الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب
المعهد العالي للطاقة
قسم القوى الميكانيكية

ديناميكا حرارية 2

تطـوير

م. جلال الطبطبائي

أكتوبر 2016

مقدمة

يسرنا أن نقدم لمتدربي معهد تدريب الكهرباء والماء هذا المقرر وهو المقرر الثاني من مادة الديناميكا الحرارية، وقد تم استخدام النظام الدولي للوحدات:

System International d' unites (SI)

واللغة العربية حتى يصبح تتبع الموضوع سهلا على المتدرب مع الاحتفاظ بالرموز والمصطلحات الإنجليزية، وبالتالي وضعت جميع المعادلات باللغة الإنجليزية وذلك حتى تصبح هذه المعادلات مطابقة لمثيلاتها في المراجع باللغة الإنجليزية، وقد تم عرض الأسس العلمية للمواضيع وتم ربط الأسس النظرية بالتطبيق العملي.

ختاما نقدم الشكر إلى كل من ساعد حتى يتم إنجاز هذا المقرر ونخص بالشكر السيد المهندس/ رئيس القسم والسيد المهندس/ مدير المعهد على تشجيعهما كل من عمل لرفع مستوى المعهد.

والله ولي التوفيق ،،،،،،

الفهرس

الباب الأول: القانون الثاني للديناميكا الحرارية

1-1 مقدمة

2-1 القانون الثاني للديناميكا الحرارية

1-2-1 قيمة القانون الثاني للديناميكا الحرارية

3-1 الآلات الحرارية

4-1 الإجراء الانعكاسي

1-4-1 مصادر عدم الانعكاسية

2-4-1 أنواع عدم الانعكاسية

5-1 نتائج القانون الثاني للديناميكا

1-5-1 مبدأ كارنو

2-5-1 مقياس الديناميكا الحرارية لدرجات الحرارة

الباب الثاني: تكوين البخار

1-2 مقدمة

2-2 مراحل تكوين البخار

3-2 منحنى درجة الحرارة والإنتروبى

4-2 استخدام جداول البخار

5-2 أمثلة محلولة

مسائل للمراجعة

الباب الثالث: إجراءات البخار

1-3 إجراء ثبوت الحجم

2-3 إجراء ثبوت الضغط

3-3 الإجراء الأديباتيكي

4-3 إجراء الخنق

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

The Second Law of Thermodynamic

1-1 مقدمة:

بين القانون الأول للديناميكا الحرارية أن الحرارة والشغل صورتان من صور الطاقة يمكن تحويل كل منهما إلى الأخرى، ولكن لم يضع أي حدود بالنسبة لإمكانية تحويل أي نوع من الطاقة إلى نوع آخر، فجميع أنواع الطاقة بالنسبة له متساوية طالما تحققت معادلة الطاقة. كذلك لا يعطى القانون الأول أي دلالة على عدم إمكانية حدوث أي إجراء.

جميع الآلات الحرارية مثل آلات الاحتراق الداخلي ومحطات توليد القوى بالبخار تحول جزءا فقط من الحرارة المضافة إلى شغل، أما الباقي فيطرد إلى الجو مهما تحسن التصميم.

1-2 القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

The Second Law of Thermodynamics:

منطوق كلازيوس: " لا يمكن أن تسري الحرارة من تلقاء نفسها من الجسم ذي درجة حرارة منخفضة إلى جسم ذي درجة حرارة أعلى ".

منطوق كلفن–بلانك: " يستحيل بناء محرك قوي يعمل تبعا لدورة كاملة، ولا ينتج عنه إلا رفع ثقل وتبريد خزان حرارة ".

أو " لا يمكن لأي محرك حراري أن يحول الحرارة المضافة إليه كلها إلى شغل ".

1-2-1 قيمة القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

القانون الثاني من المبادئ الهامة التي يمتد أثرها على نطاق واسع، ويمكن أن نستنتج الآتي:

1) يحدد الطريقة التي يمكن بها قياس نوعية الطاقة.
2) تعيين ظروف الأداء المثالي للآلات الحرارية وبالتالي تعيين أقصى قيمة للكفاءة التي يمكن الحصول عليها من آلة حرارية.
3) بيان إمكانية حدوث أي إجراء.

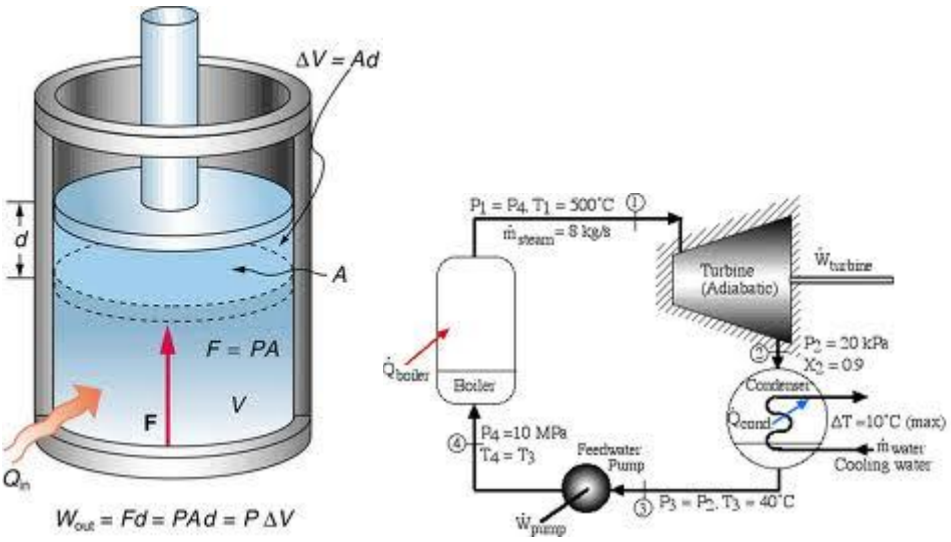
4) توقع الاتجاه الذي يمكن أن يتم فيه أي إجراء.

5) تعريف مقياس لدرجة الحرارة لا يعتمد على الخواص الفيزيائية لأي مادة.

6) تحديد بعض الارتباطات بين الخواص الفيزيائية.

3–1 الآلات الحرارية: Heat Engines

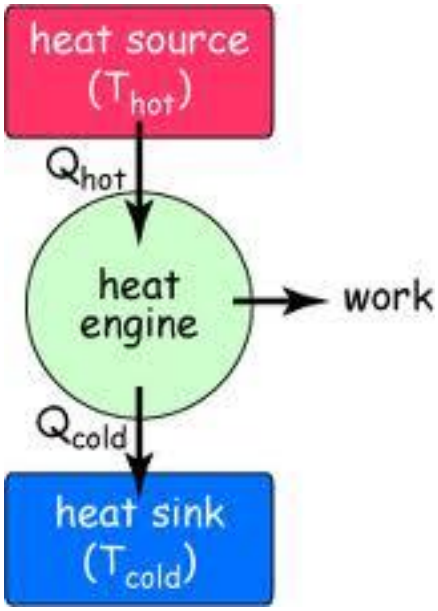
الآلة الحرارية هي مجموعة تتلقى حرارة وتؤدي عملا أثناء أدائها دورة. والآلة الحرارية قد تكون بسيطة مثل حالة غاز في اسطوانة بها مكبس، كما قد تكون معقدة كما في حالة محطة كاملة لتوليد القوى.



ويبين الشكل السابق مثالين للآلات الحرارية، في الشكل (أ) يسخن غاز في أسطوانة بثبوت الضغط ويؤدي شغلا على المكبس، يلي ذلك تبريد الغاز مع بقاء المكبس ساكنا فلا يؤدي الغاز أو يتلقى أي شغل وبعد ذلك يتحرك المكبس داخل الأسطوانة ليؤدي شغلا على الغاز.

أما الشكل (ب) فتضاف حرارة إلى الماء في المرجل لتوليد بخار يتمدد في التوربين فيؤدي شغل ثم ينساب إلى المكثف حيث تزال منه الحرارة ليكثف، بعد ذلك يدخل الماء إلى المضخة لتضغطه إلى المرجل وتؤدي بذلك شغلا عليه، وبذلك تتم الدورة. ورغم أن كل وحدة من هذه الأجهزة ينساب المائع داخلها ثم إلى خارجها بحيث يجب أن نتعامل مع كل وحدة على حدة كمجموعة مفتوحة، إلا أن الوحدات الأربعة والأنابيب الموصلة بينها تحوي دائما نفس المائع يتم معاملتها كمجموعة مقفلة.

الآلة الحرارية يمكنها فقط أن تمتص حرارة من مصدر عند درجة حرارة عالية (مصدر الحرارة) (Heat Source) وتحول جزءا من هذه الحرارة إلى شغل ثم تطرد باقي الحرارة إلى خزان حرارة عند درجة حرارة منخفضة (بالوعة حرارة) (Heat Sink)، ويبين الشكل التالي رسما اصطلاحيا لمثل هذه الآلة، وفيها تضاف حرارة بمعدل Q_H من مصدر الحرارة وتؤدي شغلا بمعدل W_{net} وتطرد حرارة بمعدل Q_L إلى بالوعة حرارة.



4–1 الإجراء الانعكاسي:

The Reversible Process:

يستحيل بناء محرك كفاءته 100%، ولكن هناك ظروف تمكننا من الحصول على أعلى كفاءة وأيضا الشغل الآلي هو نوع من الطاقة أثمن من الحرارة، ولذلك فإن الإجراء المثالي هو الإجراء الذي لا يستنفذ شغلا في أداء أي شيء يمكن أن يتم جزئيا أو كليا بواسطة الحرارة.

الشكل التالي يبين دورة مكونة من إجراءين بحيث يمر الإجراء الثاني بالضبط على نفس الحالات التي يمر بها الإجراء الأول ولكن في عكس الاتجاه.

بتطبيق القانون الثاني على هذه الدورة:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

والنتيجة النهائية لهذه الدورة هي إحدى الإمكانيات التالية:

1) إما أن تمتص المجموعة حرارة مما يحيط بها وتحولها إلى شغل وبذلك يكون:

$$Q > 0 \quad , \quad W > 0$$

2) تتلقى المجموعة شغلا ما يحيط بها وتستنفذه في توليد حرارة وبذلك يكون:

$$Q < 0 \quad , \quad W < 0$$

3) مجموع الطاقة الصافية المتبادلة مع ما يحيط بالمجموعة يساوي صفرا، أي أن:

$$\oint \delta Q = 0 \quad \oint \delta W =$$

ومن الواضح أن الإمكانية الأولى مستحيلة لأنها تتعارض مع منطوق بلانك للقانون الثاني. أما الإمكانية الثانية فهي ممكنة التحقيق إذ أنها لا تتعارض مع أي قانون، إلا أن النتيجة النهائية لها هي استخدام شغل لإنتاج نوع من الطاقة أقل مرتبة وهو الحرارة. أما الإمكانية الثالثة فهي أفضل الإمكانيات التي يمكن تحقيقها وهي تتوسط الحالة المثالية لا يمكن تحقيقها والحالة التي يمكن تحقيقها ولكن نتيجتها تحويل نوع ثمين من الطاقة إلى نوع أقل مرتبة.

وبذلك يمكن تعريف الإجراء الانعكاسي " هو الإجراء الذي يمكننا من الرجوع بالضبط إلى الحالة الأصلية دون التأثير على ما يحيط بالمجموعة ".

من الإجراءات التي تعتبر مثالية وانعكاسية:

1) التمدد والانضغاط المحكومان.

2) الحركة بدون احتكاك.

3) شد جسم صلب مرن.

4) الدوائر الكهربائية ذات المقاومة صفر.

5) تفريغ بطارية بطريقة متحكم بها.

1-4-1 مصادر عدم الانعكاسية:

1) تأثيرات مشتقة من طبيعة المادة نفسها مثل الاحتكاك بأنواعه المختلفة، والمقاومة الكهربائية وانعدام المرونة وغير ذلك.

2) غياب الاتزان الميكانيكي أو الحراري أو الكيميائي أثناء الإجراء.

1-4-2 أنواع عدم الانعكاسية: Types Of Irreversibility

1) عدم الانعكاسية الداخلي:

" هو أي عامل داخل المجموعة نفسها يمنعها من الوصول إلى حالة الاتزان وذلك كالإثارة مثلا ".

2) عدم الانعكاسية الخارجي:

" هو أي عامل عند حدود المجموعة يؤدي إلى عدم الانعكاسية وذلك كالاحتكاك الآلي أو اختلاف درجة الحرارة مثلا ".

1-5 نتائج القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

يمكن استنتاج عدة علاقات هامة من القانون الثاني للديناميكا الحرارية:

1-5-1 مبدأ كارنو: Carnot's Principle

1) لا يمكن أن تزيد كفاءة أي محرك عن كفاءة محرك يتبع دورة انعكاسية تعمل بين نفس حدّي درجة الحرارة، والمفهوم أن حدّي درجة الحرارة لأي دورة هما درجتا حرارة خزّاني الحرارة اللذين تتبادل معهما المجموعة الحرارة.

2) جميع المحركات التي تعمل لدورة انعكاسية بين خزّاني حرارة عند درجة حرارة محدودة لها نفس الكفاءة الحرارية.

2-5-1 مقياس الديناميكا الحرارية لدرجات الحرارة:

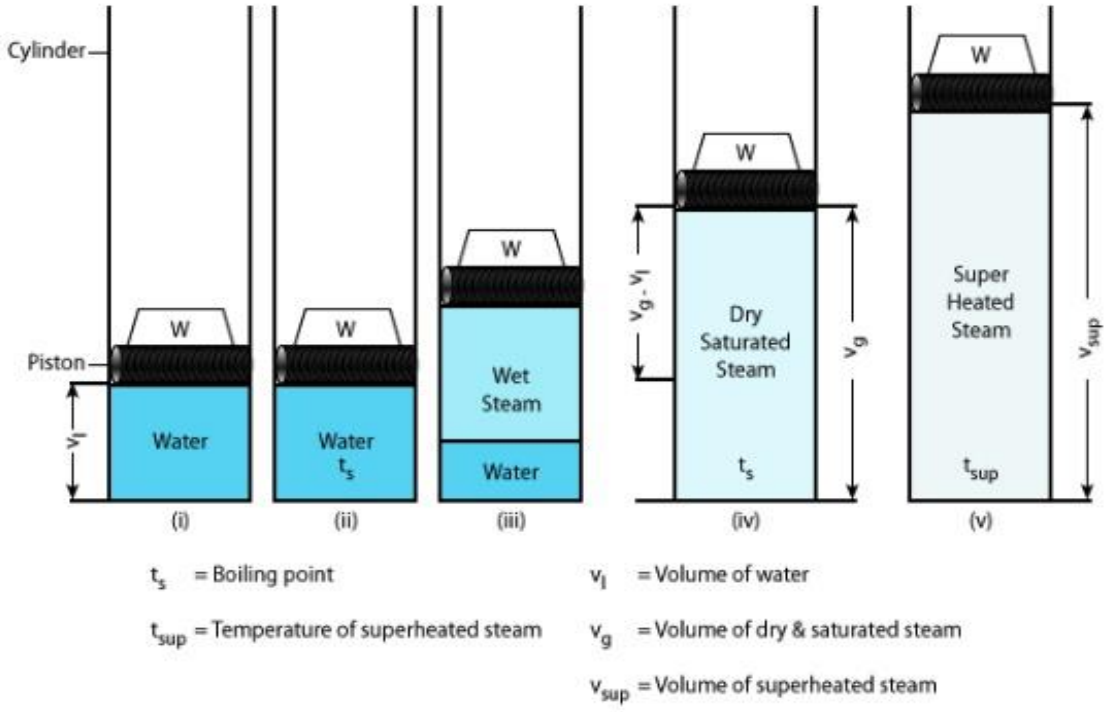
يمكن تعريف مقياس لدرجات الحرارة لا يعتمد على خواص أي مادة ويتحدد بواسطته الصفر المطلق لدرجة الحرارة. وقد عرّف لورد كلفن هذا المقياس بالاستعانة بمبدأ كارنو وهو أن كمية الشغل التي يمكن الحصول عليها من الحرارة المضافة من مصدر ما تعتمد على الفرق في درجة الحرارة بين المصدر والبالوعة.

تكوين البخار
Steam Formation

1–2 مقدمة:

بخار الماء غير مرئي عندما يكون نقي وجاف، ويستخدم كمادة تشغيل (مائع تشغيل) في الآلات البخارية والتوربينات البخارية، وهو لا يخضع لقوانين الغاز المثالي حتى إذا كان بخار جاف، ولكن يمكن اعتباره غاز مثالي إذ كان بخار محمص كما سنعرف فيما بعد، والجدير بالذكر أن دراسة تكوين البخار هامة جدا للعاملين في مجال محطات توليد الطاقة.

2–2 مراحل تكوين البخار:



شكل (2–1) مراحل تكوين البخار

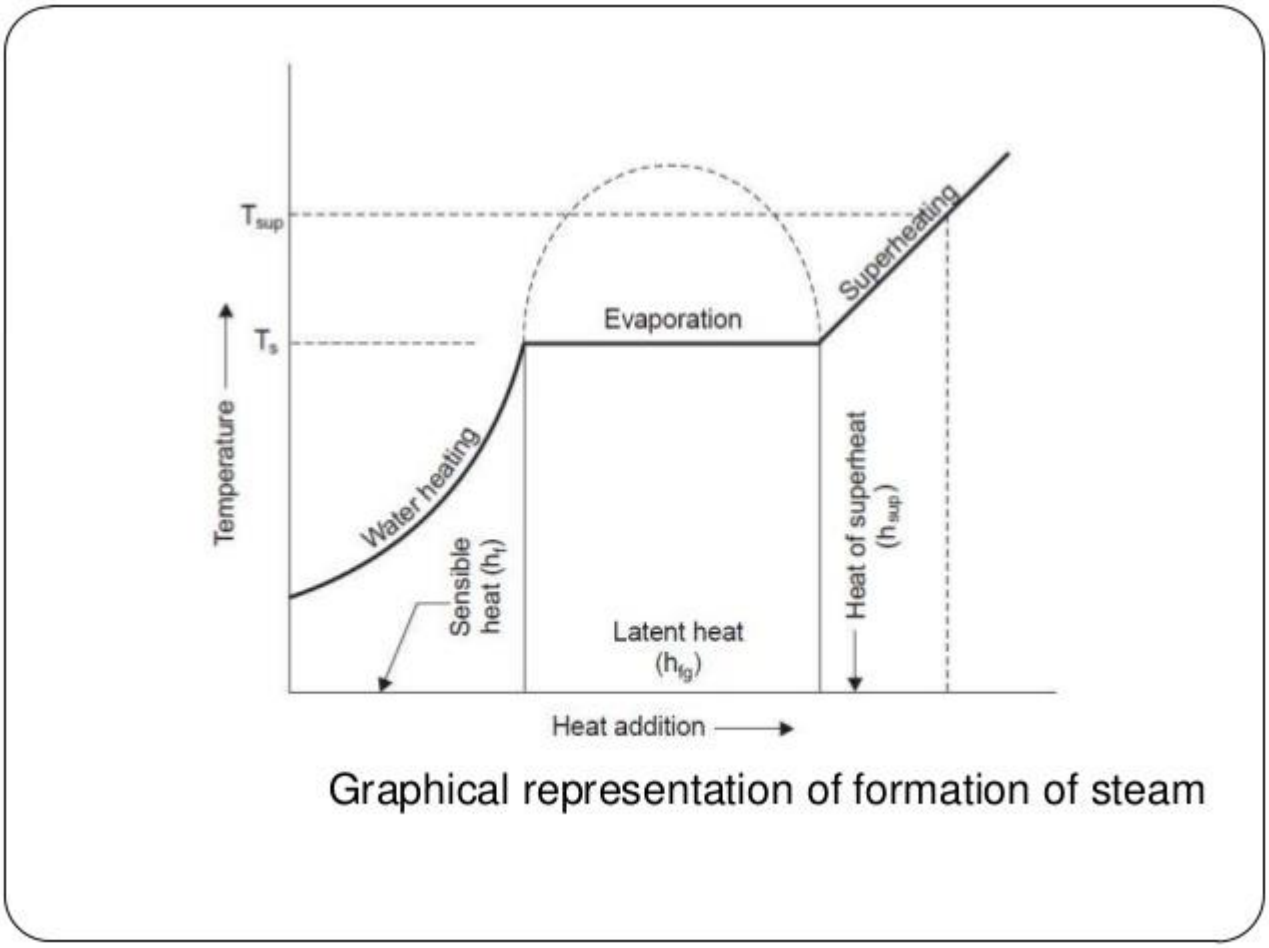
في شكل (2–1) نفترض وجود 1 كجم من الماء عند درجة حرارة صفر في الأسطوانة تحت المكبس الذي يظل الضغط تحته ثابتا ويساوي الضغط الجوي ، وعندما يتم تسخين الماء ترتفع درجة حرارته وتستمر في الارتفاع حتى تصل إلى درجة الغليان (درجة الغليان للماء عند الضغط الجوى تساوى 100 درجة مئوية) وتزداد درجة الغليان بزيادة الضغط ، عندما تصل درجة حرارة الماء إلى درجة الغليان تظل ثابتة ويبدأ الماء في التبخير ويرفع المكبس تحت ضغط ثابت والحجم النوعي للبخار يزداد كما في الشكل (2–1–ب) درجة الحرارة التي يبدأ عندها الماء في التبخير تسمى درجة حرارة التشبع Saturated Temperature والضغط المناظر يسمى ضغط التشبع Saturated pressure والحرارة المضافة للماء من درجة صفر حتى بداية التبخير تسمى الحرارة المحسوسة Sensible Heat وهي كمية الحرارة المضافة وتبعها ارتفاع في درجة الحرارة أما كمية الحرارة المضافة أثناء التبخير والتي عندها ظلت درجة الحرارة ثابتة تسمى الحرارة الكامنة

Latent Heat والماء قبل تبخره مباشرة يسمى ماء مشبع Saturated Water وعندما يتم تبخير الماء جزئيا كما في الشكل (2–1– ب) أي خليط من الماء والبخار يسمى بخار رطب Wet Steam وعندما يتم تبخيره كاملا أي يكون بخار بدون قطرات ماء كما في الشكل

(2–1–ج) يسمى بخار مشبع جاف Dry Saturated Steam وعندما يتم تسخين البخار الجاف عند ثبوت الضغط ترتفع درجة حرارته يسمى بخار محمص

Super Heated Steam ويمكن أن نرسم المراحل السابقة لتكوين البخار على منحنى (T-S).

2–3 منحنى درجة الحرارة والإنتروبى T-S Diagram:



شكل (2–2) منحنى درجة الحرارة والإنتروبى

منحنى (T-S) سوف نتعرض له خلال الأبواب اللاحقة ولذلك لزم أن نعطيه اهتماما كبيرا وسوف نشرح المناطق المختلفة على الشكل. ونبدأ أولا بالمحورين المحور الرأسي يمثل درجة الحرارة والمحور الأفقي يمثل الانتروبي Entropy ويرمز لها بالرمز (s) ووحداتها (KJ\ Kg C). النقطة الحرجة تقسم المنحنى إلى جزأين الجزء الأيمن يمثل منحنى البخار المشبع والجزء الأيسر يمثل منحنى السائل المشبع، المنطقة أسفل النقطة الحرجة ويسار خط الماء المشبع تسمى منطقة الماء تحت المشبع Sub-Cooled Water المنطقة تحت المنحنى تسمى منطقة البخار الرطب (Wet Steam). أما النقطة أعلى النقطة الحرجة ويمين خط البخار

المشبع تسمى منطقة البخار ال محمص Super Heated Steam ولزيادة فهم المراحل المختلفة لتكوين البخار نعيد شرح بعض المفاهيم:

الحرارة المحسوسة: Sensible Heat

هي الحرارة المضافة أو المطرودة ويتبعها تغير في درجة الحرارة.

الحرارة الكامنة : Latent Heat

هي الحرارة المضافة أو المطرودة ولا يتبعها تغير في درجة الحرارة ولكن يتم تحويل المادة من صورة إلى صورة أخرى.

درجة حرارة التشبع: Saturated Temperature

هي درجة الحرارة التي يبدأ عندها السائل في الغليان.

ضغط التشبع: Saturated Pressure

هو الضغط المناظر لدرجة حرارة التشبع (الضغط الذي يبدأ عنده السائل في الغليان)

- العلاقة بين ضغط التشبع ودرجة حرارة التشبع علاقة طردية

سائل تحت التشبع: Sub- Cooled Liquid

هو السائل الذي درجة حرارته أقل من درجة حرارة التشبع.

بخار رطب: Wet Steam

هو خليط من السائل والبخار عند درجة حرارة تساوي درجة التشبع.

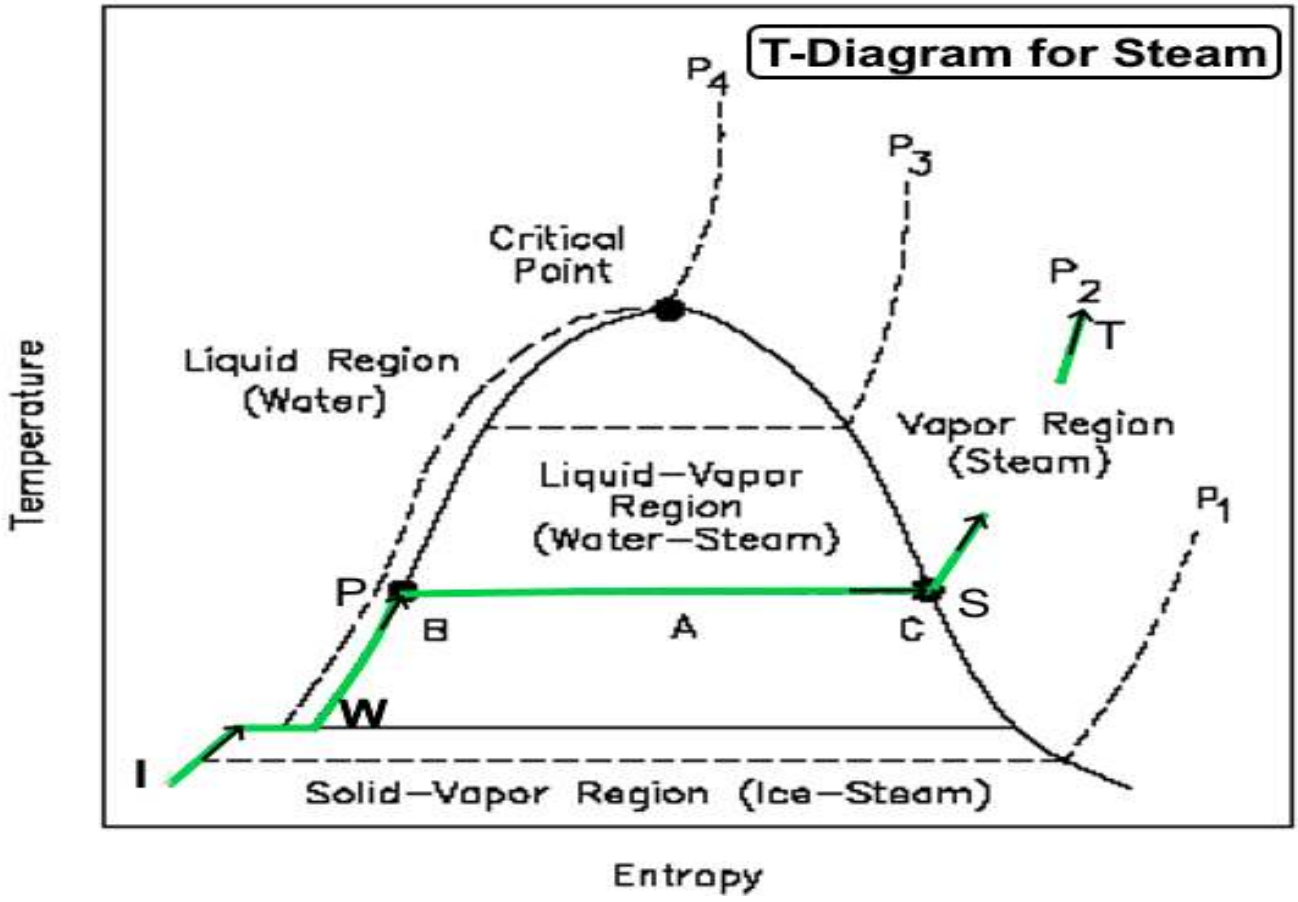
بخار مشبع جاف: Dry Saturated Steam

هو بخار فقط (خال من قطرات الماء) عند درجة حرارة تساوي درجة التشبع.

بخار محمص: Super Heated Steam

هو بخار درجة حرارته أعلى من درجة حرارة التشبع.

بعد أن تعرفنا على المراحل المختلفة التي يمر بها الماء حتى يتحول إلى بخار محمص يجب أن نعرف شكل منحنى الضغط الثابت على منحنى (T-S).



شكل (2–3) منحنيات الضغط

عند ملاحظة منحنى الضغط الثابت على منحنى (T-S) نلاحظ أن منحنى الضغط أفقي ومستقيم في منطقة (البخار الرطب) وذلك لثبوت درجة الحرارة عند التحول من سائل مشبع إلى بخار مشبع (إضافة الحرارة الكامنة للتبخير) أما الجزء الأيسر من المنحنى فنلاحظ أنه منحنى يقترب من خط السائل المشبع أما الجزء الأيمن من المنحنى فهو منحنى أيضا ويتجه إلى أعلى حيث ترتفع درجة الحرارة، عند رسم أكثر من منحنى ضغط نلاحظ أن منحنى الضغط الأكبر أعلى من منحنى الضغط الأقل أي أن:

$$P_1 > P_2 > P_3$$

كسر الجفاف (الجودة): **Dryness fraction (Quality)**

هو كتلة البخار الجاف الموجود في كمية من البخار الرطب (خليط من السائل والبخار) مقدارها

$$X = \frac{\text{كتلة البخار}}{\text{كتلة البخار} + \text{كتلة السائل}}$$

واحد كيلو جرام.

ويجب معرفة أن أقصى قيمة لمعامل الجفاف = 1 (وتقع على خط البخار المشبع)

وأقل قيمة له = صفر (وتقع على خط السائل المشبع)

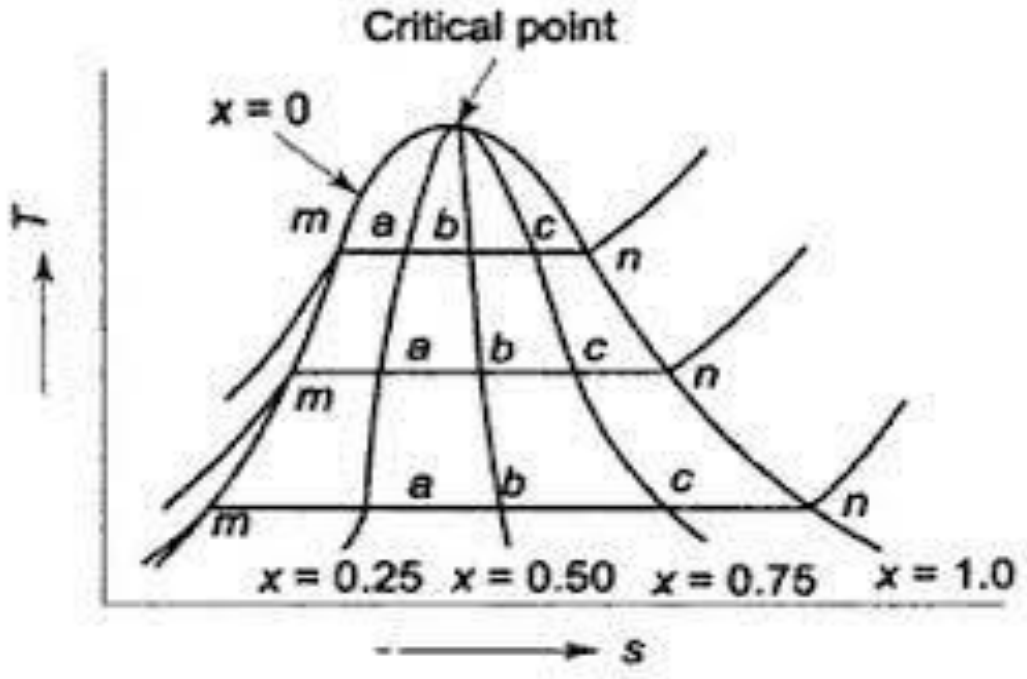
معامل الرطوبة: **Wetness Fraction 'y'**

هو كتلة السائل الموجود في كمية من البخار الرطب (خليط من السائل والبخار) مقدارها واحد كيلو جرام.

$$y = 1 - X$$

- **العلاقة بين كسر الجفاف ومعامل الرطوبة علاقة عكسية**

ومنحنيات معامل الجفاف موضحة بالشكل (2–4).



شكل (2–4) منحنيات معامل الجفاف

2–4 استخدام جداول البخار: Use of Steam Tables

أولا: جداول التشبع

ويمكن باستخدام هذه الجداول معرفة خواص السائل المشبع وايضا معرفة خواص البخار المشبع وباستخدام القوانين يمكن معرفة خواص البخار الرطب. وعادة تعطى الجداول قيم الخواص الآتية:

1– درجة الحرارة Temperature T

2– الضغط Pressure P

3– الحجم النوعي للسائل المشبع Specific Volume of Liquid v_f

4– الحجم النوعي للبخار المشبع Specific Volume of Steam v_g

5– الطاقة الداخلية النوعية للسائل المشبع Specific Internal energy of Liquid u_f

6– الطاقة الداخلية النوعية للبخار المشبع Specific Internal energy of Steam u_g

7– الانثالبي النوعي للسائل المشبع Specific Enthalpy of Liquid h_f

8– الانثالبي النوعي للبخار المشبع Specific Enthalpy of Steam h_g

9– الانتروبي النوعي للسائل المشبع Specific Entropy of Liquid s_f

10– الانتروبي النوعي للبخار المشبع Specific Entropy of Steam s_g

Note That:

Suffix g is used for dry saturated steam
Suffix f is used for saturated liquid

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

$$s_{fg} = s_g - s_f$$

لمعرفة خواص البخار الرطب نستخدم القوانين الآتية:

$$h = h_f + x\,(h_g - h_f)$$

$$s = s_f + x\,(s_g - s_f)$$

$$v = v_g + x\,(v_g - v_f)$$

ثانيا: جداول البخار المحمص

يمكن باستخدام هذه الجداول معرفة خواص البخار المحمص وبمعرفة الضغط ودرجة الحرارة يمكن معرفة باقي الخواص ولمعرفة استخدام جداول البخار معرفة تامة لا بد من التطبيق ببعض الأمثلة المختلفة.

2–5 أمثلة محلولة

مثال (2–1)

عين التغير في الحجم عندما يتبخر (1Kg) ماء مشبع بالكامل:

a) at 10 K Pa
b) at 0.1 M Pa

Data:
a) at 10 K Pa :

Req:
$v_g - v_f$ **=??**
Solution:
from steam tables at 10 K Pa:
v_f **= 0.001** m^3**\Kg**
v_g **= 14.67** m^3**\Kg**
$\therefore v_g - v_f$ **= 14.67 - 0.001 = 14.669** m^3**\Kg**

b) at 0.1 M Pa:

Red:
$v_g - v_f$ **=??**
Solution:
From steam tables at P = 0.1 M Pa:
v_f **= 0.001** m^3**\Kg**
v_g **= 1.6940** m^3**\Kg**
$\therefore v_g - v_f$ **= 1.694 - 0.001 = 1.693**m^3**\Kg**

مثال (2–2):

كمية الماء كتلتها (2Kg) عند درجة حرارة (200 C) تملأ خزانا حجمه ($0.2\ m^3$)

عين: الضغط، الانثالبي، كتلة البخار داخل الخزان وحجمه.

Data:
m = 2Kg
T = 200 C
V = 0.2 m^3
Red:
P, h, m_s, v
Solution:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.2}{2} = 0.1\ m^3 \backslash Kg$$

from Steam tables at T= 200 C:
P = 1.5538 MPa

$v_f = 0.001156\ m^3 \backslash Kg, \qquad v_g = 0.1274\ m^3 \backslash Kg$

$h_f = 852.45\ Kj \backslash Kg, \qquad h_g = 2793.15\ Kj \backslash Kg$

$\therefore \quad v < v_g$

∴ The steam is " Wet Steam "

$\therefore v = v_f + X (v_g - v_f)$

$$X = \frac{v - v_f}{v_g - v_f}$$

$$X = \frac{0.1 - 0.001156}{0.1274 - 0.001156} = 0.78344$$

$\therefore h = h_f + X (h_g - h_f)$

$\therefore$ **h = 852.45 + 0.783 (2793.15 - 852.45)**

= 2372 Kj\Kg

$$\therefore X = \frac{m_s}{m}$$

$\therefore m_s = X \times m$

$m_s = 0.783 \times 2 = 1.566$ **Kg**

$$\therefore v_g = \frac{V_s}{m_s} \qquad \therefore v_s = v_g \times m_s$$

$V_s = 0.1274 \times 1.566 = 0.1995\ m^3$

مثال (2–3)

كمية من الماء المشبع كتلتها (3 Kg) عند ضغط ثابت (5 bar) تضاف اليها حرارة حتى أصبح معامل الجفاف (X=0.6) عين :

أ) درجة الحرارة الابتدائية .

ب) درجة الحرارة والضغط النهائيين .

ج) التغير في الحجم والإنثالبي .

Data :

$m = 3Kg$, $P_1 = 5\ bar = 0.5\ MPa$

$X_2 = 0.6$

Req :

a) T_1

b) T_2 **&** P_2

c) ΔV **&** ΔH

Solution :

a) T_1 **= saturated temp at 5 bar = (0.5 Mpa) = 151.86 C**

b) $\therefore$ **final condition is Wet steam**

$\therefore T_2 = 151.86\ C$

$P_2 = 5\ bar$

c) from steam tables at P= 5 bar = 0.5 MPa :

$v_f = 0.001093\ m^3\backslash Kg$, $v_g = 0.3749\ m^3\backslash Kg$

$h_f = 640.23\ Kj\backslash Kg$, $h_g = 2748.7\ Kj\backslash Kg$

$v_1 = v_f$, $h_1 = h_f$

$$v_2 = v_f + X_2 (v_g - v_f)$$

$$= 0.001093 + 0.6 (0.3749 - 0.001093 = 0.2254\ m^3\backslash Kg$$

$$\therefore \Delta v = m (v_2 - v_1) = 3 (0.2254 - 0.001093)$$

$$= 0.6729\ m^3$$

$$h_2 = h_f + X_2 (h_g - h_f)$$

= 640.23 + 0.6 (2748.7 - 640.23)
= 1905.3 Kj\Kg
$\Delta H = m (h_2 - h_1) = 3 (1905.3 - 640.23)$

= 3795.21 Kj

مثال (2–4)

عين من جداول البخار درجة حرارة التشبع والحجم النوعي والإنثالبى والانتروبي للبخار في الحالات الآتية :

a) 0.05 bar , X = 0.9
b) 25 bar , X = 0.95
c) 90 bar , dry Saturated steam

Solution :

	T_s (C)	v (m^3\Kg)	h (Kj\Kg)	s (Kj\Kg K)
a)	**32.55**	**25.857**	**553.5**	**1.0808**
b)	**222.87**	**0.0775**	**648.4**	**1.4627**
c)	**303.4**	**0.02048**	**2742.1**	**5.6772**

مثال (1–5)

بخار ضغطه (2 MP) والانثالبي (3247.6 Kj\Kg) ما هي حالة البخار . عين درجة حرارته ، حجمه النوعي ، والإنتروبى .

Solution :
from steam table at P = 2 M Pa :

h_g = 2799.5 Kj\Kg

∴ h > h_g

∴ The steam is " Super heated Steam "

from steam table at P = 2M Pa :
h = 3247.6 Kj\Kg
∴ T = 400 C , v = 0.1512 m^3\ Kg

s = 7.1271 Kj \ Kg K

أسئلة ومسائل للمراجعة :

1- ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (×) أمام العبارة الخاطئة .

أ- البخار المشبع الذي ضغطه (3 Mpa) يكون معامل
الجفاف له = 1 ( )

ب- البخار الذي كتلته (8Kg) وكتلة البخار به (2Kg)
يكون معامل الرطوبة به (0.25) ( )

ج- العلاقة بين معامل الجفاف ومعامل الرطوبة طرديه ( )

د – العلاقة بين ضغط التشبع ودرجة حرارة التشبع عكسية ( )

هـ- عند تسخين البخار إلى درجة حرارة أعلى من درجة
حرارة التشبع فإننا نحصل بخار محمص ( )

و- البخار المحمص الذي ضغطه (3.5 Mpa) تكون درجة
حرارته (240C) ( )

2- خزان حجمه ($1m^3$) يحتوي على (10%) من حجمه ماء مشبع والباقي بخار مشبع جاف عند درجة حرارة (20C) إذا قلب السائل والبخار بحيث يتم اختلاطهما جيدا ، ما هو معامل الجفاف ؟

3- بخار محمص ضغطه (2 Pa) درجة حرارته (500 C) عين الحجم النوعي ، والإنثالى، والإنتروبى .

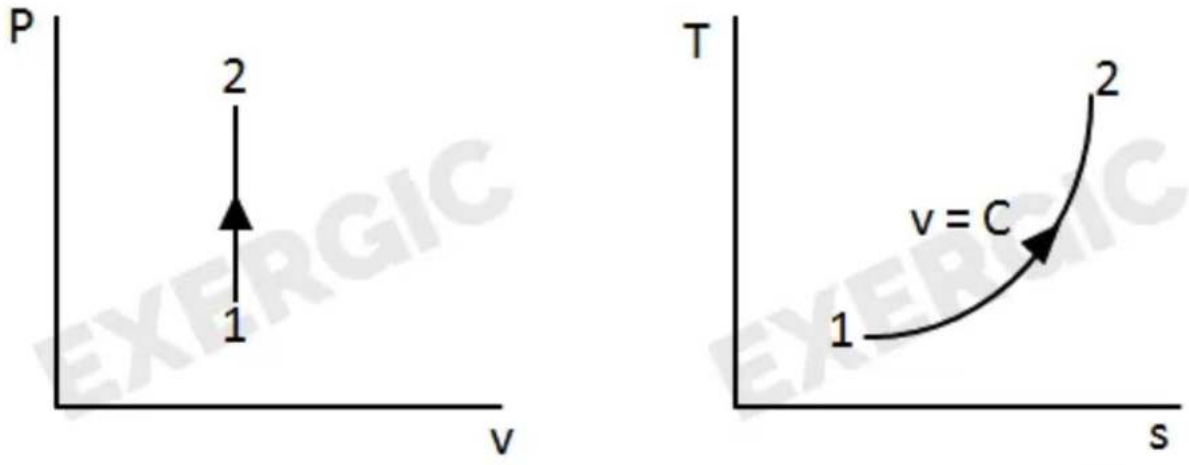
4- عين من جداول البخار درجة حرارة التشبع والحجم النوعي والإنثالبى والإنتروبى للبخار في الحالات التالية :

a) P = 20 bar , X = 0.9
b) P = 3 M Pa , X = 0.6
c) P = 4 M Pa , dry saturated steam .

إجراءات البخـار
STEAM PROCESSES

1–3 إجراء ثبوت الحجم CONSTANT VOLUME PROCESS

$$(v_1 = v_2)$$



شكل (1–3) اجراء ثبوت الحجم

القانون الأول للديناميكا الحرارية في حالة المجموعة المغلقة :

$$Q_{1-2} = W_{1-2} + (U_2 - U_1)$$

حيث أن :

Q_{1-2} : Kj كمية الحرارة المنتقلة أثناء الإجراء

W_{1-2} : Kj الشغل المبذول أثناء الإجراء

ΔU_{1-2} : Kj التغير في الطاقة الداخلية

$W = \int P dv$, V=C

$$Q = U_2 - U_1$$

$\therefore dV = 0 \therefore \quad W_{1-2} = 0$

مما سبق نستخلص أن :

(1) كمية الحرارة المضافة او المطرودة أثناء الإجراء = التغير في الطاقة الداخلية

(2) الشغل المبذول أثناء الإجراء = صفر

مثال (3-1)

وعاء مغلق سعته ($0.02\ m^3$) به بخار رطب ضغطه (300Kpa) وكسر الجفاف (x=0.4) اضيفت حرارة للوعاء حتى أصبح البخار جاف مشبع . احسب :

1) كتلة البخار في الوعاء

2) ضغط البخار النهائي

3) كمية الحرارة المضافة

Data:
$V= 0.02\ m^3$
$P_1=300$ Kpa
$X_1= 0.4$
$X_2=1$
Req:
1) m_S
2) P_2
3) q_{1-2}
solution:
from steam table at $P_1=300$ Kpa
$v_f =0.001073\ m^3\backslash Kg$, $v_g=0.6057\ m^3\backslash Kg$
$u_f=561.15$ Kj\Kg , $u_g=02543.6$ Kj\Kg
$v_1 = v_f + X_1 (v_g-v_f)$
$= 0.001073 + 0.4 (0.6057 – 0.001073) = 0.243\ m^3\backslash Kg$
$U_1 = V_f + X_f (u_g-u_f)$
$= 561.15 + 0.4 (2543.6 – 561.15) = 0.243\ m^3\backslash Kg$
$\therefore v_1 = v_2$ $\therefore v_2 = 0.243\ m^3\backslash Kg$
$\therefore X_2=1$ $\therefore v_2 = v_g$

from steam table at $v_g = 0.243\ m^3\backslash Kg$
$\therefore P_2 = 8$ bar
$u_2 = u_g = 2576.8$ Kj\Kg

$$\text{1) } v_1 = \frac{V}{m} \quad \Rightarrow m = \frac{V}{v_1}$$

$m = 0.02 / 0.243 = 0.0823$ $\therefore m = 0.0823$ Kg

2) P_2 = 8 bar

3) $q_{1-2} = m (u_2 - u_1)$
$= 0.0823 (2576.8 - 1354.13)$
$\therefore q_{1-2} = 100.63$ Kj

مثال (3–2)

اناء مغلق سعته ($0.7\ m^3$) به بخار رطب ضغطه (0.350 MPa) ومعامل الجفاف (X=0.409) اضيفت له حرارة حتى أصبح بخار مشبع . ارسم الإجراء على منحنى (الضغط – الحجم) واحسب :

1) كتلة البخار داخل الإناء (Kg)

2) الضغط النهائي (MPa) – درجة الحرارة النهائية (C)

3) كمية الحرارة المضافة (Kj)

4) الشغل المبذول (Kj)

Data:
$V= 0.7\ m^3$
$P_1=0.350$ MPa
$X_1= 0.409$
$X_2=1$
Req:
1) m
2) P_2 ,T_2
3) q_{1-2}
4) W_{1-2}
solution:
from steam table at $P_1= 0.350$ MPa
$v_f = 0.001079\ m^3\backslash Kg$, $v_g= 0.5243\ m^3\backslash Kg$
$u_f = 583.95$ Kj\Kg , $u_g= 2548.9$ Kj\Kg
$v_1 = X_1 v_g + (1-X_1) v_f = 0.409(0.5243) + (1-0.409)(0.001079)$
$= 0.215076\ m^3\backslash Kg$
$u_1 = X_1 u_g + (1-X_1) u_f = 0.409(2548.9) + (1-0.409)(583.95)$
$= 1387.6$ Kj\Kg

$$\text{1) } v_1 = \frac{V}{m} \quad \Rightarrow m = \frac{V}{v_1}$$

$m = 0.7/0.45076 = 3.2546$ $\therefore$ $m = 3.2546$ Kg

2) $v_1 = v_2 = 0.215076$

$v_g = 0.215076$ من جداول البخار عند

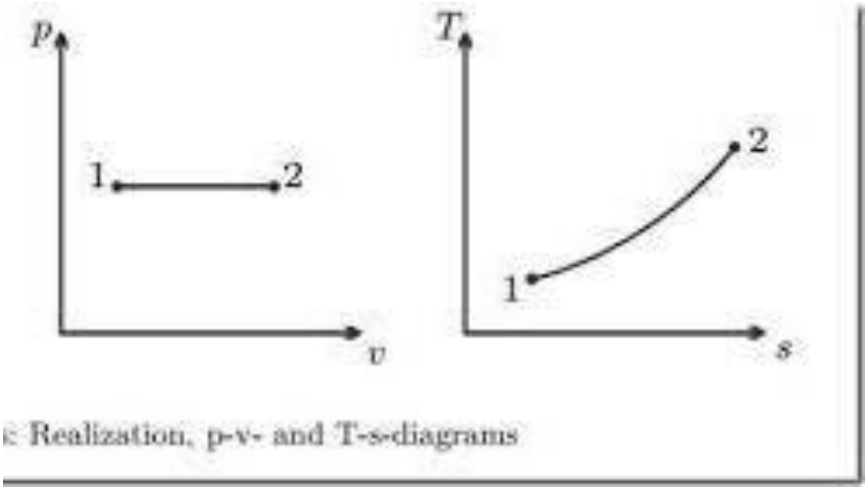
u_2 = 2580.5 Kj\Kg $\therefore P_2$ = 0.9 Mpa , T_2 = 175.38 C

3) q_{1-2} = m (u_2 - u_1)
= 3.2546 (2580.5 - 1387.6)
$\therefore$ q_{1-2} = 3882.488 Kj

4) W_{1-2} = 0

2–3 إجراء ثبوت الضغط CONSTANT PRESSURE PROCESS

$(P_1 = P_2)$



: Realization, p-v- and T-s-diagrams

$Q_{1-2} = W_{1-2} + U_2 - U_1$ ……..(1)

$\therefore W = dv$

$\therefore W = P\,dv$ ……(2)

من المعادلة (1) & (2) :

$\therefore Q_{1-2} = P(V_2 - V_1) + (U_2 - U_1)$

$Q_{1-2} = P_2V_2 - P_1V_1 + U_2 - U_1$

$Q_{1-2} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$

$\therefore H = U + PV$

$\therefore Q_{1-2} = H_2 - H_1$

مما سبق نستخلص أن :

(1) كمية الحرارة المضافة أو المطرودة خلال الإجراء = التغير في الإنثالبى

(2) الشغل المبذول أثناء الإجراء = الضغط × التغير في الحجم

مثال (3-3) :

بخار عند ضغط (12 bar) ومعامل جفاف (X=0.9) وكتلته (1 Kg) تم تسخينه تحت ثبوت الضغط حتى اصبح بخار مشبع جاف .

احسب : 1- الزيادة في الحجم

2- الحرارة المضافة

Data :
P_1=12 bar , X_1=0.9 , m=1 Kg , X_2=1
Req :
1) $V_2 - V_1$
2) Q_{1-2}
Solution :
from steam table at 12 bar
v_f = 0.0001139 m^3\Kg , V_g = 0.16333 m^3\Kg
h_f = 798.65 Kj \ Kg , h_g = 2784.8 Kj\ Kg
$v_1 = V_f + x_f (V_g - V_f)$
$= 0.0011396 + 0.9 (0.16333 - 0.001139) = 0.147\ m^3$\Kg

$h_1 = h_f + x_1 (h_g - h_f)$
$= 798.65 + 0.9 (2784.8 - 798.65) = 2586.19$ Kj\Kg

∴ the process is const. press
∴ $P_1 = P_2 = 12$ bar
$V_2 = V_g = 0.16333\ m^3$\Kg
$h_2 = h_g = 2784.8$ Kj\Kg

1) $V_1 = mv_1 = 1 \times 0.147 = 0.147\ m^3$
$V_2 = mv_2 = 1 \times 0.16333 = 0.16333\ m^3$
∴ $V_2 - V_1 = 0.16333 - 0.147$
$V_2 - V_1 = 0.01633\ m^3$

2) $Q_{1-2} = m (h_2 - h_1)$
$= 1 (2784.8 - 2586.19)$
$Q_{1-2} = 198.61$ Kj

مثال (3–4) :

بخار كتلته (5 Kg) ضغطه (0.8 M Pa) ومعامل جفاف (X = 0.7) تم تسخينه تحت ضغط ثابت حتى اصبح بخار مشبع جاف .

ارسم الإجراء على منحنى الإنتروبي ودرجة الحرارة ؟

احسب :

1) التغير في الحجم m^3

2) التغير في الإنثالبي Kj/Kg

2) الشغل اللازم للتمدد Kj

4) كمية الحرارة المنتقلة خلال الإجراء Kj

Data :
m=5 Kg
P_1=0.8 M Pa
X_1 = 0.7
$P_1=P_2$
X_2=1
Req :
1) ΔV
2) Δh
3) W_{1-2}
4) Q_{1-2}
Solution :
from steam table at P_1=0.8 M Pa
v_f = 0.001115 m^3\Kg , v_g = 0.2404 m^3\Kg
h_f = 721.11 Kj \ Kg , h_g = 2769.1 Kj\ Kg
$v_1 = X_1 v_g + (1-x_f) v_f$
$= 0.7 (0.2404) + (1 – 0.7) (0.001115) = 0.1686 m^3\Kg$
$h_1 = X_1 h_g + (1 - X_1) h_f$
$= 0.7 (2769.1) + (1 – 0.7) (721.11) = 2154.7$ Kj\Kg
$v_2 = v_g = 0.2404 m^3\Kg$
$h_2 = h_g$ = 2769.1 Kj\Kg

1) $\Delta V = m (v_2 - v_1) = 5 (2404 – 0.1686)$
$= 0.359 m^3$

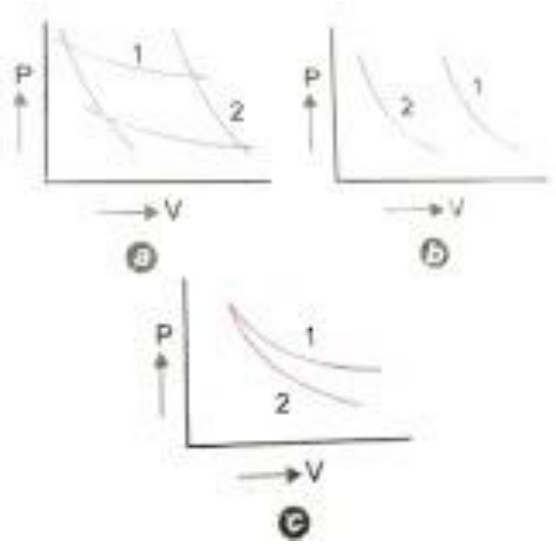
2) $\Delta h = h_2 - h_1 = 2769.1 - 2154.7$
$= 614.4$ Kj/Kg

3) $W_{1-2} = m\ P\ (v_2 - v_1) = (0.8)\ (1000)\ (0.359)$
$= 287.2$ Kj

4) $Q_{1-2} = m\ (h_2 - h_1) = (5)\ (614.4)$
$= 3071.99$ Kj

3–3 الإجراء الأديباتيكي

ADIABATIC OR ISENTROPIC PROCESS



هذا الإجراء يتم بدون انتقال حرارة من أو إلى الوسط المحيط

$\therefore Q_{1-2} = 0$

$PV^{\gamma} = C$

ويمكن استنتاج قيمة الشغل مثل الإجراء السابق:

$$W_{1-2} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$

مما سبق نستخلص الآتي:

الشغل أثناء الإجراء:

$$W_{1-2} = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{\gamma - 1}$$

- الحرارة المضافة أو المطرودة أثناء الإجراء – صفر

مثال (3–5) :

بخار ضغطه (10 bar) ومعامل الجفاف (X= 0.95) تمدد أديباتيكيا حتى ضغط (4bar)

احسب معامل الجفاف النهائي بعد التمدد .

Data :
P_1 = 10 bar . X_1 = 0.95
P_2 = 4 bar
Req:
X_2 = ?
Solution :
from steam table at 10 bar :
s_f = 2.1387 Kj\Kg K , s_g = 6.5865 Kj\Kg K
$s_1 = s_f + X_1 (s_g - s_f)$
= 2.1387 + 0.95 (6.5865 - 2.1387) = 6.36 Kj\ Kg K

from steam table at 4 bar :
s_f = 1.7766 kj\Kg K , s_g = 6.8959 Kj\Kg K
$s_2 = s_f + X_2 (s_g - s_f)$
$s_1 = s_2$

$$X = \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.36 - 1.7766}{6.8959 - 1.7766}$$

X_2 = 0.896

مثال (3–6) :

بخار رطب ضغطه (1.75 MPa) ومعامل الجفاف (X= 0.85) تمدد أديباتيكيا حتى ضغط (0.2 MPa)

احسب : معامل الجفاف بعد التمدد ، التغير في الطاقة الداخلية .

Data :
P_1 = 1.75 MPa , X_1 = = 0.85
P_2 = 0.2 MPa
Req:
1) X_2 = ?
2) Δu = ?
Solution :
from steam table at 1.75 MPa :
s_f = 2.3851 Kj\Kg K , s_g = 6.3896 Kj\Kg K
u_f = 876.46 Kj\Kg , u_g = 2597.8 Kj\Kg
$s_1 = X_1 s_g + (1 - X_1) s_f$
= 0.85 (6.3896) + (1 – 0.85) 2.3851
= 5.7889 Kj\ Kg K
$u_1 = X_1 u_g + (1 - X_1) u_f$
= 0.85 (2597.8) + (1 – 0.85) 876.46
= 2339.599 Kj\ Kg
from steam table at 0.2 MPa :
s_f = 1.5301 Kj\Kg K , s_g = 7.1271 Kj\Kg K

1) $$X = \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{5.7889 - 1.5301}{7.2171 - 1.5301}$$

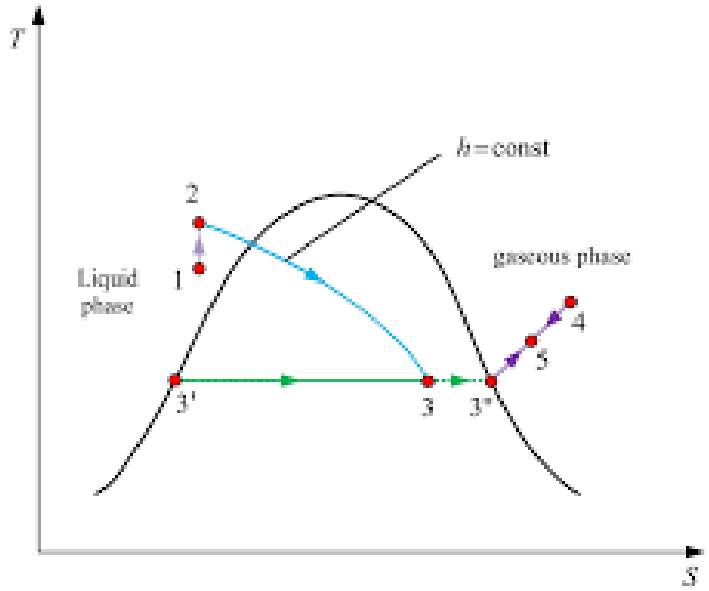
u_f = 504.49Kj\Kg , u_g = 2529.5 Kj\Kg

X_2 = 0.7609

2) $u_2 = X_2 u_g + (1 – X_2) u_f$
= 0.7609 (2529.5) + (1 – 0.7609) 504.49
= 2045.3 Kj\ Kg

$\Delta u = u_2 – u_1$ = 2045.3 – 2339.599
= - 294.28 Kj/Kg

4-3 إجراء الخنق THROTTLING PROCESS



T–S diagram of throttle cooling process

إجراء الخنق هو مرور كمية من البخار خلال فتحة ضيقة وأثناء هذا الإجراء يقل الضغط وفي هذا الإجراء لا يوجد شغل مبذول ولا توجد حرارة مضافة أو مطرودة.

$\therefore W_{1-2} = 0$

$Q_{1-2} = 0$

القانون الأول للديناميكا الحرارة في حالة المجموعة المفتوحة:

$\therefore Q_{1-2} = W_{1-2} + h_2 - h_1$

$\therefore h_1 = h_2$

مما سبق نستخلص الآتي:

1- الشغل المبذول أثناء الإجراء = صفر

2- الحرارة المنتقلة خلال الإجراء = صفر

3- الانثالبي أثناء الإجراء = ثابت

مثال (3 –7)

كمية من البخار كتلتها (2Kg) عند ضغط (14 bar) ومعامل جفاف (X=0.9) تم خنقه إلى ضغط (1.5 bar) ، احسب الحالة النهائية للبخار (X_2) ؟

Data :
m = 2Kg , P_1 = 14 bar , X_1 = 0.9 , P_2 = 1.5 bar
Req :
X_2 = ?
Solution :
from steam table at P = 14 bar :
h_f = 83.03 Kj\Kg , h_g = 2790 Kj\Kg
$h_1 = h_f + X_1 (h_g - h_f)$
$= 830.3 + 0.9 (2790 - 830.3) = 2594$ Kj\Kg

from steam table at P = 1.5 bar :
h_f = 467.11 Kj\Kg , h_g = 2693.6 Kj\Kg

$$X_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{2594 - 467.11}{2693.6 - 467.11}$$

X_2 = 0.955

مثال (3 – 8)

بخار ضغطه (2 MPa) وكسر الجفاف له (X = 0.6) تم خنقه حتى ضغط

(0.5 Mpa) احسب معامل الجفاف بعد الخنق (X_2) ؟

Data :
P_1 = 2 Mpa , X_1 = 0.6 , P_2 = 0.5 Mpa
Req :
X_2 = ?
Solution :
from steam table at P = 2 MPa :
h_f = 908.79 Kj\Kg , h_g = 2799.5 Kj\Kg
$h_1 = h_f + X_1 (h_g - h_f)$
$= 908.79 + 0.6 (2799.5 – 908.79) = 2043.2$ Kj\Kg

from steam table at P = 0.5 MPa:
h_f = 640.23 Kj\Kg , h_g = 2748.7 Kj\Kg
$h_2 = h_1 = 2043.2$ Kj/Kg
$h_2 = h_f + X_2 (h_g - h_f)$

$$X = \frac{h_2 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{2043.2 - 640.23}{2748.7 - 640.23}$$

X_2 = 0.665

مسائل للمراجعة :

1) ارسم الإجراءات الآتية على منحنى (إجراء الحجم الثابت – إجراء الضغط الثابت – الإجراء الإديباتيكي) على نفس المنحنى .

2) أناء مغلق سعته ($0.5m^3$) من البخار الجاف المشبع ضغطه (350 Kpa) تم تبريد هذا الإناء حتى ضغط (200 Kpa) احسب :

أ– كتلة البخار في الإناء

ب– معامل الجفاف النهائي للبخار

ج– كمية الحرارة المنتقلة خلال الإجراء .

3) بخار ضغطه (5 Mpa) ومعامل جفافه (X= 0.9) أضيفت إليه حرارة عند ضغط ثابت حتى وصلت درجة حرارته (400 C) ، إحسب كمية الحرارة المضافة .

4) كمية من البخار عند ضغط (2 Mpa) ومعامل الجفاف (X= 0.9) يحتل حجم ($0.25m^3$) يتمدد طبقا للعلاقة ($PV^{1.25} = C$) حتى وصل إلى ضغط (0.7 Mpa)

أحسب :

أ– كتلة البخار

ب– الشغل المبذول

ج– التغير في الطاقة الداخلية

د– كمية الحرارة المنتقلة خلال الإجراء مبينا اتجاهها

5) كمية من البخار كتلته (2 Kg) عند ضغط (0.85 Mpa) ومعامل الجفاف (X= 0.95) تمددت أديباتيكيا حتى الضغط (0.17 Mpa 9 طبقا للمعادلة الآتية :

$$P\,V^{1.13} = C$$

أحسب :

1– معامل الجفاف للبخار بعد التمدد

2– التغير في الطاقة الداخلية

6) بخار عند ضغط (1.4 Mpa) ومعامل جفاف (X=0.7) تم خنقه إلى ضغط

(0.1 Mpa) ، أحسب معامل الجفاف بعد الخنق ؟

7) بخار ضغطه (1.75 Mpa) ومعامل الجفاف له (X = 0.8) تم خنقه حتى ضغط (0.2 Mpa) ، أحسب معامل الجفاف بعد الخنق ؟