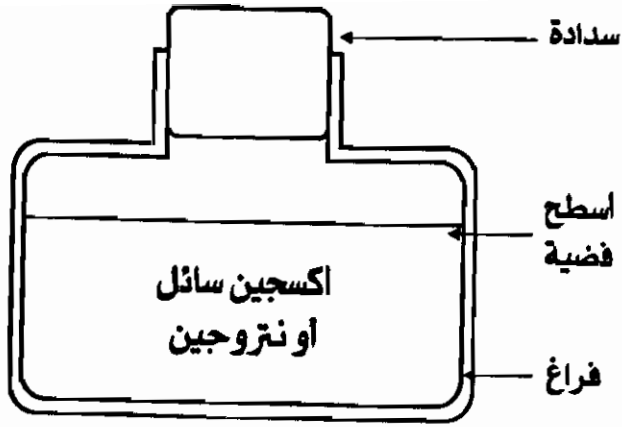


شكل (3) قارورة ثرموس لحفظ الحرارة

وقد استخدم الأطباء والعلماء فلاسكات (قارورات) ديوار (Dewar) كتخزين مؤقت للغازات مثل النيتروجين السائل والأكسجين السائل والتي يتم تبريدهم لدرجات حرارة منخفضة جداً.

الجزء رقم (3)

السوائل والأبخرة Liquids and vaporous

لكي يكون هناك إدراك كامل وجيد بالتبريد فلابد أن تكون هناك دراية تشغيلية بالسلوك الذي تنتهجه السوائل والأبخرة. وذلك لأن المائع التشغيلي للثلاجة وهو وسيط التبريد هو طور من التغيرات المتكررة من سائل إلى بخار ثم يعود مره أخرى من بخار إلى سائل.

والإخصائيون في تكييف الهواء يقومون بتعديل كمية الرطوبه في الهواء حيث أنه من الضروري أن يكونوا على دراية بتبخير وتكثيف الماء.

وفي الضاغط يحدث انضغاط لبخار وسيط التبريد ونتيجة لذلك فإن حجمه يقل. ومن هنا يكون هناك حاجه لمعرفة الطريقة التي بها يحدث تغير الضغط والحجم. وقانون بويل Boyle's law يوضح طريقة واحدة التي يكون هناك فيها علاقة تربط بين الضغط والحجم.

- **قانون بويل** Boyl's law

ينص قانون بويل على أن: حجم كتله معينه من الغاز يتناسب تناسباً عكسياً مع ضغط الغاز عند ثبوت درجة الحرارة، والمقصود بالتناسب العكسي هو أنه إذا كان الضغط مضاعف فإن الحجم يكون النصف والعكس إذا كان الحجم مضاعف فإن الضغط يكون النصف مثال على ذلك أنه كان حجم كتلة من الغاز هو 6 متر مكعب عند ضغط 120 كيلو باسكال فإذا زاد الضغط إلى 240 كيلوباسكال فإن الحجم يقل إلى 3 متر مكعب وبالعكس إذا قل الضغط إلى 60 كيلو باسكال فإن الحجم يزيد إلى 12 متر مكعب.

وغازات الجو الخارجي مثل الأكسجين والنيتروجين تطابق قانون بويل بطريقة جيده جداً، وبخار وسيط التبريد يطابق قانون بويل ولكن اقل بقليل ولكنه يفيد في تفسير حقيقة أنه عندما يزيد الحجم فإن الضغط يقل والعكس صحيح. كما يجب ملاحظة أنه في الضاغط (الكمبريسور) يحدث التغير في الضغط بسرعة عندما يكون

هناك تغير في درجة الحراره وهذا النوع من التغير يطلق عليه أديباتي بينما تغيرات قانون بويل يطلق عليها أيزوثيرمال مع عدم تغير درجة الحراره.

- **تغيرات الأديباتيك والأيزوثيرمال** Isothermal and Adiabatic Changes

في الحالة التي يكون فيها هناك حجم من الغاز داخل وعاء خاضعاً لزيادة بطيئة في الضغط مثل أي حرارة متولده يكون لها وقت للإنسحاب من الدائرة وتكون درجة الحرارة ثابتة فيقال في هذه الحالة أن هذا التغير هو تغير أيزوثيرمالي Isothermal Change:-

وإذا كان التغير سريع بحيث أن الحرارة لا يمكنها أن تسري إما لداخل أو خارج الوعاء فيكون هذا التغير هو تغير أدياباتيك Adiabatic change ودرجة الحراره تتغير.

ومع الإنضغاط الأدياباتيك يكون هناك دائماً زيادة في درجة الحرارة.

ومع التمدد الأدياباتيكي يكون هناك إنخفاض في درجة الحرارة. وهناك اكثر من شكل لأشكال التغير الأدياباتيكي. وهناك شكل واحد يحدث دون تغير في المحتوى الحراري (enthalpy) وشكل آخر يحدث دون تغير في الأنتروبي (entropy).

- **الأبخرة والسوائل المشبعة** Saturated Vapours:-

درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى بخار أو البخار إلى سائل تسمى

درجة حرارة التشبع.

والبخار الذي يكون أعلى سطح السائل يسمى بخار مشبع، وجزيئات تمر من خلال السطح وتدخل إلى البخار طول الوقت بينما جزيئات البخار يعاد دخولها إلى السائل. والسائل يسمى سائل مشبع.

ودرجة حرارة التشبع تعتمد على الضغط الجوي أو على الأقل على الضغط الذي أعلى سطح السائل. وعند الضغوط القياسية نجد ان درجة حرارة تشبع الماء هي 100مْ. والماء يغلي عند هذه الدرجة، ويحدث التبخر في كل مكان في جسم السائل وتتكون فقاعات من البخار وتلك إضافة إلى السطح تسبب حدوث تقليب وهذا التقليب يوضح لمن يراه أن الماء يغلي. وهذا المبدأ يطبق على السوائل الأخرى أيضاً.

ومصطلح التبخير هنا يرجع استخدامه إلى عملية الغليان وليس لنوع التبخير حيث أن الجزئيات تترك سطح عند جميع درجات الحرارة وكلما زادت درجة الحرارة كلما زاد معدل التبخير.

عندما يتغير الضغط الجوي فإن درجة حرارة التشبع سوف تتغير ومثال ذلك أن ضغط الهواء في الأماكن المرتفعة يكون منخفض ولذلك فإن الماء سوف يغلي عند درجة حرارة تكون أقل من 100مْ. وفي داخل وعاء الطهي سيكون الضغط عالي ومن ثم فإن درجة الغليان سوف تزيد إلى قيمة أكبر بكثير من 100مْ. ومن الطبيعي أن الضغط الذي داخل وعاء ا لطهي ليس أطول من تلك الذي للضغط الجوي. وهو الضغط الذي يكون فوق سطح السائل والذي يكون هاماً وهذا الضغط إما يكون

تلك الذي للضغط الجوي أو ضغط ما آخر. والضغوط التي داخل الغلايات الخاصة بمحطات القوى الكبيرة تعطي درجات التشبع بالعديد من الدرجات المئوية.

- **البخار المحمص** Superheated vapour

البخار الذي يتم تسخينه إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التشبع فيطلق عليه بخار محمص. ويمكن رفع درجة الحرارة فقط وذلك بإضافة الطاقة الحرارة وتعرف بالتسخين الزائد والحرارة الزائدة. والتسخين الزائد (التحميص) يمكن أن يحدث فقط عندما يتبخر السائل كلية أو إذا إرتحل البخار كلية من السائل المتواجد.

- **درجة الحرارة الحرجة** Critical temperature:-

البخار يمكن تكثيفه لتكوين السائل عن طريق التبريد لهذا السائل وهذا يحدث طول الوقت للماء في الجو. وعندما تكون درجات الحرارة مرتفعة خلال النهار تكون جميع المياه التي في الجو على هيئة بخار. وهذا طبعاً ينطبق على نهار اليوم الجاف وليس لليوم الممطر. ومع ذلك تنخفض درجة الحرارة أثناء الليل ويتكثف بعض بخار الماء الذي في الهواء ويكون سائل يعرف بالندى.

والبخار يمكن أن يتكثف أيضاً عن طريق زيادة الضغط بدون التغير في درجة الحرارة. ومن المعروف أن الجزيئات في السائل متقاربة مع بعضها عن تلك التي في البخار وحينما يكون البخار في حالة إنضغاط نجد أن حجمه ينخفض وبعض

الجزيئات ستندفع مع بعضها وتكون سائل. وعندما يتزايد الضغط أكثر وأكثر نجد أن البخار سوف يتكثف إلى سائل.

ويمكن رفع درجة حرارة البخار إلى درجة لا يمكنه عندها التحول إلى سائل عن طريق الضغط بمفرده. والدرجة التي يحدث عندها هذا تكون هي درجة الحرارة الحرجة Critical Temperature. والغازات الرئيسية التي يتكون منها الهواء وهي الأكسجين والنيتروجين تكون جيدة جداً في أعلى من درجات حراراتها الحرجة والتي تكون أقل كثيراً من -100م. والأكسجين السائل والنيتروجين السائل يمكن إنتاجهم فقط عند درجات حرارة منخفضة جداً. كما أن درجة الحرارة الحرجة يمكن إستخدامها أحياناً في التميز بين الغازات والأبخرة.

وهكذا فإن الهواء الجاف (بصفه رئيسية النيتروجين والأكسجين) يطلق عليه أنه غاز (أو غاز دائم) بينما الماء الذي في الجو يطلق عليه بخار.

- **المحتوى الحراري Enthalpy:-**

المحتوى الحراري لجسم ما هو كمية الطاقة الكلية المعطاة له مع إعتبار أن الطاقة تؤخذ عند نقطة الصفر للمحتوى الحراري.

ويعرف المحتوى الحراري بالمعادلة الآتية:

$$H = U + PV$$

حيث أن H = المحتوى الحراري بالجول (J)

U = الطاقة الداخلية بالجول (J)

P = الضغط بالباسكال (pascal)

V = الحجم بالمتر المكعب (m^3)

وأحياناً يعرف المحتوى الحراري enthalpy بالحرارة الكلية.

- **المحتوى الحراري النوعي specific enthalpy:-**

هو المحتوى الحراري الكلي مقسماً على كتلة الجسم أو المحتوى الحراري الكلي لكتلة الوحدة أي مثل المعادلة الآتية:

$$b=\frac{H}{m}$$

حيث أن :

b = المحتوى الحراري النوعي.

M = الكتلة

والمحتوى الحراري يقاس بالجول / الكيلو جرام (J/Kg)

والطاقة الداخلية لجسم (U) تعتمد على الطاقات الجهدية والحركية لجزيئاته:

$$U = P.E + K.E$$

حيث أن P.E = الطاقة الداخلية للتجاذب بين الجزيئات. كما أن قوى الجذب في الطبيعة تكون كهربائية والطاقة الجهدية تكون كهربائية. وفي الطاقة الجهدية السائله (أو الصلبة) يحضر جزء كبير من الطاقة الداخلية. وذلك بسبب أن الجزيئات في السائل

obeikandl.com

تكون متقاربة مع بعضها ويكون التجاذب بينهما كبير، ومع ذلك في الغاز أو البخار نجد أن الطاقة الجهديه تكون أصغر بكثير لأن الجزيئات تكون متباعدة عن بعضها بمسافات أكبر. وبذلك تتنوع كمية الطاقة الجهدية.

وفي البخار القريب من درجة حرارته للتشبع نجد أن الطاقة الجهديه تكون كبيره نسبياً. وهذا يوجد فعلياً لبخار الماء في الجو والذي غالباً يتحول إلى سائل عندما يتغير الضغط ودرجة الحرارة، ومع الغازات الدائمة الأكسجين والنيتروجين نجد أن معامل الطاقة الجهدية يكون صغير جداً عند درجات الحرارة العادية (حوالي 300 كلفن (K) أو 27مْ). والطاقة الداخلية تكون تقريباً مساوية للطاقة الحركية للجزيئات التي تحضر الغاز.

- **الإنتروبيا entropy**:-

من المعروف أن الحرارة تسري من الجسم الساخن إلى الجسم الأكثر برودة وأنتروبيا الجسم تعتمد على عاملين هما:-

(أ) الحرارة التي تسري (أو تنتقل) إلى داخل الجسم.

(ب) درجة الحرارة المطلقة (كلفن K).

$$\text{التغير في الأنتروبيا} = \frac{\text{حرارة الإنتقال}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}}$$

ووحدة قياس الأنتروبيا هي الجول / كلفن (J/K)

obeikandl.com

- **الأنتروبيا النوعية** Specific Entropy :-

الأنتروبيا النوعية هي الأنتروبيا لكتلة الوحدة ووحده قياسها الجول/ كيلوجرام.كلفن (J/kg.k)

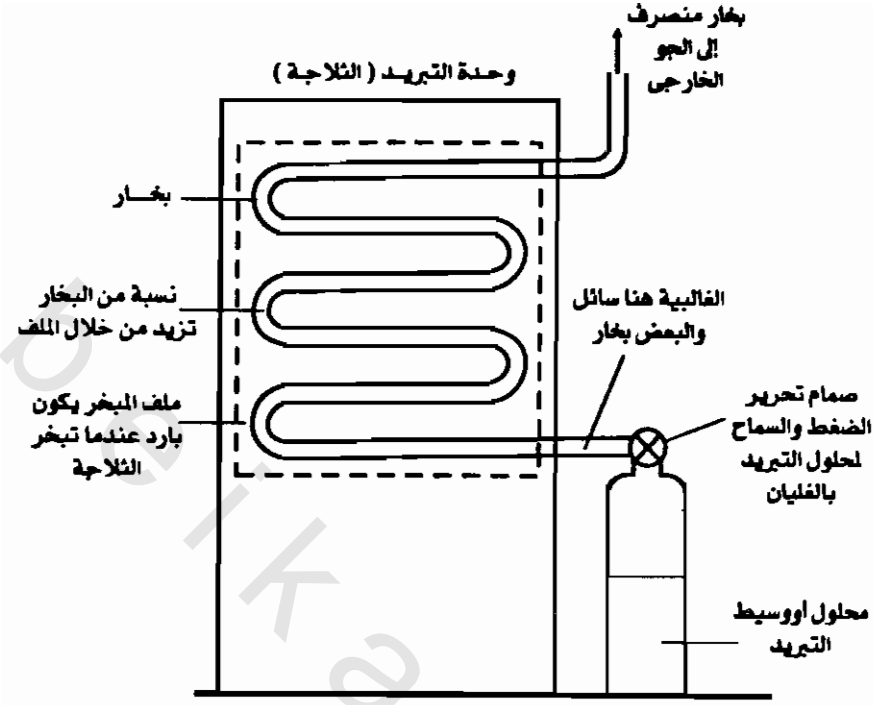
- **وحدة التبريد (الثلاجة) البسيطة**

معظم وحدات التبريد (الثلاجات) تعمل بنظام دورة إنضغاط البخار ومثل هذه الثلاجات تبدأ بخط ماسورة ملتفة حول حيز التبريد وهذه الماسورة مجوفة. وهذه الماسورة المجوفة تعرف بملف المبخر والمائع المستخدم في وحدة التبريد يعرف بمحلول أو وسيط التبريد.

ومعظم محاليل التبريد تكون في حالة بخار عند الضغط الجوي وفي درجة حرارة الغرفة لأنها تغلي عند درجات حرارة أقل من الصفر على التدريج المئوي. ومع ذلك في المناطق ذات الضغط العالي في وحدة التبريد أو الثلاجة أي في بعض هذه المناطق يكون وسيط التبريد سائل.

وتبنى نظرية وحدة التبريد البسيطة على أن محلول أو وسيط التبريد يمكن السماح له بالغليان في ملف المبخر وتهريبه إلى الجو الخارجي كما في شكل (4)

obeikandl.com



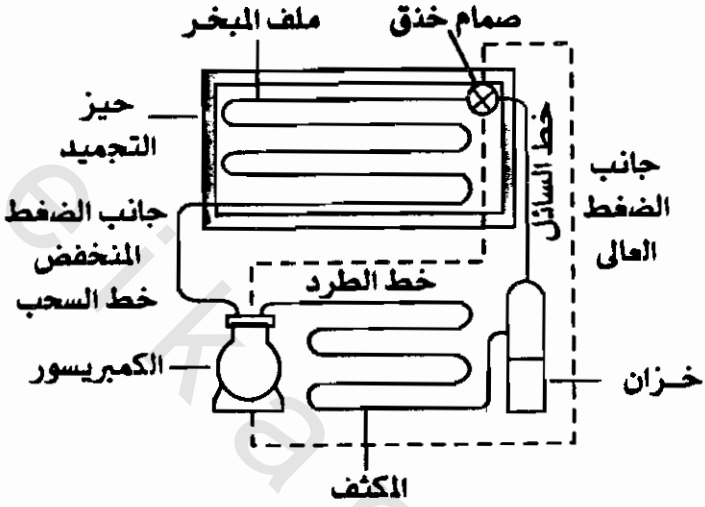
شكل (4) دائرة تبريد مبسطه مع محلول التبريد المنصرف

ويحتاج السائل إلى حرارة للمحافظة على الغليان وفي هذه الحالة فإن المكان الوحيد الذي يمكن أن تأتي منه الحرارة هو الفراغ المحيط بالمبخر.

ونتيجة لذلك فإن الحرارة التي حول المبخر تنخفض.

وهذا النظام له عدد أثنين من العيوب الأول هو التكلفة التي تنتج من الفقد في غاز التبريد والثاني هو التلوث الذي ينتج في الجو الخارجي وللتغلب على هذه المشاكل لابد من تركيب أجهزة أخرى في وحدة التبريد أو الثلاجة بحيث يمكن إعادة تداول وسيط التبريد ومروره من خلال المبخر عدة مرات.

وشكل (5) الآتي يوضح وحدة تبريد (ثلاجة) أساسية حيث أنها تظهر الأجزاء الهامة.



شكل (5) وحدة تبريد (ثلاجة) مبسطة

ونظام هذه الوحدة للتبريد يكون من قسمين وهما قسم الضغط المنخفض وقسم الضغط العالي. وقسم الضغط المنخفض في الدائرة يحتوي على المبخر وخط السحب وقسم الضغط العالي يتكون من خط طرد ومكثف والخزان وخط السائل ويتحول الضغط من عالي إلى منخفض في صمام الخنق ومن منخفض إلى عالي في الكمبريسور.

وعند مرور محلول التبريد أو وسيط التبريد (غاز التبريد) خلال الدائرة فيحدث

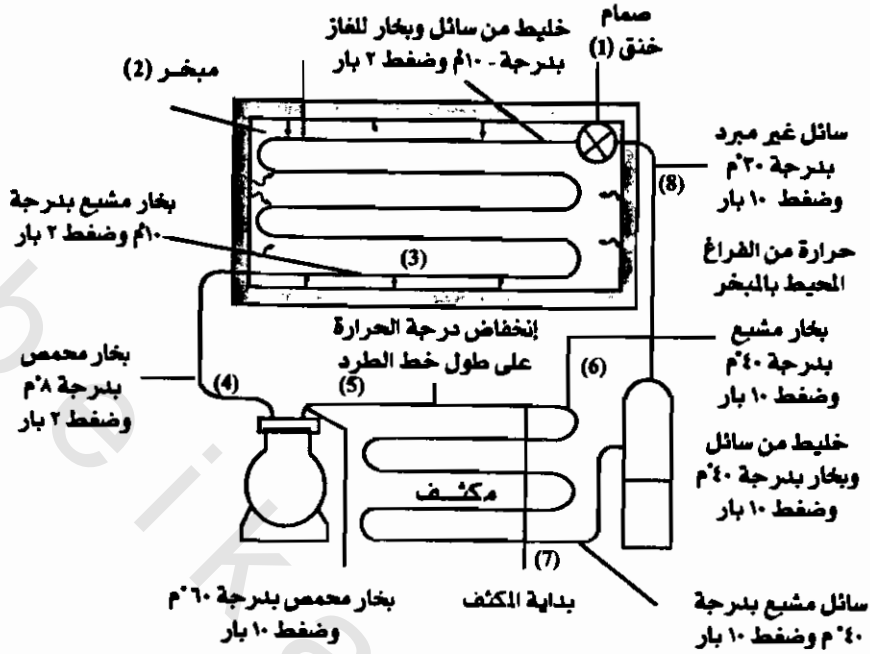
له تغير مرتين أولهما هو التبخر في المبخر ثم بعد ذلك إلى مرحلة التكثيف في المكثف ثم التبخر مرة ثانية.

وهنا تحدث دورة إنضغاط البخار والتي يتم التكثيف بواسطة الإنضغاط وشكل (6) يوضح نظام تبريد والحالات المختلفة لغاز التبريد في هذا النظام في أقسام الدورة المختلفة.

وقيم درجة الحرارة في هذا النظام تكون متطابقة تماماً مع القيم التي في الثلاجة المنزلية والضغوط المطابقة لها مأخوذة من البيان التخطيطي (Mollier Diagram) ومن جدول الثرموديناميكا.

ومن شكل (6) نجد أن غاز التبريد السائل يسري من الخزان ويمر من خلال صمام الخنق (1) . وفي هذه الحالة ينخفض الضغط ويمر غاز التبريد السائل إلى المبخر (2) ويصبح خليط من السائل والبخار.

وبفرض أننا نرغب في حرارة – 10م في المبخر وبالنظر في الجداول وبيان تخطيط mollier diagram نجد أن درجة حرارة – 10م يطابقها ضغط 2 بار.



شكل (6) يوضح الحالات المختلفة لغاز التبريد

وإذا كان الضغط في المبخر هو 2بار فإن غاز التبريد سوف يغلي عند درجة -10م.

والحرارة الكامنة التي تسبب التغير أو التحول في الحالة يجب أن تأتي من مصدر ما. فمثلاً الحرارة الكامنه يمكن أن يكون مصدرها موقد معين وفي الرسم السابق نجد أن هذه الحرارة تأتي من فراغ مبرد حول الملف (وهو حيز التجميد في الثلاجة المنزلية).

وعندما تسري الحرارة إلى داخل الملف نجد أن درجة حرارة الفراغ المحيط تنخفض.

وفي داخل المبخر يتبخر السائل ولذلك نجد أن البخار يكون مشبع (3) ويضغط الكمبريسور البخار الآتي من المبخر من خلال خط السحب. وهذه العملية تجعل البخار ينفصل من سائله وتسر الحرارة من الهواء المحيط إلى داخل خط السحب ويحدث التحميص ودرجة حرارة البخار المحمص وترتفع درجة حرارة البخار المحمص بدرجة ترتبط بزمن المعطي للكمبريسور (4) وقيمة درجة الحرارة تكون حوالي 8مْ ومع ذلك فإن الضغط لا يتغير ويكون تقريباً هو نفس ضغط البخار داخل المبخر.

ويضغط الضاغط البخار المحمص بسرعة جداً وبذلك يكون ذلك إنضغاط أدياتي ويكون هناك ارتفاع في درجة الحرارة. وهذا يحدث بسبب أنه مع السرعة العالية للإنضغاط لا يكون هناك وقت لأن تسري الحرارة من الكمبريسور إلى الهواء الخارجي. وبسبب الارتفاع في درجة الحرارة وتلك التي للطاقة الداخلية وبسبب الزيادة في الضغط فيكون هناك زيادة في المحتوى الحراري.وفي هذه الحالة يدخل البخار المحمص بدرجة حرارته الأعلى والضغط إلى داخل خط الطرد (5). ودرجة الحرارة المحتملة عند هذه النقطة تكون حوالي 60مْ وعند ضغط حوالي 10بار.

وعندما يمر البخار عبر طول خط الطرد فإنه يفقد الحرارة في الجو الخارجي وتنخفض درجة الحرارة. وهذا بسبب أن 60مْ عند النقطة (5) تكون أعلى بكثير من درجة الحرارة الجوية. ويستمر أيضاً في فقد درجة الحرارة في الجزء العلوي من المكثف حتى يصل إلى درجة التشبع أو درجة حرارة التكثف (6).

ويبدأ البخار في أن يتكثف وبذلك يصبح بخار مشبع. ومن الجدول البياني Mollier diagram نجد أن درجة حرارة التكثف عند ضغط 10 بار تكون 40مْ. وفي الوقت الذي يمر فيه غاز التبريد من خلال المكثف (V) يكون سائل مشبع عند نفس درجة الحرارة والضغط.

ويخرج غاز التبريد حرارته الكامنه عندما يتكثف وتسري الحرارة من خلال جدران المكثف إلى الجو الخارجي المحيط. وتترك الحرارة المكثف بنفس المعدل عندما تؤخذ الحرارة عند المبخر والكمبريسور، أما المكثف الذي عادة يكون في خلف الثلاجة المنزلية تشعر بسخونته عند ملامسته.

ويدخل السائل المشبع بعد ذلك إلى الخزان حيث يكون هناك حيز كافي لكمية صغيرة من التبخير تأخذ مكانها. ومن الخزان يمر غاز التبريد عبر طول خط السائل وذلك لأنه بسبب حرارته العالية فهو يفقد الحرارة في الهواء المحيط. وهكذا يبرد غاز التبريد قرضاً إلى 30مْ عند ضغط 10 بار (1)، وفي هذه الحالة تكون دورة التغيرات لغاز التبريد كاملة. وبسبب أن خط السائل يكون تقريباً ثابت نجد أن السائل يكون غير مبرد عندما يصل إلى صمام الخنق.

- **دورة البخار والإنضغاط** Vapour – Compression Cycle

كما علمنا من قبل أن غاز التبريد أو وسيط التبريد تحدث له تغيرات حالته من حيث درجة الحرارة والضغط عندما يمر من خلال دائرة التبريد. وتكون دراسة هذه

أبسط وأسهل من خلال تخطيطات بيانية تعرف بالرسومات البيانية للدورة ويوجد نوعان من هذه الرسومات هي:-

(1) رسم المحتوى الحراري مع الضغط Pressure – enthalpy diagram

(2) رسم درجة الحرارة مع أنتروبيا Temperature- entropy diagram

والرسم البياني للمحتوى الحراري مع الضغط أو mollier diagram هو الشائع الإستخدام لشرح دورة البخار والانضغاط.

- **الكارت البياني للمحتوى الحراري مع الضغط** mollier diagram

شكل (7) يوضح كارت بياني مبسط ويوضح أن الرسم البياني mollier diagram مقسم إلى ثلاث مناطق – على جانب اليد اليسرى في الشكل الموضح تكون منطقة تبريد دوني والتي يكون سائل التبريد فيها على شكل سائل تبريد دوني. وعلى جانب اليد اليمنى في منطقة التحميص يكون سائل التبريد فيها بخار محمص Superheated vapour والجزء المركزي في الكارت البياني هو منطقة تحول بين أطوار السائل والبخار والتي تعرف أحياناً بمنطقة المخلوط. والخط المنحني الذي يفصل المنطقة دونية التبريد ومنطقة التحول الطوري هو خط السائل المشبع. وجزء منطقة المخلوط بالقرب من خط السائل المشبع يمثل المخلوط التي يكون غالبيته سائل بينما الجزء الذي بالقرب من خط البخار المشبع يمثل المخلوط الذي يكون تقريباً جميعه

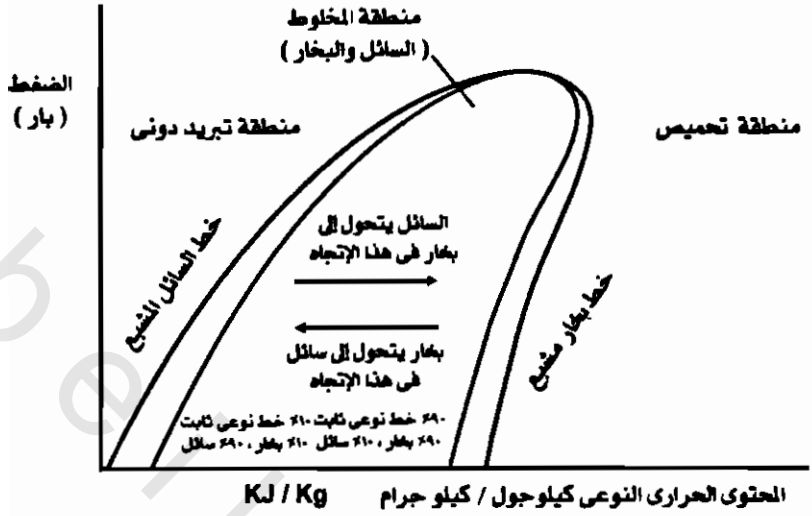
openkandil.com

بخار. والخطوط النوعية الثابتة تعطي النسب المئوية الدقيقة للسائل والبخار في المخلوط.

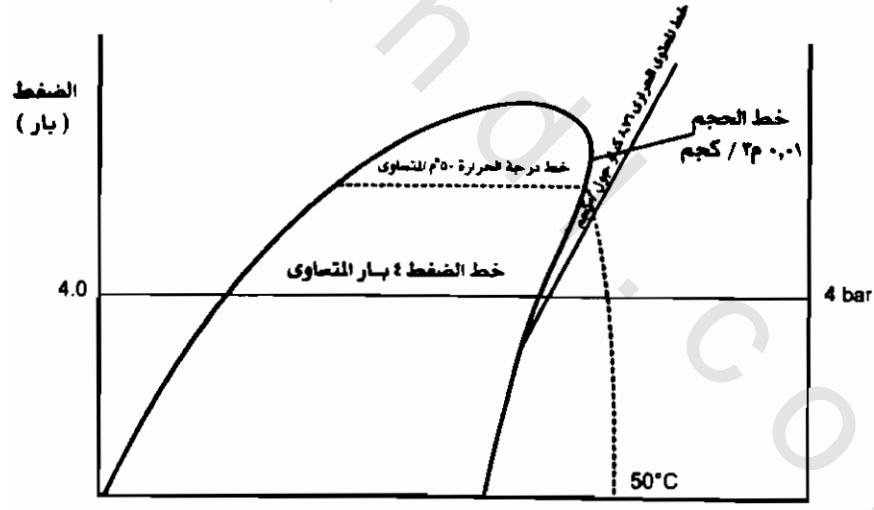
والتحول من سائل إلى بخار يحدث من الشمال إلى اليمين والتحول من بخار إلى سائل يحدث من اليمين إلى الشمال وهذا موضح في شكل الكارت البياني بواسطة الأسهم.

والخطوط الهامة الأخرى في الكارت البياني موضحة في شكل (8).

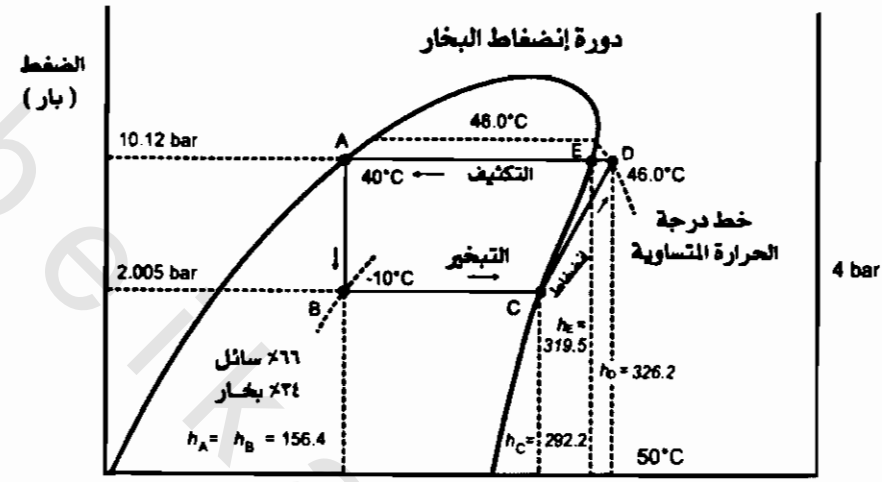
وخطوط درجة الحرارة المتساوية في مساحة المخلوط تكون متوازية مع خطوط الضغط المتساوية، وهذا يكون سببه أنه عند نفس الضغط تكون درجة الحرارة واحدة أي نفس درجة الحرارة بالنسبة للسائل المشبع والبخار المشبع (السائل يكون عند درجة حرارة التشبع) ودرجة صفر مْ هي التي أتخذت كدرجة مرجعية والمحتوى الحراري النوعي (Enthalpy) عند هذه الدرجة من الحرارة يؤخذ على أنه 100 كيلوجول/ كيلوجرام (100KJ/Kg). وبالنسبة للقياس الأنتروبي نقطة الرجوع فيه تؤخذ على أنها 1 كيلوجول/ كيلوجرام (1KJ/Kg) K لسائل التبريد عند درجة صفرْم. ومن الناحية النظرية جميع المحتويات الحرارية والإنتروبيات يمكن قياسها من الصفر المطلق ولكن هذا ينشأ عنه صعوبات عملية عديدة.



شكل (7) يوضح المناطق فى كارت موليير البيانى



شكل (8) الخطوط الهامة فى كارت موليير البيانى

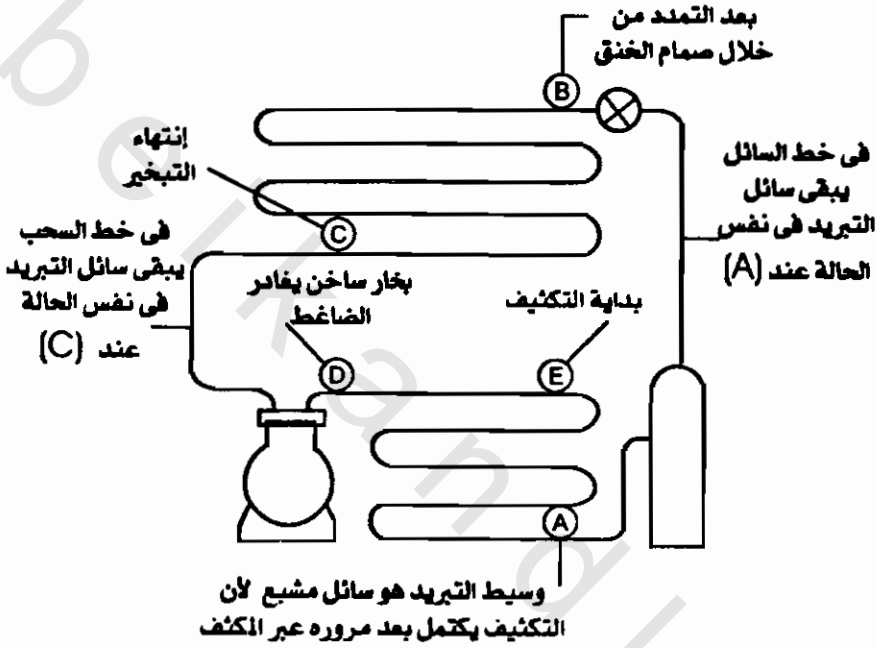


شكل (9) المحتوى الحرارى النوعى كيلوجول / كيلو جرام KJ / Kg

- ***دورة البخار- الإنضغاط البسيطة وكارت موليير البياني :**

سيكون هنا إفتراض بأن درجة حرارة التبخير في المبخر هي -10م ودرجة حرارة المتكثف في المكثف هي 40م، والنقاط E,A,B,C,D في الكارت البياني الموضح في شكل (9) المبسط لموليير وهو يمثل دورة كاملة من الأعمال وهذه النقاط تكون موضحة أيضاً في الكارت البياني للسريان في الثلاجة كما هو موضح في شكل (10). ويمكن الحصول على القيم من كروت موليير والتي تكون دقيقة مثل التي تكون مطلوبة لأغراض عديدة. وإذا كانت الأرقام الدقيقة جداً هي المطلوبة فمن الضروري

الرجوع إلى جداول المبرد الثرموديناميكي - عند 40م في المكثف (النقطة A) سائل التبريد يكون سائل مشبع عند ضغط 10.12 بار والمحتوي الحراري b= 156.4 كيلو جول/ كيلوجرام، والحجم النوعي (V) = 0.872 لتر/ كجم (1 متر مكعب = 10^3 لتر أو 1000 لتر)، والأنتروبيا النوعية (S) = 1.19 كيلوجول/ كجم-كلفن.



شكل (10) الكارت البياني للسريان فى الدورة البسيطة

وهذه الأرقام تؤخذ لأربعة أرقام تامة بالحد الأقصى.

- **عملية التمدد Expansion process**

بعد مغادرة المكثف يسري سائل التبريد من خلال خط السائل إلى صمام الخنق. وفي الواقع يكون هناك إنخفاض في درجة الحرارة عندما يحدث هذا ولكن في الدائرة البسيطة يفترض لدرجة الحرارة بأن تبقى ثابتة. وعندما يمر السائل من خلال الصمام فإنه يتمدد بسرعة كبيرة جداً داخل المبخر ويتبخر. تنخفض درجة الحرارة إلى -10م. هذا النوع من التمدد الذي يحدث بسرعة كبيرة جداً يكون أديباتي وأحياناً يسمى بالخنق أو بالسحب السلكي. وبالتمدد الأديباتي لهذا النوع لا يكون هناك تحول للمحتوى الحراري ولكن مع جميع التمددات الأديباتية يكون هناك انخفاض في درجة الحرارة. ولذلك النقطة B تكون أسفل A مباشرة عند درجة حرارة -10م . عن النقطة B يكون وسيط التبريد سائل بصفة أساسية مع بعض البخار ويقع بين 30٪، 40٪ من الخطوط النوعية الثابتة عند حوالي 34٪ بخار، 66٪ سائل.

- **التغيرات الأيزوثيرمالية والأديباتية :**

إذا كان هناك حجم معين من غاز داخل وعاء وهذا الغاز يكون خاضع لزيادة بطيئة في الضغط وفي مثل تلك الحالة أي حرارة متولدة يكون لها فترة زمنيه لمغادرة الدائرة وتكون درجة الحرارة ثابتة وبعد ذلك يقال على التحول أنه أيزوثيرمالي. وقانون بويل يستخدم في التحولات الأيزوثيرمالي. وإذا كان التحول سريع بحيث أن الحرارة لا يمكن أن تسري داخل أو خارج الوعاء فيكون التحول بعد ذلك أديباتي وتتغير

درجة الحرارة. ومع الإنضغاط الأديباتي يكون هناك دائماً زيادة في درجة الحرارة. وبالنسبة للتمدد الأديباتي يكون هناك إنخفاض في درجة الحرارة. وهناك أكثر من شكل واحد للتحول الأديباتي. وشكل منهم يحدث عندما لا يكون تحول للمحتوى الحراري وشكل آخر يكون مع عدم تحول الأنتروبيا.

- **الأبخرة المشبعة والسوائل:**

درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى بخار أو البخار يتحول إلى سائل تسمى درجة حرارة التشبع.

والبخار الذي يكون أعلى سطح السائل يسمى بخار مشبع. وجزيئات السائل التي تمر من خلال السطح وتدخل البخار طول الوقت بينما جزيئات البخار يعاد دخولها السائل. وفي هذه الحالة يسمى السائل بالسائل المشبع.

درجة حرارة التشبع تعتمد على الضغط الجوي أو على الأقل على الضغط الذي أعلى سطح السائل. وعند الضغوط القياسية تكون درجة حرارة التشبع للماء 100م. والماء يغلي عند هذه الدرجة من الحرارة والتبخر يحدث في كل مكان في كتلة السائل وتتكون فقاعات من البخار وهذا الإرتفاع إلى السطح يسبب تقليب وهذا يوضح للمشاهد بأن الماء في حالة غليان. ونفس المبدأ يستخدم للسوائل الأخرى أيضاً.

ومصطلح التبخير أو التبخير يرجع إلى عملية الغليان حيث أن الجزيئات تغادر سطح السائل عند جميع درجات الحرارة وكلما كانت درجة الحرارة أعلى كلما زاد معدل

التبخر.

- **درجة حرارة التشبع تكون مساوية لدرجة غليان السائل:**

عندما يتغير الضغط الجوي وبذلك سوف تتغير درجة حرارة التشبع. ومثال ذلك أنه عند قمة الجبل العالي يكون ضغط الهواء منخفض وبذلك فإن الماء سوف يغلي عند معدل أقل من 100م.

وداخل وعاء الضغط للطهي نجد أن الضغط سوف يكون عالي وبذلك فإن درجة الغليان سوف تزيد إلى قيمة أكبر من 100م بكثير. والضغوط التي داخل غلايات محطات القدرة الكبيرة الحديثة تنتج درجات حرارة تشبع لعدة مئات من الدرجات المئوية.

- **البخار المحمص** Superheated Vapour

البخار الذي يتم تسخينه إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التشبع يقال أنه محمص. ودرجة الحرارة يمكن رفعها فقط بواسطة إضافة طاقة حرارة تعرف بالتحميص والتحميص يمكن أن يحدث فقط في الحالة التي يتبخر فيها السائل كلية أو أن البخار يكون قد تم إزالته كلية من تواجد السائل.

- **سوائل التبريد الدوني** Subcooled liquids

السائل الذي يكون عند أي درجة حرارة أقل من درجة حرارة تشبعه يسمى بسائل التبريد الدوني.

- **درجة الحرارة الحرجة:**

البخار يمكن تكثيفه للحصول على سائل بواسطة تبريده وهذا يحدث طول الوقت للماء الذي يكون في الجو الخارجي. وعندما تكون درجات الحرارة عالية أثناء النهار تكون جميع المياه التي في الجو الخارجي تكون على شكل بخار. ومن الطبيعي أن هذا يتم فقط في النهار الجاف وليس عندما يكون هناك أمطار. ومع ذلك نجد ان درجات الحرارة تنخفض ويتكثف بعض بخار الماء الذي في الهواء ليكون السائل الذي يعرف بالندى. والبخار يمكن أيضاً تكثيفه بواسطة زيادة الضغط بدون التغير في درجة الحرارة. وعندما يكون البخار في حالة إنضغاط فإن حجمه يقل وبعض الجزيئات سوف تندفع مع بعضها بدرجة تكفي لتكوين السائل. وعندما يزيد الضغط أكثر من ذلك فإن الكثير والكثير من البخار سوف يتكثف إلى مرحلة السائل.

ودرجة حرارة البخار يمكن رفعها إلى الدرجة التي عندها لا يمكن تسييله (أو تشبعه) بواسطة الضغط بمفرده. ودرجة الحرارة التي يحدث عندها هذا تكون هي درجة الحرارة الحرجة. والغازات الأساسية التي يتشكل منها الهواء النيتروجين والأكسجين تكون أعلى من درجات حرارتها الحرجة والتي تكون أقل بكثير من -100م والأكسجين السائل والنيتروجين السائل يمكنهم إنتاجهم فقط عند درجات الحرارة المنخفضة جداً. ودرجة الحرارة الحرجة تستخدم أحياناً للتمييز بين الغازات

والأبخرة. وهكذا يقال على الهواء الجاف (يكون بصفة أساسية نيتروجين وأكسجين) أنه غاز بينما الماء الذي في الجو الخارجي يقال أنه بخار.

- **المحتوى الحراري** Enthalpy

المحتوى الحراري لجسم هو الكمية الكلية للطاقة التي يتم إمدادها له بالنسبة لطاقة تؤخذ عند درجة الصفر للمحتوى الحراري والمحتوى الحراري يتم تعريفه بالمعادلة الآتية:

$$H = U + PV$$

حيث أن H= هي المحتوى الحراري بالجول (J)

U = الطاقة الداخلية بالجول.

P = الضغط (باسكال)

V= الحجم بالمتر المكعب.

والمحتوى الحراري يعرف أيضاً بالحرارة الكلية.

والمحتوى الحراري النوعي هو المحتوى الحراري الكلي مقسوماً على كتلة الجسم أو المحتوى الحراري الكلي لكل وحدة الكتلة

$$b=\frac{H}{m}$$

حيث أن :

b = المحتوى الحراري النوعي.

obeikandi.com

M = الكتلة

والمحتوى الحراري يقاس بالجول / الكيلو جرام (J/Kg)

والطاقة الداخلية لجسم (U) تعتمد على الطاقات الجهدية والحركية لجزيئاته:

$$U = P.E + K.E$$

P.E هي الطاقة الداخلية للتجاذب بين الجزيئات. وقوى التجاذب (كيميائية) تكون كهربية في الطبيعة وهكذا طاقة الوضع كهربائية. وفي طاقة الوضع للسائل (أو للمصمت) ينشأ جزء تام للطاقة الداخلية. وهذا بسبب أن الجزيئات في السائل تكون متقاربة كل مع الآخر والتجاذب بينهم يكون كبير.وفي الغاز والبخار تكون طاقة الوضع نسبياً أصغر بكثير بسبب أن الجزيئات تكون أكثر تباعد. وفي البخار القريب لدرجة حرارة تشبعه تكون طاقة الوضع كبيرة نسبياً. وهذا هو ما يتم فعلياً بالنسبة لبخار الماء في الجو الخارجي الذي غالباً يتحول إلى سائل عندما تتغير درجة حرارة وضغط الهواء. ومع التي تسمى بالغازات الدائمة النيتروجين والأكسجين معامل طاقة الوضع يكون صغير جداً عند درجات الحرارة العادية (تقريباً 300 كلفن أو 27م) الطاقة الداخلية تكون تقريباً مساوية إلى الطاقة الحركية للجزيئات التي تشكل الغاز.

- **أنتروبيا Entropy**

كما علمنا من قبل أن الحرارة تسري من الجسم الساخن إلى الجسم الأكثر برودة. وأنتروبيا الجسم تعتمد على عدد اثنين من العوامل وهما سريان الحرارة (أو إنتقالها) إلى داخل الجسم ودرجة الحرارة المطلقة كلفن.

التغير للأنتروبيا = الحرارة المنتقلة / درجة الحرارة المطلقة

الأنتروبيا يتم قياسها بالجول لكل درجة حرارة كلفن (J/K). والأنتروبيا النوعية هي الأنتروبيا لكل وحدة كتلة ويتم قياسها بالجول لكل كيلوجرام/ كلفن (J/KgK).

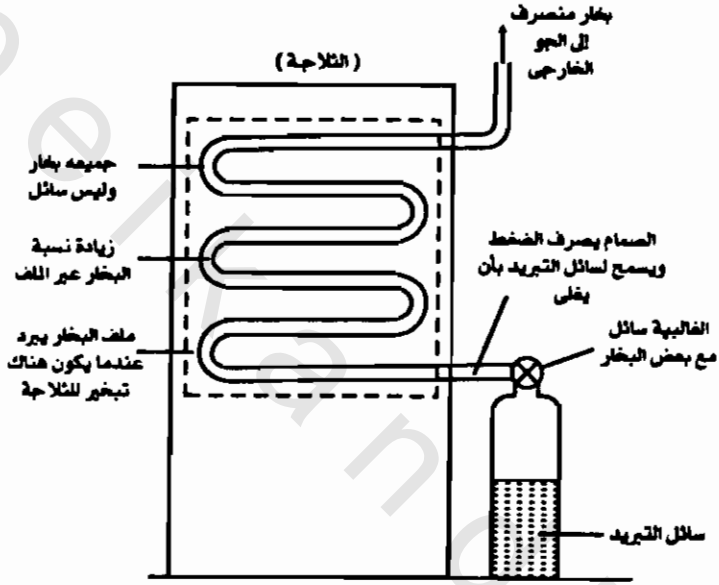
- **الثلاجة البسيطة** Simple Refrigerator

معظم الثلاجات التي تعمل بدورة إنضغاط البخار. ومثل تلك الثلاجات تبدأ بماسورة مجوفة ملتفة حول حيز التبريد. وهذه الماسورة المجوفة تعرف بملف المبخر. والمائع الذي يستخدم في الثلاجة يعرف بوسيط التبريد أو المبرد. ومعظم المبردات تكون في حالة بخار عند الضغط الجوي وعند درجة حرارة الغرفة لأن هذه المبردات تغلي عند درجات حرارة تحت الصفر بمقياس الدرجات المئوية. ومع ذلك عند درجات حرارة تحت الصفر بمقياس الدرجات المئوية. ومع ذلك في بعض أجزاء الضغط العالي في الثلاجة يكون وسيط التبريد سائل.

ونظرياً يمكن ضبط الدائرة البسيطة بحيث أن يسمح للمبرد بأن يغلي في ملف المبخر وينصرف إلى الجو الخارجي شكل (11) يوضح ذلك.

يحتاج السائل إلى حرارة (كامنة) للمحافظة على الغليان وفي هذه الحالة يكون المكان الوحيد الذي تأتي منه الحرارة هو الحيز المحيط بالمبخر. ونتيجة لذلك فإن درجة الحرارة التي حول المبخر تنخفض.

وهذا النظام له عدد أثنين من العيوب وهي التكلفة التي يتضمنها الفقد في وسيط التبريد (سائل أو غاز التبريد) والتلوث الناتج من الجو الخارجي. وللتغلب على تلك المتاعب يلزم أن يكون هناك أدوات أخرى في الثلاجة بحيث يمكن لوسيط التبريد أن يعاد تداوله ويمر من خلال المبخر عدة مرات.

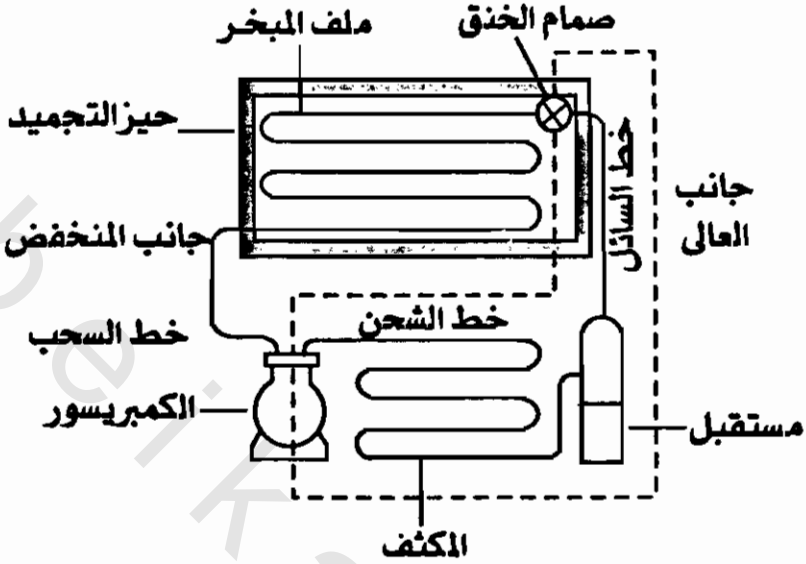


شكل (11) دائرة مبسطه مع سائل التبريد المصرف

وشكل (12) يوضح نظام أساسي لثلاجة والذي تظهر فيه الأجزاء الهامة.

ودائرة الثلاجة تتكون من جزئين هما: جزء الضغط المنخفض أو جانب المنخفض وجزء الضغط العالي أو جانب العالي وجانب المنخفض للدائرة يحتوي على المبخر وخط السحب. وجانب العالي يتكون من خط الطرد والمكثف والمستقبل وخط السائل ويتحول الضغط من العالي إلى المنخفض في صمام الخنق ومن المنخفض إلى

العالي في ضاغط الهواء (الكمبريسور).



شكل (12) نظام مبسط للثلاجة

عندما يمر سائل التبريد (سائل أو غاز) خلال الدائرة فإنه يحول طوره مرتين ويبدأ بالتبخر في المبخر ثم يذهب بعد ذلك للتكثيف في المكثف وأخيراً للتبخر مرة أخرى وهذا هو الذي يحدث دورة إنضغاط البخار والذي فيها يتم تحقيق التكثيف بواسطة الإنضغاط وشكل (13) يوضح دائرة تبريد مع وسيط التبريد في حالات مختلفة في مختلف أجزاء الدورة . وقيم درجة الحرارة تكون تقريباً مطابقةً لثلاجة خدميه والضغوط المناظرة مأخوذة من كارت موليير البياني وجداول الديناميكا الحرارية.

وفي شكل (12) نجد ان سائل التبريد ذات الضغط العالي والتبريد الدوني يسري من المستقبل ويمر بعد ذلك خلال صمام الخنق (1) وهنا ينخفض الضغط ويمر

إلى داخل المبخر (2) ويصبح خليط من السائل والبخار. ونفترض بأن تكون درجة الحرارة -10مْ في المبخر وبالنظر في الجدول نجد أن درجة -10مْ تناظر الضغط 2 بار. وإذا كان الضغط في المبخر 2 بار فإن سائل التبريد سوف يغلي بعد ذلك عند -10مْ والحرارة الكامنة التي تسبب تحول الطور يجب أن تأتي من مصدر ما (مثال ذلك موقد بنزن). وهنا وبسبب الإرتفاع في درجة الحرارة وكذلك للطاقة الداخلية وبسبب الزيادة في الضغط يكون هناك زيادة في المحتوى الحراري. والبخار المحمص ومع درجة حرارته الأعلى والضغط يدخل الآن خط الطرد (5).

ودرجة الحرارة المحتملة عند هذه النقطة تكون حوالي 60مْ عند ضغط مثلاً 10بار.

عندما يمر البخار عبر خط الطرد فإنه يفقد الحرارة إلى الجو الخارجي وتنخفض درجة الحرارة. وهذا يكون سببه هو أن الدرجة 60مْ عند (5) تكون أعلى من درجة حرارة الجو الخارجي. وهي أيضاً تستمر في فقد الحرارة في الجزء العلوي من المكثف حتى يصل إلى تشبعه أو درجة حرارة التكثيف (6). وهنا يبدأ البخار في أن يتكثف وهكذا يصبح بخار مشبع. ومن كارت موليير البياني درجة حرارة التكثيف عند ضغط 10 بار تكون 40مْ وبالوقت الذي يمر فيه سائل التبريد خلال المكثف (7) يكون سائل مشبع عند نفس درجة الحرارة والضغط.

ويخرج سائل التبريد حرارته الكامنة عندما يكون قد تكثف وتسرى الحرارة من خلال جدران المكثف إلى الجو الخارجي المحيط به. وتغادر الحرارة المكثف عند نفس

معدل الحرارة المأخوذة عند دخول المبخر والكمبريسور. والمكثف الذي عادة يكون خلف الثلاجة الخدمية تشعر بالسخونة عند ملامسته. وبعد ذلك يدخل السائل المشبع إلى المستقبل حيث يكون هناك حيز كافي لكمية بسيطة من التبخر الذي يحدث. بعد ذلك ومن المستقبل يمر وسيط التبريد عبر خط السائل حيث أنه بسبب درجة حرارته العالية فإنه يفقد في الهواء المحيط وهكذا يبرد وسيط التبريد مثلاً إلى درجة 30م عند ضغط 10بار (1). ودورة التحولات في حالة سائل التبريد تكون الآن قد إكتملت. وبسبب أن الضغط في خط السائل يكون ثابت تقريباً فإن السائل يكون ذات تبريد دوني عند الحصول عليه في صمام الخنق.

obeikandl.com

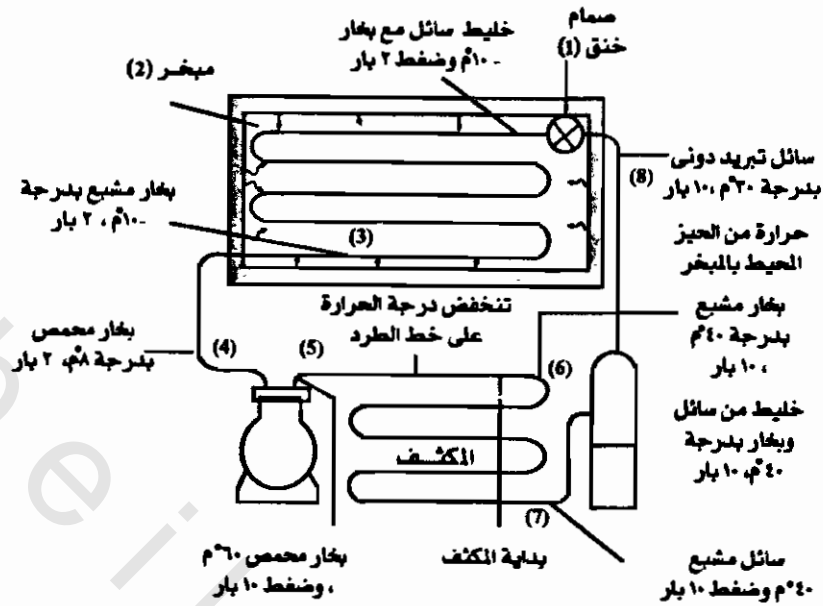
- **نقاط تفسيرية موجزه عما سبق شرحه:**

(1) درجة الحرارة التي يتحول السائل عندها إلى بخار أو البخار يتحول إلى سائل تسمى درجة حرارة التشبع.

تأتي الحرارة الكامنة من الحيز المبرد حول الملف (حيز التجميد في الثلاجة الخدمية) وعندما تسري الحرارة إلى داخل الملف فإن درجة الحرارة للحيز المحيط به تنخفض.

وداخل المبخر يكون السائل متبخر ولذلك يكون البخار مشبع (3). والكمبريسور يضغط البخار من المبخر من خلال خط السحب وهذه العملية تتسبب في أن ينفصل البخار من سائله وتسري الحرارة من الهواء المحيط إلى داخل خط السحب ويحدث التحميص. وترتفع درجة حرارة البخار المحمص بدرجة كبيرة بزمن الحصول عليه في الكمبريسور (4) والقيمة المحتملة حوالي 8م. ومع ذلك لا يتغير الضغط ويكون تقريباً هو نفس الضغط الذي يكون لضغط البخار داخل المبخر.

بعد ذلك يضغط الكمبريسور البخار المحمص بسرعة كبيرة جداً وبذلك يكون هذا إنضغاط أدياباتي ويكون هناك إرتفاع في درجة الحرارة، وهذا يكون بسبب السرعة العالية للإنضغاط ولا يكون هناك وقت لسريان الحرارة من الكمبريسور إلى الهواء الخارجي.



شكل (13) الحالات المختلفة لسائل التبريد

(2) البخار الذي أعلى سطح سائله يسمى بخار مشبع، والسائل يكون سائل مشبع.

(3) درجة حرارة التشبع تكون مساوية لدرجة غليان السائل.

(4) في المكثف يتكثف البخار إلى سائل وتطرد الحرارة الكامنة إلى الخارج وترتفع درجة الحرارة. يدخل السائل إلى المستقبل ومنه يمر بالرجوع إلى صمام الخنق في حالة تبريد دوني.

(5) البخار المحمص ذات الضغط المنخفض يتم ضخه إلى داخل الكمبريسور والبخار المحمص ذات الضغط العالي يأتي إلى الخارج ويدخل إلى المكثف.

obeikandl.com

(6) البخار المسخن لأعلى من درجة حرارة التشبع يقال أنه محمص.

(7) السائل الذي يتم تبريده لأقل من درجة حرارة التشبع يقال أنه سائل ذات تبريد دوني.

(8) درجة الحرارة الحرجة هي درجة الحرارة الأعلى التي عندها لا يمكن تحويل البخار إلى سائل بواسطة الضغط بمفرده.

(9) المحتوى الحراري Enthalpy

$$H = U + PV$$

حيث أن U= الطاقة الداخلية

p = الضغط

V = الحجم

(10) تحول الأنتروبيا = $\frac{\text{الحرارة المنتقلة}}{\text{درجة الحرارة المطلقة}}$

(11) إذا كان الضغط والحجم لغاز أو تحول البخار بطريقة تظل فيها درجة الحرارة ثابتة فيكون التحول في هذه الحالة أيزوثيرمالي.

(12) إذا كان الضغط والحجم لغاز أو تحول البخار بطريقة تتغير فيها درجة الحرارة فيكون التحول بعد ذلك أديباتي.

(13) الثلاجة التي تعمل بنظام دورة إنضغاط البخار تتكون من كمبريسور

obeikandl.com

ومكثف ومستقبل وصمام خنق ومبخر.

(14) وسيط التبريد السائل يتمدد ويغلي في المبخر يكون مروره من خلال صمام الخنق والحرارة الكامنة تؤخذ منه وتنخفض درجة الحرارة.

obeikandl.com