الفصل الأول

قوانين الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها

1-1 مقدمة:

يقدم هذا الملخص للقارئ المبادئ الأساسية لديناميكا الحرارية الكلاسيكية، كما يوضح بالعديد من الأمثلة والمسائل المحلولة الكثير من تطبيقات مجال العلم والهندسة.
تعتبر الحرارة أحد العوامل المناخية المهمة في العالم ولها تأثير كبيراً على العوامل المناخية الأخرى فمثلاً لها تأثير على توزيع الضغوط الجوية في العالم.

عندما نتحدث عن الحرارة كعامل مناخي نقصد بذلك حرارة الهواء وتعتبر الشمس هي المصدر الوحيد للحرارة على سطح الكرة الأرضية وقد يسخن الهواء بشكل غير مباشر من أشعة الشمس الساقطة على سطح الأرض وتصطدم به وتتحول إلى أشعة حرارية فتمتص الأرض جزءاً منها وتسخن والهواء الملامس للأرض يسخن وترتفع درجة حرارته كما أن الأشعة الراجعة من سطح الأرض تؤدي إلى تسخين الهواء.

1-2 مشكلة البحث:

بعض مشاكل استخدام المحركات (الآلات) الحرارية بتطبيق القانون الأول والثاني.

1-3 أهمية البحث:

تنبع أهمية الدراسة من أهمية قوانين الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها في الآتي:

1. لأنها تفسر سلوك المادة وتفاعلاتها مع الطاقة على مقياس الذارت والجسمات دون الذرية.
2. ازدواجية الصفة الموجية – الجيسيمة لضوء والمادة.

1-4 أهداف الدراسة: تهدف هذه الدراسة إلى:

- التعرف بمبادئ وقوانين الديناميكا الحرارية.
- الإلمام بتطبيقات الديناميكا الحرارية.
- التعرف على أنواع التيرموترات وتدرجاتها.

1-5 أسئلة البحث:

1. كيف تنتقل الحرارة وأجهزة قياسها وأنواع تدرجها؟
2. ما هي العوامل التي تجعل الإجراءات لا انعكاسية؟
3. كيف يمكن تمثيل دورة كارنو الإنعكاسية؟
4. لماذا لا تعتمد المحركات الإنعكاسية على طبيعة التشغيل؟

5. كيف تتم معالجة الإجراءات الكمية حسب القانون الثاني؟

1-6 حدود الدراسة:

الحدود الزمانية:

بدأت هذه الدراسة من شهر نوفمبر/2015م إلى شهر سبتمبر /2016م

الحدود المكانية:

تمت هذه الدراسة في جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (كلية التربية – كلية العلوم – كلية الهندسة).

1-7 الفروض:

- لا يمكن إنشاء محرك حراري يعمل بمصدرين حراريين.
- تطبيقات الإنتروبي إجراء الاحتراق في محرك السيارة.
- في حالة الغازات يتم إهمال التغير في طاقة الوضع.

1-8 منهج البحث:

هو منهج التجريبي.

1-9 أدوات البحث:

مصادر – مراجع – الشبكة العنكبوتية

1-10 هيكل البحث:

يتكون هذا البحث من خمسة فصول تم التطرق في الفصل الأول عن مقدمة وخطة البحث وفي الفصل الثاني على الحرارة وطرق قياسها وأنواع التيرموترات ويتكون الثاني من القانون الأول وتطبيقاته ويتكون الفصل الثالث من القانون الأول والفصل الرابع من القانون الثاني وتطبيقاته وأخيراً الفصل الخامس يتم فيه مناقشة الفروض وأسئلة البحث واستخلاص النتائج.

1-2 الحرارة:

هي شكل من أشكال الطاقة.

وهي أيضاً صورة من صور الطاقة المتولده من التفاعل الكيميائي أو النووي أو بذل الشغل الميكانيكي وتحدد الطاقة الداخلية لجزئيات الجسم التي بانتقالها له تزيد منها.

تمتد جزئيات المادة حول مواضع اتزانها الأصلية (الجوامد) بتردد معين وسعة اهتزازه معينة وبالتالي يكون لجزئياتها طاقة وضع وطاقة حركة.

2-2 الطاقة الداخلية للجسم:

هي مجموع طاقتي الوضع والحركة لجزئيات المادة.

مما تنشأ طاقتي الوضع والحركة لجزئيات مادة الجسم:-

- طاقة الوضع تنشأ من قوى التجاذب بين جزئيات مادة الجسم (قوى فان درفال لندن).
- طاقة الحركة تنشأ من اهتزاز جزئيات مادة الجسم بسرعة حول مواضع سكونها.

1-2-2 العلاقة بين الطاقة الداخلية ودرجة الحرارة:

باكتساب الجسم طاقة حرارية تزداد سعة اهتزازه الجزئيات وتتباعد وبالتالي تزداد سرعة الجزئيات وتزداد طاقة الحركة لجزئياتها وتبعاً لذلك تزداد الطاقة الداخلية للمادة وترتفع درجة الحرارة للجسم والعكس إذا فقد الجسم طاقة حرارية إذاً درجة الحرارة تعتبر مقياساً للطاقة الداخلية لجزئيات الجسم.

ملاحظة:

في حالة الغازات يهمل التغير في طاقة الوضع لصغر قيمته بالنسبة للتغير الكبير في طاقة حركة الجزئيات.

أي أن درجة الحرارة لغاز تعبر عن متوسط طاقة حركة جزئياته.

3-2 كيف تنتقل الحرارة:

تنتقل الحرارة من جسم إلى آخر أو من وسط إلى آخر بواحدة أو أكثر من الطرق التالية:

1-3-2 التوصيل باللمس (الاتصال المباشر بالجسم).

ومن العوامل المؤثرة في انتقال الحرارة بطريقة التوصيل وهي:

1. الفرق في درجة الحرارة بين الجسمين أو الوسطين (Δt).
2. نوع مادة الجسمين (K,L).
3. مساحة سطح التلامس (إلتماس) (A).

تنقسم الأجسام من حيث توصيلها الحراري إلى:-

1. أجسام جيدة التوصيل (المعادن عموماً).
2. أجسام ردئية التوصيل (أجسام عازلة).

تتوقف الحرارة من الانتقال بين جسمين متصلين عندما تصل درجة حرارة الجسمين إلى نفس الدرجة وتسمى هذه الدرجة بدرجة الاتزان:

T_1 = درجة حرارة الجسم الأسخن.

T_2 = درجة حرارة الجسم الأقل سخونة.

T_0 = درجة حرارة الإتزان.

$$T_0 < T_1 < T_2$$

$$T_1 \neq T_2 \neq T_0$$

دائماً انتقال الحرارة بالتوصيل يتم بين الأجسام الصلبة والسائلة:

2-3-2 تيارات الحمل:

وفيما تنتقل الطاقة الحرارية من طبقة لأخرى من طبقات السائل أو الغاز.

2-3-3 الإشعاع:

انتقال الطاقة الحرارية بالإشعاع كانتقال طاقة حرارة الشمس إلى الأرض.

يُصاغ قانون كمية الحرارة المتنقلة (H) من الإفادة من العلاقات التالية:

$$H \propto \Delta t$$

$$H \propto A$$

$$H \propto \frac{1}{L}$$

$$H = \frac{KA\Delta t}{L}$$

K ≡ معامل التوصيل الحراري.

$$K = \frac{LH}{A\Delta T} = \frac{MJ}{m^2 Sc} = \frac{J}{S} \times \frac{1}{mc} = W/mc$$

A ≡ مساحة (متر^2)

C ≡ درجة الحرارة.

مثال:-

أحسب كمية الحرارة المنتقلة عبر نافذة زجاجية مساحتها $2m^2$ وسمكها 2m1m في غرفة درجة حرارتها $25c^o$ إذا كانت درجة الحرارة في الخارج $0c^o$ علماً أن k للزجاج:

الحل:

K = 1w/mc

$\Delta t = 25c^o$ $\quad$ $A = 2m^2$

L = 2mlm = 2×10^{-3}m

$$H = \frac{KA\Delta t}{L}$$

$$H = \frac{1 \times 2 \times 25}{2 \times 10^{-3}} = 25 \times 10^{3}\text{J}$$

درجة الحرارة:

تعرف درجة الحرارة بأنهامدى سخونة وبروده الأجسام لما كان تأثر الإنسان أمراً نسبياً لجأ إلى استخدام أجهزة قياسية عيارية هذه الأجهزة تسمى بالمحرار (التيرمومتر).

4-2 التيرمومترات:-

المبدأ الذي على أساسه يتم صنع التيرموترات هو أن الصفات الفيزيائية التي تتغير بانتظام بتغير درجة الحرارة فمثلاً حجم كمية معينة من سائل يزيد بزيادة درجة كذلك القوة الدافعة الكهربية عند نقطة اتصال مختلفتين في دائرة كهربية مغلقة تزيد بزيادة درجة الحرارة.

1-4-2 أسباب عمل التيرموترات:-

تغير الخواص الفيزيائية بانتظام مع تغير درجة الحرارة.

الفكرة العلمية التي يعتمد عليها عمل التيرمومترات:-

1. المادة التيرمومترية.
2. الخاصية الفيزيائية لهذه المادة تتغير بانتظام مع تغير درجة الحرارة.
3. تحديد نقطتين ثابتين.

2-4-2 تقسيم التيرموترات:-

تقسم التيرمومترات حسب الصفات المتغيرة:-

1-2-4-2 التيرمومترات السائلة:-

الصفة الفيزيائية التي تتغير بتغير درجة الحرارة هي تمدد السائل مثل الزئبق أو الكحول ومن أشهرها التيرمومتر الزئبقي ويتركب من مستودع زجاجي دقيق الجدران تتصل به قناة شعرية مدرجة مفرغة من الهواء ويملأ المستودع وجزء من القناة الشعرية بالزئبق الذي يعتبر أكثر السوائل في عمل التيرمومترات وتستخدم طريقة التسخين والتبريد المتعاقبين لملء المستودع وجزء من القناة الشعرية بالزئبق وكلما كانت قناة الترمومتر ضيقة مستودعة أكبر كلما كان أكثر حساسية لقياس درجة الحرارة.

يراعى عند صناعته أن يكون جدار المستودع رقيقاً وجدار الأنبوبة الشعرية سميكاً ولذلك لمقاومة الصدمات الخارجية وتحدد على ساق الترموتر النقطتان الثابتتان نقطة انصهار الجليد ونقطة غليان الماء وبعدها يدرج بأحد التدريجات التالية:

أنواع التدريجات:-لقياس درجة الحرارة لوسط ما لابد أن يكون هنالك تدرجياً:

التدريج المئوي:

في هذا التدريج تكون درجات الحرارة الثابتة هي نقطة انصهار الثلج (صفر مئوي) ودرجة غليان الماء (100˚ م)

وإذا فرضنا أن الخاصية الحرارية المراد قياسها هي (X) وكانت قيمتها عند درجة انصهار الثلج هي (X_0) وقيمتها عند درجة غليان الماء (X_{100}) عند ذلك تكون الكمية ($X_{100} - X_0$) أي أن:

$$t_x = \frac{x_1 - x_0}{x_{100} - x_0/100}$$

$$L = 100\left(\frac{x_1 - x_0}{x_{100} - x_0}\right)$$

وعن طريق هذه المعادلة يمكن تعيين درجة الحرارة المطلوبة وذلك باستخدام التيرمومتير المتاح.

شكل (2-1) يوضح أنواع التدريجات للتيرمومتيرات

تدريجات الترمومترات الغازية:

يجب أن يتميز الترمومترات بالحساسية النافعة وقد وجد أن الضغط المبذول بواسطة غاز ما ذي حجم ثابت يكون حساساً جداً للتغيرات التي تحدث في درجات الحرارة ويستخدم الترموميتر الغازي للمعايره في العمل الدقيق ويمكن استخدام المعادلة التالية عند ثبوت الضغط (الحجم متغير) عند قياس درجة الحرارة.

$$t_p = 100\left(\frac{v_t - v_0}{v_{100} - v_0}\right)$$

حيث v هو حجم الغاز عند درجة حرارة ما:

أما عند ثبوت الحجم (الضغط متغير)

$$t_p = 100\left(\frac{p_t - p_0}{p_{100} - p_0}\right)$$

التدرج الدولي لدرجة الحرارة:-

عقدت لجنة دولية وحددت وعرفت المقياس الدولي وذلك بتحديد النقاط الثابتة كما بينت الأجهزة المستخدمة والمعادلات الرياضية التي تستخدم في عملية الحساب اللازمة لتعين درجة الحرارة وأوصت اللجنة بالآتي:

1. بين نقطة تجميد الماء ونقطة انصهار مادة الأنتمون 630 ويستخدم الترمومتر البلاتيني وتستخدم العلاقة.

$$R = R_0 (1 + a + bt^2)$$

2. بين نقطة تجميد الماء وهبوطاً إلى نقطة غليان الأكسجين (970 ، 182˚) يستخدم البلاتين وتستخدم العلاقة .

$$R = R_0[1 + at + bt^2 + c(t - 100)t^3]$$

2-4-2-2 التيرمومترات الغازية:-

أما الصفة التيرمومترية في الحالة الغازية فهي ضغط هذا الغاز الذي يتغير بتغير درجة الحرارة.

من أبرز عيوب الترمومترات السائلة أنه إذا أخذ ترمومتران متدرجان يتدرج واحد ويحتويان على سائلين مختلفين هم وضعها في سائل واحد لقياس درجة حرارته فإنهما لا يتفقان تماماً إلا في درجة انصهار الجليد ودرجة غليان الماء وذلك سبب اختلاف تمدد السائلين في درجة الحرارة المختلفة وهذا هو السبب في تدرج الترمومتر الكحولي بالمقارنة مع ترمومتر زئبقي ومن هنا كانت الحاجة الماسة في القياسات الحرارية العملية الرقيقة إلى صنع ترمومترات تكون دلالتها واحدة لمن يستعملها في أي مكان ولأي درجة حرارة وهذا ما أمكن توفيره بواسطة الترمومتر الغازي.

3/ الترمومترات الصلبة:

تكون المادة الترمومترية معدنين مختلفين متصلين عند نقطة اتصال بحيث يشكلان جزءاً من دائرة كهربية فتكون الصفة الترمومترية هي مقدار تغير القوة الرافعة الكهربية في الدائرة بتغير درجة حرارة نقطة الاتصال وهذا هوالترمومتر الصلب مثل ترمومتر الإزدواج الحراري.

جدول (1/2) يوضح أنواع التيرمومترات والمادة المستخدمة والخاصية الطبيعية المتغيرة:

نوع التيرمومتر	المادة المستخدمة	الخاصية الطبيعية المتغيرة
1/ التيرمومتر السائل Liquid thermometer	الزئبق أو الكحول Mercury or Alcohol	التغير في الطول Chang in length
2/ التيرمومتر الغازي Gas Thermometer	هيدروجين Hydrogen	التغير في الضغط Chang in pressure
3/ تيرمومتر المقاومة Resistance Thermometer	البلاتين Platinum	التغير في المقاومة Change in resistance
4/ التيرومتر الجهدي	مادة الكروميل والألوميل	تغير الجهد الكهربي

Potential Thermometer	Chromel a Alumel	Chan in Electrical pot
5/ التيرمومتر الإشعاعي Radiation Thermometer	البايروميتر Pyrometer	تغير لون الإشعاع Chang in Radiation col
6/ التيرمومتر المغناطيسي Magnetic Thermometer		تغير في المجال المغنطيسي Change in susceptibility

نستخدم ثلاثة مقاييس أساسية لقياس درجة الحرارة:

1/ السيليلوز C°

2/ فهرنهايت F°.

3/ الكلفن K°.

المقياس	نقطة غليان الماء	نقطة التجمد
C^o	$100C^o/100$	$0C^o/0$
F^o	$212F^o/212$	$32F^o/32$
K^o	$373K^o/373$	$273K^o/273$

يمكن التحويل من مقياس إلى آخر باستخدام المعادلات الرياضية:

$$T_C = [T_F - 32]\frac{5}{9}$$

$$T_F = [T_C + 32]\frac{9}{5}$$

$$T_K = [T_C + 273]$$

5-2 السعة الحرارية النوعية للمادة:

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع أو خفض وحدة الكتلة من الماء درجة مئوية واحدة.

$$Q = cm\,\Delta t$$

Q ≡ كمية الحرارة

C ≡ الحرارة النوعية.

m ≡ كتلة المادة.

Δt ≡ الفرق في درجة الحرارة.

وحدة الحرارة النوعية:

من العلاقة:

$$C = \frac{Q}{m\Delta t}$$

$$C = \frac{\text{وحدة طاقة}}{\text{وحدة كتلة} \times \text{وحدة الحرارة}} = \frac{J}{9C^0}$$

$$C = J/gC^o$$

المادة	الحرارة النوعية
الماء	$4.18\,J/gc^o = 418/kgc^o$
الثلج	$2.1\,J/gc^o = 2100418/kgc^o$
الزجاج	$0.6\,J/gc^o = 600/kgc^o$
الرصاص	$0.13\,J/gc^o = 130/kgc^o$

مثال: أحسب كمية الحرارة اللازمة لتغير درجة حرارة

(أ) $400g$ من الماء $18C^o$ إلى $23C^o$

(ب) $400g$ من النحاس من $23C^o$ إلى $18C^o$

الحرارة النوعية للماء $c = 4.18\,J/gc^o$

الحرارة النوعية للنحاس $c = 0.39\,J/gc^o$

الحل:

(أ) $Q = Cm\Delta t$

m = $400g$

$$\Delta t = (T_2 - T_1) = (23 - 18) = 5C^o$$

$$c = 4.18\,J/gc^o$$

$$Q = 400 \times 4.18 \times 5$$

$$\therefore Q = 8360J$$

(ب) m = $400g$

$$\Delta t = (T_2 - T_1) = 18 - 23 = -5\,C^o$$

$$c = 0.39\,J/gc^o$$

$$Q = 400 \times 0.39 \times -5 = -780J$$

$$\therefore Q = -780J$$

أشارة كمية الحرارة:

1. الإشارة موجبة Q تعني أن النظام ماص للحرارة.
2. الإشارة السالبة Q تعني أن النظام طارد للحرارة.

قانون الديناميكا الحرارية الصغرى:

سمى هذا القانون بالقانون الصفري كونه يعد كمعلومة بديهية ويجب أن تكون معلومة عند المعظم.
ويعتمد على مبدأ الاتزان الحراري والمنطق.
لو افترضنا أن النظام (أ) والنظام (ب) في حالة اتزان حراري مع النظام (ج) فإن كل من النظام (أ) و(ب) في حالة اتزان حراري.

1-3 القانون الأول للديناميكا الحرارية

إن القانون الأول للديناميكا الحرارية يدرس العلاقة بين مقدار الشغل المبذول على النظام (W) وكمية الحرارة (Q) التي يتبادلها النظام مع الوسط المحيط، وما ينشأ عن ذلك من تغير في الطاقة الداخلية للنظام (ΔU) وينص القانون الأول للديناميكا الحرارية على أن: (كمية الحرارة التي يمتصها (أو يخرجها) النظام تساوي مجموع التغير في الطاقة الداخلية للنظام والشغل الذي يبذله النظام).

وبصورة رياضية: $\Delta u = Q - U_2 - U_1$

حيث: الطاقة الداخلية

$Q \equiv$ كمية الحرارة ، $W \equiv$ الشغل المبذول.

وعند تطبيق العلاقة السابقة ينبغي ملاحظة الآتي:

1. يكون الشغل موجباً إذ بذله النظام (أي حدث تمدد للغاز)، ويكون الشغل سالباً إذا بذل شغل على النظام (أي حدث انكماش للغاز).
2. تكون كمية الحرارة (Q) موجبة إذا اكتسب النظام حرارة، وتكون سالبة إذا فقد النظام حرارة.

إن تزويد النظام بالطاقة الحرارية يؤدي إلى تخزينها في النظام على شكل طاقة حركية وطاقة وضع الجزئيات الميكروسكوبية التي يتكون منها هذا ولا تخزن على شكل حرارة.

مثال:

زودنا نظاماً مكوناً من غاز مصهور بكمية من الحرارة مقدارها 500 سعة فزاد حجمه بمقدار 0,002 م تحت ضغط ثابت (الضغط الجوي المعياري).

أحسب التغير في الطاقة الداخلية لهذا النظام علماً أن الضغط المعياري $= 1{,}013 \times 90$ باسكال $= 1$ سعر $= 4{,}18$ جول:

الحل:

$$\Delta u = Q - W \,, \qquad w = P(V_2 - V_1)$$

$$W = 1.013 \times 10^5 \times 0.002 = 202.6J$$

$$\Delta u = (500 \times 4.18) = 202.6 \qquad \therefore \Delta = 1887.4J$$

مثال:

غاز محصور في اسطوانة يبذل عليه مقدار (3000 جول) ولم يتم خلالا هذا الأحوال تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط به (إجراء إديباتيكي) في الطاقة الداخلية للنظام (الغاز محصور).

$\therefore$ التغير إديباتيكي $Q -$,

$$\Delta u = w$$

$$\Delta u = -(-3000) = 3000J$$

2-3 تطبيق قانون الديناميكا الحرارية الأول على الحالات الأربع:

إذا طبقنا قانون الديناميكا الحرارية الأول على الحالات الأربع التي تم ذكرها نجد ما يلي:-

1-2-3 الإجراء تحت حجم ثابت:

إذا انتقل النظام الغازي بين حالتين ثابتين تحت حجم ثابت فإن

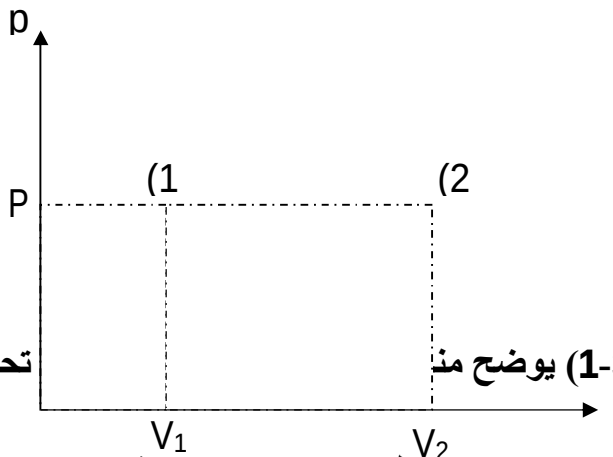
$$W = 0 \rightarrow \Delta u = Q - W \rightarrow \Delta u = Q$$

وهذا يعني أن الطاقة الحرارية التي يكتسبها النظام (الغاز) تستخدم في زيادة الطاقة الداخلية لهذا الغاز.

2-2-3 الإجراء تحت ضغط ثابت:

الشغل المبذول في هذه الحالة. $w = P(V_2 - V_1)$

إذاً $\Delta u = Q - (V_2 - \quad _1)$



شكل (3-1) يوضح منـ تحت ضغط ثابت.

مثال:

نظام يبذل شغل مقداره 1200 جول عندما يكتسب كمية حرارة 2000 جول أحسب التغير في الطاقة الداخلية.

$$\Delta u = Q - W \rightarrow \Delta u = 2000 - 1200$$

$$\Delta u = 800\, J$$

مثال:

يتمدد حجم نظام من 0,02 م^3 إلى حجم 0,05 م^3 عند ضغط ثابت 10 ˚ باسكال عندما يكتسب كمية حرارة 4000 جول. أحسب: 1- الشغل 2- التغير في الطاقة الداخلية.

الحل:

$$W = P\,(V_2 - V_1) = 10^5\,(0.05 - 0.02) \qquad \therefore W = 3000$$

$$\Delta u = Q - W, 4U = 4000 - 300 \qquad \therefore \Delta u = 1000\text{J}$$

3-2-3 الإجراء عند درجة حرارة ثابتة (إيزوثيرمال):

تظل الطاقة الداخلية للغاز ثابتة $\Delta u = 0$ ، عندها يكون $W = Q$

$$Q = V_1 P_1 ln\left[\frac{P_1}{P_2}\right] \qquad \text{أو} \qquad Q = V_1 P_1 ln\left[\frac{V_1}{V_2}\right]$$

4-2-3 الإجراء الكظمي (الإديباتيكي):-

وهذا الإجراء يحدث لنظام مغلق ومعزول حرارياً ($Q=0$) أي لا يحدث تبادل حراري بين النظام وبين الوسط المحيط به، يشرط أن يحدث في زمن قصيراً جداً لتفادي احتمال حدوث انتقال كمية من الحرارة عندها يكون التغير في الطاقة الداخلية للنظام.

$$\Delta u = Q - W\,, \quad Q = 0 \quad \therefore \Delta u = -W$$

أي أن الطاقة الداخلية للنظام تزداد بمقدار الشغل المبذول على النظام أو العكس.

من الأمثلة على الإجراءات الكظمية أو الإديباتيكية:

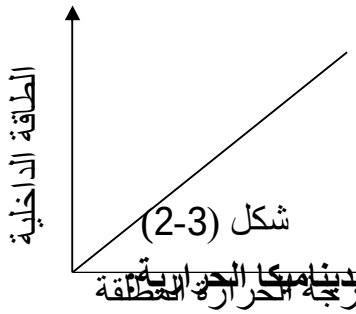
إجراء تمدد- نواتج الانفجار الحادث (سريع جداً) في شوط القوة (في الآلة الحرارية) حيث يحدث هذا الإجراء في زمن قصير جداً.

وبشكل عام يمكن اعتبار كل الإجراءات التي تحدث في زمن قصير نسبياً إجراءات كظمية.

القانون الأول للديناميكا الحرارية يشرح العديد من العمليات الفيزيائية المرتبطة بالغازات، فدرجة الحرارة المطلقة للغاز ترتبط مباشرة بطاقته الداخلية وفي حالة الغاز المثالي فإن الطاقة الداخلية عبارة عن الطاقة الحركية لجزئ الغاز وتكون العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة الداخلية للغاز المثالي علاقة خطية كما في الشكل المقابل.

أما مقدار كمية الحرارة المعطاة للنظام والشغل المبذول بواسطة الغاز فتعدد درجة الحرارة، وتؤدي إلى نتائج مختلفة للعمليات :-

أديباتيك ، أيزوفيرمال وإيزوباراك

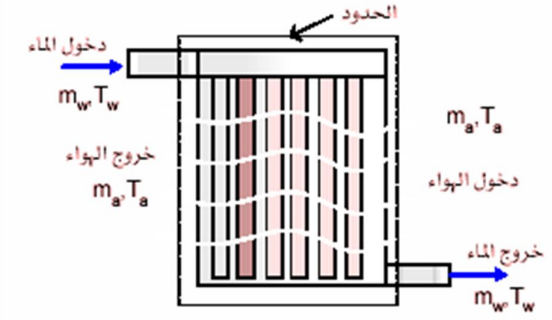


شكل (2-3)

3-3 تطبيقات في القانون الأول للديناميكا الحرارية:

1-3-3 أنظمة حرارية فقط:

1/ المبرد (الراديتير): تنقل الحرارة إلى مياه التبريد في الراديتر ومن ثم إلى الهواء كما في الشكل أدناه يطبق القانون الأول على الماء وعلى الهواء كالتالي بالنسبة للماء:



شكل (3-3) راديـاتير سيارة

$$mh_2 + \frac{V_1^2}{2} + z_1 g + P_2 V_2 + Q - W = mh_2 + \frac{V_2^2}{2} + z_1 g + P_2 V_2$$

ولكن طاقة الحركة تساوي صفراً وطاقة الوضع تساوي صفراً كما أنه لا يوجد شغل:

$$Q = m\,(h)$$

$$Q_w = m(hw_2 - hw_1)$$

وبالنسبة للهواء:

أيضاً يمكن استنتاج أن:

$$Q_a = m(ha_2 - ha_1)$$

حيث:

$Q_a \equiv$ هي الحرارة المكتسبة للهواء

$Q_w \equiv$ هي الحرارة المفقودة من الماء .

الحرارة المفقودة من الماء تساوي الحرارة المكتسبة للهواء عليه فإن:

$$Q_a = Q_w$$

2/ المكثف والمبخر:

فى دورة التبريد المعروفة والموضحة فى الشكل أدناه يمكن تطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية على المكثف والمبخر كنظامين حراريين لا شغل ميكانيكى عليهما .

القانون الأول للديناميكا الحرارية:

$$mh_2 + \frac{V_1^2}{2} + z_1 g + P_1 V_1 + Q - W = mh_2 + \frac{V_2^2}{2} + z_2 g + P_2 V_2$$

نستطيع أن نفترض أنه وهى هذين الجهازين لا يوجد شغل ولا تغير فى طاقة الحركة ولا تغير فى طاقة الوضع .

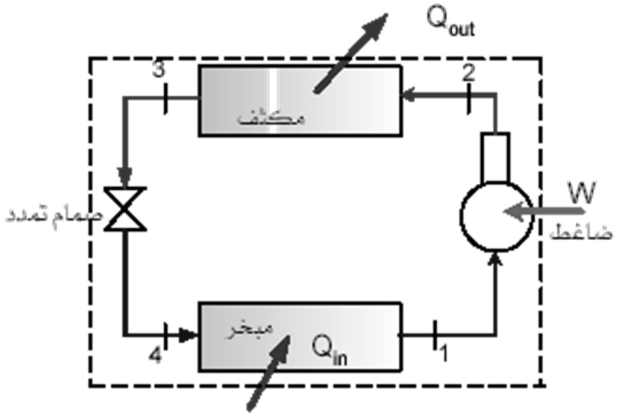
$$Q = \dot{m}\ (h_2 - h_1)$$

أى الحرارة تساوى التغير فى الانثالبيا بين مخرج ومدخل أى من المكثف أو المبخر ففى حالة المكثف :

$$Q = \dot{m}\ (h3 - h2)$$

وفى حالة المبخر :

$$Q = \dot{m}\ (h_1 - h_4)$$



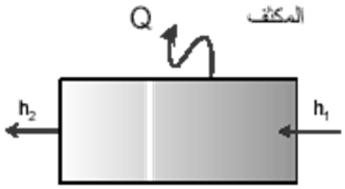
شكل (3-4)

مثال:

احسب الحرارة المطرودة من مكثف فى دائرة التبريد إذا كانت الانثالبيا لوسيط التبريد – *R 134a* الداخل للمكثف هى *417 kJ/kg* والانثالبيا لوسيط التبريد الخارج من المكثف *241.63 kJ/kg* .

الحل :

بالإشارة إلى الشكل أدناه وبتطبيق القانون الأول على المكثف :



شكل (3-5)

لا يوجد شغل على المكثف ويمكن إهمال التغير فى طاقة الحركة وطاقة الوضع :

$$Q = h2 - h1 = 241.63 - 417 = -175.37\ kJ/kg$$

علامة السالب هما تدل على أن الحرارة مطرودة من المكثف .

3/ المبادل الحرارى : *Heat Exchanger*

فيه تنتقل الحرارة بين مائعين غير مختلطين كما فى الشكل أدناه .

نطبق القانون الأول للديناميكا الحرارية على كل مائع على حدة (لا يوجد شغل ويمكن إهمال التغير فى الطاقة الحركية وطاقة الوضع) :

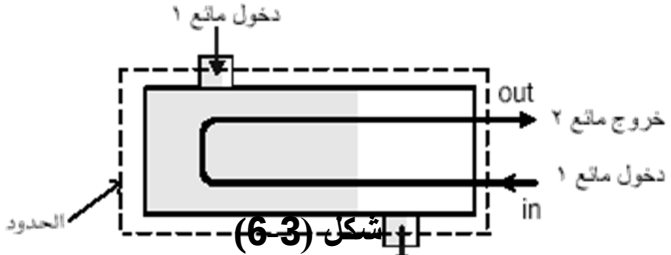
للمائع الأول:

$$Q_1 = \dot{m}\ (h_2 - h_1)$$

للمائع الثانى :

$$Q_2 = \dot{m}\ (ha - hb)$$

لابد من ملاحظة أن الحرارة المكتسبة لأحد المائعين تساوى الحرارة المفقودة من المائع لآخر أى أن $Q1$ تساوى $Q2$.



شكل (3-6)

مثال: وعاء معزول حرارياً يحتوي على غاز محصول، بُذل مشغل خارجي على الغاز مقداره 100 جول أحسب مقدار التغير في الطاقة الداخلية للغاز:

الحل:

النظام معزول حرارياً إذاً:

$$\Delta u = Q - W \quad , \quad \therefore Q = 0$$

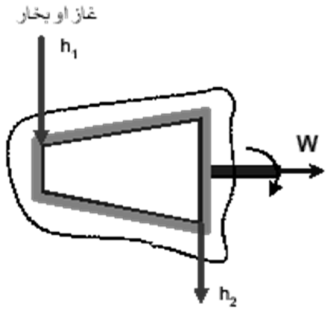
$\Delta u = 0 - (-100) = 100J$ ، أي تزداد الطاقة الداخلية للغاز بمقدار 100 جول.

3-3-2 أنظمة بها شغل:

1/ التوربين:

تستخدم التوربينات البخارية والغازية فى توليد الطاقة الكهربية وتعزل التوربينات بصورة جيدة (تهمل الحرارة المكتسبة) حتى تزيد من الشغل الذى تعمله .

بتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية وبإهمال التغير فى طاقة الحركة وطاقة الوضع:



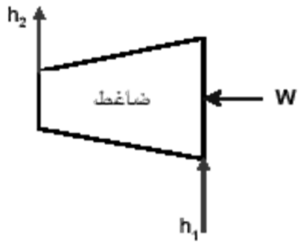
شكل (3-7) توربينه

وحيث إن h_1 أكبر من h_2 عليه فإن الشغل المعمول بواسطة التوربينات هو شغل موجب لأنه مبذول بواسطة النظام على البيئة حوله عليه فإن :

$w = h_1 - h_2$

2/ الضاغط: *Compressor*

الضاغط عكس التوربين حيث الانثالبيا عند الخروج h_2 تكون أكبر من الانثالبيا عند الدخول h_1 وبما أنه لا توجد حرارة مكتسبة أو مضافة فإن القانون الأول للديناميكا الحرارية بين دخول وخروج المائع.



شكل (3-8) الضاغط

(وسيط تبريد أو هواء) مع إهمال التغير فى طاقة الحركة وطاقة الوضع يعطى المعادلة التالية :

$$-W = \dot{m}\ (h_2 - h_1)$$

$$w = -(h_2 - h_1)$$

علامة السالب تدل على أن الشغل معمول بواسطة البيئة على النظام .

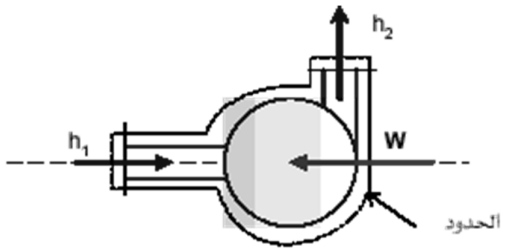
3/ المضخة : *Pump*

بالإشارة إلى الشكل أدناه وتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية كما فى حالة الضاغط نصل إلى :

$$W = -\ \dot{m}\ (h_2 - h_1)$$

$$W = \dot{m}\ (h_1 - h_2)$$

وبالتالى فإن الشغل يكون سالباً وهو شغل عمل بواسطة البيئة على النظام .



شكل (3- 9) مضخة

4/ الفونية أو الرشاش أو الحاقن: Nozzle

هذا نظام مفتوح ومستقر ويستخدم لزيادة سرعة الموائع كما يتضح من الشكل أدناه بتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية وبإهمال الحرارة والشغل يكون:

$$q - w = \Delta h + \Delta KE$$

$$h_2 _ h_1 = -\left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2}\right)$$

$$\frac{V_2^2}{2} = \frac{V_1^2}{2} + (h_1 + h_2)$$

4-3 الإجراء العكوس واللا عكوس:

الإجراء الذي يمكن عكس اتجاهه بعد حدوثه دون التسبب في إحداث أي تغير على النظام والوسط المحيط.

فمثلاً : نظام مكون من غاز مثالي محصور في اسطوانه مزودة بمكبس قابل للحركة بسهولة (لا يوجد احتكاك بين المكبس والاسطوانة) بالإضافة إلى كون الاسطوانة في مادة عازلة.

إذا ضغطنا المكبس ببط شديد عندها نكون قد بذلنا شغلاً على النظام (-*W*) حتى يتغير حجمه من V_1 إلى V_2 حيث (V_1 إلى V_2) لكن كمية الحرارة الداخلة إلى النظام أو الخارجية منه تساوي الصفر لا يوجد (احتكاك) فتزداد الطاقة الداخلية للنظام بمقدار (*W*).

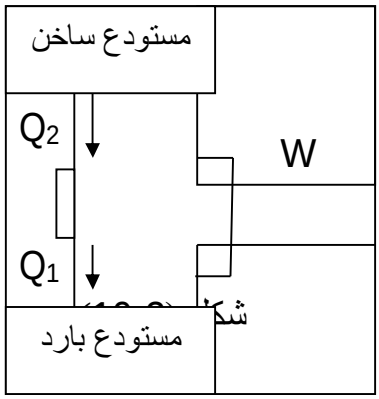
إذا تركنا النظام يمدد ببطء شديد فإن حجمه يتحول من V_2 إلى V_1 (يتمدد)ويقوم يشغل (+*W*) ويكون التغير في طاقته الداخلية (-*W*)

الإجراء من V_1 إلى V_2 عكوس ومن V_2 إلى V_1 عكوس.

لعلك لاحظت من خلال المناقشة السابقة أن التغير في طاقة النظام في دورة كاملة: (*W*-*W*) = صفر ، أي أن : $\Delta u = 0$

5-3 الآلة الحرارية:

هي جهاز يقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى شغل ميكانيكي وذلك نتيجة انتقال الحرارة إلى هذا الجهاز من مصدر حراري (مستودع حراري) ذي درجة حرارة عالية وطردة الحرارة إلى خزان حراري ذي درجة حرارة منخفضة كما في الشكل (3-10):



ملاحظة:

المستودع الحراري جسم كبير يمكن أن تنتقل من أو إليه، ولا يؤدي إلى تغير درجة حرارته.

وكمثال الآلة الحرارية نأخذ الآلة البخارية في الشكل أدناه:

1. يتم تسخين الماء ويتحول إلى بخار ذي درجة حرارة عالية وضغط مرتفع في الغلايات التي تستمد الطاقة الحرارية من مصدر حراري ذي درجة حرارة عالية جداً وذلك بحرق الوقود.
2. يمدد البخار على مكبس عبر صمام فيحركه (يبذل عليه شغلاً) ويكون ذلك على حساب الطاقة الداخلية للبخار وبذلك تنخفض درجة حرارة البخار.
3. مع عودة المكبس يدفع البخار (بعد أن انخفضت درجة حرارته) عبر صمام إلى المكثف وهناك يتحول إلى سائل وأثناء هذه العملية تفقد البخار من طاقته الداخلية(الحرارة الكامنة للتكثيف) وهذه الحرارة تطرد إلى خزان حرري ذي درجة حرارة منخفضة (الهواء الجوي مثلاً).
4. يعاد ضخ الماء (مادة التشغيل) إلى الغلايات حيث تعاد الدورة من جديد ، يسمى الماء والبخار مادة التشغيل لأنها هي التي تبذل شغلاً من الشكل أدناه يتضح أن الماء (مادة التشغيل تمر بدورة كاملة، وبتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية : Δ ط = صفر = كح – شغ / $\Delta U = Q - W$

لكن = كح في العلاقة تمثل الفرق بين كح$_2$ و كح$_1$

أي أن صافي الطاقة الحرارية = كح$_2$ – كح$_1$ $\Longleftarrow$ $w = Q_2 - Q_1$

إذاً صفر = كح$_2$ – كح$_1$ - شغ $\leftarrow$ شع = كح$_2$ – لح$_1$

الفصل الرابع

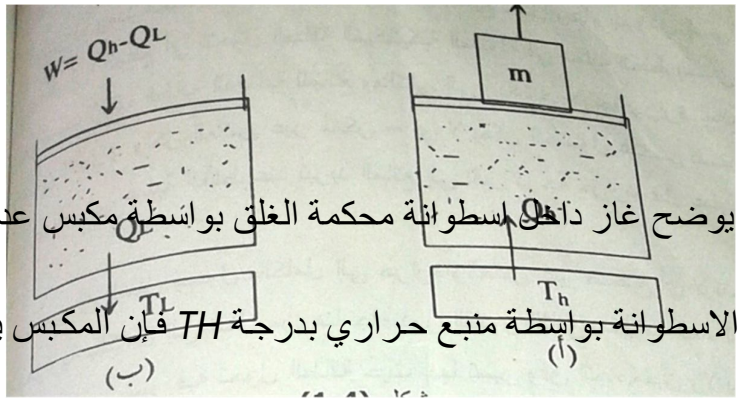
تطبيقات القانون الثاني في الديناميكا الحرارية

1-4 المحرك الحراري والمضخة الحرارية:

المحرك الحراري:

هو الآلة التي تعمل وتنتج شغل موجب نتيجة نقل حرارة من جسم ساخن مرتفع في درجة حرارته ومثال لذلك آلة الاحتراق الداخلي، الترسبات الغازية ومحطات القوى التجارية.

ويمكن توضيح مبدأ عمل المحرك بشكل مبسط شكل (4-1)



شكل (4-1) يوضح غاز داخل اسطوانة محكمة الغلق بواسطة مكبس عديم الاحتكام

فعند تسخين الاسطوانة بواسطة منبع حراري بدرجة *TH* فإن المكبس يرفع مع الكتلة مؤدياً شغل.

ولكي يعمل المنظومة بشكل دائم فإنه يتم تبريده بواسطة مصرف حراري بدرجة حرارة منخفضة *TL* ليعود إلى حالته الابتدائية (بعد إزالة الكتلة *M*) وبذلك يتم عمل دورة كاملة فإذا كانت:

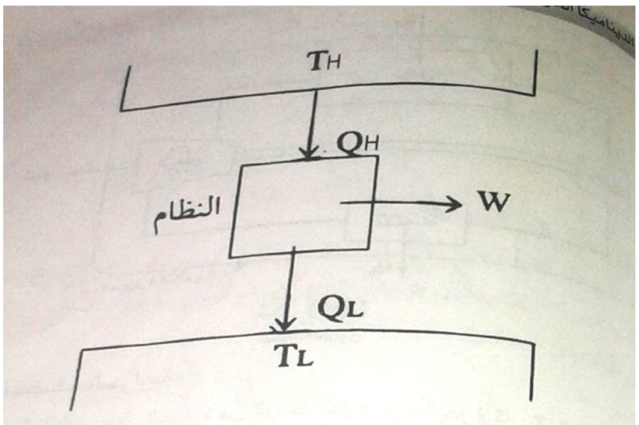
Qh: هي الحرارة المضافة من المنبع الحراي Th

Ql: هي الحرارة المفقودة من الحرارة Tl

فإن الشغل حسب القانون الول

$W = Qh - Ql$ أي صافي الحراري

ويمكن تمثيل نظام توليد القدرة (الشغل) السابق بالشكل المختصر (4-2)



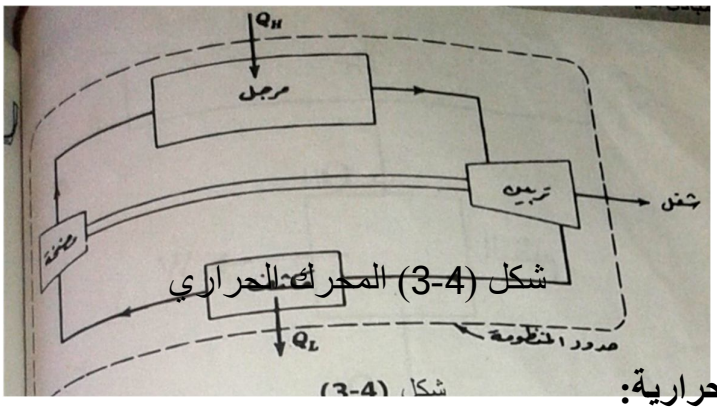
شكل (4-2)

2-4 كفاءة المحرك الحراري :

تعرف بأنها الطاقة الخارجية (المطلوبة) إلى الطاقة الداخلية (المكلفة) أي أن:

$$\eta = \frac{w}{Qh} = \frac{QH-Ql}{QH} = 1 - \frac{Ql}{QH}$$

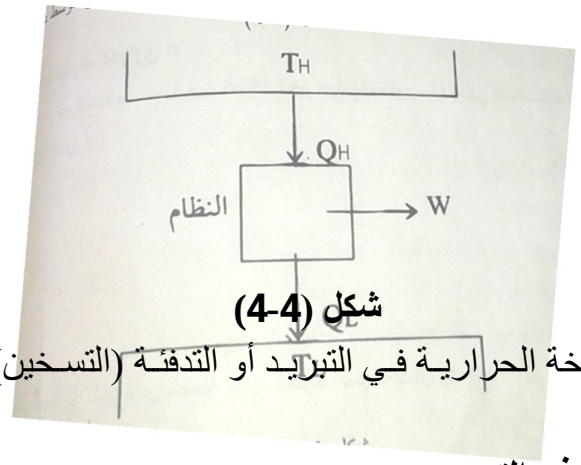
ويمثل المحرك الحراري محطة توليد القدرة البسيطة كل (4-3)



شكل (4-3) المحرك الحراري

3-4 المضخة الحرارية:

هي ماكينة تقوم بنقل الحرارة من الوسط البارد ودرجة حرارته Tl إلى الوسط الساخن درجة حرارته Th عن طريق بذل شغل كما في شكل (4-4).



شكل (4-4)

وتستخدم المضخة الحرارية في التبريد أو التدفئة (التسخين) وتقيم في الحالتين بمعامل الأداءβ .

4-4 المضخة الحرارية في التبريد:

في هذه الحالة يكون الوسط البارد هو المستودع البارد أو الغرفة الباردة (Tl) ويكون الوسط الساخن هو المصرف (الهواء أو ماء متوفر بدرجة حرارته Th).

معامل التبريد βR *(C.0.PR)* .

$$\beta_R = \frac{Q_l}{W} = \frac{Q_l}{Q_H - Q_l} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_l} - 1}$$

5-4 المضخة الحرارية في التسخين:

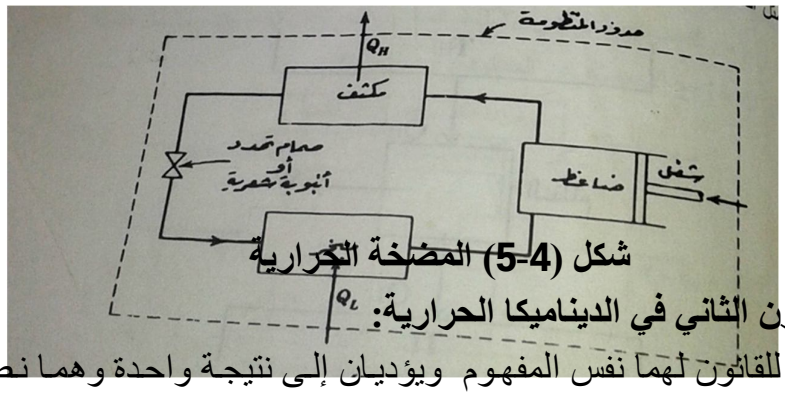
في هذه الحالة يكون الوسط T_H هو الغرفة أو المكان المراد تدفئته والمضاف إليه كمية حرارة QH ويكون الوسط TL هوالهواء الجوي او الماء المتوفر.

معامل الأداء في التسخين βH ($C.OPH$).

$$\beta_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_l} = \frac{1}{\frac{1 - Q_l}{Q_H}}$$

ويسمى المائع المستخدم في نقل الحرارة والشغل بمائع الشغل أو مادة الشغل.

ويمثل المضخة الحرارية محطة التبريد البسيط شكل (4-5).



شكل (4-5) المضخة الحرارية

6-4 نصوص القانون الثاني في الديناميكا الحرارية:

يوجد نصين للقانون لهما نفس المفهوم ويؤديان إلى نتيجة واحدة وهما نص كلفن وكلاوزسيس :

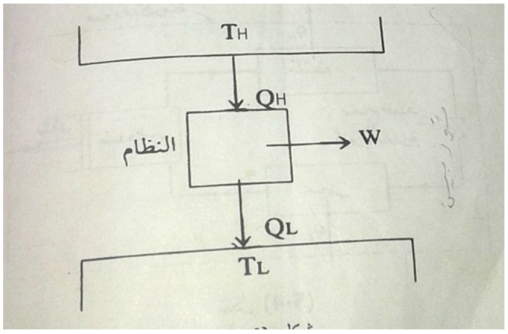
1-6-4 نص كلفن:

(من المستحيل إنشاء آله تتبادل الحرارة مع مستودع حراري واحد وتنتج شغل مكافئاً للحرارة في دورة حرارية وبمعنى آخر لا يمكن إنشاء آله حرارية بكفاءة 100%.

2-6-4 نص كلاوزسيس:

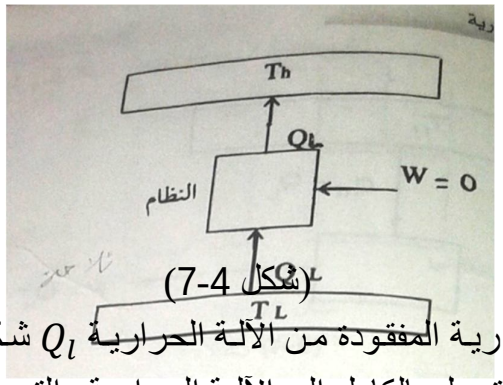
(من المستحيل إنشاء آله تنقل حرارة بشكل دوري من وسط درجة حرارته منخفضة إلى وسط درجة حرارته مرتفعة دون أن تستهلك شغل).

وكلا النصين مبني على الاختبارات المعملية وأن نقص إحداهما يؤدي إلى نقض الآخر ويمكن إثبات ذلك كالآتي يفترض وجود آله تعمل كما في كل (4-6) وفقاً للقانون الأول ولا تناقض القانون الثاني.



شكل (4-6)

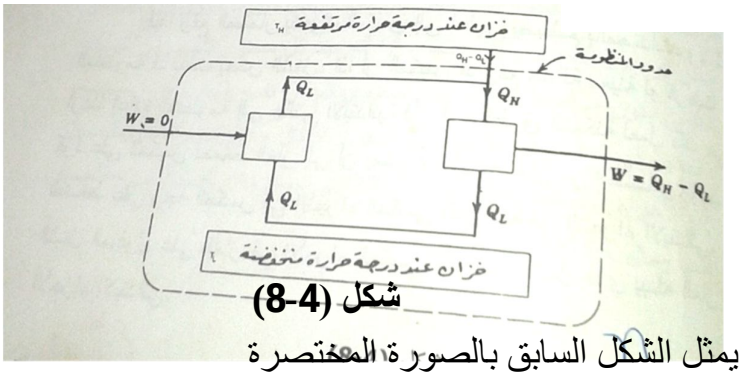
ويفترض أيضاً وجود آلة تعمل كما في شكل (4-7) تناقض القانون الثاني (تناقض نص كلاوزسيس).



(شكل 4-7)

نجد أن كمية الحرارية المفقودة من الآلة الحرارية Q_l شكل (4-6) في المستودع الحراري T_l يمكن أن تحول بالكامل إلى الآلية الحرارية والتي في شكل (4-7).

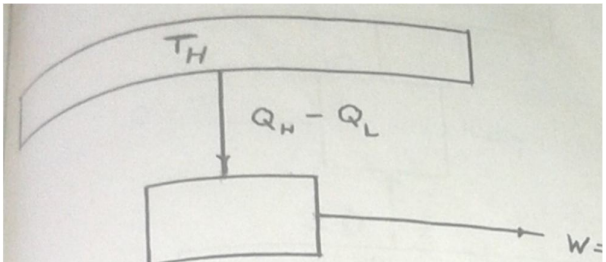
وأيضاً كمية الحرارة المفقودة من الآلة الحرارية Q_l شكل (4-7) يمكن تحويلها لتغذية الخط المغزي للآلة الحرارية الأولى بشكل (4-6) وبالتالي تحتاج الآلية الحرارية من المستودع الحراري T_H فقط كمية من الحرارة $Q_H - Q_l$ ويمثل ذلك كل (4-8) مع الاستغناء عن المستودع الحراريT_l .



شكل (4-8)

ويمكن أن يمثل الشكل السابق بالصورة المختصرة

وهذا الشكل يتعارض مع نص كلفن إذاً ما يتعارض مع نص كلاوزسيس يتعارض مع نص كلفن والعكس صحيح (يمكن إثباته). بالتالي فالنص صورة واحدة من القانون الثاني.



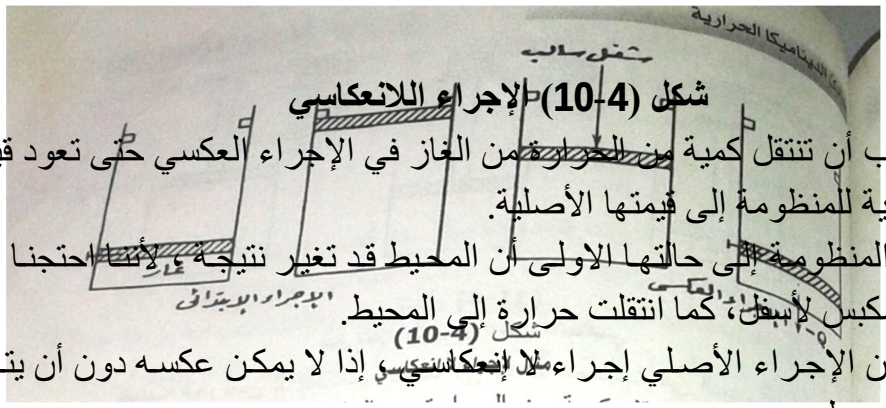
شكل (4-9)

7-4 الإجراء الانعكاسي:

يعرف الإجراء الإنعكاسي لمنظومة ما بأنه الإجراء الذي يمكن عكسه بعد حدوثه دون أن يترك أي تغير في المنظمة.

فبالنسبة لغاز داخل اسطوانة بها مكبس كما في الشكل (4-10) عند ضغط عالي ومحجزة المكبس الممنوع من الحركة بواسطة المسمار.

فإذا رفع المسمار يتحرك المكبس إلى أعلى ويصطدم بالمعدات. ولا شك أن المنظومة قد بذلت بعض الشغل، إذ أن المكبس قد رفع مسافة معينة لو فرضنا أننا أردنا إعادة المنظومة إلى حالتها الابتدائية فإن أحد الطرق الممكنة لعلم ذلك هي بذل قوة على المكبس في الأجراء العكسي أكبر منه في الإجراء الابتدائي يكون الشغل المبذول على الغاز في الإجراء الانعكاسي أكبر من الشغل الذي يبذله الغاز في الإجراء الابتدائي.



شكل (4-10) الإجراء اللانعكاسي

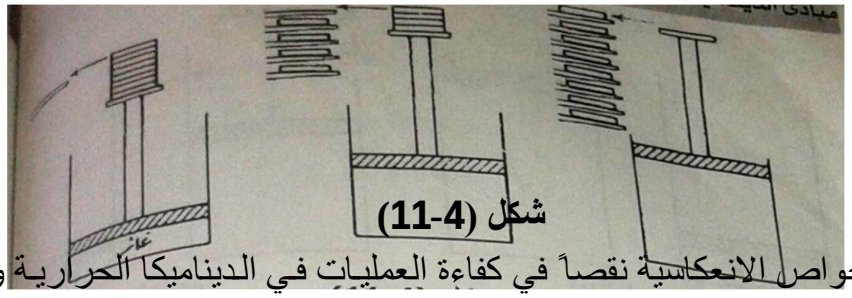
كذلك يجب أن تنتقل كمية من الحرارة من الغاز في الإجراء العكسي حتى تعود قيمة الطاقة الداخلية للمنظومة إلى قيمتها الأصلية.

وهكذا تعود المنظومة إلى حالتها الاولى أن المحيط قد تغير نتيجة لأننا احتجنا إلى شغل لرفع لمكبس لأسفل، كما انتقلت حرارة إلى المحيط.

وهكذا فإن الإجراء الأصلي إجراء لا إنعكاسي، إذا لا يمكن عكسه دون أن يترك تغييراً في المحيط.

في شكل (4-11) اعتبر أن للغاز في الاسطوانة هو المنظومة وحمل المكبس بعدد من الأثقال. دع الأثقل تنزلق أفقياً واحده تلو الآخر، لتسمح بالغاز بالتمدد وبذل شغل يرفع المكبس والأثقال الباقية عليه كلما كان عدد الأثقال كبيراً، ووزن كل ثقل صغيراً يمكن الوصول لإجراء يمكن عكسه ، إذ أنه عند كل مستوى للمكبس أثناء الإجراء العكسي يكون هناك ثقل صغير عند مستوى الحامل نفسه وبذا يمكن وضعه عليه دون الحاجة إلى شغل. وفي النهاية حينما تكون الأثقال صغيرة جداً فإنه يمكن الوصول إلى

الإجراء الانعكاسي ، بحيث تكون كلا من المنظومة والمحيط في حالته الأصلية نفسها ، مثل هذا الإجراء انعكاسي.



شكل (4-11)

تسبب الخواص الانعكاسية نقصاً في كفاءة العمليات في الديناميكا الحرارية ويكون تأثيرها في هذا الصدد مماثلاً لتأثير الاحتكاك الذي يمثل سبباً من أسباب اللانعكاسية، والعكس صحيح أيضاً فلا يمكن أن توجد إطلاقاً أي عملية ذات كفاءة أكبر من كفاءة العملية الانعكاسية بل لا يمكن مجرد تخيل مثل هذه العملية وذلك لأن العملية الانعكاسية تمثل تجديداً مثالياً لا يمكن أن يتحقق عملياً. ومع ذلك فهذه العمليات وذلك فهذه العملية الانعكاسية ذات أهمية نظرية كبيرة إذ أنها تسمح بحساب الشغل بمعرفة خواص النظام وحدها. وبالإضافة إلى ذلك فهي تمثل قياساً مثالياً لا يمكن تجازه للأسباب الآتية:

1. لأنها تحدد النهاية العظمى للشغل الممكن الحصول عليه من عملية معينة منتجة للشغل.
2. يحدد القيمة الصغرى للشغل المبذول في عملية تحتاج إلى شغل.

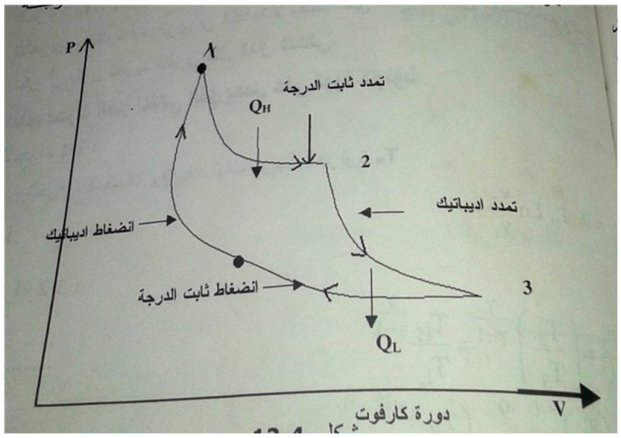
8-4 دورة كارنو:

أدرك كارنو بأنه لكي يتم تحويل الحرارة إلى شغل بأعلى كفاءة يجب أن يتبع الآتي:

أ) أن تتكون الدورة من سلسلة من الإجراءات كل منها قابل للعكس بمعنى وأن كل الإجراءات إنعكاسية.

ب)كل الحرارة المضافة في الدورة تضاف عند أقصى درجة حرارة وكل الحرارة المفقودة تكون عند أدنى حرارة.

وعلى ذلك تكونت دورة كارنو من أربعة إجراءات إنعكاسية إجرائيتين منهم عند درجة الحرارة والإجرائتين الأخريتين أديباتيك بدون تبادل حراري بين النظام والوسط المحيط



شكل (4-12)

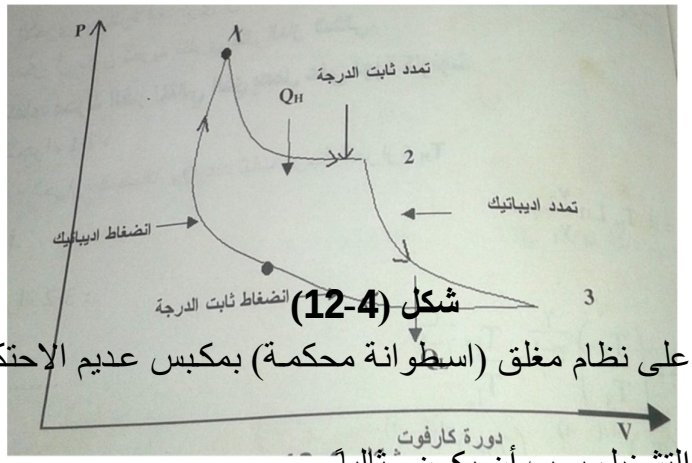
شكل (4-12) بالترتيب الآتي:

أ) إجراء تمدد ثابت الدرجة لمائع الشغل عند اقصى درجة حرارة T_H من الحالة (1) إلى الحالة (2) ويتم خلاله امتصاص كمية من الحرارة.

ب)وإجراء تمدد أدبياتيك من الحالة (2) إلى الحالة (3) تنخفض فيه درجة حرارة (مائع التشغيل من درجة حرارة T_H إلى درجة حرارة T_l درجة حرارة الوسط البارد).

ج) إجراء إنضغاطي ثابت الدرجة T_l (درجة حرارة المستودع البارد) من الحالة (3) إلى الحالة (4) ويتم في هذا الإجراء فقد كمية الحرارة Q_H إلى المستودع البارد.

د) إجراء انضغاطي أديباتيك من الحالة (4) إلى الحالة (1) ترتفع فيه درجة حرارة مائع التشغيل من T_l إلى T_H



شكل (4-12)

وعند تطبيق الدورة على نظام مغلق (اسطوانة محكمة) بمكبس عديم الاحتكاك يجب تلبيه المتطلبات الآتية:

أ) بالنسبة لمائع التشغيل يجب أن يكون مثالياً.

ب)مكبس عديم الاحتكاك مع الاسطوانة تامة الاحتكاك بواسطة المكبس وكلاهما تام العزل.

ج) يجب أن يكون رأس الاسطوانة من مادة جيدة التوصيل للحرارة.

د) مستودع حراري ساخن (خزان حراري) بسعة لانهائية عند درجة الحرارة القصوى T_H..

ه) مستودع حراري بارد (خزان حراري) سعة لانهائية عند درجة الحرارة الأدنى T_l.

و) يجب أن تنجز كل الإجراءات بالدورة ببط شديد لأنها إجراءات إنعكاسية ويمكن بسهولة إثبات أن المحرك الذي يعمل على دورة كارنو وبين درجة الحرارة T_H، T_l وله أعلى كفاءة ممكنة لذا فهو يمثل المثالية وتقارن به المحركيات الأخرى. وبنظره أبعد نرى أن الكفاءة لا تعتمد على مائع التشغيل المستخدم ولا يمكن أن يكون تجديد نظري مثل الغاز المثالي

4-8-1 كفاءة محرك الغاز المثالي الذي يعمل على دورة كارنوت:

الإجراء 1-2:

كمية الحرارة المضافة Q_H عند ثبات درجة الحرارة T_H:

$$Q_H = RT_H l_n \frac{V_2}{V_2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \text{(i)}$$

الإجراء (2-3):

$$\left[\frac{T}{1_3}\right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{T_{H\gamma^{p}-1}}{T_l} = \left[\frac{T_H}{T_l}\right]^{-1(-1)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (ii)$$

الإجراء (3-4):

كمية الحرارة المفقودة Q_l:

$$Q_l = RT_l \, l_n \frac{v_1}{v_2} \text{.....(iv)}$$

الإجراء (1-4)

$$\frac{P_1}{P_4} = \frac{T_1}{T_4}^{\gamma^{\gamma-1}} = \frac{T_H}{T_l}^{\gamma^{\gamma-1}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (v)$$

من المعادلة (iii)والمعادلة (vi)

$$\frac{V_1}{V_4} = \frac{V_2}{V_3} \implies \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

بالتعويض في المعادلة (iv) تصبح

$$Q_2 = RT_l \, l_n \frac{V_2}{V_1}$$

ومن (*i*):

$$Q_4 = RT_H \, l_n \frac{V_2}{V_1}$$

2-8-4 كفاءة دورة كارنو η_c:

$$\eta_c = \frac{dw}{dQ} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

$$\oint \frac{dw}{dQ} = \frac{QH - Ql}{QH}$$

$$= 1 - \frac{Q_l}{Q_H}$$

$$= 1 - \frac{RT_2\, m(V_2/V_1)}{RT_H\, m(V_2/V_1)}$$

$$= 1 - \frac{T_l}{T_H} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

وبما أنا الدورة إنعكاسية أي بعكسها نحصل على دورة المضخة الحرارية الثلاجة:
معامل الأداء لمضخة حرارية تعمل على دورة كارنوت $\beta_{H.C}$:

$$\beta_{H.C} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_l} = \frac{1}{1 - \frac{Q_2}{Q_H}} = \frac{1}{1 - Q_1/T_H} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

معال الأداء لثلاجة على دورة كارنوت :

$$\beta_{R.C} = \frac{Q_l}{Q_H - Q_l} = \frac{1}{1 - \frac{Q_H}{Q_2}} = \frac{1}{1 - \frac{T_H}{T_2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

4-9 نتائج القانون الثاني:

نتيجة (1):

لا يمكن إنشاء محرك حراري يعمل بين مصدرين حراريين كل لعمل بين درجتي الحرارة $(T_H \text{ ، } T_l)$ بكفاءة أكبر من محرك إنعكاس يعمل بين درجتي الحرارة.

نتيجة (2):

كل المحركات الحرارية اللانعكاسية التي بين مصدرين حراريين لهما درجتي حرارة ثابتتين $(T_H \text{ ، } T_l)$ لها نفس الكفاءة.

نتيجة (3):

كفاءة أي محرك انعكاسي يعمل بين مصدرين $(T_H \text{ ، } T_l)$ لا تعتمد على طبيعة وسط التشغيل ولكنها تعتمد فقط على درجتي حرارة المصدرين الحراريين $(T_H \text{ ، } T_l)$.

أي من النتائج السابقة يمكن اتباتها وذلك بأن صحة كل منهما لا يتعارض مع أي قانون للديناميكا الحرارية.

مثال:

ما هي القدرة المطلوبة لتشغيل محرك حراري انعكاسي يعمل بين درجتي حرارة $18C^o$، $4C^o$ لإنتاج 1200 kg من الثلج في الساعة عند $4C^o$ من ماء عند $15C^o$ علماً بأن:

- الحرارة النوعية للثلج تساوي 2.0 934 kj/kg.k
- والحرارة النوعية للماء تساوي 4.2 kj/kg.k.
- والحرارة النوعية الكامنة تساوي334.5 934 kj/kg.k

الحل:

$$C.O.P = \frac{Ql}{W}$$

$$= \frac{Q_l}{Q_H - Q_l} = \frac{T_l}{T_H - T_l} = \frac{269}{291 - 269} = 12.23$$

الحرارة الممتصة Q_2 :

$$Q_2 = \frac{1200}{3600}(15 - 0)4.2 + 334.5 + 2.0934\,(0 - 4)$$

$$= 119.5\ kw$$

القدرة المطلوبة لتغشيل المحرك *W*:

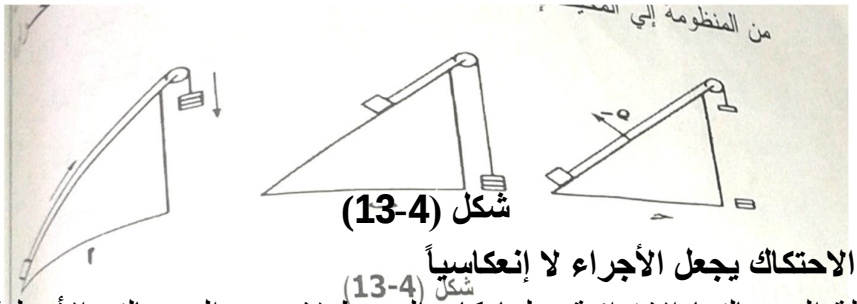
$$W = \frac{119.5}{12.23} = 9.76kw$$

4-10 العوامل التي تجعل الإجراءات لا إنعكاسية:

هناك عوامل كثيرة تجعل الإجراءات لا إنعكاسية وسوف نناقش في هذا الجزء أربعة من هذه العوامل:

4-10-1 الاحتكاك:

من الواضح الاحتكاك يجعل الإجراء لا إنعكاسياً، ولا يحتاج هذه النقطة فتستخدم منظوم مكونة من كتلة وسطح مائل كما هو مبين بشكل (3-3) فإذا شدت الكتلة إلى أعلى السطح المائل بواسطة ثقل ينخفض إلى أسفل فإن مقداراً معيناً من الشغل يلزم لعمل ذلك، يستفيد جزء من هذا الشغل للتغلب على الاحتكاك بين الكتلة والسطح ويستنفذ جزء لزيادة طاقة الوضع للكتلة يمكن إعادة الكتلة إلى وضعها الابتدائي بإزالة بعض الأثقال حتى تنزلق الكتلة إلى أسفل السطح ويلزم انتقال بعض الحرارة من المنظومة إلى المحيط لإعادة درجة حرارة.



شكل (4-13)

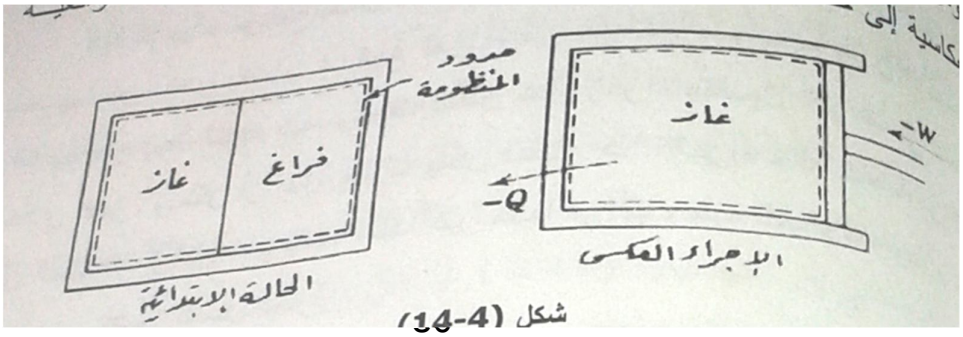
إيضاح أن الاحتكاك يجعل الأجراء لا إنعكاسياً

الكتلة إلى حالتها الابتدائية. ولما كان المحيط لا يعود إلى حالته الأصلية عند نهاية الإجراء العكسي، فإننا نستنتج أن الاحتكاك قد جعل الإجراء لا إنعكاسياً وهناك نوع آخر من الاحتكاك يقترن بانسياب الموائع اللزوجية في الأنابيب والممرات كما يقترن بحركة الأجسام خلال موائع اللزوجة.

4-10-2 التمدد غير المقيد:

يوضح شكل (4-13) المثال التقليدي للتمدد-غير المقيد حيث يكون غاز ما منفصولاً عن حيز مفرغ بوساطة غشاء عند كسر الغشاء يملأ الغاز كل الوعاء ويمكن بيان أن هذا الإجراء لا إنعكاسي وذلك بفحص الإجراء اللازم لإرجاع المنظومة إلى حالتها الإبتدائية ، وهذا يستلزم ضغط الغاز ونقل حرارة من الغاز حتى نصل إلى الحالة الأصلية وحيث أن الشغل وانتقال الحرارة يقترنان بتغير في المحيط، فإن المحيط لا يعود إلى حالته الابتدائية ولذا فإن التمدد غير المقيد هو إجراء لا إنعكاسي والإجراء المشروح في كل (4-15) هو أيضاً مثال التمدد غير مقيد.

في التمدد اللانعكاسي لغاز يجب أن يوجد فرق منتاهي في الصغر بين القوة التي يبذلها الغاز والقوة التي تقيده ليكون معدل تحرك الحدود متناهياً في الصغر. وتبعاً لتعريفنا السابق فهذا إجراء به متزن، إلا أنه في الحالات الحقيقية يكون هناك فارق محسوس في القوى فيسبب معدلاً معيناً لتحرك الحدود وبذا تكون الإجراءات الواقعية لا إنعكاسية إلى حد ما.



شكل (4-14)

شكل (4-14) إيضاح أن التمدد غير المقيد الحر يجعل الإجراءات لا إنعكاسسية

4-10-3 انتقال الحرارة بسبب فرق محدد لدرجات الحرارة:

تأمل منظومة مكونة من جسمين ، أحداهما في درجة حرارة مرتفعة، والآخر في درجة حرارة منخفضة. دع حرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد. الطريقة الوحيدة لإعادة المنظومة إلى حالتها الأصلية هي باستخدام دورةة تبريد، وهذا يحتاج إلى شغل من المحيط، كما يحتاج إلى انتقال بعض الحرارة من المحيط، ونظراً لانتقال الحرارة والشغل فالمحيط لا يعود إلى حالته لابتدائية، وبذلك يكون هذا الإجراء لا إنعكاسياً.

يبرز الآن سؤال مهم : إذا عُرفت الحرارة بأنها الطاقة التي تنتقل نتيجة لوجود فرق في درجة الحرارة ، وقد بين توا أن انتقال حرارة بسبب فرق درجة حرارة هو إجراء لا إنعكاسي ، وعلى ذلك فكيف يمكن أن يكون إجراء الحرارة لا إنعكاسياً؟

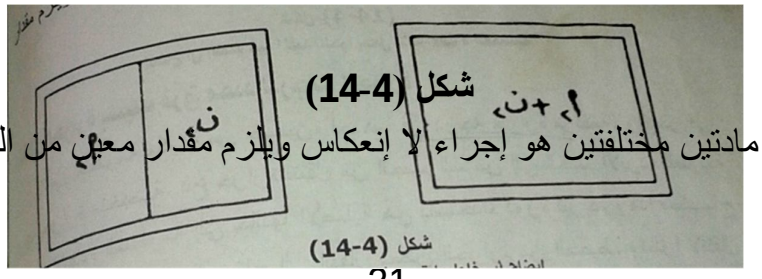
والجواب هو أنه يمكن الوصول إلى إجراء انتقال الحرارة اللاإنعكاسي عندما يقترب الفرق في درجة الحرارة خلال فرق متناهي الصغر في درجة الحرارة ويستلزم هذا مقداراً لا نهائيا من الزمن أو مساحة لا نهائية لذلك فإن كل إجراءات انتقال الحرارة الحقيقة تتم خلال فارق محسوس في درجة الحرارة، أي أنها لا انعكاسية ، وكلها كبر الفرق في درجة الحرارة ازدادت اللا انعكاسية إلا أننا سنجد مفهومانتقال الحرارة لا إنعكاسي مقيداً جداً في وصف الإجراءات المثالية.

انتقال الحرارة بسبب فرق محدد لدرجات الحرارة:

تأمل منظومة مكونة من جسمين، أحداهما في درجة حرارة مرتفعة والآخر (مكتوب في الصفحة التي قبلها).

خلط مادتين مختللفتين:

هذا الإجراء موضح بشكل (4-14) الذي يبين غازين مختلفتين مفصولين بعضهما عن بعض بغشاء ، إذا قطع الغشاء فإن خليطاً متجانساً من الأكسجين والنتروجين يملأ الحجم كله وسوف نناقش هذا الإجراء بتفصيل أكبر في الفصل التالي: ويمكن أن يقال هنا أنه يمكن اعتبار هذا الإجراء حالة خاصة من التمدد غير المقيد وأن كل غاز يتمدد-تمدداً غير مقيداً في أثناء ملئه للحجم كله ويلزم مقدار معين من الشغل لفصل الغازين.



شكل (4-14)

أيضاح أن خلط مادتين مختلفتين هو إجراء لا إنعكاس ويلزم مقدار معين من الشغل لفصل الغازين

حيث $C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$ تسمى بالحرارة النوعية تحت حجم ثابت وتكون خاصية من خواص المادة وتابعة لدرجة الحرارة والحجم النوعي.
أما في درجات حرارة محدودة فيكون متوسط الحرارة النوعية C_{vm}:

$$C_v m = \frac{1\ q_1}{T_2 - T_1}$$

تمارين:

1. أوجد الكفاءة الحرارية لمحرك حراري يعمل وفقاً دورة كارنوت بين درجتي حرارة $(T_l = 315C^o)$ ، $(T_H = 1370C^o)$
$$\eta = 64.21\%$$
2. معامل الأداء لثلاجة وفق دورة كارنوت تعمل بين درجتي حرارة $(T_l = 0C^o)$ $(T_H = 40C^o)$ [β = 0.83]
3. أوجد معامل الأداء لمضخة حرارية تعمل وفق كارنوت بين درجتي حرارة ($T_H =$ $20C^o$) $(T_l = 10C^o)$ [β = 9.77]
4. دورة حرارية معامل أدائها (4.5) في حالة تشغيلها كمبرد فكم معامل أداء الدورة إذا تم تشغيلها كمضخة حرارية [β = 5.5]
5. محرك حراري يعمل بين درجتي حرارة $(T_H = 400C^o)$ و $(T_l = 120C^o)$ وينتج صافي قدره ميكانيكية (80kw) إذا كان هذا المحرك يعمل وفق دورة كارنوت فما مقدار الكفاءة الحرارية لهذا المحرك وما معدل الحرارة المستقلة إلى المحرك $(Q_H = 192.33kw)$ (47.6%).
6. مبرد وضع مبرد بغرفة درجة حرارتها $(T_H = 27C^o)$ في حين كانت درجة المبرد الداخلية $(T_c = -40C^o)$ وكان معدل الطاقة الحرارية التي يتم سحبها من مواد مخزنة بهذا المبرد (1.25 kw) أوجد:
   - أقصى معامل أداء لهذا المبرد. (β = 3.48)
   - أدنى قدرة تشغيل مطلوبة لتشغيل ضاغط المبرد (W= 0.359 X W)
7. ثلاجة تعمل وفق دورة بين خزانين حرارتين، حيث تستقبل كمية من الطاقة بمعدل (G_1) من خزان بارد درجة حرارته T_l = 250k وتطرد كمية أخرى بمعدل (QH) إلى خزان ساخن درجة حرارته (T_H= 300k). المطلوب توضيح ما إذا كانت المعلومات التالية هي لدورة ثلاجة انعكاسية. أو لا إنعكاسية (حقيقية) أم لدورة مستحيلة الحدوث.

a- Ql = 1000 KW , W = 400 KW

b- Q_H = 2200KW , W = 2000KW

c- Q_H = 3000KW , W = 500 KW

d- W = 400KW , β = 0

8. محركات حرارية تعمل وفق دورة بين خزائن حراريين، حيث تستقبل طاقة حرارية بمعدل (QH) من خزان ساخن درجة حرارته (T_H= 200k) وتطرد آخر بمعدل (Q_l) إلى خزان بارد درجة حرارته (T_l= 400k) المطلوب ما إذا كانت المعلومات التالية هي لدورة محرك حراري إنعكاسي أو إلى انعكاسي (حقيقة) أم مستحيلة الحدوث؟

a- Q_H = 1000kw , W_{net} = 850kw

b- Q_H = 2000kw , Ql = 400

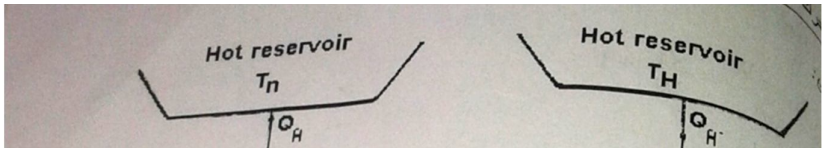
9. مخترع يدعى أنه قام بتطوير ثلاجة معامل أدائها (7) يمكنها حفظ مواد عقد درجة حرارة (T_l =10C^o) ، في جو غرفة درجة حرارتها (T_H =25C^o) فكيف يمكن التأكد من صحة هذا المخترع؟

10. يقترح تدفئة منزل في فصل الشتاء باستخدام مضخة حرارة وذلك لإبقاء درجة حرارة المنزل (T_H =20C^o) طوال الوقت في حين كانت درجة حرارة الجو الخارجي (T_l =-10C^o) ، وكان معدل الفقد الحراري من المنزل إلى الجو الخارجي (25kw) أوجد أقل قدر مطلوبة لتشغيل المضخة [W= 2.85KW].

11. مضخة حرارية معامل أدائها (5) والقدرة المطلوبة لتشغيلها (150؛) ، أوجد معدل انتقال الحرارة المطرودة من المضخة مد استخدات لتخسين ماء سائل من درجة حرارة (T_l =50C^o) إلى درجة حرارة (T_H =70C^o).
أوجد معدل سريان الماء (m = 2.98kg) علماً بأن السعة الحرارية لها (C=4.2kg/gk)

12. المعلومات المدونة لاحقاً يدعى أنها لمجموعة محركات حرارية تعمل بين درجتي حرارة (T_H = 727C^o) و (T_C = 127C^o) المطلوب التأكد من صحة هذه المعلومات (أي لا تتعارض مع قوانين الديناميكا الحرارية).

المحرك الأول	Q_C = 140 kw	W_{net} = 160 Kw	Q_H = 300Kw
المحرك الثاني	Q_C = 180 kw	W_{net} = 180 Kw	Q_H = 300Kw
المحرك الثالث	Q_C = 140 kw	W_{net} = 170 Kw	Q_H = 300Kw



الحل:

شكل (4-15)

1- T_H = 1370 + 273 = 164K

T_l = 315 + 273 = 588k

$$\eta_C = 1 - \frac{T_l}{T_N}$$

$$\eta_C = 1 - 588/1643 = 64.21\%$$

$$\beta_C = \frac{Q_l}{W} = \frac{1}{Q_H/Q_2} = \frac{1}{T_h/T_{2-1}} = \frac{1}{\frac{40 + 273}{0 + 273}} = 6.83$$

2- $\beta_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_l}{Q_H}}$

$$\beta_H = \frac{1}{1 - T_l/T_H} = \frac{1}{1 - \frac{10 + 273}{20 + 273}} = 9.77$$

3- $\beta_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_l + W}{W} = \frac{Q_l}{W} = \frac{Q_l}{W} + 1$

$\beta_H = \beta_R + 1$

$$W = 80kw = Q_H - Q_l$$

4- $\beta_H = \beta_R + 1 = 4.5+1 = 5.5$

5- W=80KW = $Q_n - Q_l$

$$\int = 1 - \frac{Q_l}{Q_H} = 1 - \frac{T_l}{T_H}$$

$$= 1 - \frac{120 + 273}{400 - 273} = 41.6\%$$

$$Q_l = 1.25kw$$

6- $\beta_H = \frac{Q_l}{W} = \frac{Q_l}{Q_H - Q_l}$

$$\beta_{T.l} = \frac{1}{T_H \backslash T_L - 1}$$

أعلى أداء يكون عند العمل على دورة كارنوت:

$$= \frac{1}{\frac{27 + 273}{-40 + 273} - 1}$$

$$3.48 = \frac{1.25}{W}$$

$$\therefore W = 0.359KW$$

Ql = 1000kw

W = 400 kw , $Q_4 + Q_l = W$

1000 + 400 = 1400

باستخدام متباينة كلاوزيوس:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_l}{T_l}$$

$$-\frac{1400}{300} + \frac{1000}{250} < 0$$

الثلاجة لا إنعكاس (حقيقة)

β_a = معامل الأداء الحقيقي ، Q_H = 2200kw, Q_2 = 2000kw

$$\beta_a = \frac{Q_l}{W} = \frac{Q_l}{Q_H - Q_l} = \frac{2000}{2200 - 2000} = 10$$

$$\beta_C = \frac{1}{T_H/T_l - 1} = \frac{1}{300/250 - 1} = 5$$

11-4 مبادي الديناميكا الحرارية:

وحيث أن معامل الأداء لدورة كارنو (β_C) أكبر من معامل الأداء للدورة المعطاة (β_R) فإن ادعاء المصمم يكون صحيحاً.

$$-\frac{1}{\frac{T_l}{T_H}}$$

$$-\frac{1}{\frac{-10+273}{1-20+273}}$$

$$= 9.77$$

$$9.77 = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_l + W}{W} = \frac{Q_l}{W} + = 8.77$$

$$\frac{Q_H}{W} = 8.77 \rightarrow W = 2.85kw$$

$$\beta = 5 \quad , \quad W = 50kw$$

$$\frac{Q_H}{50} = \rightarrow Q_H = 250kw$$

$$= Q_H - W \backsimeq 250 - 50 = 200kw$$

$$= m \,.\, c \,.\, \Delta T$$

= (20) . (4.2)

= 2.98kg

بالنسبة للمحرك الأول من القانون الأول:

$$Q_H - Q_l$$

300 – 140 = 160kw

وهذه المعلومات لا تتعارض مع القانون الأول وبالبنسبة للمحرك الثالث من القانون الأول 300 – 140 = 160kw وهذا يتعارض مع القانون المعطاة وبالتالي تتعارض مع القانون وأيضاً لا نلجأ للقانون الثاني لتطبيقه.

$$\eta_C = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$= 1 - \frac{127+273}{227+273} = \quad 0.5$$

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

$$= \frac{160}{300} \qquad = 0.53$$

حيث أن $\eta_C > \eta$

لتعارض المعلومات المعطاة مع القانون الثاني بالنسبة للمعدل الثاني..

القانون الأول $W_{net} = 300 - 180 = 120$ وهي تتعارض مع المعلومات المعطاة .

إذاً المعلومات المعطاة تتعارض مع القانون الأول ، وبالتالي لا يلجأ لتطبيق القانون الثاني.

12-4 الانتروبي:

عند تناولنا للقانون الثاني أخذنا في الاعتبار الدورات والتي تقابلنا ولكن في بعض الأحيان نحتاج أن نتعامل مع الإجراءات والتي تقابلنا في الكثير من حياتنا.

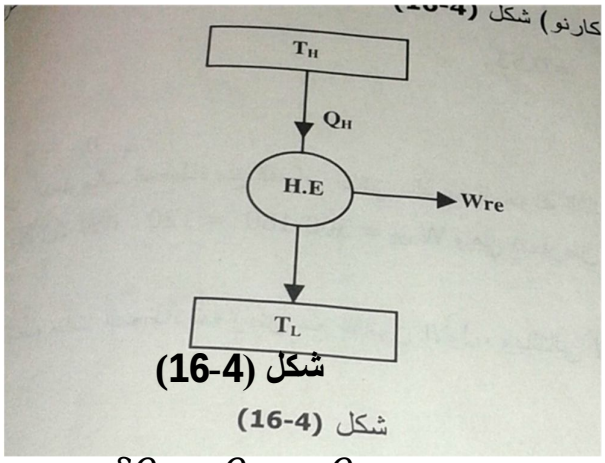
مثل إجراء الاحتراق في محرك السيارة وتبريد قدح القهوة أو العمليات في أجسامنا.

وفي هذا الباب نجد خاصية جديدة مستنتجة من القانون الثاني تكمن في معالجة الإجراءات كمياً وهي خاصية الانتروبي ولأهمية هذه الخاصية وصف علم الديناميكا الحرارية بأنه علم الطاقة والانتروبي ، وسوف يتضح ذلك من الدراسة.

13-4 متباينة كلاوزيوس:

1. دورة انعكاسية.

يمكن تمثيل أي دور انعكاسية بسلسلة من دورات كارنو ولذلك سوف نعتبر دورة لمحرك حراري انعكاسي يعمل بين مستودعين حراريتين عند درجات حرارة T_H ، T_l (دورة كارنو).



شكل (4-16)

شكل (4-16)

فإن

$$\frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_l}{T_l}$$

فمن تعريفات درجات الحرارة المطلقة وكفاءة المحرك المثالي:

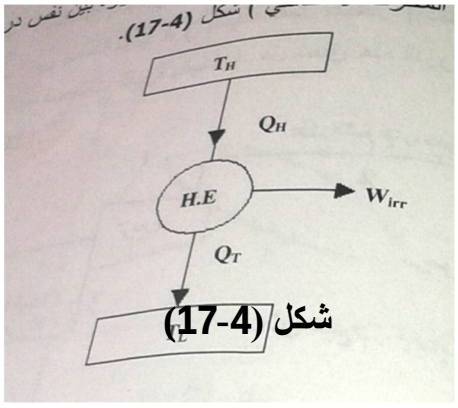
$$1\ \frac{Q_l}{Q_H} = 1 - \frac{T_l}{T_H} \qquad \therefore \frac{Q_l}{Q_H} = \frac{T_l}{T_H}$$

وبنفس الطريقة يمكن عمل المحاولات معادلة لدورات المبردات الإنعكاسية التي تؤدي بها إلى نفس الاستنتاجات وعلى ذلك يمكن كتابة الآتي وهي $S_{rr} = 0$ وهي ما يعرف بمعادلة كلاوزيوس، وحيث يكون التساوي قائماً على حالة الدورات الانعكاسية وباستخدام معادلة كلاوزيوس محطة مولد قوى بسيطة تعمل بالبخار (تختلف هذه الدورات من الدورة العالية لمحطات القدرة بالبخار) هل تحقق هذه الدورة متباينة كلاوزيوس شكل (4-18).

$$\oint \frac{\delta Q}{T}$$

بالتعويض من (2) في (1):

أن لكل دورات المحركات الحرارية الانعكاسية يكون $\oint \frac{SQ}{T}$ دورة لا انعكاسية لنأخذ محرك غير إنعكاسي يعمل تبعاً لدورة بين نفس درجتي الحرارة T_H ، T_l (درجتي المحرك الانعكاسي) (4-17)



شكل (4-17)

باستعمال القانون الثالث:

Wirr < Wrer

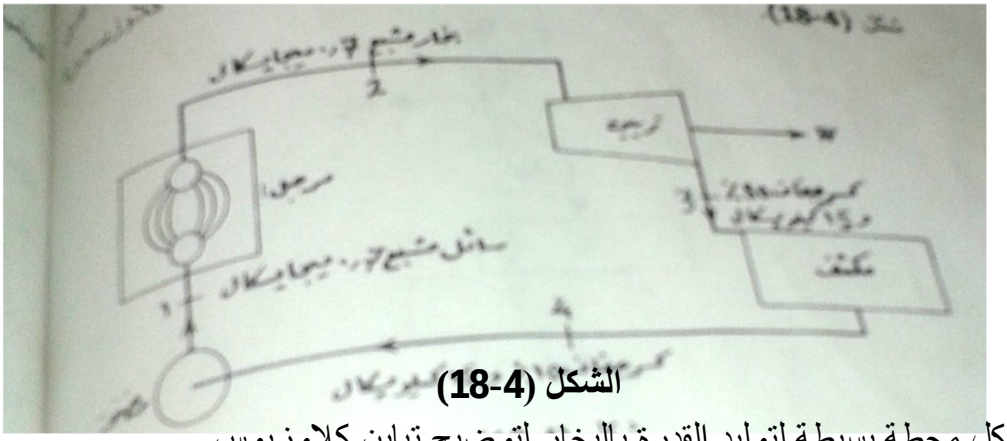
$$Q_H - Q_L < Q_H - Q_L$$
$$Q_L > Q_L$$

وبالتالي نجد أن:

$$\frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_l}{T_l} < 0$$

وبنفس الطريقة يمكن عمل محاولات معادلة الدورات للمبردات الإنعكاسية التي تؤدي بها إلى نفس الاستنتاجات وعلى ذلك يمكن كتابة الآتي وهي $S = 0$

وهي ما تعرف بمعادلة كلاوزيوس، وحيث يكون التساوي قائماً على حالة الدورات اللاإنعكاسية وباستخدام معادلة كلاوزيوس بالنسبة لمولد قوي بسيطه تعمل بالبخار (وتختلف هذه الدورة من الدورة العالية لمحطات القدرة بالبخار) . هل تحقق هذه الدورة متباينة كلاوزيوس.



الشكل (4-18)

هذا الشكل محطة بسيطة لتوليد القدرة بالبخار لتوضيح تباين كلاوزيوس .

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \left[\frac{\delta Q}{T}\right] B + \int_3^4 \left(\frac{\delta Q}{T}\right) C$$

$$\frac{12^Q}{T_1} + \frac{24^Q}{T_2} \backsimeq b_2 - b_1 = 20663\ KJ/kg$$

$T_1 = 35 - 97 + 273\ k$

$$q^o = h_4 - h_3 = 463.4 - 2361.8 = -1898 - 4 kg/kg$$

$T_3 = 35 - 97 + 273\ k$

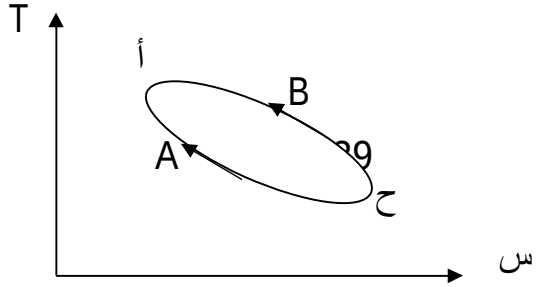
$$\therefore \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{2066.3}{164.97 + 273} - \frac{1898.4}{53 - 97 + 273} = -1.087\ kj/kg$$

وهذا يتفق متباينة كلاوزيوس وبالتالي لا يتعارض مع القانون الثاني في الديناميكا الحرارية.

$$\oint \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev} = 0$$

$$\therefore 0 = \int_{1A2} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev} + \int_{2B1} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev}$$

$$\int_{1A2} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev} = -\int_{2B1} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev}$$



شكل (4-19)

$$\int_{1A2} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev} = \int_{2B1} \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev}$$

أي أن تكامل القيمة $\frac{\delta Q}{T}$ على أي جزء إجراء انعكاسي بين الحالتين فمنه النظام يعطي قيمة ثابتة وبالتالي يمكن اعتبار قيمة التكامل بين الحالتين 2 و 1 خاصية ويعطي النظر عن نوع الإجراء وفإن $\int \frac{\delta Q}{T}\Big)_{rev}$ تعتبر عن خاصية (حيث تعتمد على الحالة 1 أو الحالة 2 لا تعتمد على المسار بينهما) أطلق عليها اسم الانتروبي ويروز لها بالرمز S :

$$\Delta S = \int_{1}^{2} \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rov}$$

$$\Delta S = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{ror}$$

حيث *ror* يعني أن الإجراء انعكاسي وعلى ذلك فالتعبير في الانتروبي مقياس لتغير الحالة :

$$S_2 - S_1 > \int_{1}^{2} \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{r}$$

وهي خاصية ابتدائية اعتمدت في تعريفها على الإجراء الإنعكاسي إما تكامل القيمة $\left(\frac{\delta Q}{T}\right)$ على مسار إجراء غير انعكاسي فإنه لا يساوي التغير في الانتروبي بل يكون أصغر من قيمة التغير في الانتروبي حيث:

$$\int_{1}^{2} \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{r} > \int_{1}^{2} \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{or}$$

$$S_2 - S_1 > \int_{1}^{2} \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{or}$$

ويمكن استنتاج هذه المتباينة باستخدام متباينة كلاوزيوس على دورتين الأولى، حيث الدورتين انعكاسيين (*2 A 1*) ، (*1 B 2*) والثانية ذات إجراء إنعكاسي (*1A2*) والإجراء لا انعكاسي (*2B2*) ثم الطرح

من ذلك تكتب المتباينة بشكل عام الإجراءات الانعكاسية والغير إنعكاسية.

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

وفي حالة الأنظمة المعزولة حرارياً (أديباتيك).

أما في التغير في الانتروبي لإجراء أديباتيك $S_2 - S_1 \geq 0$

غير إنعكاسي يساوي صفر والإجراء الأخير تكون في حالة الانتروبي ثابتة ويسمى إجراء إيزونتروبيك.

14-4 أنتروبي المادة النقية:

تعتبر الانتروبي خاصية شاملة إذ تعتمد على الكتلة وبالتالي يمكن جولة الانتروبي النوعي (الأنتروبي لوحدة الكتلة) في جداول الخواص للبريناميكا الحرارية لبقية الخواص) (*u, h, u*)للمواد المختلفة (البخار) الأمونيا ، الفريون ..) ويرمز لها بالرمز (*S*) ووحدتهما (*kJ/kg.k*).

لكونها خاصية توخذ كمحور للإحداثيات كبقية الخواص. وتستخدم مخططات ليبد (عالم ألماني) (*h*-s) كمخططات لبخار على مدى واسع والملامح العامة بهما مشابها لكل المواد (شكل 4-20) وفي منطقة التشبع تستخدم نفس المعادلة السابقة.

استعمال كسر الجفاف المستخدمة *h, u, J* حيث *S* .

وقيم الانتروبي للسائل المضغوط مدونة بالجدول بنفس الطريقة المدونة بها الخواص الأخرى.

وهذه الخواص أساساً دوال في درجة الحرارة ولا تختلف عن خواص السائل المشبع عند نفس الدرجة وأن أنتروبي السائل المضغوط أقل منها مثل المشبع عند نفس درجة الحرارة لكل درجات الحرارة المجدولة عدا درجات الصفر المئوي كما يجب أن تتذكر بأنه لمعظم المواد يكون الفرق في الانتروبي.

السائل المضغوط والسائل المشبع عند درجة الحرارة نفسها طفيفاً (إجراء بثبوت الضغط برسم عادة منطبقاً على خط السائل المشبع) شكل (4-20) أن نتفهم الشكل العام لهذه الخطوط حين نبين إجراء ضخ السوائل وحيث أننا قد أيدنا هذه الملاحظة للماء يجب أن نذكر أنه لمعظم الفرق في الانتروبي بين السائل المضغوط والسائل عند درجات الحرارة نفسها بحيث أن إجراء تسخين سائل بثبوت الضغط برسم عادة منطبقاً على خط المشبع حتى

نصل إلى درجة التشبع كما في الشكل (4-20) وهكذا فلو سخن ماء ميجا بسكال وصفر مئوي إلى درجة حرارة التشبع يمثل إجراء التسخين الذي ينطق على خط تبع السائل.

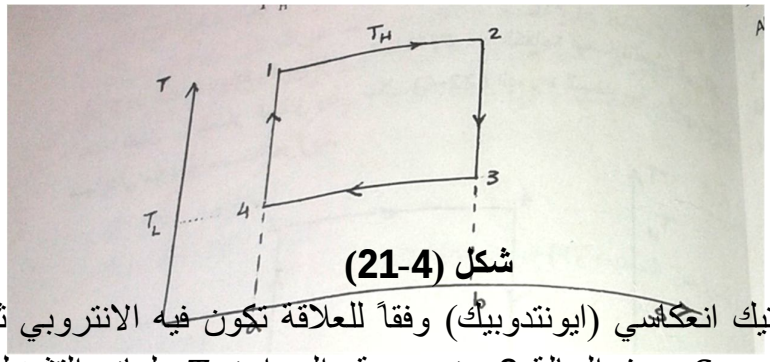
شكل (4-20) خريطة درجة الحرارة – الانتروبي توضح خواص السائل المضغوط (ماء)

4-15 الانتروبي للإجراءات الانعكاسية:-

من المعروف أن دورة كارنو تعتبر مثالاً للإجراءات الانعكاسية (أربعة دورات انعكاسية). ولذلك سوف تعتبر أن مائع التشغيل لمحرك حراري يعمل تبعاً لدورة كارنو هو النظام.

والشكل (4-17) يوضح هذا الإجراء وتمثل المساحة تحت المنحنى (2-11-1) (*2-b-2*) الحرارة المتنقلة إلى مائع التشغيل خلال هذا الإجراء.

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_r = \frac{1}{T_H} \int_1^2 \delta Q = \frac{{}_1Q_2}{T_H}$$



شكل (4-21)

الجزء الثاني أديباتيك انعكاسي (ايونتدوبيك) وفقاً للعلاقة تكون فيه الانتروبي ثابتة ويمثله الخط 2-3 . $S_2 = S_1$ حيث الحالة 3 عند درجة الحرارة T_l لمانع التشغيل والإجراء الثالث إجراء انعكاس.

عند ثبوت درجة الحرارة تنتقل في اثنائية حرارة مائع التشغيل إلى خزان الحرارة.

4-16 الحرارة ذات درجة الحرارة المنخفضة.

$$S_4 - S_3 = \int_3^4 \left[\frac{\delta Q}{T}\right] = \frac{{}_3Q_4}{T_L}$$

وتمثل المساحة تحت الخط 3-5 (*3-4 – a- b- 3*) الحرارة المنتقلة من مائع التشغيل إلى خزان الحرارة المنخفضة ونذكر هنا بأن انتقال الحرارة هنا بالسالب يقابله تغير في الانتروبي بالسالب بعكس إجراء 1-2 كان انتقال الحرارة بالموجب يقابله تغير في الانتروبي بالموجب.

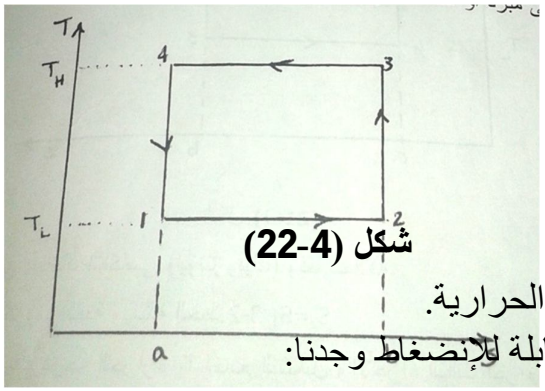
الإجراء الرابع الذي يتم الدورة أيونتروبيك:

وحيث أن الشغل الصافي للدورة يساوي صافي الحرارة المنقولة يتبين المساحة (1-1-2-3-4) تمثل الشغل الصافي للدورة كفاءة الدورة *m+h*.

$$\eta + h = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{\text{المساحة} - 2 - 3 - 4 - 1}{\text{المساحة} - 2 - \gamma - \text{ش} - 1}$$

$$\therefore = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

أي تزداد الكفاءة بزيادة T_H مع بقاء T_L ثابتة وتزداد الكفاءة أيضاً لتصل إلى 100 عندما تصل T_L للعنصر المطلق ويبين الشكل (4-22) الدورة المعكوسة والتي تحصل منها على مبرد أو مضخة حرارية.



شكل (4-22)

الاثنين هامتين في الديناميكا الحرارية.

القانون الأول لمادة بسيطة قابلة للإنضغاط وجدنا:

SQ = dU + SW .....(1)

(عند إهمال طاقتي الحركة والوضع):

لإجراء إنعكاسي عادة انضغاطية:

SQ = Tds , SW = PdV .....(2)

من (1) و(2)

$$\therefore Tds = du + PdV$$

تعبر المعادلة (1) عن العلاقة بين الخواص في الإجراء الإنعكاسي بين الحالتين (الابتدائية والنهائية) فإن المعادلة (2) تكون أيضاً صالحة لأن التغير من الخواص لا يعتمد على المسار لكنه يعتمد فقط على الحالتين الابتدائية والنهائية فبالتالي فإن التغير في الخواص في الإجراء الانعكاسي هو نفسه في الإجراء الغير إنعكاسي وتصبح المعادلة (3) صالحة للإجراءاين:

$$\therefore H = U + PV$$

$$\therefore dH = dU + d(PV) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$\therefore dU = dH - PdV - VdH.$$

بتعويض عن المعادلة (4) في المعادلة (3)

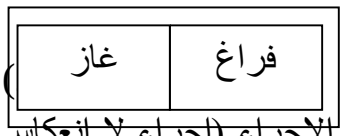
بوحدة الكتلة:

$$Tds = dH - VdP \implies dH - VdP \implies dU + Pdu \implies dh.\ UdP$$

بوحدة الجزئي.

4-17 الشغل المفقود:

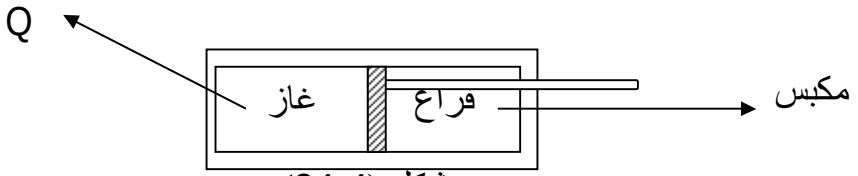
نفترض وعاء غشاء رفيق يفصل بين الغاز والفراغ شكل (4-23) يحدث في الغشاء ثقباً صغيراً بحيث: يملأ الغاز الحجم كله يفرض أن الحرارة تنتقل بحيث تكون درجة الحرارة ثابتة.



وحيث أن الشغل في هذا الإجراء (إجراء لا إنعكاسي يساوي صفر. من القانون الأول نجد أن:

$$SQ = du$$

وبمقارنة هذا الإجراء اللانعكاسي بإجراء انعكاسي بين نفس الحالتين وذلك يجعل الغاز يتمدد داخل مكبس عديم الاحتكاك شكل (4-24) أثناء انتقاله كمية من الحرارة بحيث تظل درجة الحرارة ثابتة .



شكل (4-24)

من القانون الأول. $\partial Q = du + Sw$

حيث أن الإجراء الانعكاسي: $Q = Tds \quad , Sw = bdV$

الفرق الأساسي بين الإجراءين في أن الإجراء الأول (اللانعكاسي) ، كان الشغل يساوي صفر بينما كان الشغل في الإجراء الانعكاسي أكبر.

أي أنه يوجد شغل مفقود (Lw) في الإجراء الانعكاسي.

أن الإجراءين اللانعكاسي والانعكاسي فإنه يوجد بينهما درجات مختلفة.

أي أن الشغل المفقود يمكن أن يتغير من صفر إلى نهاية عظمى.

$\therefore PdV = SW + \partial (Lw)$ ..... (1)

حيث الشغل المفقود $= \delta(Lw)$

الشغل الفعلي $= \delta W$

$\therefore Tds = du + PdV$ ..... (2)

بتعويض عن المعادلة (1) في المعادلة (2)

$\therefore Tds = du + PdV$ ..... (3)

$\therefore \ Tds = du + \delta W + \delta (Lw)$

أي أن:

المعادلة (3) تصبح: $\delta Q = du + \delta W$

$Tds = \delta Q + \delta (LW)$ .....(4)

$ds = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta (LW)}{T}$ .....(5)

والمعادلة (5) علاقة في كل متساوية وذلك بعد أن استنتجنا مسبقاً العلاقة في المتباينة على شكل:

$$ds \geq \frac{\delta Q}{T}$$

من (5) ، (6) توصلنا إلى نفس النتيجة السابقة في الإجراء الانعكاسي حيث:

الشغل المفقود مساوياً للصفر:

$$\therefore ds \geq \left[\frac{\delta Q}{T}\right]_{rev}$$

الانتروبي في بعض حالات الأنظمة المغلقة:

الانتروبي في الغاز المثالي:

يبين القانون الأول والثاني:

$Tds = du + PdV$

وبالنسبة للغاز المثالي فإن

$C_v dT \quad , \quad \frac{P}{T} = \frac{R}{V}$ ..... (2)

$ds = C_{VO} \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}$ .....(3)

بإجراء التكامل في الحالة (1)إلى الحالة (2):

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 C_{VO} \frac{dT}{T} + RL_n \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

وأيضاً وجدنا أن:

$Tds = dh - VdP$ .....(5)

وبالنسبة للغاز المثالي فإن: $dh = C_{Po}\ Td - \frac{V}{T} = \frac{R}{P}$ .....(6)

تصبح المعادلة رقم (5):

$$ds = C_{po} \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

وبإجراء التكامل:

$$S_2 - S_1 = \int C_{po} \frac{dT}{T} - R\, \ell_n \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

بالنسبة للحرارة النوعية C_{PO} في المعادلات 4,8 فأما تصبح المعادلات كالآتي:

$$S_2 - S_1 = C_{po} \ell_n \frac{T_2}{T_1} + R\, \ell_n \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

$$S_2 - S_1 = C_{po} \ell_n \frac{T_2}{T_1} - R \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (10)$$

عند إجراء التكامل السابق في المعادلات 8 ، 4 على خط $\frac{1}{10}$ خط قدرة باسكال (إجار) من درجة حرارة أساس T_0 (تؤخذ عندها قيمة الانتروبي بصفر) عند درجة حرارة T وقيمة الانتروبي المحسوبة بهذه الطريقة تسمى إنتروبي الحالة ويرمز لها بالرمز S^o والتي هي دالة :

$$S_T^O = \int_{T_o} \frac{Cop}{T}\, dT \dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

بأنها هي دالة في درجة الحرارة فقط وبذا يمكن جدولتها وبالتالي يكون التغير في الانتروبي بين الحالتين 1 ، 2 يعطي بالعلاقة.

$$S_2 - S_1 = (ST_2 - ST_1) - R\, \ell_n \left[\frac{P_2}{P_1}\right] \dots\dots\dots\dots\dots\dots (12)$$

مثال:

أحسب التغير في الانتروبي لكل كيلو جرام من الهواء إذا سخن من *300k* إلى *600R* في تسخين ينخفض فيه الضغط من *400KPa* إلى *30 kPa* بافتراض.

1) ثبوت الحرارة النوعية ، 2) تغير الحرارة النوعية

باستخدام المعادلة (9)

$$= 105535\ \ell_n\left[\frac{600}{300}\right] - 0.287\ \ell_n\left[\frac{300}{400}\right] = 0.778kJ/kg$$

$$^{S}T_1 = 2.5153\frac{kJ}{kg}.k\ ,ST_2^o = 302223\ kj/kg.k$$

باستخدام المعادلة رقم (12)

$$S_2 - S_1 = 2.223 - 2.5153 - 50.287\ \ell_n\left[\frac{300}{400}\right] = 0.7897kj/kg.k$$

ملاحظة أن التغير في الانتروبي متقارب في الحالتين:

ب/ تغير الانتروبي في المواد السائلة والصلبة:

نجد في المواد السائلة والصلبة أن الحجم تقريباً يعتبر ثابت أي أن *dV = 0* وتطبيق القانون الأول:

$$\delta q = du \qquad (\delta W = 0)$$

وبتطبيق الثاني:

$$= CdT \qquad \delta q = TdS$$

$$\therefore TdS = CdT \implies ds = C\frac{dT}{T}$$

وبتكامل الطرفين من الحالة (1) إلى الحالة (2):

حيث:-

$$\therefore S_2 - S_1 = C\ \ell_n\frac{T_2}{T_1}$$

C ≡ الحرارة النوعية للنظام.

ج/ مبدأ زيادة الانتروبي:

وهذا التطبيق ينطبق على احتراق الوقود في محرك السيارة وعلى إجراء تبريد كوب الشاي أو قدح القهوة وغير ذلك من الأمثلة).

مثال:-

2kg بخار من الماء المشبع عند $90C^o$ ثم تكثيفها إلى سائل مشبع تحت إجراء ثابت الضغط وذلك بنقل حرارة إلى جو محيط درجة حرارته $20C^o$ بين إمكانية حدوث هذا الإجراء باستخدام خاصية الانتروبي (مبدأ زيادة الانتوبي).

الحل: من جداول البخار نجد أن:

$$S_{fg} = 6 - 2866kj/kgk \quad \text{انتوبي}$$

$$h_{fg} = 2283 - 2kj/kgk \quad \text{انثالبي}$$

$$S_{sys} = S_{fg} = mS_{fg} = -2\,(6 - 2866) = -12.5732kj/kg$$

وبما أن الإجراء ثابت الضغط:

Q = mhfg

= 2(2283.2) = 4566.4 kJ

T= 20 + 273 = 293K

$$Sssur = \frac{Q}{T} = \frac{4566.4}{293} = 15.5849kJ/k$$

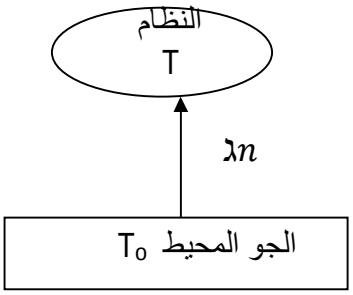
الانتروبي الكلي S_+

$S_1 = S_{sys} + S_{sur}$

= -12 – 5732 + 15.5849 = 3.012

إن إشارة S_+ موبة فإنها تتفق مع مبدأ زيادة الانتروبي وبالتالي لا تتعارض مع القانون الثاني.

تعتبر المنظومة شكل (4-25) حيث تنتقل كمية من الحرارة δQ من المحيط ذو درجة الحرارة T_o إلى نظام ذو درجة حرارة T:



أي أن النظام يفيد من حالته:

$$dS \int_{syst} \geq \frac{\delta Q}{T}$$

بالنسبة للجو المحيط :

$$dS\int_{surr} = -\frac{\delta Q}{T_o}$$

$$dS\int_{T} = \frac{\delta Q}{T} + ds\int_{surr}$$

أن التغير الكلي في الانتروبي $ds\int_T$:

$$\geq \frac{\delta Q}{T} - \frac{\delta Q}{T_o}$$

$$\geq \delta Q\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right]$$

أثبت أن $\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}$ و δQ سالبتان وبالتالي نستنتج أن:

$$dS\int_{T} = dS\int_{SYSr} + dS\int_{SYrr} \geq 0$$

حيث علاقة التساوي للإجراءات الانعكاسية علاقة < للإجراء اللانعكاسية كما أن هذه العلاقة (مبدأ زيادة الانتروبي) تبين الاتجاه الذي يحدث فيه الإجراء.

وبهذا يمكن اعتبار أن مبدأ زيادة الأنتروبي‌ضاً كمياً عاماً للقانون الثاني من وجهة النظر الجزئية.

الفصل الخامس

الخاتمة والنتائج والتوصيات

1-5 الخاتمة:

في ضوء ما ذكرناه نأمل أن نكون قد وفقنا في عرض مفهوم قوانين الديناميكا الحرارية وتطبيقاتها ، وكذلك مفهوم الحرارة وأهميتها في الحياة، وتأثيرها على شتى النواحي العلمية.

ولقد ألقينا الضوء على أهمية قوانين الديناميكا الحرارية في شتى المجالات بصورة موجزة وتطبيقاتها بصورة منفصلة ، والاستفادة من تطبيقاتها في المستقبل.

لذلك يجب العمل على الاستفادة من التطبيقات في إحداث إشكالات واختراعات تفيد البشرية في مجالات العلم وتسريع الحياة.

2-5 النتائج:

لقد توصلت الدراسة إلى العديد من النتائج:

1. كيفية انتقال الحرارة بين الأجسام.
2. لا يمكن إنشاء محرك حراري يعمل بين مصدرين حراريين كل منهما يعمل بين درجتي حرارة (T_L , T_H).
3. كيفية عمل دورة كارنو الانعكاسية.
4. كيفية عمل معالجة الإجراءات اللانعكاسية.

3-5 التوصيات:

توصي الدراسة بالآتي:

- ادخال التطبيقات الديناميكا الحرارية في منهج المرحلة الثانوية.
- دراسة تطبيقات قوانين الديناميكا الحرارية ومعرفة إمكانية استخدامها وتطويرها.
- توفير مصادر من مراجع وبحوث متعلقة بالديناميكا الحرارية.
- إدراج جانب عملية إضافة إلى الجانب النظري.

4-5 الصعوبات:

- لا يمكن إنشاء محرك حراري يعمل بين مصدرين حراريين.
- من المستحيل إنشاء آلة تنقل حرارة بشكل دوري من وسط درجة حرارته منخفضة إلى وسط درجة حرارته مرتفعة دون أن نستهلك شغل.

قائمة المصادر والمراجع:

1. زياد عبد الكريم الفاضل – علم الديناميكا الحرارية – الطبعة العربية الأولى – 2010م – 1431هـ.
2. مهندس/ حسين رجب محمد (م) أ. د/ هنداوي سالم – مبادئ الديناميكا الحرارية ، الطبعة 536.
3. الدكتور شاهر ربحي علينا – أساسيات الفيزياء – الطبعة الأولى 2000م.
4. الدكتور زياد عبد الكريم الفاضل – الفيزياء (2) علم الميكانيكا والديناميكا الحرارية – الطبعة العربية الأولى 2010م.
5. الأستاذة دلال عبد القادر مخلص – فيزياء (4) مسار العلوم الطبيعية – طبعة 2010م – 2011م.