

القانون الثاني في الترموداينمك

$$\Delta S = \frac{q}{T} \quad ((\text{يفرق بين العمليات العكسية واللاعكسية}))$$

١- تعريف كلفن ke / vin : من المستحيل استخدام العملية الدائرية ونقل الحـ

المستودع الساخن وتحويلها الى شغل دون نقل الحرارة بنفس الوقت من المستودع الساخن الى البارد .

ماكينة تشغيل (الماكينة الحرارية)



٢- تعريف كلورايوس : من المستحيل نقل الحرارة لعملية دائرية من المستودع البارد

الى مستودع ساخن ما لم يكن انجاز شغل على الماكينة

ماكينة تبريد (ثلاجة)



مثال : ٢ مول من النيتروجين عند الظروف القياسية ضغطت عكسيا الى حجم ١٠ لترات

أحسب الشغل المنجز خلال عملية التقلص ل

١ . ثبوت درجة الحرارة

٢ . اديباتيا علما ان $\gamma = 1,4$

الحل :

١ . العملية عكسية ايزوثرمية

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 2 (2) (273) \ln \frac{10}{44,8}$$

$$W = -818,94 \text{ cal/mole}$$

تقلص اي المحيط انجز شغل ضد النظام

٢- تقلص اديباتي عكسي

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

للعمليات الاديباتية العكسية عند عدم ثبوت درجة الحرارة

٣- النص الكمي المفيد للكيميائيين : عند اجراء أي عملية عكسية فان التغيير بالانتروبي

للكون لها يساوي صفر عند اجراء العمليات الغير عكسية أي التي يعودها الاتزان لكونها تلقائية

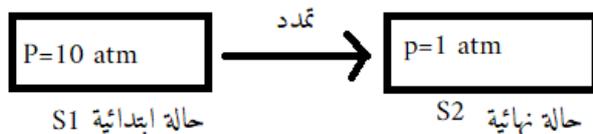
الحدوث فان انتروبي الكون لتلك العمليات يزداد

$$\Delta S (\text{ للنظام }) + \Delta S (\text{ للمحيط }) = \Delta S (\text{ للكون }) = 0 \quad \text{عملية عكسية}$$

$$\Delta S (\text{ للنظام }) + \Delta S (\text{ للمحيط }) = \Delta S (\text{ للكون }) > 0 \quad \text{غير عكسية تلقائية}$$

الانتروبي (S) : هي مقياس العشوائية تزداد بازدياد درجة الحرارة وتعتمد على كمية المادة

ويعتبر مقدار التغير بالانتروبي مقياس لسعة النظام على التغير التلقائي



$$S_2 > S_1$$

فائدة القانون الثاني يكمن بإمكانية تقديم دليلا على حدوث التفاعل الكيميائي في العمليات اللاعكسية زيادة في الانتروبي

$$S_2 - S_1 = \Delta S$$

$\Delta S = +$ عملية تلقائية

ΔS	الحالة
+	(انصهار) صلب \leftarrow سائل
+	(تبخر) سائل \leftarrow غاز (بخار)
+	(تسامي) صلب \leftarrow غاز (بخار)
+	صلب بارد \leftarrow صلب ساخن
+	سائل بارد \leftarrow سائل ساخن

$$dS = \frac{dq}{T} \quad \text{او} \quad \Delta S = \frac{q}{T}$$

$$\Delta S = J/mole.k \quad \text{او} \quad cal/mole.k$$

القانون الثاني في الترموداينمك

حساب الانتروبي

١. تغير الطور
٢. تسخين مادة
٣. التمدد والتقلص للغازات
٤. مزج الغازات
٥. حساب الانتروبي للعملية الغير عكسية
٦. مزج السوائل
٧. حساب التغير بالانتروبي القياسية للتفاعل الكيميائي

$$\Delta S^\circ = \sum S^\circ - \sum S^\circ$$

اولا: التغير بالطور

- حساب التغير بالانتروبي عند تغير الطور
- مادة صلبة \leftarrow مادة سائلة (انصهار)
- مادة سائلة \leftarrow مادة غازية (تبخر)
- مادة صلبة \leftarrow مادة غازية (تسامي)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{q_{vcr}}{T}$$

جميعها عمليات عكسية

$$\Delta s = \frac{\Delta H}{T}$$

وعند ضغط ثابت ودرجة حرارة ثابتة $\Delta S = +?$ للنظام



$$\Delta S = 0 \quad 0^\circ\text{C} \quad 0^\circ\text{C}$$

مثال : يغلي سائل الهكسان عند حرارة ٦٨,٧ م فاذا علمت ان حرارة التبخر لهذا السائل عند

ثبوت الضغط تساوي ٢٨,٨٨٥ كيلو جول / مول فما قيمة التغير بالانتروبي لعملية



$$\Delta S^\circ = \frac{\Delta H}{T}$$

$$\Delta S (\text{ للنظام }) = \frac{28,825 \times 10^3 \text{ J/mole}}{341,7 \text{ K}} = 84,33 \text{ J/mole} \cdot \text{K}$$

$$\Delta S (\text{ للمحيط }) = -84,33 \text{ J/mole} \cdot \text{K}$$

$$\Delta S (\text{ للكون }) = \Delta S (\text{ للنظام }) + \Delta S (\text{ للمحيط }) = 0$$

ثانيا : تسخين مادة صلبة

كمية الحرارة (q) = الكتلة (غم) \times السعة الحرارية \times الارتفاع بدرجات الحرارة (كلفن)

كمية الحرارة (q) = كمية المادة (مول) \times السعة الحرارية المولارية \times الارتفاع بدرجات الحرارة

$$q = nCm\Delta T$$

$$dq = Cm dT$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{Cm dT}{T}$$

$$\Delta S = Cm \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ثالثا : حساب الانتروبي لعملية التمدد والتقلص للغازات المثالية

$$q = \Delta E + P \Delta V \quad (\text{ القانون الاول في الترموداينمك })$$

$$dq = \Delta E + Pdv \quad \text{بالقسمة على } T \text{ ينتج لدينا}$$

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{P}{T} dv \quad \text{عندما } n = 1 \quad P = \frac{RT}{V} \quad \text{بما ان}$$

$$\frac{dq}{T} = C_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{V}$$

باجراء عملية التكامل بين الحالتين الابتدائية و النهائية نحصل على

$$\int \frac{dq}{T} = C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dv}{V}$$

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = n \left[C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right]$$

في عملية التمدد والتقلص الايزوثرمية $T_1 = T_2$ عندئذ يطبق في العمليات العكسية او اللاعكسية ايزوثرمية (تمدد وتقلص)

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{P_1}{P_2}$$

عند العملية الايزوكورية ($V_1 = V_2$) (غير ايزوثيرمي)

$$\Delta S = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{Cv : لا تعتمد على درجة الحرارة (شرط)}$$

هنالك صيغة اخرى تختص بالعمليات غير الايزوثرمية عند ثبوت الضغط

$$dq = dH = C_p dT$$

$$ds = \frac{dq}{T} = C_p \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T}$$

للعملية الايزوبارية $n = 1$

$$Cp : \text{لا تعتمد على درجة الحرارة} \quad \left(\Delta S = Cp \ln \frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \frac{P_1}{P_2}$$

مثال : احسب (ΔS) لتمدد (1 مول) من غاز مثالي ايزوثيرميا من (1 لتر الى 10 لتر) عند (27 م)

يطبق للعمليات العكسية والملاعكسية ايزوثيرمية

$$\Delta S (\text{ للنظام }) = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = (1) (2) (2,303 \text{ Log } \frac{10}{1}) = 4,59 \text{ cal/mole} \cdot K$$

$$\Delta S (\text{ للمحيط }) = -4,59 \text{ cal/mole} \cdot K \quad \text{اذا كانت العملية عكسية}$$

حساب التغير في الانتروبي لمزيج من الغازات المثالية :

$$\Delta S = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2} \quad (\text{ التغير بالانتروبي للغازات المثالية })$$

$$\Delta S_{mix} = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\Delta S_{mix} = n_1 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1} + n_2 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_2}$$

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad , \quad X_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

$$\frac{n_1}{V_1} = \frac{n_2}{V_2} \quad \text{عندما } T, P \text{ ثابتة}$$

$$\Delta S_{mix} = -n_1 R \ln \frac{V_1}{V_1 + V_2} + \left(-n_2 R \ln \frac{V_2}{V_1 + V_2} \right)$$

$$= -n_1 R \ln \frac{V_1}{V_1 + V_2} - n_2 R \ln \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

$$\Delta S_{mix} = -n_1 R \ln X_1 - n_2 R \ln X_2$$

$$\Delta S_{mix} = -R (n_1 \ln X_1 + n_2 \ln X_2)$$

بالقسمة على ($n_1 + n_2$) نحصل على ΔS_{mix} لمول واحد من مزيج

$$\Delta S_{mix} = -R \left(\frac{n_1}{n_1 + n_2} \ln X_1 + \frac{n_2}{n_1 + n_2} \ln X_2 \right)$$

$$\Delta S_{mix} = -R (X_1 \ln X_1 + X_2 \ln X_2)$$

قيمة (R) اما (8,314 J/mole.K) او (2 cal/mole.K)

$\Delta S_{mix} = +$ لان عملية الغازات عملية تلقائية

مثال : ما هو التغير في الانتروبي عند مزج (0,5 مول) من غاز O₂ مع (0,5 مول) من غاز N₂ عند (25 م) مفترضا ان الغازات مثالية

$$n_1 = 0,5 \text{ O}_2 , \quad n_2 = 0,5 \text{ N}_2$$

$$X_1 = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = 0,5$$

$$X_2 = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = 0,5$$

$$\Delta S_{mix} = -R (X_1 \ln X_1 + X_2 \ln X_2)$$

$$= -8,314 (0,5 \ln 0,5 + 0,5 \ln 0,5)$$

$$\Delta S_{mix} = 5,76 \text{ J/mole} \cdot K$$

حساب الانتروبي للعملية غير العكسية .

تمدد وتقلص الغازات للعمليات الايزوثرمية العكسية وغير العكسية لان ΔS دالة الحالة ولا تعتمد على الطريق المستخدم

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

مثال : $H_2O_L (-10^\circ C) \rightarrow H_2O_S (-10^\circ C)$

$$1) H_2O_L (-10^\circ C) \rightarrow H_2O_L (-10^\circ C) \quad \Delta S_1 \text{ تسخين}$$

$$2) H_2O_L (0^\circ C) \rightarrow H_2O_S (0^\circ C) \quad \Delta S_2 \text{ (تغيير الطور)}$$

$$3) H_2O_S (0^\circ C) \rightarrow H_2O_S (-10^\circ C) \quad \Delta S_3 \text{ (تبريد)}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

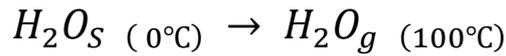
C_p : السعة الحرارية المولارية للماء السائل عند ثبوت الضغط (يستخدم عند التسخين)

$$\Delta S_1 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{يستخدم عند التسخين})$$

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta H}{T} \quad (\text{يستخدم عند التغير بالطور})$$

$$\Delta S_3 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{يستخدم عند التبريد})$$

مثال : أحسب الزيادة في الانتروبي عند تسخين (١ مول) من الثلج في (٠ م) الى بخار الماء عند (١٠٠ م) عند ضغط ثابت مقداره (١ جو) مع العلم ان حرارة الانصهار المولارية للثلج عند (٠ م) هي (١٤٣٦) سعره وحرارة التبخر المولارية للماء عند (١٠٠ م) هي (٩٧٢٠) سعره والحرارة النوعية للماء والسائل هي (١ سعره / غم ، درجة)



$$\left\{ \begin{array}{l} H_2O_S (0^\circ\text{C}) \rightarrow H_2O_L (0^\circ\text{C}) \quad \Delta S_1 \\ H_2O_L (0^\circ\text{C}) \rightarrow H_2O_L (100^\circ\text{C}) \quad \Delta S_2 \\ H_2O_L (100^\circ\text{C}) \rightarrow H_2O_g (100^\circ\text{C}) \quad \Delta S_3 \end{array} \right\} \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3$$

$$\Delta S_1 = \frac{q}{T} = \frac{1436 \text{ cal/mole}}{273 \text{ K}^\circ} = 5,26 \text{ cal/mole.K} \quad \text{تغير في الطور}$$

$$\Delta S_2 = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1} = (1)(18) \ln \frac{373}{273} = 5,62 \text{ cal/mole.K}$$

$$\Delta S_3 = \frac{\Delta H}{T} = \frac{q}{T} \Rightarrow \Delta S_3 = \frac{9720 \text{ cal/mole}}{373 \text{ K}^\circ} = 26,6 \text{ cal/mole.K}$$

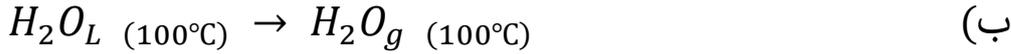
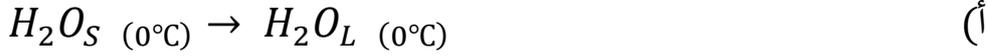
$$\Delta S = 5,26 + 5,62 + 26,6 = 36,94 \text{ cal/mole.K}$$

مثال : جد مقدار التغير بالانتروبي لكل من الحالتين التاليين :-

أ . تحويل ثلج من درجة حرارة الصفر المئوي الى ماء في نفس الدرجة

ب . تحويل ماء في درجة حرارة (١٠٠) الى بخاره عند نفس الدرجة

علما بأن الحرارة اللازمة لأنصهار الثلج وتبخر الماء هي (٨٠,٥٨٠ سعرة / غم)



$$أ) \quad \Delta S = \frac{q}{T} = \frac{80,580}{273} = 0,295 \quad cal/mole.K$$

$$ب) \quad \Delta S = \frac{q}{T} = \frac{80,580}{373} = 0,216 \quad cal/mole.K$$

قوانين مهمة / عملية ايزوثرمية $\frac{P_1}{P_2} OR \frac{V_2}{V_1} \Delta S = R \ln$ عملية ايزوبارية P ثابتة

عملية / $\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$ عملية ايزوكورية V ثابتة $\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$ عملية

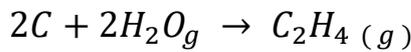
اديباتية عكسية $R \ln \frac{P_2}{P_1} OR C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{P_2}{P_1} \Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$

حساب الانتروبي للتفاعلات الكيميائية :

الانتروبي القياسية (S°) للضغط (١ جو) ودرجة حرارة ($25^\circ C$)

$$\Delta S = \sum_{P \text{ نواتج}} S^\circ - \sum_{R \text{ متفاعلات}} S^\circ$$

مثال : أحسب مقدار التغير بالانتروبي (ΔS°) للتفاعل الاتي



إذا علمت ان قيمة الانتروبي عند درجة حرارة ($25^\circ C$) وتحت الظروف القياسية لكل الكرافيت وغاز الهيدروجين وغاز الاثيلين هي 221 - 131,2 - 5,7 كلفن . مول / جول على التوالي .

$$\Delta S^\circ = \sum_P S^\circ - \sum_R S^\circ$$

$$\Delta S^\circ = 221 - [2(5,7) + 2(131,2)]$$

$$\Delta S^\circ = -52,8 \text{ J/mole} \cdot K$$

تفاعل غير تلقائي

الانتروبي القياسية بوحدات كلفن . مول / جول (S°)

للصلب $S^\circ >$ للسوائل $S^\circ >$ للغازات S°

الغازات	السوائل	المواد الصلبة
130,6 H_2	76 Hg	5,7 C (كرافيت)
192,1 N_2	69,9 H_2O	2,4 C (الماس)
205 O_2	160,7 C_2H_5OH	27,3 Fe
213,6 CO_2	173,3 C_6H_6	33,1 Cu
239,9 NO_2	159,8 CH_3COOH	96,2 AqCl
186,2 CH_4		87,4 Fe_2O_3

تعاليل :

من الجدول يتضح للغازات حرية انتشار الى حجم كبير بينما تكون الانتروبي للمواد الصلبة مقتصر على منطقة صغيرة في حركتها وهو حجمها الذي تشغله وفي حالة المواد الصلبة المكونة من عدة جزيئات معقدة مثل السكر تكون الانتروبي عالية والسبب هو ان الجزيئات مكونة من العديد من الذرات ويمكن المشاركة في الطاقة فيما بينها وتكون للسوائل متوسطة ما بين الغازات والصلب .

لاحظ انخفاض الانتروبي للماء مقارنة ببقية السوائل بسبب وجود الاواصر الهيدروجينية التي تجعل الجزيئات في تركيب منتظم ويعد الماء شبيها في تركيبه بالمواد الصلبة

الشذوذ يلاحظ في حالة غاز الهيدروجين ويعزي الى وجود اورثو وبارا هيدروجين



حساب التغير بالانتروبي عند مزج سائل حار مع سائل بارد من نفس النوع :

مثال : أحسب التغير بالانتروبي إذا مزج (٣٥٠ غم) من الماء درجة حرارة (٥)

مع (٥٠٠ غم) من الماء درجة حرارة (٧٠ م) مع العلم ان الدرجة النوعية

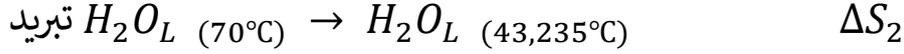
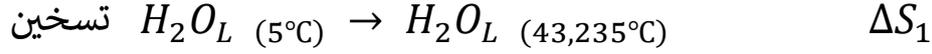
الحرارية للماء هي (١) سعرة / غم . درجة

الحل / الحرارة المفقودة = الحرارة المكتسبة

$$500 \text{ gm} \times 1 \text{ cal/mole} \cdot K (70 - y) = 350 \text{ gm} \times 1 \text{ cal/mole} \cdot K (y - 5)$$

$$y = 43,235 \text{ }^\circ\text{C}$$

درجة حرارة المزيج النهائية



$$\Delta S_1 = nCp \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S_1 = \frac{350}{18} (1 \times 18) \ln \frac{316,23}{278} = -40,63 \text{ cal/mole.K}$$

$$\Delta S_2 = \frac{500}{18} (1 \times 18) \ln \frac{316,23}{343} = \text{ cal/mole.K}$$

$$\Delta S(\text{ للمزيج }) = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

التغير في الانتروبي كمقياس لحالة الاتزان

$$\Delta S(\text{ للنظام }) = \frac{q}{T}$$

$$\Delta S(\text{ للمحيط }) = \frac{T - q}{T}$$

$$\Delta S(\text{ للكون }) = 0 = \Delta S(\text{ للنظام }) + \Delta S(\text{ للمحيط })$$

العمليات الغير عكسية و التلقائية

$$\Delta S(\text{ للكون }) > 0$$

$$\Delta S(\text{ للنظام }) + \Delta S(\text{ للمحيط }) > 0$$

يمكن استنتاج صياغة قانونية للقانون الثاني في الترموداينمك بصورة اكثر شمولية (طاقة الكون تكون ثابتة في حين ان الانتروبي للكون يكون بازياد دائما ويميل الى الحد الأعلى) تعريف ثالث للترموداينمك .

دورة كارنوت

((لا يمكن ان يكون هنالك ماكينة اكثر كفاءة من ماكينة كارنوت))

يعتبر هذا التعريف تعريفا رابعا للثرموداينمك

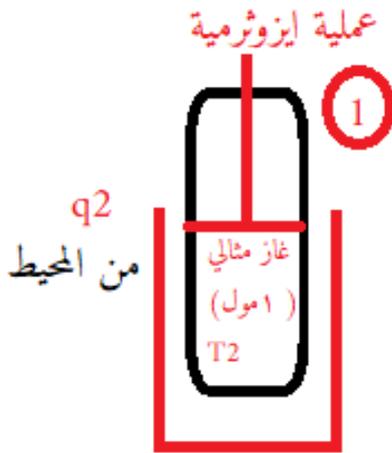
الدورة / تعني سلسلة من الخطوات المتوالية يرجع بها النظام في النهاية الى حالة الاصلية

الغرض من دورة كارنوت

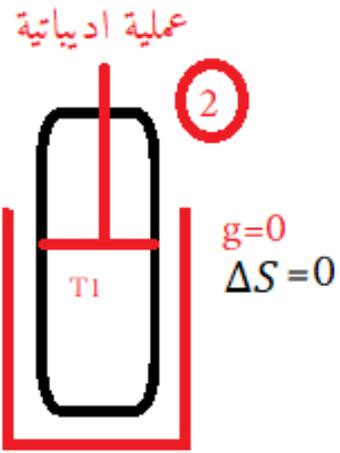
((لتعيين كفاءة الماكينة الحرارية او تحويل الحرارة الى شغل))

$$\text{كفاءة الماكينة} = \frac{\text{الشغل المنجز}}{\text{كمية الحرارة المعطاة}} \times 100$$

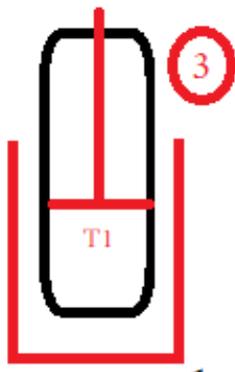
تتألف ماكينة كارنوت من مول واحد من الغاز المثالي في اسطوانة غازية مزودة بمكبس عديم الوزن والاحتكاك ومعزولة بعازل وتتكون دورة كارنوت من اربع خطوات كما في الرسم الاتي



تمدد عكسي ايزوثيرمي للغاز عند درجة حرارة T2

$$\Delta S = \frac{q}{T}$$


تمدد عكسي ومكظوم للغاز هبوط درجة حرارة الغاز T2 الى T1



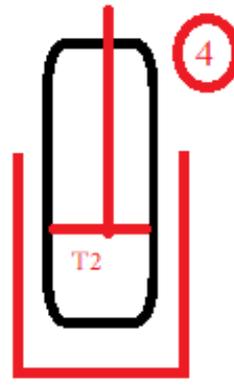
انضغاط عكسي ايزوثيرمي للغاز عند

$$\Delta S = \frac{-q_1}{T_1} \quad \text{ت1, q1 الى المحيط}$$

$$\Delta S_{\text{(للدورة)}} = 0$$

$$\frac{q_2}{T_2} = \frac{q_1}{T_1}$$

$$\Delta S_{\text{(للدورة)}} = \frac{q_2}{T_2} + 0 + \frac{q_1}{T_1} + 0$$



انضغاط عكسي ومكثوم للغاز ارتفاع

بدرجة حرارة الغاز من T1 الى T2

$$q = 0, \quad \Delta S = 0$$

الخطوة الأولى: يمتص النظام (q_2) سعرة من المحيط وينجز شغل بعملية عكسية

$$(\Delta E = 0)$$

ايزوثيرمية

$$q_2 = W_1$$

$$W_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (n = 1) \quad (V_2 > V_1)$$

(الشغل المنجز في الخطوة الأولى) غير تلقائي $W_1 = +$

الخطوة الثانية: نعزل الأسطوانة ويتمدد الغاز عكسي ومكثوم (من V_2 الى V_3)

$$q = 0$$

(الغاز سوف يبرد)

$$W_2 = -\Delta E$$

$$W_2 = -Cv (T_1 - T_2) \quad (n = 1) \quad (\text{الشغل المنجز بالخطوة الثانية})$$

$$W_2 = Cv (T_2 - T_1) \quad (T_2 > T_1) \quad \text{الغاز في هذه الحالة سوف يبرد}$$

الخطوة الثالثة: يضغط الغاز عكسيا وايزوثيرميا $\Delta E = 0$ ($V_4 \leftarrow V_3$) (انبعاث حرارة

من النظام الى المحيط)

$$W_3 = -q$$

$$W_3 = RT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} \quad (V_3 > V_4)$$

$$W_3 = - \text{تلقائي}$$

الخطوة الرابعة: يضغط الغاز عكسياً ومكثوماً من $(V_1 \leftarrow V_4)$ وترتفع درجة حرارة النظام

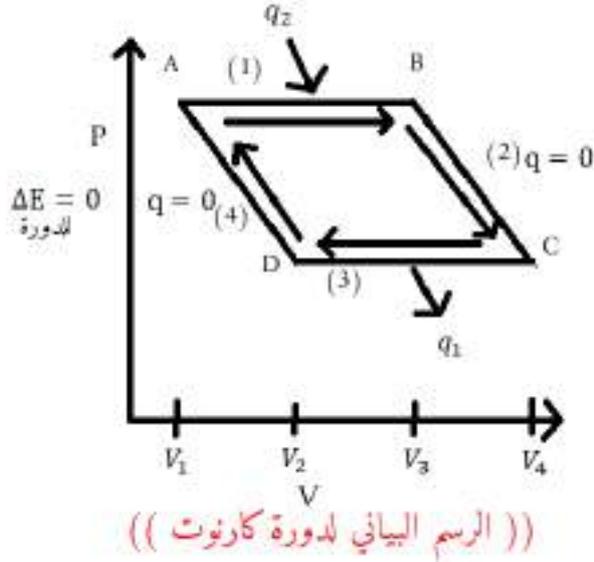
$$(T_2 \leftarrow T_1)$$

العملية مكثومة $q = 0$

$$W_4 = -\Delta E_4$$

$$W_4 = -Cv (T_2 - T_1)$$

في هذه العملية الغاز سوف يسخن



$$W_{\text{للدورة}} = (q_2 - |q_1|)$$

$$W_{\text{للدورة}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W_{\text{للدورة}} = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + Cv(T_2 - T_1) - RT_1 \ln \frac{V_3}{V_4} - Cv(T_2 - T_1)$$

$$W_{\text{للدورة}} = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_1 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (A \leftarrow D) \quad (B \rightarrow C) \quad \text{الخطوات المكثومة العكسية}$$

$$\left[\begin{array}{l} \delta - 1 \\ T_1 V_3 \\ T_1 V_4^{\delta-1} \end{array} = \begin{array}{l} \delta - 1 \\ T_2 V_2 \\ T_2 V_1^{\delta-1} \end{array} \right] \text{العكسية} \quad \text{يطبق فقط للعمليات المكثومة}$$

بقسمة معادلة على الأخرى وشطب الجذر ($\delta - 1$) من الطرفين ينتج :

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad \text{نعوض هذه العلاقة في معادلة الشغل الكلي للدورة}$$

$$W_{\text{للدورة}} = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W_{\text{للدورة}} = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} - RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{قانون الشغل للدورة}$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{W_{\text{للدورة}}}{q_2}$$

كفاءة دورة كارنوت

$$\text{الكفاءة} = \frac{R(T_2 - T_1) \ln \frac{V_2}{V_1}}{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\left[\text{الكفاءة} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \times 100 \right] = 1 - \frac{T_1}{T_2} \times 100$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{q_1}{q_2} \quad \text{بما ان}$$

$$\text{الكفاءة} = 1 - \frac{q_1}{q_2} = \frac{q_2 - q_1}{q_2}$$

من الرسم البياني لدورة كارنوت يكون

$$A \xrightarrow{1} B \xrightarrow{2} C \xrightarrow{3} D \xrightarrow{4} A$$

ماكينة تسخين

$$A \xrightarrow{1} D \xrightarrow{2} C \xrightarrow{3} B \xrightarrow{4} A$$

ماكينة تبريد (ثلاجة)

$$\left[\frac{W_{\text{max}} (\text{للدورة})}{q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \right] \leftarrow \text{(ماكينة تسخين)}$$

$$\left[\frac{W_{\max} \text{ (للدورة)}}{q_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \right] \quad \leftarrow \text{ (ماكينة تبريد)}$$

مثال / قارن الكفاءة القصوى للمكائن العكسية التي يستخدم بها السوائل التالية :

أ) الماء ب) الزئبق اذا كانت درجات الحرارة للمصادر هي درجة الغليان عند (1 جو) هي (100 م) ، (357 م) ودرجة حرارة المستودع (25 م)

$$\text{الكفاءة} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \times 100$$

$$T_2 = 100 + 273 = 373 K^\circ$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298 K^\circ$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{373 - 298}{373} \times 100 = 20,1\%$$

$$T_2 = 357 + 273 = 630 K^\circ$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298 K^\circ$$

$$\text{الكفاءة} = \frac{630 - 298}{630} = 50,7\%$$

ان ماكينة الزئبق العكسية اكثر كفاءة من ماكينة الماء العكسية والسبب هو ان الفرق في درجات الحرارة اكثر بين المستودع الساخن والمستودع البارد .

اعداد الطلبة

١- احمد عبد الوهاب

٢- محمد حميد