جامعة الانبار
كلية التربية الأساسية / حديثة
قسم العلوم العامة

اسم التدريسي: اوس زبن عبدالمجيد

المرحلة الدراسية: الثانية – كيمياء

الفصل الدراسي: الاول

اسم المادة باللغة العربية: الكيمياء الفيزياوية

اسم المادة باللغة الإنكليزية: Physical chemistry

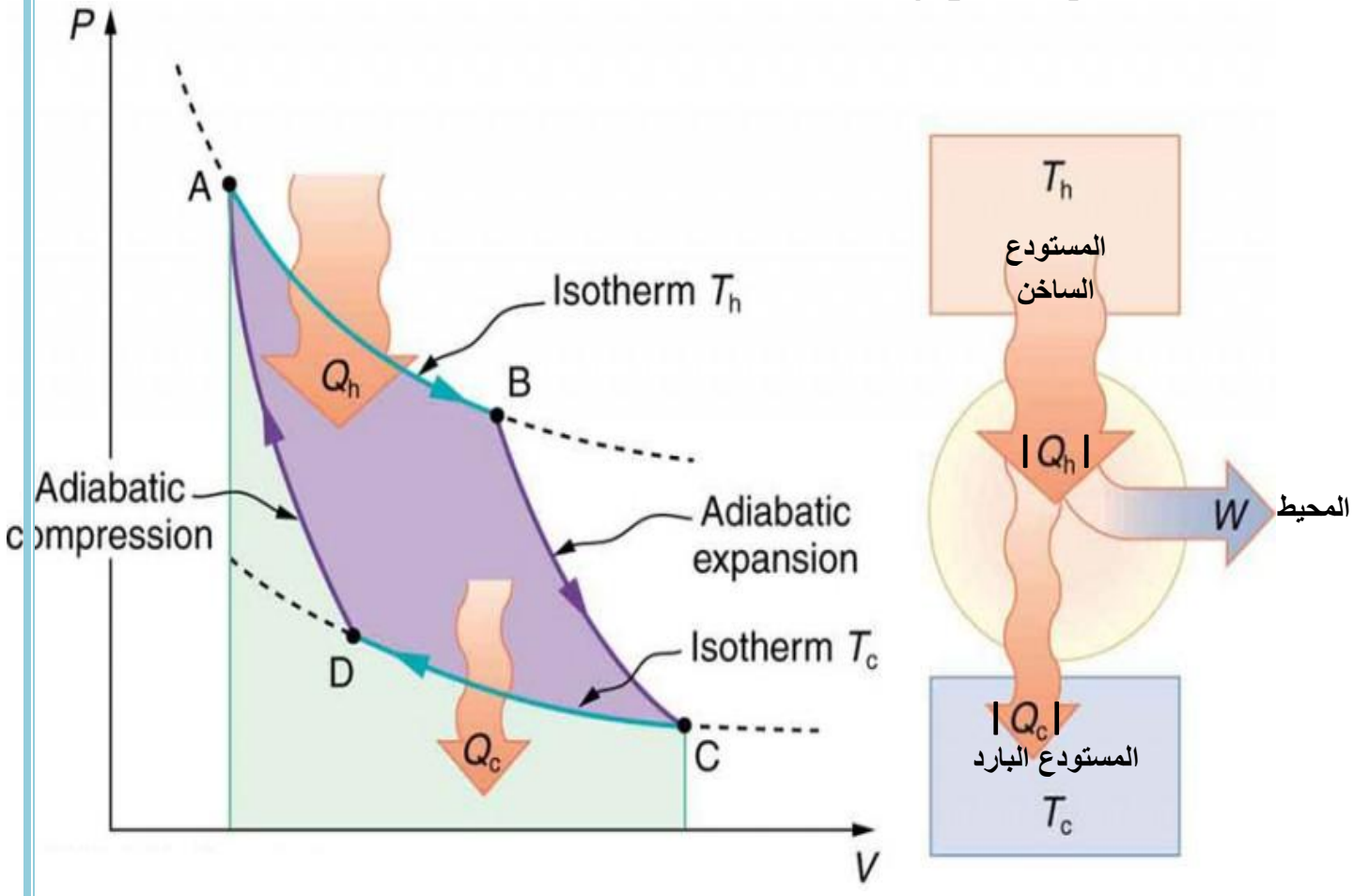
اسم المحاضرة باللغة العربية: ماكنة كارنوت

اسم المحاضرة باللغة الإنكليزية: Carnot machine

م.م اوس زبن عبدالمجيد

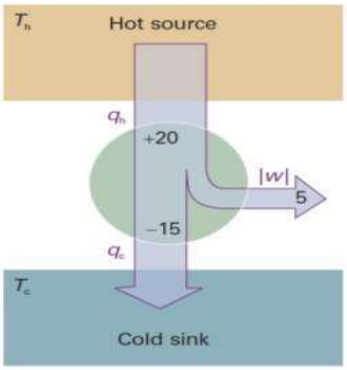
دورة كارنوت : Carnot Cycle

يمكن تحويل الحرارة جزئيّاً الى شغل عند توفر مستودعين حراريين عند درجتين حراريتين على الشغل باستخدام غاز او اي مادة سائلة في عملية دائرية بحيث تكون النتيجة النهائية فيها انتقال الحرارة من احد المستودعين الى الآخر وانجاز كمية معينة من الشغل .وفي هذه الحالة يكون النظام ممثلاً بالسائل او المادة المساعدة المستخدمة .وتعرّف الماكنة الحرارية بانها **الماكنة التي تستخدم الحرارة لتوليد الشغل الميكانيكي (تحويل الحرارة الى شغل) وذلك بوجود المادة المساعدة خلال عملية دائرية** .ويوضح الشكل التالي ماكنة كارنوت الحرارية:



حيث يلاحظ ان الماكنة تأخذ في دورة واحدة كمية من الحرارة $|Q_h|$ من المستودع ذي الدرجة الحرارية العالية وتعطي كمية من الحرارة $|Q_c|$ الى المستودع البارد وتقوم بشغل $|w|$ على المحيط .وقد استخدمت القيم المطلقة لهذه الكميّات وبالاتفاق ، وذلك لتجنب التعقيدات وبما يضمن ان تكون قيمة كفاءة الماكنة موجبة. تتكون الماكنة من اسطوانة مزوّدة بمكبس عديم الاحتكاك

يمكنه ان يقوم بشغل على المحيط، كما يمكن للمحيط ان يقوم بشغل عليه .وعندما تعمل ماكنة كارنوت الحرارية فان الغاز المستخدم يمر في سلسلة من الخطوات يعود بعدها الى الحالة الاولية.



وتتم دورة ماكينة الحرارة في أربع خطوات:

1- تمدد أيزوثيرمي انعكاسي (Reversible Isothermal Expansion)

يتم خلاله تمدد الغاز (زيادة حجمه) من حالة (1) إلى حالة (2) وامتصاصه حرارة ($+q_h$) من المستودع الساخن عند T_h الى الغاز للحفاظ على درجة حرارة T_h ثابتة، والقيام بعمل شغل (w_{12}) على محيطه وقيمة هذا الشغل سالبة.

$\Delta E=0$ $\quad q_h = RT_h \ln\frac{V2}{V1}$ $\quad W_{12}=-\int_{V1}^{V2} PdV$ $\quad dS=q_h/T_h$

$$W_{12}=-RT_h \ln\frac{V2}{V1}$$

2- تمدد أديباتي انعكاسي(Reversible Adiabatic Expansion) ,

يتم خلاله تمدد الغاز من الحالة(2) إلى الحالة(3) دون أن يفقد النظام أو يكتسب حرارة ($q=0$) (زيادة الحجم وانخفاض درجة الحرارة) بينما يقوم الغاز بعمل شغل (W_{23}) على المحيط وقيمة هذا الشغل سالبة. والتغير بالانتروبي صفر .

$q_h=0$, $\quad W_{23}=-\int_{V2}^{V3} PdV$, $\quad \Delta E= W_{23}=-\int_{Th}^{Tc} CvdT$

$$\therefore W_{23}=- Cv(T_c-T_h)$$

3- تقلص أيزوثيرمي انعكاسي(Irreversible Isothermal Compression) ,

وفيه يتحول الغاز من حالة (3) إلى حالة(4) والحرارة الممتصة(q_c) لها قيمة سالبة حيث تتسرب كمية من الحرارة من الغاز إلى المستودع البارد عند (Tc) للحفاظ على درجة الحرارة ، والشغل على الغاز(W_{34}) قيمته موجبة حيث يقوم الوسط المحيط بالشغل على الغاز والتغير بالانتروبي موجبة $ds=dq/T_c$

$\Delta E =0$, $\quad q_c = -RT_c \ln\frac{V4}{V3}$, $\quad W34=-\int_{V3}^{V4} PdV$

$$\therefore W34=-RT_c \ln\frac{V4}{V3}$$

4- تقلص أدياباتي انعكاسي(Irreversible Adiabatic Compression) ,

وفيه يتحول الغاز من حالة (4) إلى الحالة(1) الإبتدائية عند (T_h) وحيث أن النظام معزول حراريا فإن(q_c=0) لذلك فالتغير بالانتروبي صفر ، والشغل على الغاز (W_{41}) قيمته موجبة , حيث يقوم المحيط بالشغل على الغاز. (يقل الحجم وتزداد درجة الحرارة)

$$q_c = 0 \ , \ W_{41} = -\int_{V4}^{V1} PdV \ , \quad \Delta E = W_{41} = -\int_{Tc}^{Th} CvdT$$

$$\therefore W_{41} = C_v(T_h - T_c)$$

ان التغير الكلي للانتروبي خلال هذه الدورة يساوي:

$$dS = \oint ds = \frac{qh}{Th} + \frac{qc}{Tc} = 0$$

وحيث أن الغاز قد عاد في نهاية الدورة لحالته الإبتدائية , فإنه تبعا للقانون الأول في الثيرموديناميك

$$\Delta E = q + W = 0$$
$$= q_c + q_h + w12 + w23 + w34 + w41$$
$$= q_c + q_h - w$$
$$W = q_h + q_c$$

حيث w ترمز إلى محصلة الشغل المبذول على الغاز.أي أن:

$$Wcycle = w12 + w23 + w34 + w41 \qquad (W_{23} = 0 \ , \ W_{41} = 0)$$
$$Wcycle = -RT_h \ln\frac{V2}{V1} + -RT_c \ln\frac{V4}{V3}$$

كفاءة ماكنة كارنوت : تعرف بانها كمية الحرارة الممتصة من المستودع الساخن والتي تحولت الى شغل بكفاءة الماكنة ، أو هي النسبة بين الشغل المبذول على المحيط الى الحرارة الممتصة من المستودع الساخن T_h ، أي ان :

$$\varepsilon = \text{work performed} / \text{heat absorbed}$$

$$\varepsilon = \frac{w}{qh} = \frac{qc+qh}{qh}$$

$$= \frac{-RTh\ln\frac{V2}{V1} + -RTc\ln\frac{V4}{V3}}{-RTh\ln\frac{V2}{V1}}$$

$$V2/V1 = V4/V3$$

$$= \frac{Th-Tc}{Th} \qquad = 1 - \frac{Tc}{Th}$$

هذا يعني ان الكفاءة دائما اقل من الواحد الصحيح ، وبما ان العملية عكسية هذا يعني ان الشغل الناتج هو اقصى شغل ، والكفاءة هي الكفاءة القصوى .

س/ إذا كان الماء يغلي عند درجة حرارة 100^0C و 255^0C عند ضغط 1 atm و 50atm على التوالي ، احسب كفاءة الالة البخارية اذا كانت درجة حرارة المكثف 40^0C عندما :
(أ)تعمل الآلة عند درجة حرارة $255^\circ C$ وضغط 50atm (ب) تعمل الآلة عند درجة حرارة $100^\circ C$ وضغط 1atm (ج) احسب كمية الحرارة التي يمكن أخذها من المصدر الحراري لينتج شغل قدره 1000J في كل حالة.

الحل /أ- Tc=313K Th=528K $\varepsilon = 1 - \frac{Tc}{Th} = 0.42$

ب- Tc=313 Th=373 $\varepsilon = 0.16$

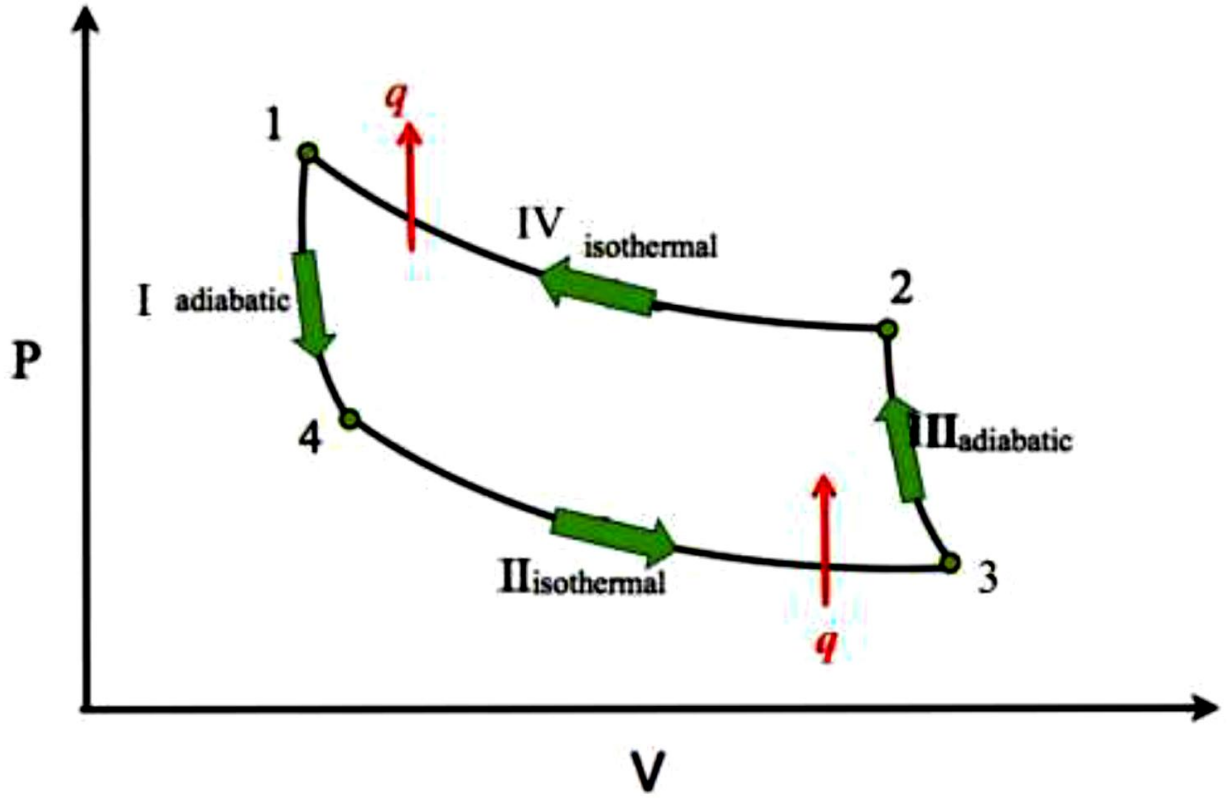
ج- $\varepsilon = \frac{w}{qh}$ $= q_c = 1000/0.42 = 2393.3J$

$$\varepsilon = \frac{w}{qh} = \frac{1000}{0.16} = 6211.2J$$

ويتضح أن كفاءة الآلة تعتمد بشكل أساسي على الفرق بين درجتي الحرارة للمصدر والمكثف.

ثلاجة كارنوت : Carnot Refrigerator

يمكن الحصول على التبريد وذلك بتدوير دورة كارنوت بالاتجاه المعاكس، اي تكون الدورة بالتسلسل التالي1←4←3←2←1 وكما موضح في الشكل التالي:



حيث تمثل الخطوة الاولى التمدد الاديباتي العكسي من الحالة 1 الى الحالة 4. والخطوة الثانية هي التمدد الآيزوثيرمي العكسي والذي تمتص فيه كمية من الحرارة qc من المستودع ذي الدرجة الحرارية المنخفضة عند Tc، والخطوة الثالثة تمثل التقلص الاديباتي العكسي من الحالة 3 الى الحالة2 ، والخطوة الرابعة هي التقلص الآيزوثيرمي العكسي والذي تعطى فيه كمية من الحرارة qh الى المستودع الساخن عند درجة الحرارة العالية Th . وفي حالة الثلاجة المنزلية فان المستودع ذو الدرجة الحرارية العالية هو عبارة عن هواء الغرفة .وتعطى كفاءة الثلاجة كالآتي:

$$\varepsilon = \frac{w}{qc} = \frac{qc+qh}{qc}$$

$$= \frac{Th-Tc}{Tc} \qquad = 1-\frac{Tc}{Th}$$

مثال: احسب كفاءة ماكنة كارنوت الحرارية التي تعمل مابين° 0 م و° 500 م؟

مثال: احسب الكفاءة القصوى لثلاجة تعمل مابين الدرجتين الحراريتين 10 - °م و 25° م .ما هي اقل كمية من الشغل يجب انجازها لازالة 100 جول من الحرارة من داخل الثلاجة؟

$$\varepsilon = w_{max}/q_c$$

$$= \frac{Th-Tc}{Tc}$$

$$= 13.3\ \% = 0.13$$

$$\varepsilon = \frac{w}{q}$$

$$0.13 = w/100$$

$$= 13.3\ J$$