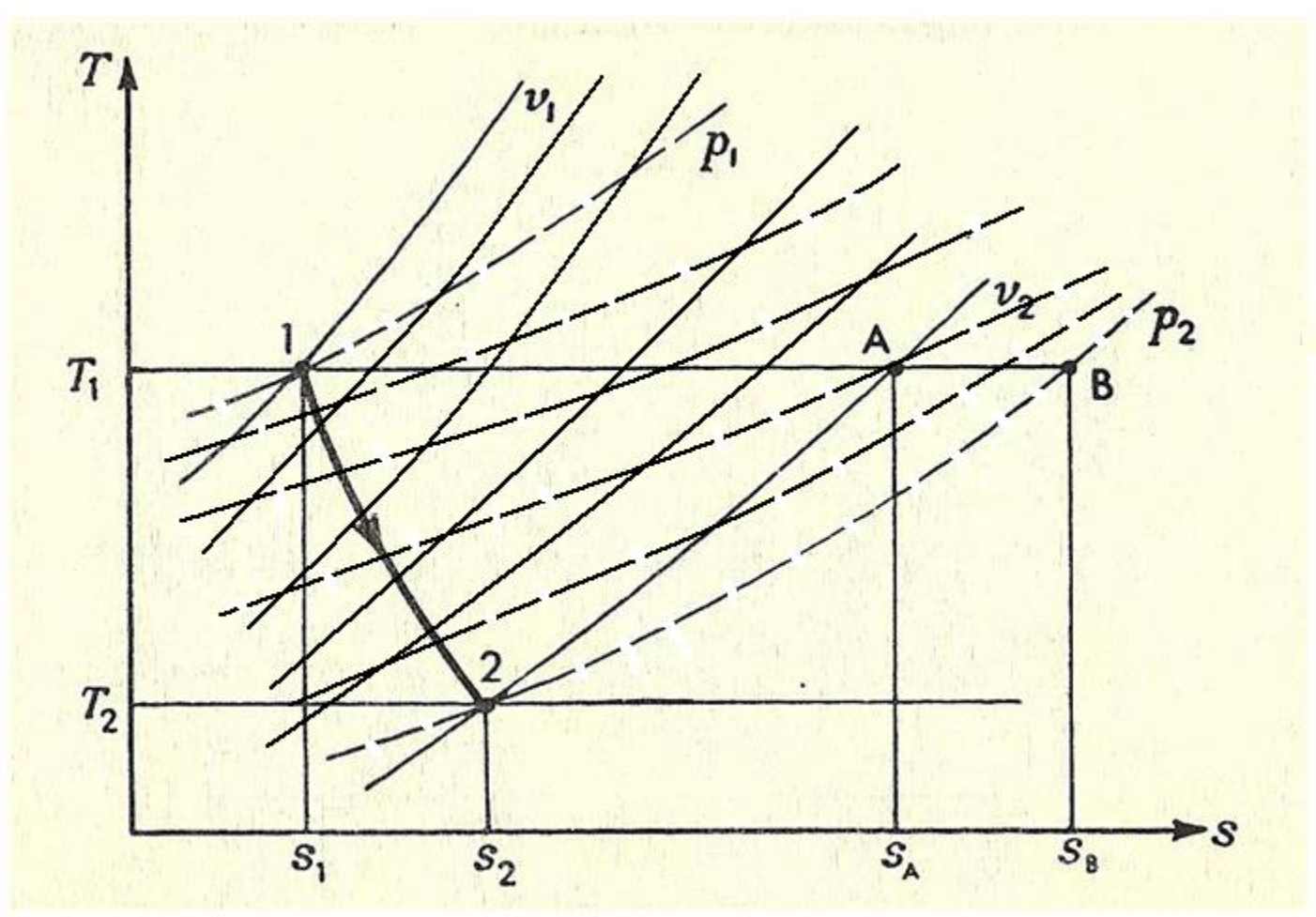
بفصل المتغيرات في المعادلة أعلاه نجد أنه بصورة عامة:

$$Q = \int T \cdot dS$$

المعادلة السابقة تشبه معادلة حساب الشغل بدلالة الضغط

والحجم حيث: $W = \int P \cdot dV$

تمثيل الاجراءات على مخطط (T-s):

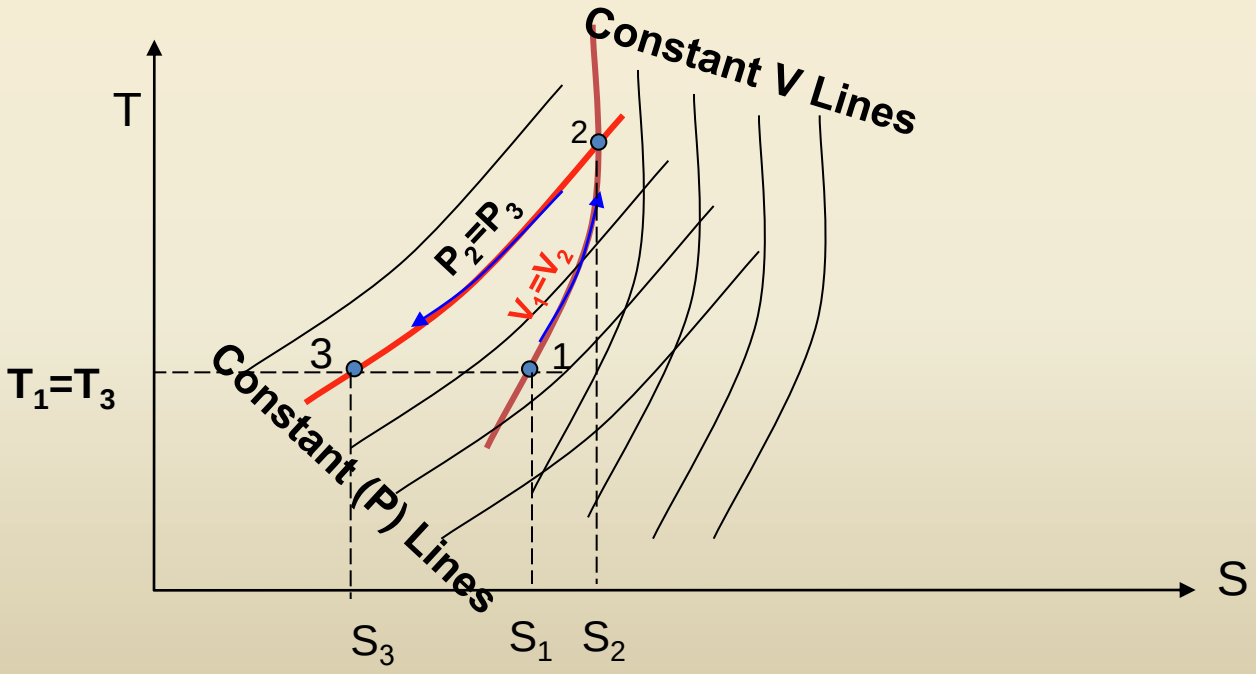


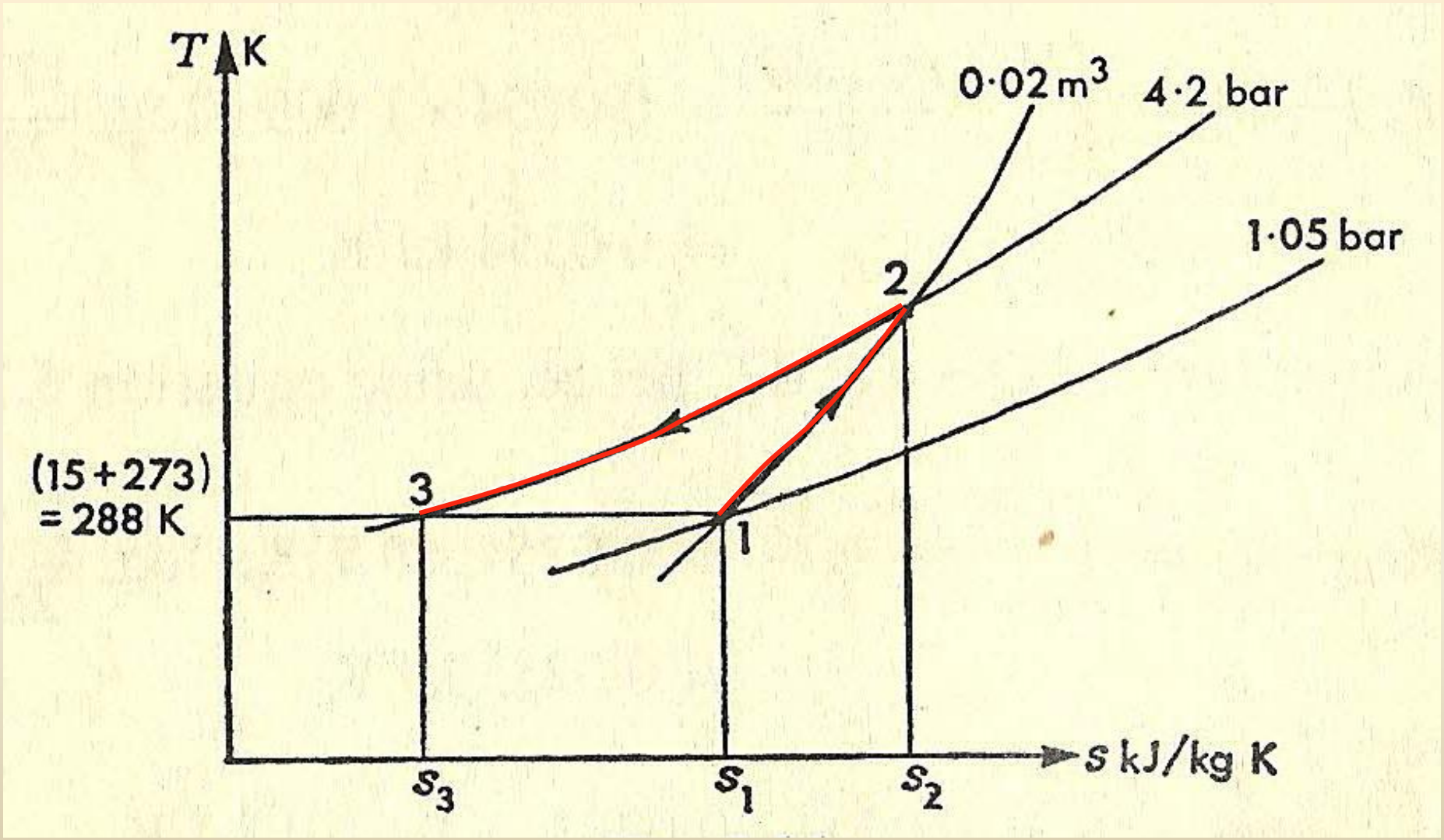
المحور الراسي لدرجات الحرارة (T) ، المحور الافقي للانتروبي (S)
خطوط منحنية لثبات الضغط (متقطع) وخطوط منحنية بزاوية ميل أكبر(مستمر) لثبات الحجم

مثال:

هواء عند درجة حرارة 15 ^{o}C وضغط 1.05 bar يشغل حجم 0.02 m^3 تم تسخينه بثبات الحجم حتى صار الضغط 4.2 bar ، ثم برّد الهواء بثبات الضغط حتى درجة الحرارة الابتدائية . أحسب صافي التدفق الحراري من أو إلى الهواء والتغير في انتروبيا الهواء ومثل للعمليات على مخطط (T-S) . للهواء خذ:

$C_p = 1.005\ kJ/kgK,\ C_v = 0.718\ kJ/kgK$




T K
0·02 m3
4·2 bar
1·05 bar
2
(15+273)
= 288 K
3
1
s kJ/kg K
s3
s1
s2

من علاقة القانون العام كتلة الهواء

$m = (P.V)/(R.T) = (1.05*10^5*0.02)/(0.287*10^3*288)$

$m = 0.0254\ kg$

للغاز المثالي في إجراء بثبات الحجم $V_1 = V_2,\ P_1V_1 = mRT_1 \Rightarrow V_1 = \frac{mRT_1}{P_1}$

$$P_2V_2 = mRT_2 \Rightarrow V_2 = \frac{mRT_2}{P_2}$$

$$\therefore \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{mRT_2}{P_2}, \therefore \frac{T_1}{P_1} = \frac{T_2}{P_2} \Rightarrow T_2 = T_1\frac{P_2}{P_1}$$

$$T_2 = \frac{4.2\times 288}{1.05} = 1152K, 879\ ^\circ C$$

الحرارة المضافة بثبات الحجم = Q_{1-2}

$Q_{1-2} = m.C_v(T_2-T_1) = 0.025*0.718(1152-288) = 15.57\ kJ$

الحرارة المضافة بثبوت الضغط = Q_{2-3}

$Q_{2-3} = m.C_p(T_2-T_3) = 0.025*1.005(288-1152) = -\ 22.05\ kJ$

صافي التدفق الحراري = Q_{net}

$Q_{net} = Q_{2-3} + Q_{1-2} = 15.57 - 22.05 = -\ 6.48\ kJ$

بما أن الاشارة (سالبة) فإن الحرارة مفقودة

إذن الحرارة المفقودة = 6.48 kJ

التغير في الانتروبي = $S\Delta$

$$\Delta S = S_1 - S_3 = (S_2 - S_3) - (S_2 - S_1)$$

$$\Delta S = m\left[(s_2 - s_3) - (s_2 - s_1)\right]$$

$$m(s_2 - s_3) = \int_{T_3}^{T_2} \frac{dQ}{T} = m \int_{T_3=288}^{T_2=1152} \frac{C_p.dT}{T} = mC_p \left[\ln T\right]_{T_3}^{T_2}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots = 0.0254 \times 1.005 \ln \frac{1152}{288} = 0.0554 KJ / K$$

$$m(s_2 - s_1) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = m \int_{T_1=288}^{T_2=1152} \frac{Cv.dT}{T} = mC_v \left[\ln T\right]_{T_1}^{T_2}$$

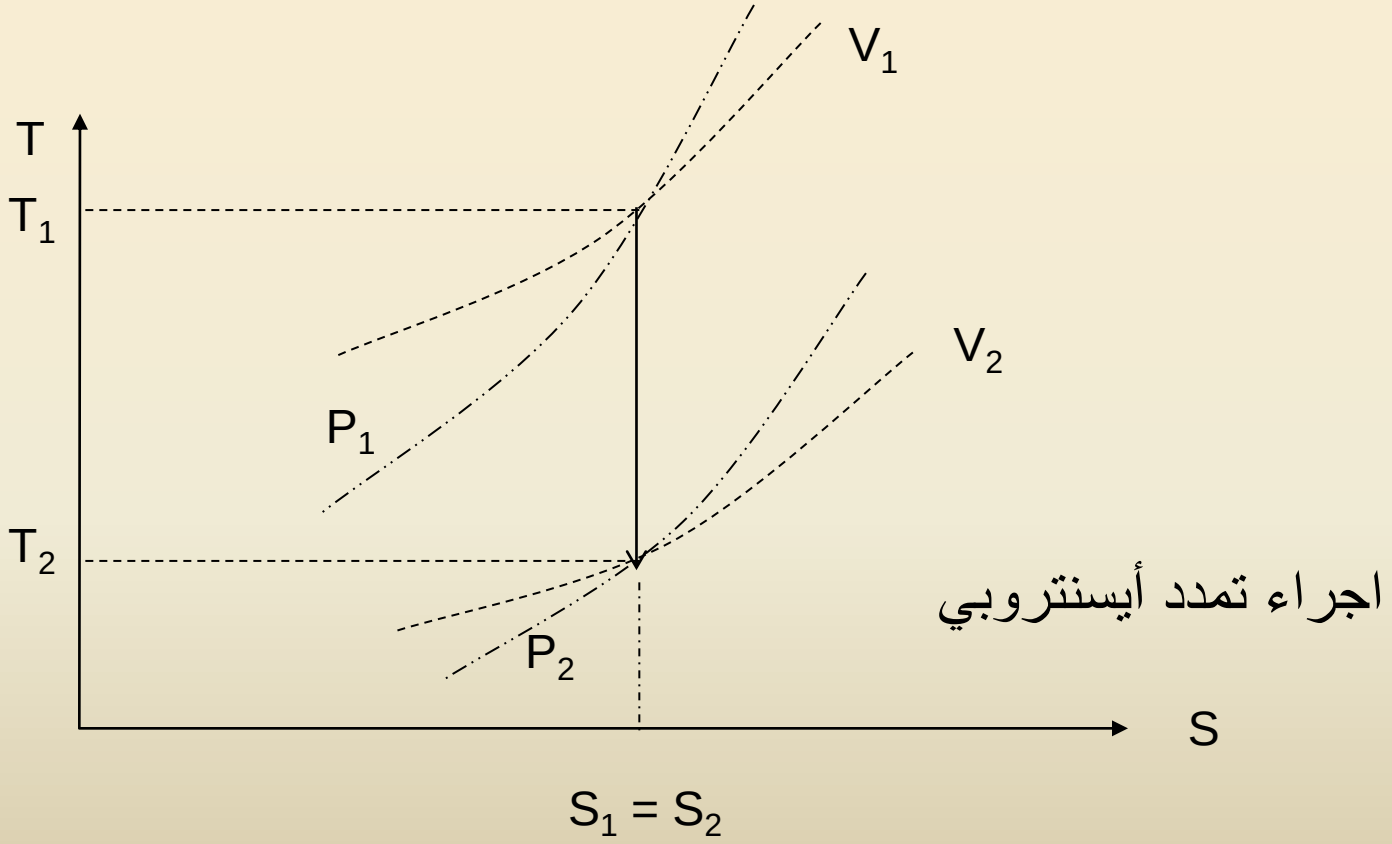
$$\ldots\ldots\ldots\ldots = 0.0254 \times 0.718 \ln \frac{1152}{188} = 0.0253 kJ / K$$

$$m(s_1 - s_3) = 0.0354 - 0.0253 = 0.0101 kJ / K$$

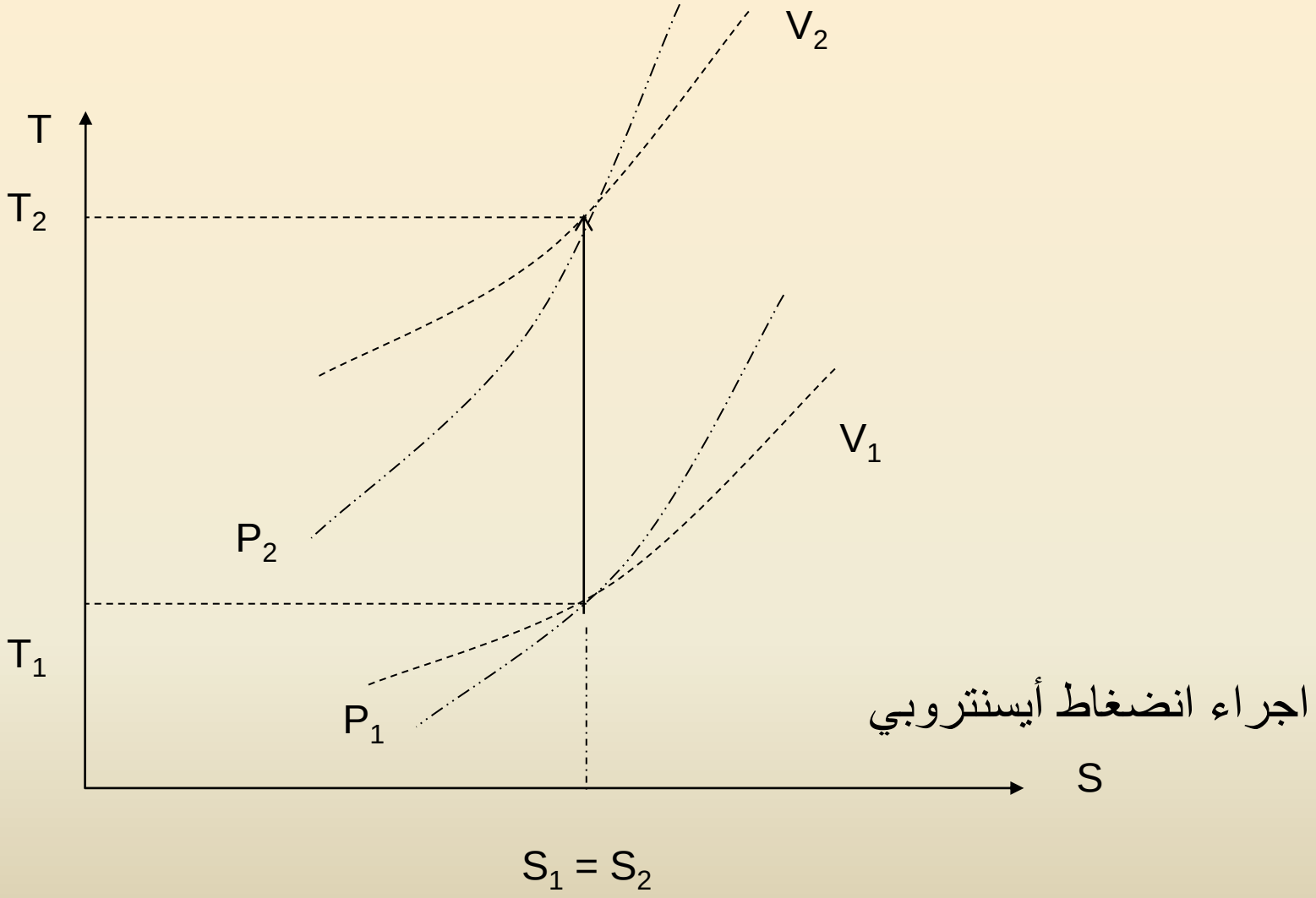
إذن الهبوط في الانتروبي = 0.0101 كيلوجول/كلفن

الاجراء الأيسنتروبي : Isentropic Process

هو اجراء أديباتي رجوعي أي بثبات الانتروبي ($S_1 = S_2$) ويمثل على مخطط (T-S) كالآتي :

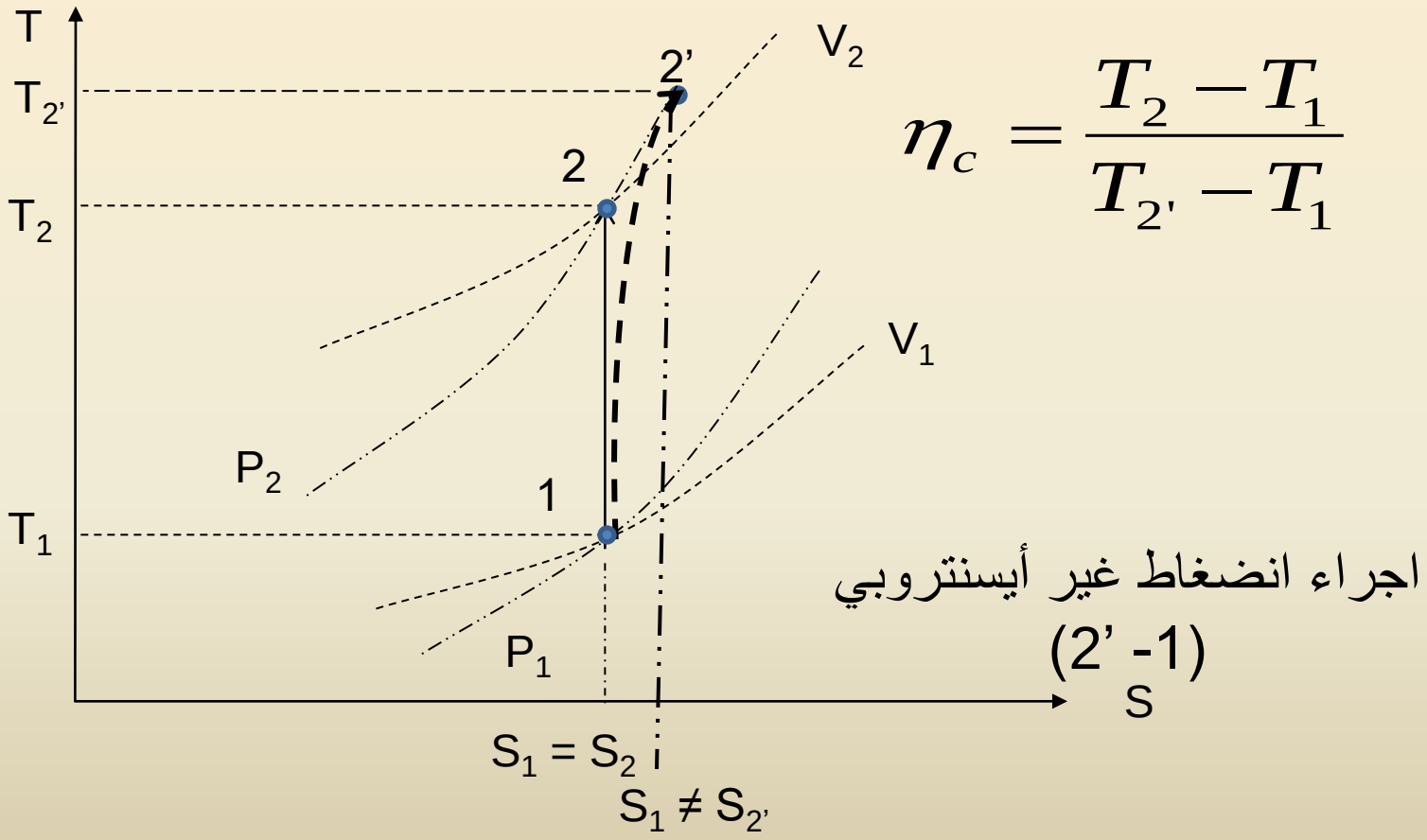


تمثيل اجراء انضغاط أيسنتروبي على مخطط (T-S)



الكفاءة الأيسنتروبية : Isentropic Efficiency

هي النسبة بين الشغل الانضغاط في اجراء أيسنتروبي/نظري ($S_1 = S_2$) إلى الشغل الحقيقي (إدياباتي غير رجوعي ($S_1 \neq S_2$) كالآتي :

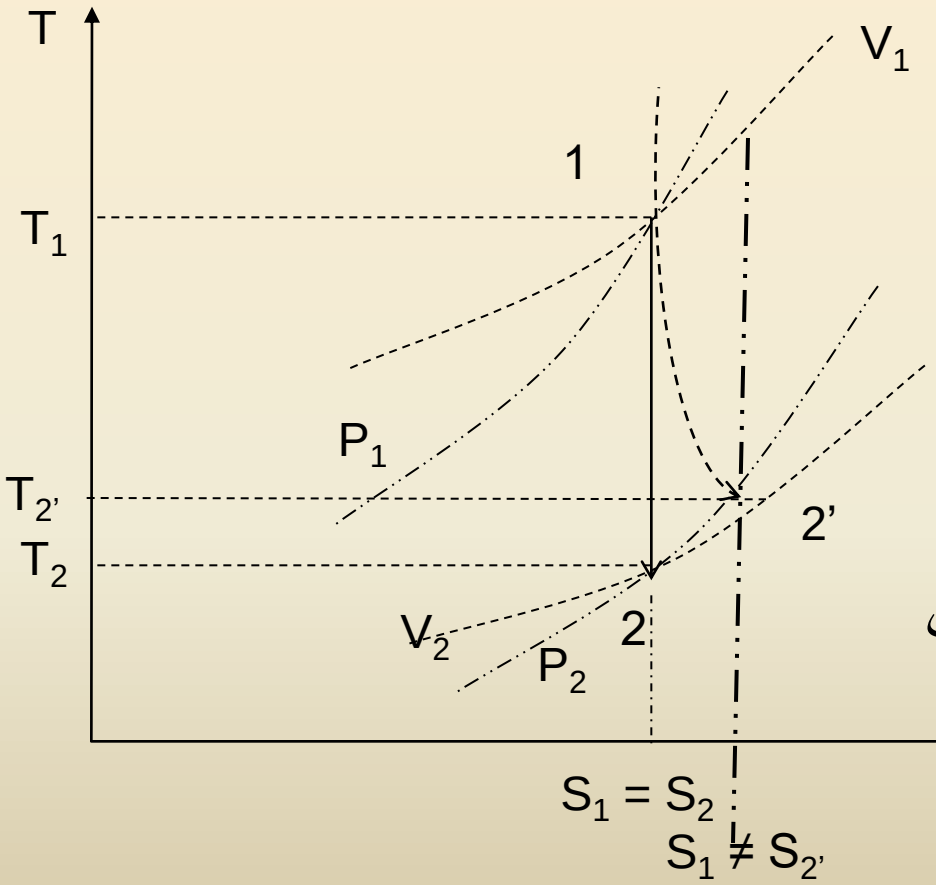


$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1}$$

اجراء انضغاط غير أيسنتروبي (2' -1)

الكفاءة الأيسنتروبية : Isentropic Efficiency

هي النسبة بين شغل التمدد الحقيقي [إدياباتي غير رجوعي ($S_1 \neq S_2$)]
إلى الشغل في اجراء أيسنتروبي/نظري ($S_1 = S_2$) كالآتي :



$$\eta_T = \frac{T_1 - T_{2'}}{T_1 - T_2}$$

اجراء تمدد غير أيسنتروبي
(2' – 1)

PROBLEMS

5.4 A rigid cylinder containing 0·006 m^3 of nitrogen (molecular weight 28) at 1·04 bar, 15°C, is heated reversibly until the temperature is 90°C. Calculate the change of entropy and the heat supplied. Sketch the process on a *T-s* diagram. Take the isentropic index, γ, for nitrogen as 1·4, and assume that nitrogen is a perfect gas.

(0·00125 kJ/K; 0·407 kJ)

4.5 اسطوانة جاسئة تحتوي على 0.006 m^3 من غاز النيتروجين (وزن جزيئي مولي = 28) تحت ضغط 1.04 bar ودرجة حرارة 15 ^oC تم تسخينه رجوعيا حتى صارت درجة حرارته 90 ^oC احسب التغير في الانتروبي والحرارة المضافة ومثل الاجراءات على مخطط (T – s) للنتروجين خذ γ = 1.4 وعامله كغاز مثالي.

PROBLEMS

5.5 1 m^3 of air is heated reversibly at constant pressure from 15°C to 300°C, and is then cooled reversibly at constant volume back to the initial temperature. The initial pressure is 1·03 bar. Calculate the net heat flow and the overall change of entropy, and sketch the processes on a *T*-*s* diagram. (101·5 kJ; 0·246 kJ/K)

5.5 واحد m^3 من الهواء تم تسخينه رجوعيا تحت ضغط ثابت من درجة حرارة 15 ^oC إلى 300 ^oC وبرد في اجراء رجوعي آخر تحت حجم ثابت إلى درجة حرارته الابتدائية. إذا كان الضغط الابتدائي 1.03 bar احسب التدفق الحراري والتغير الكلي في انتروبيا الهواء ومثل الاجراءات على مخطط (T – s)

5.7 1 kg of air is allowed to expand reversibly in a cylinder behind a piston in such a way that the temperature remains constant at 260°C while the volume is doubled. The piston is then moved in, and heat is rejected by the air reversibly at constant pressure until the volume is the same as it was initially. Calculate the net heat flow and the overall change of entropy. Sketch the processes on a *T-s* diagram.
(−161·9 kJ/kg; −0·497 kJ/kg K)

7.5 واحد kg من الهواء سمح لها بالتمدد في اسطونة خلف مكبس بثبوت درجة الحرارة عند القيمة ^{o}C 260 وتضاعف الحجم. بعدها تحرك المكبس للداخل وتم طرد حرارة من الهواء في اجراء بثبوت الضغط حتى صار الحجم بنفس قيمته الابتدائية . أحسب صافي التدفق الحراري والتغير الكلي في انتروبيا الهواء ومثل الاجراءات على مخطط (T– s)

5.10 1 kg of a fluid at 30 bar, 300°C, expands reversibly and isothermally to a pressure of 0·75 bar. Calculate the heat flow, and the work done

(a) when the fluid is air;
(b) when the fluid is steam.

Sketch each process on a *T-s* diagram.

(607 kJ/kg; 607 kJ/kg; 1035 kJ/kg; 975 kJ/kg)

10.5 واحد kg من مائع ما تحت ضغط 30 bar ودرجة حرارة 300 ^{o}C تمدد رجوعيا بثبات درجة الحرارة إلى الضغط 0.75 bar احسب التدفق الحراري والشغل المبذول للحالات:

أ- المائع هواء له $\gamma = 1.4$, $C_p = 1.005$ kJ/kg.K

ب- المائع بخار ماء.

ومثل الاجراءات على مخطط (T – s)

5.11 1 kg of a fluid at 30 bar, 300°C, expands according to a law pv = constant to a pressure of 0·75 bar. Calculate the heat flow and the work done,

(a) when the fluid is air;
(b) when the fluid is steam.

Sketch each process on a T-s diagram.

(607 kJ/kg; 607 kJ/kg; 891·2 kJ/kg; 899 kJ/kg)

11.5 واحد kg من مائع ما تحت ضغط 30 bar ودرجة حرارة 300 ^{o}C

تمدد وفق العلاقة: $pv = C$ حيث (C) ثابت إلى الضغط 0.75 bar

احسب التدفق الحراري والشغل المبذول للحالات:

أ- المائع هواء له $\gamma = 1.4$, $C_p = 1.005$ kJ/kg.K

ب- المائع بخار ماء.

ومثل الاجراءات على مخطط (T – s)

5.12 1 kg of air at 1·013 bar, 17°C, is compressed according to a law $pv^{1.3}$ = constant, until the pressure is 5 bar. Calculate the change of entropy and sketch the process on a *T-s* diagram, indicating the area which represents the heat flow. (−0·0885 kJ/kg K)

12.5 واحد kg من الهواء تحت ضغط 1.013 bar ودرجة حرارة 17 ^{o}C تم ضغطه وفق العلاقة: $pv^{1.3}$ = ثابت حتى اصبح الضغط 5 bar احسب التغير في الانتروبي ومثل الاجراء على مخطط (T – s) مظللا المساحة التي تمثل التدفق الحراري.

5.13 0·06 m^3 of ethane (molecular weight 30), at 6·9 bar and 260°C, is allowed to expand isentropically in a cylinder behind a piston to a pressure of 1·05 bar and a temperature of 107°C. Calculate γ, R, c_p, c_v, for ethane, and calculate the work done during the expansion. Assume ethane to be a perfect gas.

The same mass of ethane at 1·05 bar, 107°C, is compressed to 6·9 bar according to a law $pv^{1·4} = \text{constant}$. Calculate the final temperature of the ethane and the heat flow to or from the cylinder walls during the compression. Calculate also the change of entropy during the compression, and sketch both processes on a p-v and a T-s diagram.

(1·219; 0·277 kJ/kg K; 1·542 kJ/kg K; 1·265 kJ/kg K; 54·2 kJ; 378°C; 43·4 kJ; 0·0867 kJ/K)

13.5 0.06 m3 من غاز الميثين (وزن جزيئي مولي 30) تحت ضغط 6.9 bar ودرجة حرارة 260 ºC تمدد في اجراء ايسنتروبي في اسطوانة خلف مكبس حتى صار الضغط 1.05 bar وأصبحت درجة الحرارة 107 ºC أحسب قيم كل من: (γ, R, C_p, C_v) للغاز واحسب شغل التمدد بفرض الايثين غازا مثاليا.

إذا تم ضغط نفس كتلة غاز الميثين من الضغط 1.05 bar ودرجة الحرارة 107 ºC وفق العلاقة $pv^{1.4}$ = ثابت أحسب درجة الحرارة النهائية واحسب أيضا صافي التدفق الحراري من أو إلى جدار الاسطوانة والتغير في الانتروبي في اجراء الانضغاط ومثل الاجراء على مخطط (T – s) وعلى مخطط (p-v)

(1·219; 0·277 kJ/kg K; 1·542 kJ/kg K; 1·265 kJ/kg K; 54·2 kJ; 378°C; 43·4 kJ; 0·0867 kJ/K)

5.15 A certain perfect gas for which $\gamma = 1{\cdot}26$ and the molecular weight is 26, expands reversibly from 727°C, 0·003 m³ to 2°C, 0·6 m³, according to a linear law on the *T-s* diagram. Calculate the work done per kg of gas and sketch the process on a *T-s* diagram.

(959·3 kJ/kg)

15.5 غاز مثالي له $\gamma = 1.26$ ووزن جزيئي مولي 26 تمدد رجوعيا من 227 ^{o}C وحجم $0.003\ m^3$ إلى 2 ^{o}C وحجم $0.6\ m^3$ وفق علاقة خط مستقيم على مخطط (T – s) أحسب الشغل المبذول لواحد كجم من الغاز ومثل الاجراء على مخطط (T – s).

5.16 1 kg of air at 1·02 bar, 20°C, undergoes a process in which the pressure is raised to 6·12 bar, and the volume becomes 0·25 m³. Calculate the change of entropy and mark the initial and final states on a *T-s* diagram. (0·087 kJ/kg K)

16.5 واحد كجم من الهواء تحت ضغط 1.02 bar ودرجة حرارة 20 ^{o}C وقع عليه اجراء ارتفع على اثره الضغط إلى 6.12 bar والحجم أصبح $0.25\ m^3$ أحسب التغير في الانتروبي وبين الحالة الابتدائية والنهائية على مخطط (T – s).