جامعة 20 أوت 1955 –سكيكدة
كلية التكنولوجيا- قسم التكنولوجيا

السنة الجامعية 2020/2019
السنة الأولى ل م د- علوم و تكنولوجيا

العمل التوجيهي الاول في الكيمياء2

تعريف: نسمي الشروط النظامية و التي تقابل conditions normales ، هي الشروط التالية: $P = 1\ atm\ ,\ T = 0°C$
نسمي الشروط المعيارية أو القياسية و التي تقابل conditions standards ، هي الشروط التالية: $P = 1\ atm\ ,\ T = 25°C$

التمرين1: تحتوي ثلاثة أوعية على الأوكسجين ، الهيدروجين و الآزوت في الشروط التالية :
O_2 : 2.5 litres ; 250 mmHg ; 20°C - H_2 : 5.5 litres ; 250mmHg ;20°C - N_2 : 1.4litres ; 760 mmHg ; 0°C
نمزج هذه الغازات في نفس الوعاء ذو حجم $V = 18.5\ litres$ عند درجة حرارة $T = 0°C$.
1- احسب الكسر المولي لكل غاز في هذا الخليط.
2- احسب الضغط الجزئي لكل غاز في هذا الخليط. $R = 0.082\ l.atm/°K.mol$

التمرين2 : أ – وعاء زجاجي حجمه 5 litres يحتوي على الهيدروجين عند الدرجة 40°C و تحت ضغط 2.57 atm ، برد الوعاء إلى حالة ثانية حيث تصبح درجة الحرارة 25 °C . إذا اعتبرنا أن H_2 غاز مثالي ،
احسب الضغط الجديد للغاز.
بـ - نوصل الوعاء السابق في حالته الثانية بوعاء زجاجي آخر حجمه 5 litres يحتوي على 20 g من الهواء عند الدرجة 25 °C
احسب : أ- الضغط الكلي للخليط الغازي.
بـ - الضغوط الجزئية و الكسور المولية لمكونات الخليط.
$R = 0.082\ l.atm/°K.mol$; H(1) ; N(14) ; O(16) ، تركيب الهواء (O_2 20% + N_2 80%)

التمرين3 : ليكن غاز مثالي ، معرف بـ: $P = 1\ atm\ ;\ V = 8\ litres\ ;\ T = 27°C$
أ- يتحول الغاز بشكل عكوس مع ثبوت درجة الحرارة حتى يصبح حجمه يساوي 5 litres ، احسب :
1-الضغط النهائي للغاز 2- كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي و العمل الناتج عن هذا التحول 3- تغير الطاقة الداخلية
ب- يتحول الغاز بشكل عكوس وكاظومي حتى يصبح حجمه يساوي 5 litres ، احسب :
1-الضغط و درجة الحرارة 2- كمية الحرارة المتبادلة مع الوسط الخارجي و العمل الناتج عن هذا التحول 3- تغير الطاقة الداخلية.

$\gamma = 1.4$; $R = 0.082\ l.atm/°K.mol$

التمرين4 : ليكن غاز مثالي في حالة أولى معرفة بـ: $P_1 = 1\ atm\ ;\ V_1 = 50\ litres\ ;\ T_1 = 25\ °C$ ، انطلاقا من هذه الحالة نجري عليه سلسلة من التحولات العكوسة التالية:
- تحول كظوم الى حالة 2 ، حيث $T_2 = 125\ °C$
- تحول مع ثبوت الضغط الى الحالة 3 ، حيث $T_3 = 75\ °C$
- تحول مع ثبوت الحجم الى الحالة4 ، حيث $T_4 = T_1$
- تحول مع ثبوت درجة الحرارة يعيده الى الحالة الأولى.

1- مثل هذه التحولات على مخطط كلابيرون (P,V) .
2- احسب لكل تحول و كذلك للحلقة كل من : $W\ ,\ Q\ ,\ \Delta H\ ,\ \Delta U$

$\gamma = 1.4$; $R = 0.082\ l.atm/°K.mol = 2\ cal/°K.mol$

تـ 2 : 1 ـ الكسر المولي لغاز i في خليط من الغازات هو x_i حيث : $x_i = n_i / n_t$

n_i : هو عدد مولات الغاز i في الخليط

و n_t هو عدد المولات الكلي

هكذا إذن ، نحسب أولا" عدد مولات كل غاز في الخليط باستخدام معادلة الغازات المثالية : $PV = nRT$

$n_{N_2} = P_{N_2} V_{N_2} / RT$; $n_{H_2} = P_{H_2} V_{H_2} / RT$; $n_{O_2} = P_{O_2} V_{O_2} / RT$

نحول أولا" وحدة الضغط من mmHg إلى atm ، حيث 1atm = 760mmHg

$P_{N_2} = 1\ atm$; $P_{H_2} = 250/760 = 0,33\ atm$; $P_{O_2} = 0,33\ atm$

$n_{N_2} = \frac{1 \times 1,4}{0,082(0+273)} = 0,062\ mol$; $n_{H_2} = \frac{0,33 \times 5,5}{0,082 \times (20+273)} = 0,075\ mol$

$n_{O_2} = \frac{0,33 \times 2,5}{0,082(20+273)} = 0,034\ mol$; $n_t = n_{N_2} + n_{H_2} + n_{O_2}$

$n_t = 0,062 + 0,075 + 0,034 = 0,171\ mol$

إذن الكسور المولية هي :

$x_{N_2} = 0,062/0,171 = 0,36$; $x_{H_2} = 0,075/0,171 = 0,44$; $x_{O_2} = 0,034/0,171 = 0,20$

و ـ الضغط الجزئي لغاز i في خليط من الغازات هو P_i ، حيث $P_i = x_i P_t$: P_t هو الضغط الكلي ، x_i الكسر المولي للغاز i

لنحسب الضغط الكلي للغاز P_t ، بتطبيق قانون الغازات المثالية على الخليط

$P_t V_t = n_t RT \Rightarrow P_t = n_t RT / V_t$; $P_t = \frac{0,171 \times 0,082 \times 273}{18,5} = 0,207\ atm$

إذن الضغوط الجزئية هي :

$P_{N_2} = x_{N_2} \cdot P_t$; $P_{H_2} = x_{H_2} \cdot P_t$; $P_{O_2} = x_{O_2} \cdot P_t$

$P_{N_2} = 0,36 \times 0,207 = 0,074\ atm$; $P_{H_2} = 0,44 \times 0,207 = 0,091\ atm$; $P_{O_2} = 0,20 \times 0,207 = 0,041\ atm$

تـ 3 : أ ـ هذا التحول تم عند ثبوت الحجم ، إذن $V_1 = V_2$ ، ومن قانون الغازات المثالية عند كل حالة : $P_1 V_1 = nRT_1$ و $P_2 V_2 = nRT_2$

نجعل على العلاقة $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ ، منه $P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$

تـ ع : $P_2 = \frac{2,57 \times (40+273)}{(25+273)} = 2,69\ atm$

ب ـ أ : حساب عدد مولات مكونات الهواء .

$n_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{32} = \frac{0,20 \times 20}{32} = 0,125\ mol$

$n_{N_2} = \frac{m_{N_2}}{28} = \frac{0,8 \times 20}{28} = 0,571\ mol$

حساب الضغط الكلي P_t بعد تحصيل الوعائين ، حيث $V_t = 10\ l$

$P_t = n_t RT / V_t$; $P_t = (0,5 + 0,125 + 0,571)\ 0,082 \times 298 / 10$

$P_t = 2,92\ atm$

ب-ب- الكسور المولية والضغوط الجزئية لمكونات الخليط

$x_{N_2} = n_{N_2}/n_T$ ، $x_{N_2} = \frac{0,571}{1,196} = 0,477$ ؛ $P_{N_2} = x_{N_2} \cdot P_T$ ، $P_{N_2} = 0,477 \times 2,92 = 1,39$ atm

$x_{O_2} = n_{O_2}/n_T$ ، $x_{O_2} = 0,125/1,196 = 0,104$ ؛ $P_{O_2} = x_{O_2} \cdot P_T = 0,104 \times 2,92 = 0,303$ atm

$x_{H_2} = n_{H_2}/n_T$ ، $x_{H_2} = 0,5/1,496 = 0,418$ ؛ $P_{H_2} = x_{H_2} \cdot P_T = 0,418 \times 2,92 = 1,22$ atm

ت-3: P-1- تحول مع ثبوت درجة الحرارة أي أن $T_1 = T_2 = T$

لنحسب أولا عدد المولات n ، $P_1 V_1 = n R T_1$

$n = P_1 V_1 / R T_1$ ، $n = 1 \times 8 / 0,082 (27+273) = 0,325$ mol

* حساب الضغط النهائي للغاز: $P_2 = nRT_2/V_2$

$P_2 = 0,325 \times 0,082 \times (27+273)/5 = 1,599$ atm $= 1,6$ atm

$P_2 = 1,6$ atm

P-2- كمية الحرارة المتبادلة والعمل المنتج

ماداام التحول مع ثبوت درجة الحرارة، إذن $Q = -W$

$W = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$ ؛ $W = -0,325 \times 2 \times 300 \ln \frac{5}{8} = 91,65$ cal

$Q = -W = -91,65$

P-3- تغير الطاقة الداخلية $\Delta U = 0$ ، لأن T ثابت

ب-1- تحول كاظوم، لحساب الضغط نطبق العلاقة:

$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma} \Rightarrow P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} \cdot P_1$

$P_2 = \left(\frac{8}{5}\right)^{1,4} \cdot 1 = 1,93$ atm ؛ $P_2 = 1,93$ atm

درجة الحرارة نحسبها من قانون الغازات المثالية:

$T_2 = P_2 V_2 / nR$ ، $T_2 = 1,93 \times 5 / 0,325 \times 0,082 = 362,10°K$

$T_2 = 362,10°K$

ب-2- التحول كاظوم، إذن الحرارة المتبادلة $Q = 0$

العمل المنتج: $W = \frac{1}{\gamma - 1}(P_2 V_2 - P_1 V_1)$

$W = \frac{1}{1,4-1}(1,93 \times 5 - 1 \times 8) = 4,125$ l.atm ، $W = 4,125 \times 24,2 =$

$W = 99,825$ cal

ب-3- تغير الطاقة الداخلية

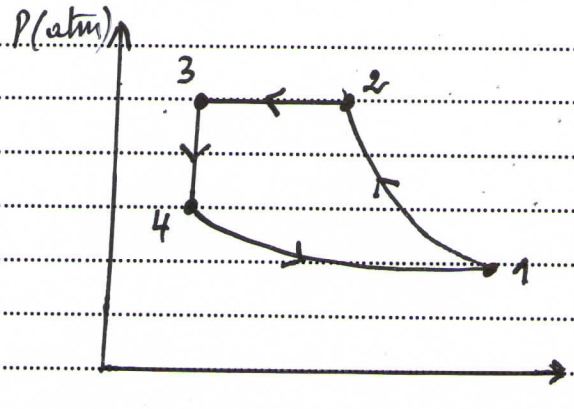
حسب المبدأ الأول للديناميك الحراري: $\Delta U = W + Q$

إذن $\Delta U = W$ لأن $Q = 0$

أو: $\Delta U = n C_v (T_2 - T_1)$

$\Delta U = 0,325 \times 5 \times (362,10 - 300) = 100,9$ cal

تـ4: 1-



2-ب. لنحسب عدد المولات n : $n = P_1V_1/RT_1$ ، $n = \frac{1\times50}{0,082\times298} = 2\ mol$

2-ب. حساب متغيرات الحالة P_2 ، V_2 ، V_3 ، P_4 :

* التحول 1 ← 2 تحول كظوم إذن : $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$

$V_2^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2}.V_1^{\gamma-1}$ ، $V_2^{0,4} = \frac{298}{125+273}.50^{0,4} = 3,58 \Rightarrow V_2 = 24,25\ l$

* حساب P_2 : $P_2 = nRT_2/V_2 = \frac{2\times0,082\times398}{24,25} = 2,69\ atm$

$P_3 = P_2 = 2,69\ atm$

* حساب V_3 : $V_3 = nRT_3/P_3 = \frac{2\times0,082\times(75+273)}{2,69} = 21,22\ l$

$V_3 = 21,22\ l$

حساب Q ، W ، ΔH ، ΔU

Q (cal)	W (cal)	ΔH (cal)	ΔU (cal)	التحول
0	$W = \Delta U$ 1000	$nC_p(T_2-T_1)$ $2\times7(398-298)$ 1400	$nC_v(T_2-T_1)$ $2\times5(398-298)$ 1000	2 ← 1 كظوم
$Q_p = \Delta H$ -700	$W = \Delta U - Q_p$ $= -500 + 700$ +200	$nC_p(T_3-T_2)$ $2\times7(348-398)$ -700	$nC_v(T_3-T_2)$ $2\times5(348-398)$ -500	3 ← 2 P ثابت
$Q = \Delta U$ -500	0	$nC_p(T_4-T_3)$ $2\times7(298-348)$ -700	$nC_v(T_4-T_3)$ $2\times5(298-348)$ -500	4 ← 3 V ثابت
$Q = -W$ +862,54	$-nRT\ln V_4/V_1$ $-2\times2\times298\ln\frac{50}{24,25}$ -862,54	0	0	1 ← 4 T ثابت
-337,46	+337,46	0	0	الحلقة

جامعة 20 أوت 1955 –سكيكدة
كلية التكنولوجيا- قسم التكنولوجيا

السنة الجامعية 2020/2019
السنة الأولى ل م د- علوم و تكنولوجيا

العمل التوجيهي الثاني في الكيمياء2

التمرين1: يتم تحويل 1 مول من غاز مثالي من الحالة i الى الحالة f عبر الطريقين الآتيين :

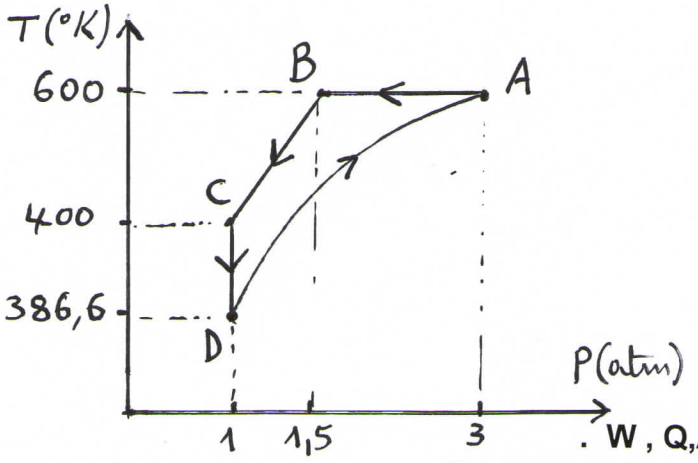
الطريق 1 : تسخين الغاز تحت ضغط ثابت $Pi = 10^5$ Pa من 298 °K الى 400 °K ، متبوع بانضغاط تحت درجة حرارة ثابتة من Pi الى $Pf = 10^6$ Pa .

الطريق 2 : انضغاط كاظوم متبوع بتبريد الغاز تحت ضغط ثابت Pf .

1- مثل هذين الطريقين على مخطط كلابرون.
2- احسب العمل ، الحرارة ، الطاقةالداخلية للغاز عبر كل طريق. ماذا يمكن استنتاجه؟
3- بين بأن العمل في التحول الكاظوم يمكن حسابه بالعبارة: $W = (P_2V_2 - P_1V_1) / \gamma - 1$

$Cp = 37.69$ J/°K.mol

التمرين 2: نخضع 1 مول من غاز مثالي الى سلسلة من التحويلات العكوسة الممثلة على مخطط بدلالة P و T ، كما مبين عل الشكل التالي :

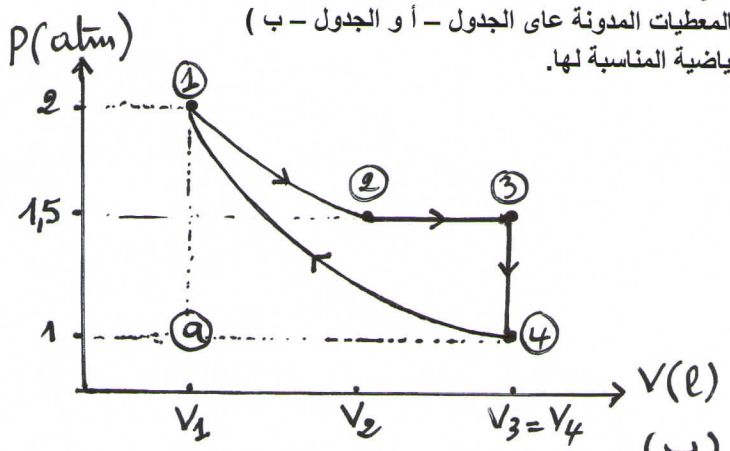


1- ما نوع التحولين A ← B و C ← D مع التعليل .
2- احسب متغيرات الحالة (T,V,P) عند كل نقطة.
3- ما نوع التحولين B ← C و D ← A مع التعليل .
4- مثل التحولات السابقة على مخطط كلابيرون (P,V) .
5- احسب بالـ cal بالنسبة لكل تحول و كذلك للحلقة ΔH, ΔU, Q, W .

$R = 0.082$ l.atm/°K.mol $= 2$ cal /°K.mol ; $Cp = 5$ cal/°K.mol

التمرين 3: يخضع غاز الأوكسجين(O_2) ذوكتلة 48 g انطلاقا من الحالة الابتدائية المعرفة بـ : $P1 = 2$ atm , $V1 = 20$L , الى سلسلة من التحويلات العكوسة الممثلة على مخطط كلابرون التالي :

1- عرف نوع التحولات الأربعة الممثلة على المخطط (استعن بالمعطيات المدونة عاى الجدول – أ و الجدول – ب)
2- احسب القيم المتبقية على الجدولين ، مع اعطاء العبارات الرياضية المناسبة لها.



(ب)

التحول	Q(cal)	W(cal)	ΔU (cal)	ΔH (cal)
1-------2	?	?	0	?
2-------3	?	?	?	?
3-------4	?	?	?	?
4-------1	0	?	272.70	?

(P)

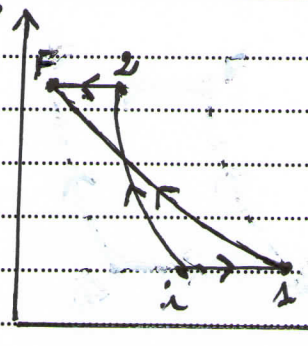
الحالة	P(atm)	V(litre)	T(°K)
1	2	20	?
2	1.5	?	?
3	1.5	?	?
4	1	?	?

3- بدون أي حساب ، استنتج قيم ΔU و ΔH المناسبين للتحولين 4 → a + a → 1

$R = 0.082$ l.atm/°K.mol $= 2$ cal /°K.mol ; $Cp = 5$ cal/°K.mol

ملاحظة: التمرين 2 و 3 تم اقتراحهما في امتحانات سابقة

1- تمثيل التحولين في المخطط (P,V):



$1 \to F + i \to 1 : 1b$

$2 \to F + i \to 2 : 2b$

2- الطريق الأول $1b$:

العمل

$$W_{1b} = W_{i-1} + W_{1-F} = -P_i(V_1 - V_i) - nRT\ln V_F/V_1$$

$$W_{1b} = -P_i\left(\frac{nRT_1}{P_1} - \frac{nRT_i}{P_i}\right) - nRT_1\ln\frac{P_i}{P_F}$$

$$W_{1b} = -nR(T_1 - T_i) - nRT_1\ln\frac{P_i}{P_F} = -nR\left[(T_1 - T_i) + T_1\ln\frac{P_i}{P_F}\right]$$

$$W_{1b} = -1\times 8{,}31\left[(400-298) + 400\ln 10^5/10^6\right]$$

$$W_{1b} = 6806{,}17\ J$$

الحرارة

$$Q_{1b} = Q_{i-1} + Q_{1-F} = \Delta H_{i-1} - W_{1-F}$$

$$Q_{1b} = nC_p(T_1 - T_i) + nRT_1\ln\frac{P_i}{P_F}$$

$$Q_{1b} = 1\times 37{,}69(400-298) + 1\times 8{,}31\times 400\ln 10^5/10^6$$

$$Q_{1b} = -3809{,}41\ J$$

الطاقة الداخلية

$$\Delta U_{1b} = nC_v(T_F - T_i) = 1\times 29{,}38(400-298)$$

$$\Delta U_{1b} = 2996{,}76\ J$$

أو: حسب المبدأ الأول

$$\Delta U_{1b} = W_{1b} + Q_{1b} = 6806{,}17 - 3809{,}41 = 2996{,}76\ J$$

الطريق الثاني $2b$:

العمل

$$W_{2b} = W_{i-2} + W_{2F} = \Delta U_{i-2} + W_{2-F}$$

$$W_{2b} = nC_v(T_2 - T_i) - nR(T_F - T_2)$$

لتحسب T_2: من التحول نحو المحفوظ يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$T_i P_i^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \Rightarrow T_2 = T_i\left(\frac{P_i}{P_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T_2 = 298\left(\frac{10^5}{100}\right)^{\frac{1-1{,}28}{1{,}28}}$$

$$T_2 = 494{,}55\ °K$$

إذن : $W_{2\to 1} = 1\times 29{,}38\,(494{,}55-298) - 1\times 8{,}31\,(400-494{,}55)$

$W_{2\to 1} = 6560{,}35$

الحرارة :

$Q_{2\to 1} = Q_{i-2} + Q_{2-f} = 0 + \Delta H_{2-f}$

$Q_{2\to 1} = nC_p\,(T_f - T_2) = 1\times 37{,}69\,(400-494{,}55)$

$Q_{2\to 1} = -3563{,}59\ J$

الطاقة الداخلية : المبدأ الأول $\Delta U_{2\to 1} = W_{2\to 1} + Q_{2\to 1}$

$= 6560{,}35 - 3563{,}59$

$\Delta U_{2\to 1} = 2996{,}76\ J$

نستنتج بأن الطاقة الداخلية $\Delta U_{2\to 1} = \Delta U_{1\to 2}$ ، لأن الطاقة الداخلية دالة حالة لا تتوقف على الطريق المسلوك تتوقف على الحالة الإبتدائية و الحالة النهائية

3- في التحول الكظوم عبارة العمل تساوي الطاقة الداخلية

لأن $Q=0$ ... $\Delta U = W$

أي أن : ...

$W = nC_v\,(T_2 - T_1)$

نعوض T_2 و T_1 من قانون الغازات المثالية :

$W = nC_v\left(\frac{P_2V_2}{nR} - \frac{P_1V_1}{nR}\right) = C_v/R\,(P_2V_2 - P_1V_1)$

لنبرهن أن $\frac{C_v}{R} = \frac{1}{\gamma-1}$

من علاقة مايير : $C_p - C_v = R$ و $C_p/C_v = \gamma$

بالقسمة على C_v : $C_p/C_v - C_v/C_v = R/C_v$

$\gamma - 1 = R/C_v \Rightarrow R/C_v = \gamma - 1 \Rightarrow \frac{C_v}{R} = \frac{1}{\gamma-1}$

ومنه : $W_{\text{كظوم}} = \frac{1}{\gamma-1}\,(P_2V_2 - P_1V_1)$

ت.ع : 1- التحول $A \to B$ هو تمديد مع ثبوت درجة الحرارة

التحول $C \to D$ هو تبريد مع ثبوت الضغط

2- حساب المتغيرات : V_A, V_B, V_C, V_D

من قانون الغازات المثالية $V = nRT/P$

$V_A = nRT_A/P_A = \frac{1\times 0{,}082\times 600}{1} = 16{,}4\ l$; $V_A = 16{,}4\ l$

$V_B = nRT_B/P_B = \frac{1\times 0{,}082\times 600}{1{,}5} = 32{,}8\ l$; $V_B = 32{,}8\ l$

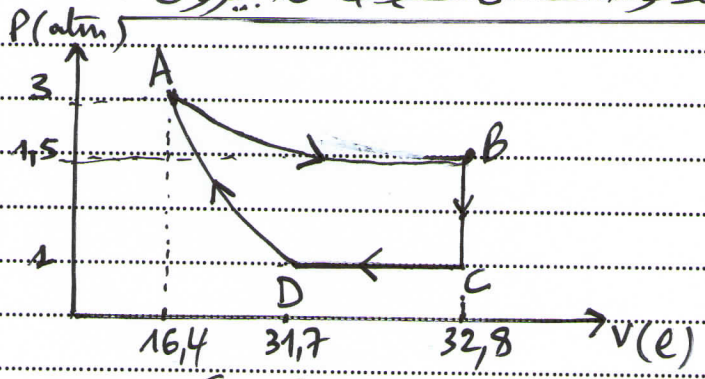
$V_C = nRT_C/P_C = \frac{1\times 0{,}082\times 400}{1} = 32{,}8\ l$; $V_C = 32{,}8\ l$

$V_D = nRT_D/P_D = \frac{1\times 0{,}082\times 386{,}6}{1} = 31{,}7\ l$; $V_D = 31{,}7\ l$

3- التحول B ← C تبريد مع ثبوت الحجم لأن $V_B = V_C$

التحول D ← A إنضغاط كاظم، لأن $P_D V_D^{\gamma} = P_A V_A^{\gamma}$

4- تمثيل التحولات على مخطط كلابيرون:



5- حساب ΔU ، ΔH ، W ، Q لكل تحول و الحلقة:

التحول	ΔU (cal)	ΔH (cal)	W (cal)	Q (cal)
B ← A T ثابت	0	0	$-nRT\ln\frac{V_B}{V_A}$ $-1\times2\times600\ln\frac{32,8}{16,4}$ $-831,77$	$Q = -W$ $+831,77$
C ← B V ثابت	$nC_v(T_C - T_B)$ $1\times3\times(400-600)$ -600	$nC_p(T_C - T_B)$ $1\times5\times(400-600)$ -1000	0	$Q = \Delta U$ -600
D ← C P ثابت	$nC_v(T_D - T_C)$ $1\times3\times(386,6-400)$ $-40,2$	$nC_p(T_D - T_C)$ $1\times5\times(386,6-400)$ -67	$W = \Delta U - \Delta H$ $26,8$	$Q = \Delta H$ -67
A ← D كاظوم	$nC_v(T_A - T_D)$ $1\times3\,(600-386,6)$ $640,2$	$nC_p(T_A - T_D)$ $1\times5(600-386,6)$ 1067	$W = \Delta U$ $640,2$	0
الحلقة	0	0	$-164,77$	$+164,77$

تمرين 3: 1 - تعريف التحولات:

* التحول (1→2)، لدينا من الجدول ب $\Delta U=0$ ⇐ تحول مع ثبوت درجة الحرارة $T_1=T_2$

* التحول (2→3)، لدينا من المخطط $P_2=P_3$، فهو تحول مع ثبوت الضغط

* التحول (3→4)، لدينا من المخطط $V_3=V_4$، فهو تحول مع ثبوت الحجم

* التحول (1→4)، لدينا من الجدول ب $Q=0$ ⇐ تحول كاظم

ج - حساب القيم المتبقية في الجدولين (أ) و (ب)

لنحسب أولا عدد مولات الغاز $n_{O_2}=\frac{m}{M}=\frac{48}{32}=1,5mol$

* الجدول (أ): حساب المتغيرات T_1, V_2, V_4, T_3, T_4

$$T_1=\frac{P_1V_1}{nR}=\frac{2\times20}{1,5\times0,082}=325,2K \; ; \; T_1=T_2=325,2°K$$

$$V_2=\frac{nRT_2}{P_2}=\frac{1,5\times0,082\times325,2}{1,5}=26,66l \; ; \; V_2=26,66l$$

لحساب الحجم V_4، نستخدم علاقة ΔU_{4-1} في حالة تحول كظوم

$$\Delta U_{4-1}=W_{4-1}=\frac{1}{\gamma-1}(P_1V_1-P_4V_4)$$

علما أن $\gamma=C_P/C_V$، ومادام الغاز ثنائي الذرة إذن $C_P=\frac{7}{2}R$

و $C_V=5/2$، إذن $\gamma=\frac{7}{5}=1,4$

$$(\gamma-1)\Delta U_{4-1}=P_1V_1-P_4V_4$$

من الجدول $\Delta U_{4-1}=272,7$

$$V_4=\frac{P_1V_1-(\gamma-1)\Delta U_{4-1}}{P_4}=\frac{2\times20-(1,4-1)\times272,7/24,2}{1}=35,5l$$

$$V_3=V_4=35,5l$$

$$T_3=\frac{P_3V_3}{nR}=\frac{1,5\times35,5}{1,5\times0,082}=432,92°K \; ; \; T_3=432,92°K$$

$$T_4=\frac{P_4V_4}{nR}=\frac{1\times35,5}{1,5\times0,082}=288,61°K \; ; \; T_4=288,61°K$$

الجدول (أ)

الحالة	P(atm)	V(l)	T(°K)
(1)	2	20	325,2
(2)	1,5	26,66	325,2
(3)	1,5	35,5	432,92
(4)	1	35,5	288,61

الجدول (ب)

التحول	ΔU(cal)	ΔH(cal)	W(cal)	Q(cal)
2 ← 1 T ثابت	0	0	$-nRT\ln V_2/V_1$ $-1,5\times2\times325,2\ln\frac{26,66}{20}$ $-280,41$	$Q=-W$ $+280,41$
3 ← 2 P ثابت	$nC_v(T_3-T_2)$ $1,5\times5(432,92-325,2)$ $807,9$	$nC_p(T_3-T_2)$ $1,5\times7(432,92-325,2)$ $1131,06$	$\Delta U=W+Q_p$ $W=\Delta U-Q_p$ $-323,16$	$Q_p=\Delta H$ $1131,06$
4 ← 3 V ثابت	$nC_v(T_4-T_3)$ $1,5\times5(288,61-432,92)$ $-1082,32$	$nC_p(T_4-T_3)$ $1,5\times7(288,61-432,92)$ $-1515,25$	0	$Q=\Delta U$ $-1082,32$
1 ← 4 كظوم	$272,7$	$nC_p(T_1-T_4)$ $1,5\times7\times(325,2-288,61)$ $384,195$	$W=\Delta U$ $272,7$	0

3- بما أن ΔU و ΔH هما دالتان حالة، أي يتوقفان على الحالة الابتدائية والحالة النهائية، إذن :

$\Delta U_{4\to a}+\Delta U_{a\to1}=\Delta U_{4-1}=272,7\ cal$

$\Delta H_{4\to a}+\Delta H_{a\to1}=\Delta H_{4\to1}=384,195\ cal$