المحاضرة الأولى

مقدمة في الديناميك الحراري وأهميته في المجال الزراعي

أن الحرارة صورة من صور الطاقة وأن هذه الطاقة تنتقل من جسم لآخر عندما يكون هناك أختلاف في درجتي حرارتي الجسمين، كما علمت أيضاً ان هناك طاقة أخرى يمكن أن تنتقل من جسم لآخر عندما يكون الجسمان في درجة حرارة واحدة، وهذه الطاقة هي الشغل.وانت تصادف في حياتك كثيراً من التحولات التي توجد فيها طاقة متبادلة على صورة حرارة منسابة او شغل مبذول، وقد توجد الطاقة المتبادلة على الصورتين معاً.

فمثلا عند تشغيلك جهاز تكييف السيارة او البيت أو عند طهو وجبات الطعام، أو الحرارة المتولدة في محرك السيارة نتيجة تفاعل بين الأوكسجين وبخار البنزين في أسطوانات المحرك والغازات الساخنة الناتجة من الاحتراق التي تدفع المكابس مولدةً بذلك شغلاً ميكانيكياً يُستفاد منه في تحريك السيارة ودراسة مثل هذه التحولات التي تشتمل على حرارة وشغل هي موضوع هام من فروع الفيزياء يسمى الديناميكيا الحرارية) التحرك الحراري **Thermodynamic** فعلم الثرموداينمك يهتم بـ:-

1. دراسة الطاقة (الحرارة والشغل) وتحولاتهما من شكل لآخر،أي التحول المتبادل بين الطاقة الحرارية والميكانيكية الذي يحدث مثلاً في المحركات الحر ارية ، التوربينات الغازية او البخارية .... الخ ،وكذلك انتقال الحرارة بواسطة أجهزة التكييف بأستعمال الطاقة الميكانيكية.

2. دراسة التغيرات في خواص او سلوك المائع(Fluid) عندما ينضغط أو يتمدد ، يسخن أو يبرد . وقد يكون المائع غازًا مثل(الهواء) أو بخارًا مثل(بخار الماء) ، أو سائلاً أو خليطًا من هذه المواد شريطة أن لاتتفاعل مع بعضها كيميائيًا.

3. دراسة العلاقة بين تغير خواص المائع وكميات الشغل والحرارة المسببة لهذا التغير.

يستند هذا العلم الى أربعة مبادئ أو قوانين أساسية وجدت بالتجربة وليس بالاشتقاق الرياضي ،هذه القوانين هي:

1. القانون الصفري : وهو قانون التوازن الحراري الذي بموجبه يتم تعريف درجة الحرارة ،سمي بالصفري لان صياغته جاءت بعد صياغة القانون الاول.
2. القانون الاول : وهو صيغة خاصة من صيغ قانون حفظ الطاقة.
3. القانون الثاني : يحدد اتجاه سير العمليات ، أي اتجاه انتقال الطاقة ونسبة تحويل الطاقة المتنقلة.
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبين استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق.

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات توليد الطاقة ،المحركات الترددية والنفاثة والصواريخ، التوربينات الغازية والبخارية، مراجل البخار ، الضواغط ،اجهزة التكييف وغيرها . هنا واصبح من الضروري للمهندس الميكانيكي أن يلم بقوانين هذا العلم ويتفهم أسسه.

لقد كان تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة معروفًا منذ القرن الثامن عشر . وفي منتصف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول(Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحرارية ، وقد أسهم الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو ، كيلفن،كلوزيوس وغيرهم ، ومنذ القرن الماضي توسع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف.

مصطلحات مهمة

المساحةArea :-

أن مساحة الجسم هي الجزء المكشوف منها، وفي حالة السطوح الدائرية كمساحة سطح المكبس ، فان المساحة (A) تساوي:-

$$A = \frac{D^2 \pi}{4}$$

الحجم(Volume) :-

حجم الجسم او(المادة) هو مقدار مايشغله من حيز ويساوي حاصل ضرب مساحته في ارتفاعه، وحدة الحجم هي m^3 أو اللتر($1Liter = 1dm^3 = 10^{-3}\ m^3$)

$$\mathbf{V = A \times L}$$

عندما تتمدد المادة يزداد حجمها، وعندما تنضغط يقل حجمها .اما الحجم النوعي(Specific Volume) فهو حجم وحدة الكتلة(m) رمزه(υ) ويساوي :-

$$\upsilon = \frac{v}{m}$$

اما الثقل او الوزن النوعي(Specific Gravity) فهو النسبة بين كثافة المادة الى كثافة الماء.

الكثافة الكتلية(Mass Density):-

هي كتلة وحدة الحجوم تبقى ثابتة عند ثبوت درجة الحرارة والضغط . تسمى أختصارًا بالكثافة يرمز لها بالحرف اليوناني رو (ρ) وحدتها (kg/m^3).هي مقلوب الحجم النوعي، وتساوي

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{1}{\upsilon}$$

وأن الحجم النوعي والكثافة غير مستقلتين عن بعضهما لان الواحدة مقلوب الاخرى، لذا فأن الكثافة ليست بخاصية. إنّ كثافة الماء($1000\ kg/m^3$ والزئبق $3600\ kg/m^3$) وفي الثرموداينمكس يستعمل الحجم بدلا من الكثافة.

السرعة(Velocity):-

هي معدل حركة جسم في خط مستقيم، وهي نوعان:

1.**السرعة المنتظمة** : وهي معدل حركة الجسم في خط مستقيم بحيث يثبت مقدارها في كل وحدة زمنية . ويمكن تقديرها بالمسافة التي يقطعها الجسم بحركة منتظمة في خط مستقيم في وحدة زمن فأذا كان \(L)يمثل الطول بوحدات المتر(m) و(t) تمثل الزمن بوحدات الثانية (s) فستكون السرعة(C) تساوي:-

$$\mathbf{C}=\frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{t}}$$

2. **<u>السرعة المتغيرة:</u>** وهي تنشأ عندما تكون حالة الجسم متغيرة من لحظة الى أخرى، أي ان المسافة التي يقطعها الجسم في أي وحدة زمنية لاتساوي نفس المسافة التي يقطعها الجسم في أي وحدة زمنية اخرى .لهذا يحسب غالبًا متوسط سرعة الجسم.

<u>التعجيل Acceleration</u>

وهو معدل تغير السرعة في وحدة الزمن(C) ،رمزه(a) ووحدته(m/s^2) ويساوي:-

$$\mathbf{a}=\frac{\boldsymbol{C}}{\boldsymbol{t}}=\frac{\boldsymbol{L/t}}{\boldsymbol{t}}=\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{t}^2}$$

$$\mathbf{a_{aver}}=\frac{\boldsymbol{C2-C1}}{\boldsymbol{\Delta t}}$$

وتعجيل الجسم اما منتظمًا عندما يكون التغير في سرعة الجسم منتظمًا، واما متغيرًا عندما يكون التغير في سرعة الجسم غير منتظم وفي الحالة الاخيرة يقاس متوسط قيمته، وهو كذلك أما موجب القيمة فيزيد سرعة الجسم المتحرك (تسارع) ويسمى بالتعجيل الموجب، واما سالب القيمة فتنقص سرعته ويسمى(التباطؤ).

<u>القوة Force:-</u>

ان العلاقة بين القوة والحركة مبنية على قوانين الحركة الثلاث التي وضعت من قبل اسحق نيوتن .ينص القانون الاول على مايلي)) يسمتر الجسم في حالة السكون او الحركة المنتظمة على خط مستقيم الا اذا اجبرعلى تغيير تلك الحالة بفعل قوة خارجية.((فمثلا، ان سيارة واقفة على طر يق افقي سوف تستمر باقية في حالة الوقوف مالم تؤثر عليها قوة خارجية .ولو أن السيارة كانت تتحرك فبأستخدام المكابح ستتباطأ السيارة وتتوقف . فمن قانون نيوتن الاول يمكن تعريف القوة كالتالي:

القوة هي أي شئ يسبب تحريك جسم من السكون، او يوقف جسما عن الحركة، او يعجل او يبطأ او يحرف الجسم عن المسار المستقيم ويجعله يتحرك بمسار منحني .((ومن انواعها هي:

1. قوى الشد مثل القوى التي تجذب طرفي عمود من الحديد .
2. قوى الضغط مثل التي تتولد على المكبس عند احتراق الوقود.
3. قوى الجاذبية الناتجة من جذب الارض للجسم.
4. قوة الاحتكاك، وهي القوة التي تقاوم الحركة بين جسمين متلاصقين. رمز القوة(F).

الكتلة (Mass):-

هي مقدار ما يحتويه الجسم من مادة او عدد الجزيئات رمزها(m) ووحدتها(kg). لاتتغير بتغير المكان، فإذا أثِّرت قوة(F) على جسم ما بحيث يبدأ من السكون ليتحرك بتعجيل منتظم(a) فإنَّ كتلة هذا الجسم تساوي:-

$$\mathbf{m}=\frac{F}{a}$$

أن محاولة جسم للمحافظة على حالة السكون أو الحركة المنتظمة تدعى القصور الذاتي(Inertia). وقد وجد بأن هذه الخاصية تعتمد على كتلة الجسم. الوحدة الدولية(SI) للكتلة هي الكيلوغرام(Kg).

معرفة بأنها كتلة اسطوانية مصنوعة من البلاتين والايريديوم(aridum–Platinum) محفوظة في في فرنسا(Severs) . ، والوحدة الكبرى للكتلة هي الميكاكرام غرام (Mg) Megagramme وتسميه بعض الدول بالطن المتري والطن (t)(tonne) ويساوي: $1Mg=1t=10^3\ kg=10^6 g$

التعجيل الارضي Acceleration du to gravity

هو المثال الثابت للتعجيل الثابت، رمزه(يعبر عن قوة تجاذب بين الارض والجسم (g) قيمته ثابتة عند مستوى سطح البحر وتبلغ ($9.88m/s^2$). ويكون الفرق عند الانتقال من منطقة خط الاستواء الى القطب 5% أي (m/s^2 9.78) عند خط الأستواء و ($9.832\ m/s^2$) عند القطبين. لكن قيمته تنخفض كثيرًا كلما ابتعدنا عن مركز الارض حتى تنعدم تماما في الفضاء.

عندما يسقط جسم من ارتفاع معين، يجذب نحو مركز الارض بقوة الجاذبية (Force Gravity) وتبدأ سرعته من السكون ثم تتزايد بتعجيل منتظم يساوي($9.81m/s^2$). قيمته لا تتوقف على كتلة او حجم الجسم شرط اهمال تأثير قوة أحتكاك الهواء بالجسم أثناء سقوطه. لقد اثبت اسحق نيوتن في قا نونه الثالث بأن قوة الجاذبية للجسم أي وزنه (W) تتناسب مع كتلة الجسم (m) فيكون:-

$$\mathbf{W=m\times g}$$

الوزن Weight:-

اذا وضع جسم ما على سطح معين فأن الضغط الذي يسل ط ه هو دالة الوز ن . وإذا سقط جسم فأن قوة جذب نحو الارض دالة لوزن ه . فالوزن هو التعبير عن قوة جذب الارض للجسم، هذه القوة تعمل شاقولياً الى الاسفل باتجاه مركز الارض وبما ان قوة الجذب او التعجيل الأرضي(g) تتغير كلما ابتعدنا عن مركز الارض لذا فأن وزن جسم الانسان ينعدم في الفضاء لانعدام الجاذبية، عليه فأن قوة جذب الارض للجسم(F) او وزن الجسم(W) يساوي:

$$\mathbf{F = W=m\times g \Rightarrow kg\times m/s^2 = N}$$

مثال/ رجل كتلته(80 kg) كم يكون وزنه في الفضاء؟

الزخمMomentum :-

سيارة تجارية ثقيلة تحتاج الى قوة دفع لتبدأ الحركة عندما تكون محملة بالكامل اكبر مما هي فارغة . ولايقاف سيارة الحمل التجارية يتطلب قوة كبح اكبر من سيارة صغيرة تسير بنفس السرعة.

يقال للسيارة (الاثقل) بأنها ذات كمية حركة او زخم اكبر من تلك(الاخف). يعتمد الزخم على الكتلة والسرعة .لذلك فإن جسمين لهما نفس الكتلة ولكنهما يتحركان بسرعتين مختلفتين سيظهران زخمين مختلفين .يقاس زخم الجسم بحاصل ضرب كتلته في سرعته، أي:

$$\textbf{Mometum} = \mathbf{m} \times \mathbf{C}$$

تغير الزخم-قانون نيوتن الثاني للحركة:-

ينص قانون نيوتن الثاني على ان ((يتناسب زخم الجسم طرديًا مع القوة المؤثر ة)) فاذا أثرت قوة (F) على جسم كتلته(m) لمدة (t) وغيرت سرعتها من C1 إلى C2 فان تغير الزخم يساوي:

$$\Delta\textbf{Momentum} = \mathbf{m(C2 - C1)} \cdots$$

ومعدل تغير الزخم يساوي:

$$\Delta\textbf{Momentum} = \frac{\boldsymbol{m(c2-c1)}}{\boldsymbol{t}}$$

$$\mathbf{F} \propto \frac{\boldsymbol{m(c2-c1)}}{\boldsymbol{t}}$$

$$\mathbf{a} = \frac{\boldsymbol{(c2-c1)}}{\boldsymbol{t}}$$

$$\mathbf{F} \propto \boldsymbol{ma}$$

يمكن تعريف وحدة الـ(F) بانها القوة المطلوبة لاعطاء وحدة الكتلة وحدة التعجيل . تدعى الوحدة الدولية (SI)للقوة نيوتن(N) وتعرف بأنها القوة المطلوبة لاعطاء كتلة مقدارها(1kg) تعجيلا مقداره($1m/s^2$) لذلك:-

$$\mathbf{1N = 1kg \times 1m/s2}$$

فأذا كانت(F) هي القوة، بالنيوتن، المطلوبة لاعطاء جسم كتلته ،(m) بالكيلوغرام، تعجيلاً(a) بالـ (m/s^2) فإنَّ:-

$$\mathbf{F = m\ a}$$

<u>أمثلة محلولة:-</u>

1- أوجد مساحة سطح اعلى مكبس الي قطره(0.67mm).

2- مكبس قطره(67 mm) ، وطول شوطه(90mm) اوجد الحجم الذي يزيحه اثناء الشوط .

3- أوجد متوسط سرعة المكبس(Sp) اذا كان طول الشوط(200 mm) ويؤدي(30) شوطاً في الثانية.

4- سيارة كتلتها(2t) تسير بسرعة(72km/h) أحسب زخم السيارة.

5- عربة كتلتها(1500kg) تسير بسرعة(90 km/h) اريد ختبار المكابح . وقد سلطت الكوابح لانتاج اقصى كبح .معامل الاحتكاك بين الاطارات والطريق هو.(0.8) أحسب:

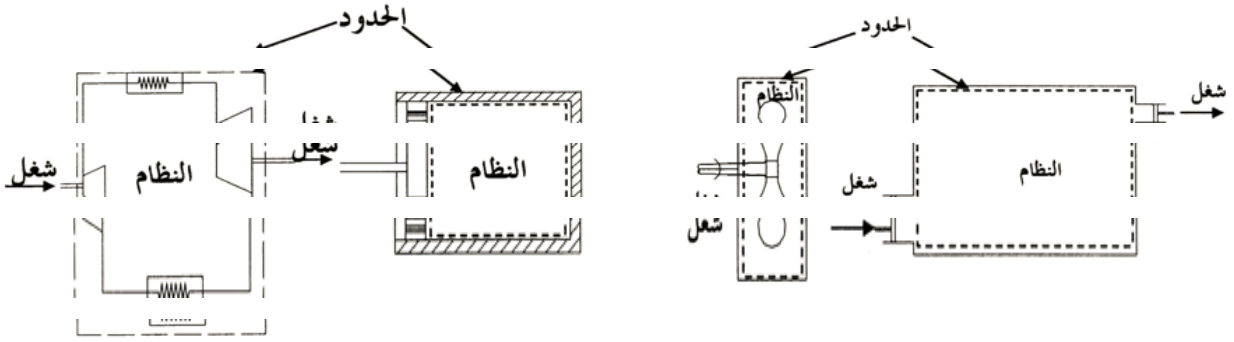
قوة الكبح المسلطة (2) التباطؤ المنتج (3) كفاءة الكبح (4) الزمن المستغرق للتوقف

6- عربة كتلتها(2ton) تتعجل بانتظام من (27 km/h) الى(72 km/h) في (20 s) احسب القوة المطلوبة(قوة الجذب) .والشغل الكلي المنجز .ومعدل القدرة المتولدة في انتاج هذا التعجيل.

المحاضرة الثانية

النظام الثرموديناميكي(Thermodynamic System):-

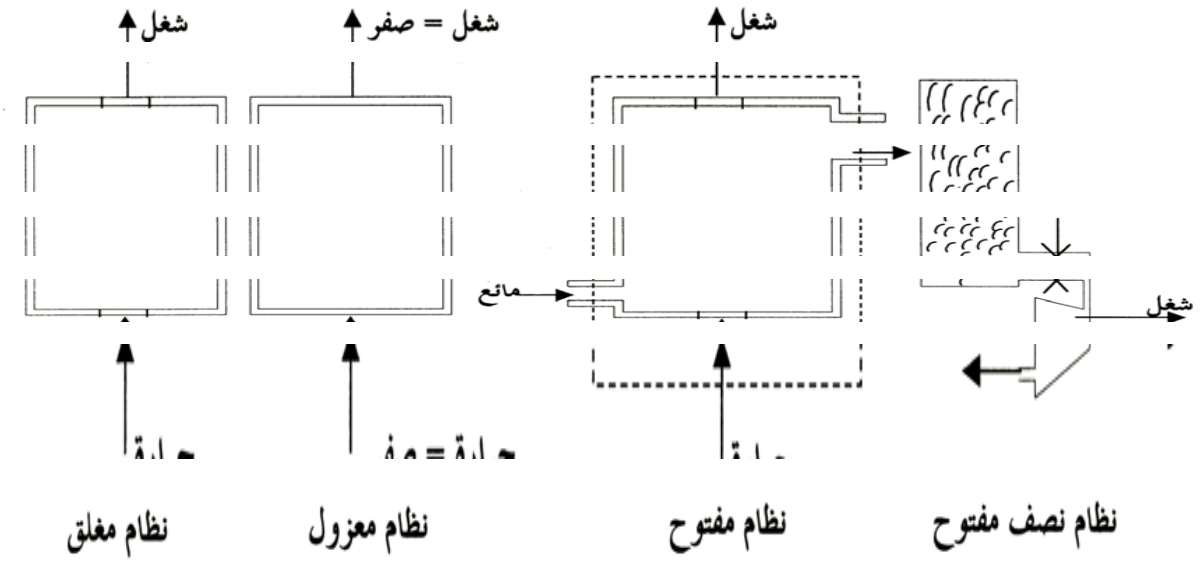
هو كمية محد و دة وثابتة من المادة داخل حيز محدود محاطة بغلاف،(envelope) يراد دراسة سلوكها .قد يكون النظام حقيقي او مثالي . الحقيقي هو كمية من المادة كغاز محصور بمكبس داخل اسطوانة .اما الثاني فهو نظام نظري لتسهيل المسائل الثرموديناميكة، وهو غير موجود في الطبيعة، أي نظام افتراضي.



يحاط النظام **بحدود (Boundary)** قد تكون حقيقية ثابتة كجدران الاسطوانة والمكبس، كما ، في الشكل(1) . او قد تكون الحدود وهمية متغيرة كالدخان المتحرك في الجو، او انضغاط او تمدد كمية من الغاز، حيث ينتقل الشغل والحرارة عبر الحدود.

وكل ما يقع خارج حدود النظام هو **المحيط(Surroundings)** له تأثير مباشر في سلوك النظام، لانه يتبادل الطاقة معه، وبالتالي قد يتأثر بالتغيرات الحاصلة داخل النظام . ربما يشكل المحيط نفسه نظامًا آخر.

لحدود النظام خواص معينة تسمح او لا تسمح بتبادل الطاقة او المادة مع المحيط او الوسط المحيط. **surroundings** وهو الحيز المحيط بالنظام والذي يتأثر بالتغيرات التي تتم داخل النظام لذلك تصنف الانظمة الى الانواع الآتية وكما مبين في الشكل(2):-



أ- النظام المغلق(غير معزول) Closed System:-

هو النظام الذي لا تسمح حدوده بأنتقال المادة داخل النظام، أي تبقى الكتلة ثابتة، لذلك يسمى بنظام الكتلة المحدد ة .ولكن يتم انتقال الطاقة(شغل او حرار ة) عبر الحدود فقط، كغاز محصور بمكبس داخل اسطوانة او كالمرجل البخاري في اثناء فترة بداية التشغيل للحصول على ضغط معين للبخار.

ب - النظام المعزول Isolated System:-

لا تسمح حدوده بأنتقال المادة او الطاقة، أي يبقى مجموع الطاقة فيه ثابتاً، لكونه لا يتأثر بالوسط المحيط . مثاله الترمس الموضوع بداخله ماء بارد او ساخن.

ج -النظام المفتوح Open System:-

هو النظام الذي تسمح حدوده بأنتقال المادة والطاقة (شغل او حرار ة) بعملية جريانية .يسمى بنظام الحجم المحدد، كالماء في المرجل حيث يمتص حرارة ويفقد جزء من كتلته خلال التبخر، خليط الغازات في اسطوانة محرك احتراق داخلي يتخلص من الحرارة والغازات من خلال العاد م . ان المادة يمكن ان تدخل او تخرج من خلال فتحات، اما الطاقة فتنتقل عبر الحدود.

اذا كانت الكتلة بوحدة الزمن الداخلة والخارجة متساوية فإنها تبقى ثابتة وتسمى بعملية الجريان المستقر كما في التوربين او ضاغط الهواء.

د -انظمة اخرى:-

وهناك انظمة اخرى كالنظام الاديباتي الذي تنتقل فيه الكتلة والطاقة ما عدا الطاقة الحرارية تكون قيمتها صفر مثل التوربين البخاري المعزول التا م .

النظـام	تبـادل المـادة	تبـادل الطاقـة
معزول	لا	لا
مغلـق	لا	نعم
مفتـوح	نعم	نعم

الطاقة وأنواعها

يمكن تعريف الطاقة بأنها القدرة على إنجاز شغل، رمزها(E) اما الشغل فهو نتيجة لحركة قوة ما مسافة معينة. يحتوي الوقود على طاقة كامنة بصيغة كيمياوية، فعند حرقه في المحرك تتحول هذه الطاقة الى طاقة ميكانيكية تحرك السيارة، ومنه فأن شغلاً قد حصل لأن قوة يجري تحريكها بمسافة معينة نتيجة لحرق الوقود تؤدي الى زيادة درجة الحرارة والطاقة الداخلية للمائع.

إن وحدات الطاقة هي(القوة × المسافة) أي(N.m) وهو الجول(J) ولأنه وحدة صغيرة فيستعمل الكيلو جول(KJ) الذي يساوي(10^3 J).

مصادر واشكال الطاقة

1-مصادر ذات كميات محدودة وتشمل (الوقود العادي، الفحم، النووي)

2-مصادر ذات كميات غير محدودة لتوليد القدرة الكهربائية مثلاً وتشمل:

أ .الطاقة الشمسية

ب -المد والجزر

ج -امواج البحر

د -مساقط المياه

هـ -طاقة الرياح

و – الحرارة المخزونة تحت الارض.

الطاقة المخزونةStored Energy

هي الاشكال المختلفة لطاقة المائع موجودة ضمن المائع تفسه، وتشمل:-

أ -الطاقة الكامنة Potential Energy :-

تسمى ايضًا بطاقة الوضع، رمزها(PE)، تتوقف على وزن الجسم وارتفاعه بالنسبة لمنسوب ثابت كطاقة المياه المحجوزة على منسوب معين وراء احد السدود أي انها الطاقة التي يكتسبها الجسم او المائع(النظام) عندما يكون على ارتفاع مقداره(Z) بالنسبة لسطح الار ض .إن قوة الجذب الأرضي للكتلة تساوي (F= m×g) حيث(g) تمثل التعجيل الارضي، فإذا تحركت هذه القو ة أو الوزن خلال مسافة شاقولية مقدارها(Z) فإن الطاقة الكامنة تساوي.

$$PE = F \times Z = m \times g \times z$$

اما التغير في الطاقة الكامنة:

$$\Delta PE = mg \times \Delta Z$$

ليس للطاقة الكامنة اهمية كبيرة، حيث يكون التغير صغيراً جدًا يقترب من الصفر في معظم المحركات الحرارية.

ب -الطاقة الحركية Kinetic Energy:-

رمزها(KE) هي طاقة الجسم او المائع، أي طاقة النظام، تتوقف على وزن الجسم وسرعته اذا كان في حالة حركة او عند تبطيئه . يكون حدها الاقصى عندما يبطئ الجسم الى السكو ن . يمكن ان تكون ذات اهمية كبيرة في بعض الانظمة مثل المحركات النفاثة، توربينات البخار والغاز والضواغط ....الخ وعندما تكون السرعة(C) والزمن(t) والكتلة(m) والتعجيل(a) فستكون القوة الخارجية الكلية المؤثرة في الجسم في الأتجاه الموازي لأزاحته(dL) يساوي

$$F=m.a=m\frac{dc}{dt}$$

وسيكون الشغل الكلي المبذول أو الطاقة الكلية بوساطة الجسم ضد هذه القوة لتقليل السرعة(c) الى الصفر يساوي:

$$W_t=\int FdL$$

$$\int m\frac{dc}{dt}.dL=\int m\frac{dc}{dt}.dc=\int mcdc$$

$$=\int \frac{m}{2}d(c)^2=m\left[\frac{c^2}{2}\right]^c=\Delta\frac{mc^2}{2}$$

$$KE=\frac{mc^2}{2}$$

$$\Delta KE=\frac{m\Delta c^2}{2}$$

وبفرض ثبوت الكتلة

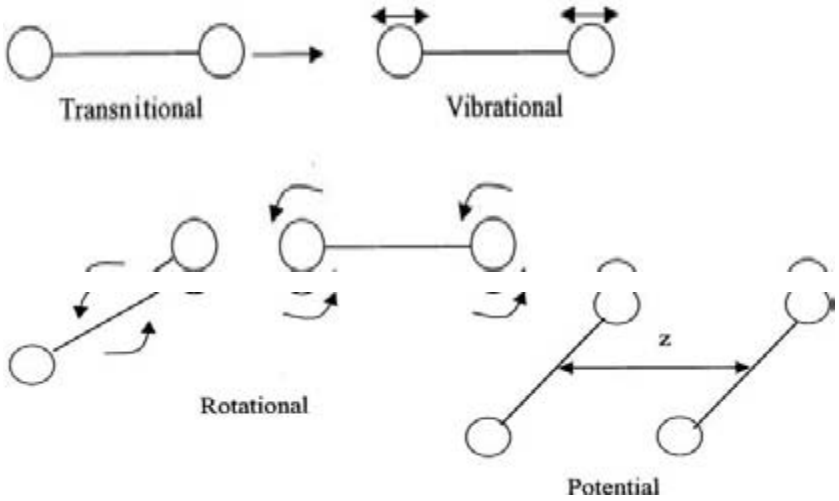
تكون الطاقة الحركية تساوي $\Delta KE=\frac{\Delta c^2}{2}$

ووحداتها(KJ/Kg)

وبما أن هذا التكامل تكامل كلي (أي انه يعتمد على الحالة النهائية وليس على أساس كيف وصل الجسم إلى الحالة النهائية ، لذا يمكن أن نكامل المعادلة ويكون الناتج النهائي هو طاقة الحركة :

جـ الطاقة الداخلية Internal Energy:-

تتألف المادة من الذرات والجزيئا ت . فعند التسخين ستحصل المادة على طاقة حركية بسبب حركة الجزيئات الانتقالية(Transition) الاهتزازية(Vibration) والدورانية(Rotation) وكذلك ستحصل المادة على طاقة كامنة بسبب قوة التجاذب الموجودة بين الجزيئات، كما في الشكل



شكل() حركة الجزئيات داخل المادة

إذن كل الطاقات التي تمتلكها المادة والمخزونة فيها تسمى بالطاقة الداخلية، يرمز لها(U) والنوعية، (μ). في الغازات تتحرك الجزيئات والذرات بحرية اكبر مما هو عليه في المواد الصلبة لذا سيولد ارتطامها وحركتها ضغطاً على الجدار. لذا فإن الطاقة الداخلية دالة لحركة الجزيئات والذرات ، وبالتالي فهي خاصية من خواص المادة تعين بدلالة أي خاصيتين مستقلتين مثل(T-P).

إن زيادة الطاقة الداخلية لا يؤدي دائمًا الى زيادة درجة الحرارة، فمثلا عند تغير الماء الى بخار فإن درجة الحرارة ستبقى ثابتة في حين تزداد الطاقة الداخلية وتنفصل الجزيئات ليتحول الماء الى بخار .وهذه الحالة تنطبق على تحويل الصلب الى سائل.

لايمكن تحديد قيمة الطاقة الداخلية على اساس مطلق، بل تمثل بمقدار التغير أي(ΔU12=U2-U1).

د -الطاقة الازاحية او التدفقية(طاقة الجريان)Flow or Displacement Energy :-

هي الطاقة الناتجة بسب أزاحة او جريان) تدفق (المائع سواء كان غازًا أو سائلاً .تكون على شكل نوعين:

أ .طاقة او شغل أزاحي.

ب .طاقة أو شغل جرياني (تدفقي).

أن الشغل الازاحي هو الشغل المبذول بواسطة قوة مؤثرة على مكبس تزيحه من مكان لآخر منجزا بذلك شغلا ازاحيا. فأذا كان(P) تمثل الضغط المؤثر الثابت(وزن المكبس مثلا) وان(V1) الحجم الابتدائي للغاز،(V2) الحجم النهائي .فأن الشغل المنجز من قبل الغاز(W) والذي يزيح المكبس من نقطة(V1) الى(V2) سيكون:-

$$W12 = P\Delta V12 = P(V2-V1)$$

مثال 1/ سيارة كتلتها Kg2000 تتحرك على أرض أفقية، ضغط سائق السيارة على الكوابح حينما كانت تسير بسرعة 20 m/s فتوقفت بعد أن قطعت مسافة 100 m جد مايأتي:-كتاب

1- التغير في الطاقة الحركية 2- الشغل الذي بذلته قوة الأحتكاك في إيقاف السيارة 3- مامقدار قوة الأحتكاك بين عجلات السيارة والطريق على فرض أنَّها بقيت ثابتة؟

مثال 2/ غاز حجمه 0.2 m^3 وضغط 2 bar يتمدد عند ضغط ثابت حتى يصل حجمه الى 0.5 m^3 احسب الشغل الناتج من هذا الأجراء. محاضرات استاذ اسعد

مثال 3/ غاز محمول في أنبوبة ارتفاعه 40.64 m فوق مستوى سطح البحر وينساب بسرعة 7.04 m/sec احسب طاقته الكامنة وطاقته الحركية. محاضرات استاذ اسعد

مثال 4/ يتحول (82 %) من الطاقة الكامنة الى حركية لمائع حجمه(30 L) وسرعته(496 m/min).إحسب مقدار طاقة الوضع. علماً أنَّ كثافة الماء ($kg/m^3 10^3$).

مثال 5/ ما السرعة التي يجب ان تكتسبها كتلة قدرها(1 kg) حتى تكتسب طاقة حركية مقدارها (100J).

مثال 6/ ينساب ماء من فوق شلال ارتفاعه (100 m) افترض عدم حدوث تبادل في الطاقة بين الماء والوسط الخارجي .احسب لكل(1kg)

أ -الطاقة الكامنة للماء عند قمة الشلال بالنسبة الى قاعدته.

ب - الطاقة الحركية للماء قبل ان يصطدم مباشرًة بالقاع.

المحاضرة الثالثة

الشغل وانواعه Types of Work

1- الشغل الميكانيكي:- هو الطاقة المبذولة للتغلب على قوة ما او مقاومة . فمثلاً عند بذل طاقة لرفع كتلة فإنَّ الأحساس العضلي للتغلب على الجذب الأرضي للكتلة (أي وزنها) هو شعور بوجود قوة.

لذا يعرّف رياضيا:-

$$W_{mech}=F \cdot L= \int F dL \ldots\ldots\ldots$$

2- الشغل الأزاحي Displacement Work

ان الشغل ينجز حين تتحرك قوة عبر مسافة معينة، فإذا تعرض جزء من الحدود الى الإزاحة تحت تأثير الضغط فان هذا هو الشغل الازاحي.

الشغل الازاحي في اجراءات عدم التدفق هو الشغل المبذول بوساطة قوة مؤثرة على مكبس نزيحه من مكان لآخر لنفترض وجود كمية من غاز حجمه(V) وضغطه(P) في اسطوانة محكمة يتحرك بداخلها مكبس مساحة مقطعه العرضي(A) عديم التسرب وا لا حتكاك، تؤثر فيه قوة(F) تزيحه من الحالة(1) الى الحالة(2) عندما نفترض ان(P) تبقى ثابتة أثناء تحرك متناهي الصغر للمكبس لمسافة(dL) فأنَّ:-

$$dW = F \cdot dL = PA\, dL = P\, dV$$

أي القوة × المسافة التي تقطعها القوة في نفس إتجاهه ا .هذا تغير متناهي الصغر. فالشغل الازاحي نوجده بوساطة جمع التزايدات أي:-

$$\int dW = \int P\, dV$$

الشغل والحرارة:-

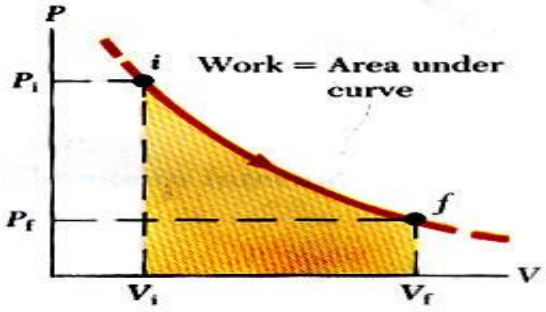
لنفرض أنَّ لدينا كمية من غاز محصور(نظام ديناميكي حراري) وأنَّ هذا النظام نتيجة لعمليات حرارية مختلفة تنتقل من حالة لأخرى، فإذا رسمنا العلاقة البيانية بين الضغط والحجم لهذا النظام كما في الشكل، فإنَّ المساحة الحصورة بين المنحني البياني ومحور الحجم(V) تساوي الشغل المبذول لأنجاز هذا التغير.

منحنى الضغط والحجم PV diagram

في الحالة العامة يكون الضغط غير منتظم ويعتمد على كلاً من الحجم ودرجة الحرارة، فإذا علمنا كلاً من الضغط والحجم على جميع مراحل العملية فإن حالة الغاز عند كل مرحلة يعبر عنها بمنحنى التغير بين الضغط ودرجة الحرارة. ويعرف هذا المنحنى باسم PV diagram.

في الشكل أدناه نوضح منحنى الضغط والحجم لعملية على غاز مثالي تغيرت فيه حالته من الوضع الابتدائي i إلى الوضع النهائي f على المسار المنحني المبين في الشكل. حيث يوضح علاقة الضغط والحجم عند كل مرحلة من مراحل العملية وبإجراء التكامل على عنصر الحجم dV نحصل على الشغل الكلي المبذول خلال العملية وهذا التكامل هو أيضا المساحة تحت المنحنى.

أي أن المساحة تحت منحنى PV diagram تعبِّر عن الشغل الكلي.



في الأشكال التالية نوضح عملية تمت بين الوضع الابتدائي i إلى الوضع النهائي f على مسارات مختلفة لنوضح أن الشغل هنا يعتمد على المسار.

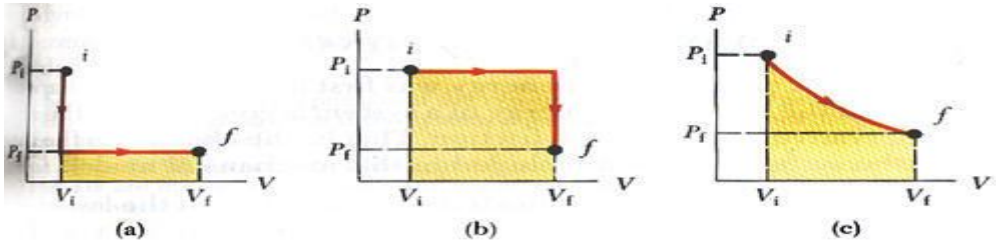
In the first case (a) **the gas pressure reduce at constant volume** and then **expand** to V_f at **constant pressure**, the total work done is

$W = 0 + P_f (V_f - V_i)$

In case (b) the **the gas expand at constant pressure P_f** and then at **constant volume V_f the pressure reduced to P_1 at constant volume** V_f, the work done on the gas is

$W = P_i (V_f - V_i) + 0$

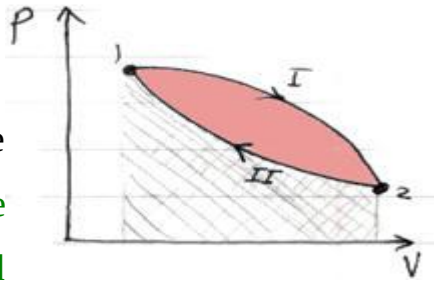
In case (c) **the pressure and the volume change from the initial** to the **final at the curved path *i.e.* both the pressure and the volume are varies** during the process, the total work is



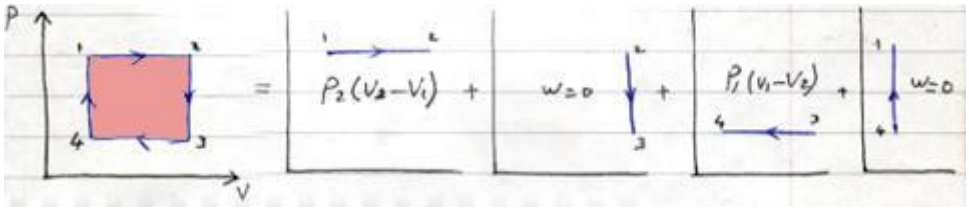
We can conclude from the three cases that the work done depends on the path between the initial and the final state.

Spatial Case حالة خاصة

If two processes were done on a system as shown in the figure what is the work done?



The positive work along the path I is greater than the negative work along the path II. The net work in the cycle is then positive and the net work is represented by the area bounded by the closed path.



$$W = P_2 (V_2 - V_1) + P_1 (V_1 - V_2)$$

يلاحظ أنه لإيجاد الشغل الكلي يمكن أن يتم من خلال إيجاد المساحة أو من خلال إيجاد الشغل في كل عملية ثم جمعها لإيجاد الشغل الكلي.

القانون الأول للديناميك الحراري

إن كمية الحرار التي يمتصها النظام (أو يفقدها) تساوي مجموع التغيّر في طاقته الداخلية والشغل الذي يبذله (أو يبذل عليه).

عندما يمر النظام بدورة أي يعود إلى حالته الى حالته الأبتدائية بعد مرور سلسلة من الأجراءات فإن الحرارة تتحول كلياً الى شغل ويعبر عنها رياضياً:-

$$\sum Q = \sum W$$

أولاً:- من خلال القانون الأول في الديناميك الحراري نستطيع إيجاد كل من:-

1- الشغل المبذول من قبل النظام وذلك عن طريق القانون التالي-:

$$\Delta u = \Delta Q - \Delta w$$

2- الشغل المبذول عل النظام وذلك عن طريق القانون التالي-:

$$\Delta u = \Delta Q + \Delta w$$

حيث أنَّ:-

Δuتمثل الزياد في الطاقة الداخلية للنظام وتقاس بوحدات(Joule) حيث أنَّ

$$\Delta u = mcp\Delta T = mcp(T2-T1)$$

حيث أنَّ:-

Δu: التغير في الطاقة الداخلية(KJ)

m :- كتلة المائع(kg)

Cp: الحرارة النوعية للمائع(kJ/kg)

ΔT: التغير فيي درجة الحرارة(C^o)

ΔQ كمية الحرار المضافة للنظام أوالمنتقلة منه وتقاس بوحداتجول(Joule)

Δw الشغل المنجز بواسطة النظام أو المنجز على النظام ويقاس بوحدات(Joule)

ملاحظات مهمة:-

۞ 1 تعتبر كمية الحرارة (ΔQ) موجبة إذا ما أضيفت حرارة إلى النظام وتعتبر سالبة عند إنتقال الحرارة إلى خارج النظام.

۞ 2 يعتبر الشغل المنجز (Δw) موجبا "عندما يتم إنجاز شغل بواسطة النظام عل الوسط المحيط به(كما في تمدد الغاز) أو الطاقة التي تركت النظام، ويعتبر سالبا "عندما ينجز شغلاً على النظام من قبل محيطه(مثل الطاقة الداخلة للنظام)

<u>أولا/ تطبيقات القانون الأول على الأنظمة المغلقة:-</u>.

ثانيا-: "هناك عد عمليات تجري عل النظام ولكل عملية قانون خاص لإيجاد الشغل المبذول وهي:-

1- العملية الآيزوبارية:- وهي العملية التي تتم عند ضغط ثابت وفيها يكون الشغل المبذول يعطى بالعلاقة التالية: -

$$\Delta w = P\,\Delta V$$

$$\Delta w = P\,(V2 - V1)$$

حيث إن-:

Δw:- الشغل المبذول تحت ضغط ثابت.

P:- الضغط ويقاس بوحدات(N/m^2 or Pa)

ΔV:- التغير بالحجم $v_2 - v_1$ (ويقاس بوحدات m^3)

2-العملية الآيزوثرمية-: وهي العملية التي تتم عند درجة حرار ثابتة وفيها يكون الشغل المبذول يعطى بالعلاقة التالية:-

$$W = P1\ V1\ \ln(V2 / V1)$$

3- العملية الكظمية(الأديباتيكية) :- وهي العملية التي تتم بعدم وجود تبادل حراري بين الغاز والوسط المحيط به حيث تتم العملية بسرعة كبير نسبيا "وفيها يكون الشغل المبذول يعطى بالعلاقة التالية :-

$$\Delta W = -\Delta u$$

<u>أمثلة تطبيقية:-</u>

1- (kg 0.5) من مائع تمدد أديباتياً فأنتج شغلاً مقداره (J 43.5). أوجد التغير في الطاقة الداخلية النوعية للمائع في أثناء الأجراء.

2- خزان يحتوي على مائع يقلّب بواسطة عجلة قلاّبة. الشغل المبذول لعجلة القلاب(KJ/h 5283) تنتقل الحرارة من الخزان بمعدل (KJ/h1672) معتبرا المنظومة هي الخزان والمائع. إحسب التغير في الطاقة الداخلية للمنظومة خلال ساعة واحدة.

3- نظام مغلق تغيرت حالته من(1) الى(2). في اثناء ذلك استلم حرارة مقد ارها(KJ100) واعطى شغل مقداره(KJ150). عند إعادة النظام من(2) الى(1) بذل عليه شغل مقداره(KJ 80) احسب الحرارة المنتقلة في اثناء الاجراء من(2) الى(1) وبين إتجاهها.

4- تمدد غاز محصور في في إسطوانة ذات مكبس حجمه $0.2\ m^3$ وضغطه $10^6\ N/m^2$ بحيث أصبح حجمه $0.6\ m^3$ فأذا ثبتت درجة حرارته خلال هذه العملية عند(T=300 K) إحسب الشغل المبذول علما أنَّ(Ln X = 2.303 Log X).

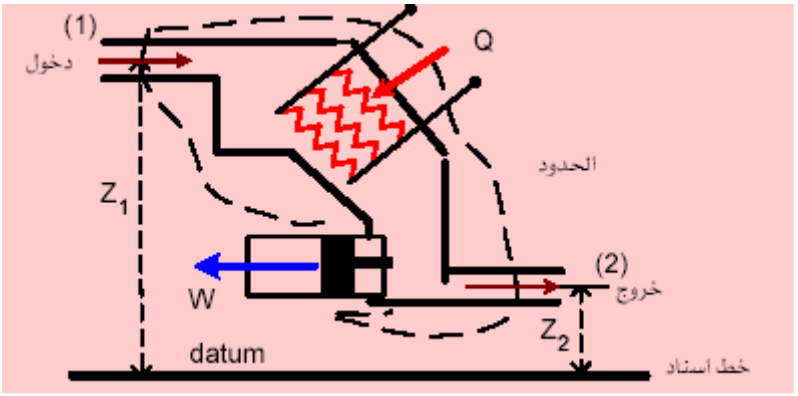
5- أثناء إشتغال ماكنة حرارية معينة كانت الطاقة الداخلية تنقص بمقدار 400 J إحسب صافي الحرارة ΔQ.

6- تمدد نظام مكوّن من غاز محصور في إسطوانة مكبس من حجم قدره $0.02\ m^3$ وضغطه 5×10^5 pa إلى حجم قدره $0.022\ m^3$ عند الضغط نفسه. جد الشغل الذي يبذله النظام؟

ثانياً/ تطبيقات القانون الأول في الديناميك الحراري على الأنظمة المفتوحة(ذات الجريان المستقر):-

النظام المستقر معناه أنه ليس هناك تراكم للكتلة داخل النظام، فالمادة التى تدخل النظام تساوى المادة التى تخرج من النظام.

كما ذكرنا أن القانون الأول للديناميكا الحرارية هو قانون بقاء الطاقة وعليه فإنه ولأى نظام ثيروموديناميكى مفتوح ومستقر فإن مجموع الطاقات الداخلة للنظام تساوى مجموع الطاقات الخارجة من النظام ويوضح الشكل ، نظام ثيرموديناميكى مفتوح ومستقر . فلو تخيلنا أن هنا كيلوغراما واحدا من مائع ما يدخل عند المقطع (1) ويخرج من المقطع (2) تمتلك هذه الكتلة من المائع عدة أنواع من الطاقة منها طاقة الوضع وطاقة الحركة وطاقة الضغط . يضاف لهذه الطاقات الطاقة الداخلية للمائع وما يضاف أو يطرد من طاقات أخرى كالحرارة والشغل للنظام .



الطاقات الداخلة للنظام :

-طاقة المائع الداخلية u_1.

-طاقة الحركة للمائع عند الدخول $(C^2/2)$, طاقة الوضع $(z_1 g)$.

- طاقة الجريان للمائع وهى P_1V_1 (V هو حجم المائع و P هو ضغط المائع)

-الطاقة الحرارية المضافة للنظام Q (مفروضة أنها داخلة للنظام ولكن يمكن أن تكون مطرودة) .

$$\mathbf{Energy_{in} - Energy_{out} = \Delta u}$$

الطاقات الخارجة من النظام :

-طاقة المائع الداخلية U_2 .

-طاقة الحركة للمائع عند الدخول والناتجة من سرعته($\frac{C2^2}{2}$)

-طاقة الوضع للمائع عند الدخول والناتجة من ارتفاعه عن خط إسناد معين Z_2g .

-طاقة الضغط أو ما تسمى بطاقة الجريان للمائع وهى P_2V_2 .

-الشغل W أيضاً مفروض أنه شغل مبذول بواسطة البيئة على النظام .

بتطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية على هذا النظام .

مجموع الطاقات الداخلة للنظام = مجموع الطاقات الخارجة من النظام .

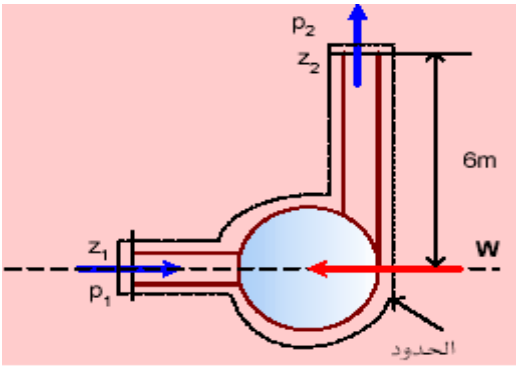
$$\dot{m}\left(u_1+\frac{V_1^2}{2}+z_1g+P_1V_1\right)+Q-W=\dot{m}\left(u_2+\frac{V_2^2}{2}+z_2g+P_2V_2\right)$$

لابد من لإشارة هنا إلى أن مجموع الطاقة الداخلة u وطاقة الضغط أو السريان هو ما يعرف بالانثالبي للمائع وهناك تعريفات كثيرة ومعقدة للانثالبيا ولكنها لا تخدم غرضنا فى التبريد والتكييف والتعريف الذى يخدمنا هنا هو أن الانثالبيا هى المحتوى الحرارى للمادة أو الطاقة المخزونة نتيجة الضغط ودرجة الحرارة للمادة فى حالة السريان وبالتالى فإن :

$$\mathbf{h = u + pv}$$

عليه فإن القانون الأول لنظام مفتوح ومستقر يمكن أن يكتب كالتالى :

$$\mathbf{m\left[h_1+\frac{C1^2}{2}\right]+Z_1g+Q-W=m\left[h_2+\frac{C2^2}{2}\right]+Z_2g}$$



فى هذا المثال لا توجد حرارة منتقلة إلى النظام أو من النظام وبالتالى فإن Q تساوى صفراً .

أيضاً فإن التغير فى الطاقة الداخلية وطاقة الحركة مهملة عليه يمكن تطبيق القانون الأول بين دخل المضخة ومخرج المضخة كما فى المعادلة الاتية.

$$\dot{m}\left(u_1+\frac{V_1^2}{2}+z_1g+P_1V_1\right)+Q-W=\dot{m}\left(u_2+\frac{V_2^2}{2}+z_2g+P_2V_2\right)$$

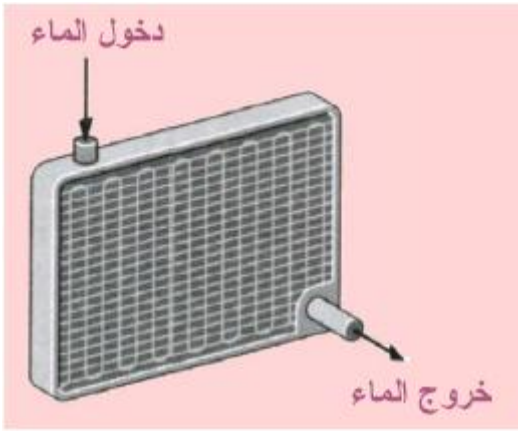
تطبيقات فى القانون الأول للديناميكا الحرارية :

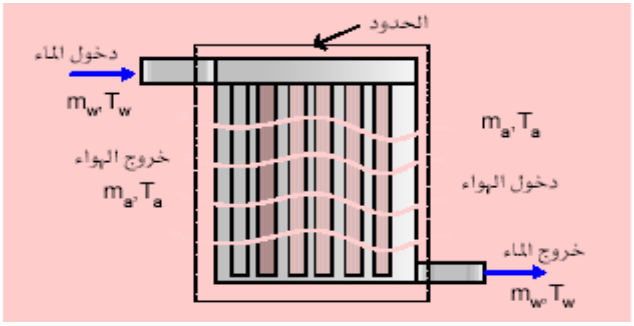
أولاً أنظمة حرارية فقط(ليس فيها شغل):

1-المبرد (الراديياتير) تنتقل الحرارة إلى مياه التبريد فى الراديياتر ومن ثم إلى الهواء كما فى الشكل.

يطبق القانون الأول على الماء وعلى الهواء كالتالى:

بالنسبة للماء :





راديياتير سيارة

$$\dot{m}\left(h_1+\frac{V_1^2}{2}+z_1 g+P_1V_1\right)+Q-W=\dot{m}\left(h_2+\frac{V_2^2}{2}+z_2 g+P_2V_2\right)$$

ولكن طاقة الحركة تساوى صفراً وطاقة الوضع تساوى صفراً كما أنه لا يوجد شغل

$$\mathbf{Q} = \dot{m}\ \mathbf{\Delta h}$$

$$\mathbf{Q_w} = \dot{m}\ \mathbf{(h_{w2} - h_{w1})}$$

بالنسبة للهواء

أيضاً يمكن استنتاج أن

$$\mathbf{Q_a} = \dot{m}\ \mathbf{(h_{a2} - h_{a1})}$$

حيث :

Q_a هى الحرارة المكتسبة للهواء

هى الحرارة المفقودة من الماء Q_w

الحرارة المفقودة من الماء تساوى الحرارة المكتسبة للهواء عليه فإن :

$$Q_a = Q_w$$

المكثف والمبخر Condenser & Evaporator

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

القانون الأول للديناميكا الحرارية .

$$\dot{m}\left(h_1+\frac{V_1^2}{2}+z_1g+P_1V_1\right)+Q-W=\dot{m}\left(h_2+\frac{V_2^2}{2}+z_2g+P_2V_2\right)$$

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

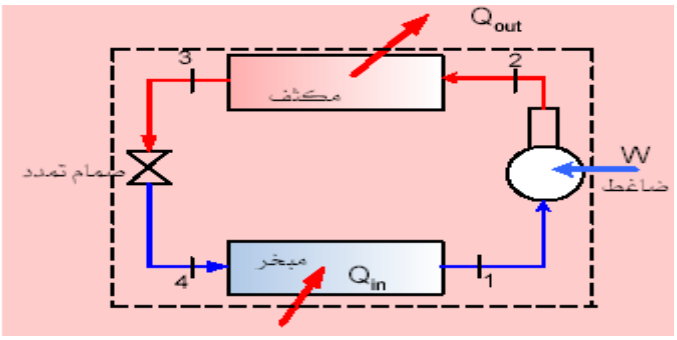
$$\mathbf{Q = \dot{m}\ (h_2 - h_1)}$$

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

$$\mathbf{Q = \dot{m}\ (h_3 - h_2)}$$

وفى حالة المبخر :

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



مثال :

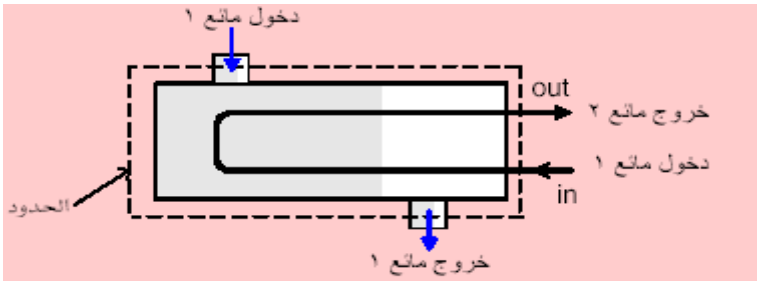
احسب الحرارة المطرودة من مكثف فى دائرة التبريد إذا كانت الانثالبيا لوسيط التبريد $R-134_a$ الداخل للمكثف هى 417 kJ/kg والانثالبيا لوسيط التبريد الخارج من المكثف 241.63 kJ/kg .

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

المبادل الحرارى : Heat Exchanger

فيه تنتقل الحرارة بين مائعين غير مختلطين كما فى الشكل.

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 :

$$Q_2 = \dot{m}\ (h_a - h_b)$$

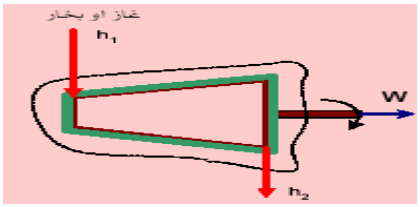
لابد من ملاحظة أن الحرارة المكتسبة لأحد المائعين تساوى الحرارة المفقودة من المائع لآخر أى أن Q_1 تساوى Q_2.

ثانياً أنظمة بها شغل :

التوربين: Turbine

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

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

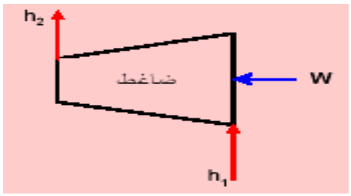


وحيث إن h_1 أكبر من h_2، **عليه فإن الشغل المعمول بواسطة التوربينات هو شغل موجب لأنه مبذول بواسطة النظام على البيئة حوله عليه فإن :**

$$w = h_1 - h_2$$

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.



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 .

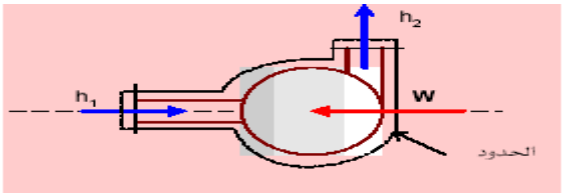
المضخة : Pump

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

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

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

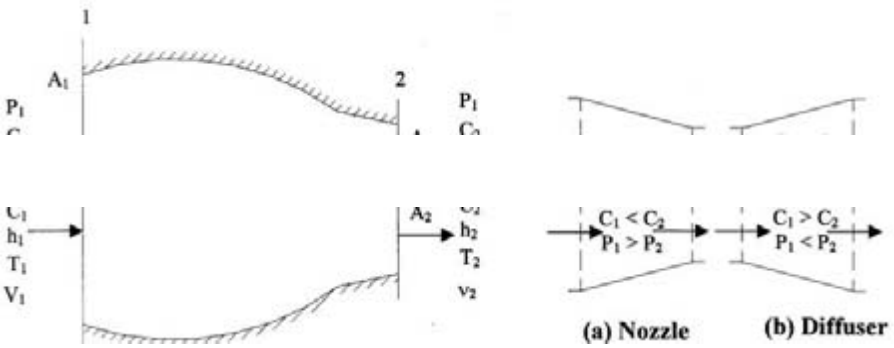
وبالتالى فإن الشغل يكون سالباً وهو شغل عمل بواسطة البيئة على النظام .



مضخة

أنظمة لا يوجد للحرارة والشغل فيها.

الرشاش أو الحاقن NOZZLE:



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

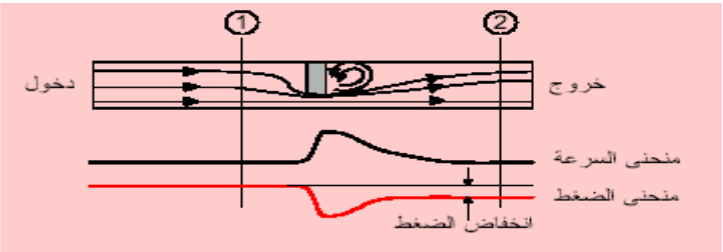
$$\mathbf{0}= \Delta \boldsymbol{h}_{12} + \Delta \boldsymbol{KE}_{12}$$

$$=\Delta \boldsymbol{h}_{12} + \frac{\boldsymbol{C}^2{}_2 - \boldsymbol{C}^2{}_1}{\mathbf{2}}$$

$$\mathbf{C}_2{}^2 = \boldsymbol{C}_1{}^2 - \mathbf{2}\Delta \boldsymbol{h}_{12}$$

- **صمام التمدد**

وظيفة صمام التمدد هو خفض ضغط الموائع حيث يدخل المائع بضغط مرتفع ويخرج بضغط منخفض كما يتضح من الشكل، يصاحب ذلك ارتفاع لحظى فى سرعة المائع عند عنصر الخنق فى الصمام وسرعان ما تنخفض لتعود لنفس قيمتها عند المدخل.



صمام التمدد

بتطبيق القانون الأول بين مدخل ومخرج الصمام

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

وحيث إنه لا يوجد شغل والحرارة مهملة والسرعة ثابتة .

$$\therefore \ \mathbf{h_2 = h_1}$$

أى أن الإنثالبى ثابتة قبل وبعد الصمام

مثال

يدخل بخار إلى صمام تمدد بإنثالبى 100kJ أوجد الإنثالبى عند مخرج الصمام .

$$\therefore \mathbf{h_2 = h_1 = 100kJ}$$

أمثلة حول تطبيقات القانون الأول على الأنظمة المفتوحة:-

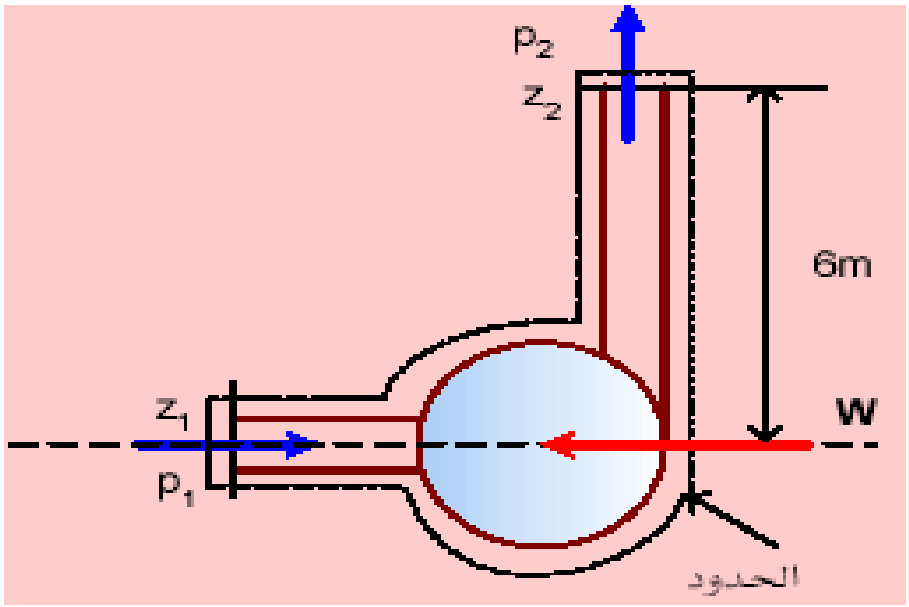
1- هواء درجة حرارته 35°C يدخل منفث بسرعة 0.7 m/sec ويخرج بدرجة حرارة 10°C، إحسب سرعة الخروج إذا كان C_P=1.005 KJ/Kg.K.

2- يهبط سائق بسيارة كتلتها 1350 kg من سطح تل، ويشاهد عند القاعدة ضوءاً أحمر ويجب أن يتوقف عنده، وعندما بدأ السائق في الضغط على الفرامل كانت السيارة تتحرك بسرعة قدرها 28 m/sec وكان على ارتفاع رأسي قدره 30m فوق قاعدة التل، ماهي الطاقة التي تتبدد كحرارة في الفرامل بفرض إهمال تأثير الرياح وعوامل الأحتكاك المختلفة على العملية(إعتبر السيارة كنظام).

3- غاز يجري في أنبوب إرتفاعه 60.9m فوق سطح البحر بسرعة 6.096m/sec ودرجة حرارة 148.9°C . إحسب الطاقة الكلية للغاز وأعتبر أنَّ الصفر المئوي هي درجة الحرارة الأساس في قياس الطاقة وأنَّ C_v= 0.6741 kJ/kg.K

4- احسب الحرارة المطرودة من مكثف فى دائرة التبريد إذا كانت الانثالبيا لوسيط التبريد $R-134_a$ الداخل للمكثف هى 417 kJ/kg والانثالبي لوسيط التبريد الخارج من المكثف 241.63 kJ/kg .

5- منظومة مضخة ترفع ضغط الماء بمقدار 280kPa إذا كان مخرج المضخة على إرتفاع 6m من مداخلها ، احسب الشغل المطلوب لعمل هذه المضخة . إهمل التغير فى الطاقة الداخلية وطاقة الحركة للماء (كثافة الماء تساوى 1000 kg/m^3) .



قوانين الغاز المثالي:

يعرف الغاز المثالي على أنه الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر تامة المرونة ينعدم بينها الأحتكاك (لأنها لا تؤثر في بعضها البعض بأي قوى)،والغاز المثالي ليس وجود في الحقيقة وماهو الا مجرد تصور رياضي.

أما الغاز الحقيقي فهو الغاز الذي تكون جزيئاته صغيرة ومتباعدة عن بعضها البعض وتقترب خواصها من خواص الغاز المثالي عند الظروف الأعتيادية من ضغط ودرجة حرارة ولكنها تحيد عن سلوك الغازات المثالية عند تغير الظروف الاعتيادية من ضغط وحجم ودرجة حرارة.

يعتمد قانون الغاز على ثلاث متغيرات هي الضغط ودرجة الحرارة وعدد الجزيئات في وحدة الحجم. فعند تسخين كمية من غاز محبوس في وعاء مغلق) الحجم ثابت (فان ضغطها سوف يزداد زيادة خطية مع درجة الحرارة) .

القانون العام للغازات:-

$$PV=nRT$$

حيث:R هو الثابت العام للغازات(KJ/kg.k) الذي يختلف من غاز لآخر حيث:-

$$R = Cp-Cv$$

او

$$PV=mRT$$

وبثبوت درجة الحرارة(الأجراء الآيزوثرملي) يكون:-

$$W=mRT\ lnV1/V2$$

الأجراء الأدياباتيكي في حالة التمدد والأنضغاطية:-

يتم الأجراء الأدياباتيكي في عملية معزولة تماماً، وبالتالي لايوجد إنتقال حرارة بين النظام ومحيطه، وإذا حصل تمدد للنظام خلال هذه العملية فإنّه يعمل شغلاً وبالتالي فلابد من طاقة لعمل هذا الشغل من طاقته الداخلية مما يؤدي إلى خفض في درجة حرارة النظام.

أمّا في حالة الأنضغاط الأدياباتيكي فإنَّ الوسط المحيط هو الذي يعمل شغلاً على النظام وبالتالي فإنَّ طاقة النظام سوف تزيد بمقدار الشغل الذي عمل عليه وبالتالي ترتفع درجة حرارته، ويمكن أن يعبَّر عن هذا الأجراء كالآتي:-

$$pV^k = C$$

حيث k: نسبة الحرارة النوعية(الأس الأدياباتيكي) و= $\frac{CP}{CV}$ **وأنَّ** $Cv=\frac{R}{K-1}$

C: ثابت

Cv: الحرارة النوعية بثبوت الحجم

Cp: الحرارة النوعية بثبوت الضغط

وبالتعويض عن قيمة C نحصل على قيمة الشغل الأدياباتيكي من المعادلة التالية:-

$$W=\frac{P1V1-P2V2}{K-1}$$

المعادلة العامة التي تربط العلاقة بين(T-V-P):-

$$\frac{T_1}{T_2}=[\frac{V_1}{V_2}]^{K-1}=\left[\frac{P^2}{P^1}\right]^{k-1/K}$$

<u>الأجراء البولتروبي(الأجراء العام) أو متعدد الأنحناء أو المناخي:-</u>

وهو إجراء يحصل عند تغير خواص النظام(الضغط والحجم ودرجة الحرارة متغيرة) وهو إجراء يقع بين الأجرائين الايزوثرملي والأدياباتيكي، إذ أنَّ منحنى الأجراء الآيزوثرملي يقع فوق منحنى الأجراء الأدياباتيكي والبولتروبي بينهما في حالة التمدد، أما في حالة الأنضغاط فيكون العكس. إنَّ خطوط ومنحنيات إجراءات التمدد عكس إجراءات الأنضغاط على مخطط(P-V).

وفي هذا الأجراء تكون المعادلة العامة مشابهة لما موجود في الأجراء الأدياباتيكي عدا الأس الأدياباتيكي يستبدل بالأس البولتروبي(n). حيث أنَّ:-

$$\frac{T_1}{T_2}=[\frac{V_1}{V_2}]^{n-1}=\left[\frac{P^2}{P^1}\right]^{n-1/n}$$

وأنَّ كمية الحرارة المنتقلة تكون:-

$$q=\frac{k-n}{k-1}.\ w$$

$$Or\ q=\frac{k-n}{k-1}.\frac{R(T^1-T^2)}{n-1}$$

ملخص قوانين التمدد والأنضغاط للغاز المثالي:-

العملية البوليتروبية $P.V^n = C$	العملية الأديباتيكية $P.V^K = C$ $S=C$	العملية الآيزوثرمية $PV= C$ $T=C$	العملية الآيزوبارية $P = C$	العملية الآيزوكورية $V = C$
$W=(P_1V_1-P_2V_2)1/n-1$ $W= mR/n-1(T_1-T_2)$ $W= P_1V_1/n-1[1-(V_1/V_2)]^{n-1}$ $W= P_1V_1/n-1[1-(P_2/P_1)]^{n-1/n}$ $W= m\ RT_1/n-1[1-(V_1/V_2)]^{n-1}$ $W= mRT_1/n-1[1-(P_2/P_1)]^{n-1/n}$	$W=(P_1V_1-P_2V_2)1/K-1$ $W=mR/K-1(T_1-T_2)$ $W= P_1V_1/K-1[1-(V_1/V_2)]^{K-1}$ $W= P_1V_1/K-1[1-(P_2/P_1)]^{K-1/K}$ $W=m\ RT_1/K-1[1-(V_1/V_2)]^{K-1}$ $W= m\ RT_1/K-1[1-(P_2/P_1)]^{K-1/K}$	$W= P_1V_1\ln V_2/V_1$ $W= P_1V_1\ln P_1/P_2$ $W= m\ RT\ln V_2/V_1$ $W= mRT\ln P_1/P_2$	$W=P(V_2-V_1)$ $W= mR(T_2-T_1)$	$W=0$
$P_2/P_1=(V_1/V_2)^n$ $T2/T1=(V1/V2)^{n-1}$ $T2/T1=(P2/P1)^{n-1/n}$	$P_2/P_1=(V_1/V_2)^K$ $T2/T1=(V1/V2)^{K-1}$ $T2/T1=(P2/P1)^{K-1/K}$	$P_2/P_1=V_1/V_2$	$V_2/V_1=T_2/T_1$	$P_2/P_1=T_2/T_1$
$\Delta s = C_v \ln T_2/T_1+R\ln V_2/V_1$ $\Delta s = C_p \ln T_2/T_1-R\ln P_2/P_1$ $\Delta s = C_v \ln P_2/P_1+C_P \ln V_2/V_1$	$\Delta s = 0$	$\Delta s = R \ln V_2/V_1$ $\Delta s = -R \ln P_2/P_1$ $\Delta s = C_v \ln$ $P_2/P_1+C_P\ln V_2/V_1$	$\Delta s = C_v \ln T_2/T_1+R\ln V_2/V_1$ $\Delta s = C_P \ln T_2/T_1$ $\Delta s = C_P \ln V_2/V_1$	$\Delta s = C_v \ln T_2/T_1$ $\Delta s = C_p \ln T_2/T_1-R\ln P_2/P_1$ $\Delta s = C_v\ln P_2/P_1$

<u>ملاحظة:-</u> الحرارة المنتقلة في العملية البوليتروبية يمكن اشتقاقها من القانون الأول للثرموداينمك

$$q = \frac{k-n}{k-1}.w \text{ فتكون: } q=\Delta\mu + w$$

أمثلة:-

1- قنينة حديدية حجمها 12 L تحتوي على CO_2 بدرجة حرارة 20°C وضغط 73.5 bar إحسب كتلة CO_2 علما أنَّ R_{co2} = 0.189 KJ/Kg.K .

2- احسب حجم 1 مول من الغاز المثالي عند ضغط جوي 1 atm ودرجة حرارة صفر مئوي أو 273K.(واجب)

3- اسطوانة فيها مكبس تحوي (1 kg من الهواء درجة رارته300°C تمدد ايزوثرمليًا الى أن تضاعف حجمه .ثم دفع المكبس الى الداخل بحيث بقي الضغط ثابتًا في اثناء العملية الى ان استرجع الهواء حجمه الاول .احسب الحرارة المنتقلة وصافي الحرارة، علمًا أن: Cp=1.01 kJ/kg.K، R=0.287 kJ/kg.K.

4- غاز مثالي كتلته(0.45 kg) تمدد اديابياتيكياً الى أن أصبح ضغطه نصف ماكان عليه في البداية وأنجز شغلاً مقداره(72 Kj) وانخفضت درجة حرارته من(220 °C) الى(130°C) احسب قيمة k وكذلك R.

5- في إجراء أديباتي، أثبت أنَّ R = Cp – Cv

6- في إجراء أديباتي إذا كان $H_2 - H_1 = \kappa$ أثبت أنَّ Cp =Cp

7- إسطوانة تحتوي على 0.07 kg من مائع ضغطه 1 bar وحجمه 0.06 m^3 وطاقة داخلية نوعية 200 kj/kg. ضغط حسب العلاقة $C = PV^n$ حتى أصبح ضغطه 9 bar وحجمه 0.0111 m^3 وطاقة داخلية نوعية 370 kj/kg احسب الشغل والحرارة المنتقلين.

8- غاز كتلته 0.013 kg موجود داخل إسطوانة نسبة انضغاطها 14/1 ودرجة حرارتها 100°C وكان الأجراء بولوتروبياً ويخضع للقانون $C= PV^{1.3}$ إحسب الحرارة المنتقلة علماً أنَّ: R= 0.28 KJ/Kg.K ، CP=0.27KJ/kg/K.(واجب)

9- هواء حجمه 0.056 m^3 وضغطه 1.38 bar . ضغط ايزوثرملياً إلى 0.014 m^3 . أوجد الشغل المنتقل وقارنه مع الشغل في حالة كون الأنضغاط أديباتيكياً إنعكاسياً خلال النسبة الحجمية نفسها. علماً أنَّ: R = 0.287 KJ/Kg/K ، K= 1.4.(واجب)

10- تمدد غاز أديباتياً حتى أصبح ضغطه ($\frac{1}{5}$) الضغط الأبتدائي. درجة الحرارة الأبتدائية هي 1.5 °C من درجة الحرارة النهائية، إذا كانت R = 0.3 KJ/Kg.K . إحسب Cp و K.

مسائل إضافية

11- غاز حجمه($0.14 m^3$) وضغطه (1.38 bar) ودرجة حرارته (38 $\overset{o}{C}$) يضغط بوليتروبياً وحسب العلاقة ($C= PV^{1.35}$) الى (8.7 bar) إحسب: 1- الحرارة والشغل المنتقلين 2- التغير في الطاقة الداخلية، علماً أنَّ : $R=0.264\ kJ/kg.K$،$k=1.4$

12- غاز ضغطه 1 kN/m^2 وحجمه 0.003 m^3 تمدد حسب العلاقة($PV^{1.3}=C$) الى $0.1\ kN/m^2$ إحسب الحرارة المنتقلة والحرارة النوعية العامة علماً أنَّ: $Cv=0.718\ kJ/kg.K$،$k=1.4$

13- غاز حجمه 0.1 وضغطه 120 kN/m^2 ودرجة حرارته 25 °C ضغط الى $1.2\ MN/m^2$ حسب العلاقة ($PV^{1.2}=C$) إحسب: 1- الشغل النتقل 2- التغير في الطاقة الداخلية 3- الحرارة المنتقلة. علماً أنَّ : $Cv=0.72\ kJ/kg.K$،$R=0.285\ kJ/kg.K$

14- غاز ضغطه 300 kN/m^2 ودرجة حرارته 25 °C ضغط حسب العلاقة C ($PV^{1.4}=$) حتى أصبحت درجة حرارته 180 °C. إحسب الضغط الجديد.

15- غاز مثالي ضغطه 1 bar ودرجة 27 °C وحجمه 3.5 m^3 ضغط آيزوثرملياً الى 600 kN/m^2 ثم تمدد أدياباتياً الى حجمه الأول. إحسب الحرارة المنتقلة والتغير في الطاقة الداخلية للأجراء الأخير. علما أنَّ: $k=1.4$

16- غاز ضغطه 1bar ودرجة حرارته 15°C وكثافته 1.855 kg/m^3 . احسب قيمة R عند تسخين 0.9 kg من هذا الغاز من درجة حرارة 15 °C الى 250 °C بضغط ثابت. كانت الحرارة المطلوبة 175 kj. احسب CP و CV واحسب مقدار التغير في الطاقة الداخلية والشغل المنتقل.

17- غاز تمدد بثبوت الضغط وينجز شغلاً مقداره 5 Kj فإذا كانت k= 1.66 إحسب: 1- الحرارة المنتقلة 2- التغير في الطاقة الداخلية.

18- غاز ضغطه 275 kN/m^2 وحجمه 0.09 m^3 ودرجة حرارته 18.5 °C تغيرت حالته بضغط ثابت وأصبحت درجة حرارته 15°C إحسب الحرارة النتقلة من الغاز والشغل المنجز في أثناء الأجراء علما أنَّ: $Cp = 1.005\ kJ/kg.K$،$R = 0.29\ kJ/kg.K$

19- هواء درجة حرارته 20 °C وضغطه 1 bar وحجمه 0.02 m^3 سخن بثبوت الحجم الى 5 bar . وبعدها برِّد بثبوت الضغط إلى أن عاد إلى حالته الأبتدائية. إحسب صافي الشغل والحرارة علماً أنَّ:

$Cp =1.01\ kJ/kg.K$،$R=0.287\ kJ/kg.K$

المحاضرة الرابعة

القانون الثاني في الديناميك الحراري

العمليات اللاعكسية Irreversible Process

هي العمليات التي تحدث باتجاه واحد ولا يمكن عكسها من دون ترك متغيرات دائمة على المحيط. إن كافة العمليات الطبيعية و التي تجري ذاتيا هي عمليات لا عكسية مثل انتقال الحرارة من جسم ساخن إلى جسم بارد و هبوب الريح من المناطق ذات الضغط العالي إلى المناطق ذات الضغط الاقل.

العمليات العكسية Reversible Process

هي العمليات التي يمكن بعد إتمام انجازها إعادة النظام إلى نفس الشروط التي كان عليها قبل إجراء العملية دون ترك أي اثر على المحيط أو هي العمليات التي تحدث باتجاهين متعاكسين سالكة الطريق نفسه دون تغيير في المؤثرات الخارجية.

في الحقيقة لا يوجد في الطبيعة ظاهرة أو عملية عكسية ولكن للاقتراب من العمليات العكسية قدر الإمكان ينبغي توفر الشروط التالية:-

1- أن تتم العملية بغاية البطء أي يجب أن تمر بسلسلة من حالات التوازن شبه الساكنة بحيث يمكن تعريف حالة الكيان في كل خطوة من مسار العملية.
2- أن لا يرافق العملية تبديد بالطاقة (بسبب الاحتكاك أو اللزوجة أو المقاومة....).
3- أن لا يختلف ضغط ودرجة حرارة النظام عما هو علية في المحيط خلال كل مراحل العملية بشكل محسوس.

هنالك عمليات عديدة يمكن إجراؤها بشكل معكوس يقترب ولكن لا يصل إلى مثالية العمليات العكسية تماما. مثال على ذلك:-

1- الجليد ينصهر إذا امتص كمية معينة من الحرارة ويتحول إلى ماء و الماء الناتج يمكن تحويله إلى جليد اذا سحبت منه نفس الكمية من الحرارة.
2- كل التغيرات الاديباتيكية والايزوثرمية التي تنجز بصورة متناهية في البطء
3- شحن بعض أنواع المتسعات وتفريغها
4- شحن بعض أنواع الخلايا الكهربائية و تفريغها
5- حركة البندول الحر في غرفة مفرغة من الهواء و معلق بنقطة ارتكاز خاللية من الاحتكاك.

صيغة كلفن – بلانك :من المستحيل بناء ماكنة حرارية تعمل بحيث تمتص طاقة حرارية من مستودع حراري واحد وتحولها كلياً إلى شغل ميكانيكي).

صيغة كلاوزيوس :من المستحيل بناء ماكنة حرارية تعمل بحيث تمتص الحرار من مستودع حراري ذي درجة حرار منخفضة , وتنقلها الى مستودع آخر ذي درجة حرار أعلى دون الحاجة ال بذل شغل ميكانيكي، فمثلا الالة البخارية لايمكن ان تنجز شغلا اذا لم يتوفر الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية للبخار بالنسبة للوسط المحيط بها.

وترتبط هذه الصيغة للقانون الثاني بحالات الاتزان اذا ماادركنا انه يمكن الحصول على شغل فقط من النظام عندما لايكون قد وصل فعلا الى حالة الاتزان **وذلك لانه في حالات الاتزان لا توجد عملية تحدث تلقائيا ولايوجد مايمكن تسخيره للحصول على شغل**.

الانتروبي وصيغة اخرى للقانون الثاني للديناميكا الحرارية

الانتروبي (entropy) هو مصطلح علمي معتمد فيزيائيا و كيميائيا يعني درجة الاضطراب في النظام او حالة اللاانتظام و الفوضى, طرح من قبل علماء الكيمياء الحرارية الذين اسسو علم الثرمو داينامیك وهم كل من لورد كلفن(وليم تومسن) و رودولف كلازيوس, وقد طرحو هذا المصطلح في القانون الثاني في الثرمو داينامیك الذي ينص على ان الانتروبية في النظام الكيميائي المغلق تزداد مع الزمن , و الانتروبي هي كلمة اصلها اغريقي تعني التحول ,لكنها علميا تعني درجة الاضطراب في النظام او حالة اللاانتظام و الفوضى.

أول من قدم فكرة الإنتروبي هو كلاوزيوس Clausius في عام 1985 و عرّفها من خلال المعادلة الرياضية

الإنتروبي = S كمية الحرارة في المنظومة / Q درجة حرارة المنظومةT

لم تكن تعرف في ذلك الوقت فكرة أن الغاز يتكون من جزيئات دقيقة و أن درجة الحرارة تمثل متوسط الطاقة الحركية لهذه الجزيئات، و كانت الحرارة تعتبر كمية محفوظة تنتقل من منظومة إلى أخرى. ما كان يقصده كلاوسيوس بكمية الحرارة في المنظومة نسميه اليوم الطاقة الحرارية الداخلية Energy Internal Heat بما أن درجة الحرارة تظهر في معادلة كلاوسيوس كبند محدد هذا يعني أن المنظومة يجب أن تكون في حالة اتزان

الأنتروبي من متغيرات الحالة للمجموعة للعمليات العكسية في الكون

$$\Delta S \text{ rev} = 0$$

تزداد في العملية اللاعكسية

$$\Delta S \text{ irrev} = +$$

وان الانتروبية لاتقل أي

$$\Delta S \neq -$$

ومن خلال هذه الدالة نستطيع التعرف على ان التفاعل يحصل تلقائيا او لا يحصل:

$\Delta S = +$ (تلقائي (غير عكسي)

$\Delta S = 0$ في حالة توازن (عكسي)

$\Delta S = -$ (لايحصل التفاعل)

ان دالة الانتروبي كما ذكرنا دالة حالة فهي تعتمد على حالة النظام الابتدائية ، والنهائية لذلك يكون التغير فيها مساوي

$$\Delta S = S2 - S1$$

ونعبر عنها رياضيا بالقانون:

$$\Delta S = \partial q \text{ rev} / T$$

لعملية عكسية T ولتغير محسوس في الانتروبي فان:

$$S = q \text{ rev} / T$$

اما وحدات الانتروبي هي وحدات الحرارة مقسومة على درجة الحرارة وهي $Cal \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

في العملية الايزوثرمية العكسية:-

$$\Delta S = q \text{ rev} / T = n RT \ln (V_2/V_1) / T$$

$$\Delta S = n R \ln V_2 / V_1$$

عند ثبوت الحجم سيتحول القانون اعلاه

$$S = n C_v \ln T_2 / T_1$$

عند ثبوت الضغط $S = n C_p \ln T_2 / T_1$

$$\Delta S_{vap} = \Delta H_{vap} / T = q_{rev} / T$$

تسامي $\Delta S_{sub} = H_{sub} / T$

$$\Delta S_{fus} = \Delta H_{fus} / T$$

مثال: أحسب التغير في الإنتروبي في العمليتيْن التاليتيْن:

أ) ذوبان1 kg من الجليد عند درجة حرارة $100\ ^0C$ وعند ضغط P = 1 atm عند نفس الظروف.

ب) (أي بثبوت P و T)

ب) تكثيف1 kg من بخار الماء عند درجة حرارة $100\ ^0C$ وعند ضغط P = 1 atm عند نفس الظروف.

الحرارة الكامنة للانصهار تساوي $3.34 \times 10^5\ J.kg^{-1}$ والحرارة الكامنة للتبخير تساوي $2.26 \times 10^6\ J.kg^{-1}$

يضع القانون الثاني للحرارة حدا جذريا لكفاءة الآلة الحرارية. وحتي لو فرض أن الآلة مثالية ولا تفقد حرارة بالاحتكاك فهي لا تستطيع تحويل كمية الحرارة المعطاة لها إلى شغل .والحدود المتحكمة في ذلك هي درجة الحرارة الداخلة في الآلة (أو المتولدة فيهاT1) ودرجة حرارة الوسط المحيط لها والذي يخرج فيه غاز العادم (T2) ، ونعني هنا درجات الحرارة المطلقة أي المقاسة **بالكلفن**

وهذا الحد يسمى **كفاءة دورة كارنو** وهي تعطي كفاءة آلة مثالية لا يحدث فيها أي فقد للحرارة أو احتكاك. ولا يمكن لأي آلة عملية تعدي ذلك الحد مهما كانت تركيبته.

دورة المحركات الحرارية :تتكون دورة المحرك الحراري من عدد من العمليات التي ينسق تتابعها بهدف تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة شغل وبحيث يعود النظام الى حالته الاصلية عند ختام كل دورة.

دورة كارنو:- هي أحد الدورات الديناميكية الانعكاسية المشهورة والتي سميت باسم المهندس الفرنسي"سادي كارنو .) 1832 1796 (ويقال عن الدورة الديناميكية الحرارية أنها دورة عكسية إذا كانت جميع عملياتها عكسية، ومعنى ذلك أنه يمكن عكس العمليات جميعها وبالتالي عكس الدورة بأكملها.

مراحل دورة كارنو الحرارية الانعكاسية الأربعة:

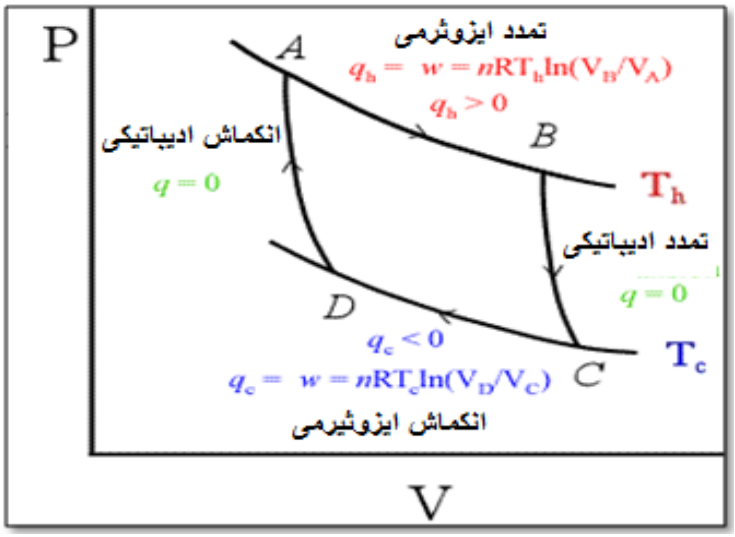
دورة كارنو الانعكاسية

1- يمتص الغاز كمية حرارة q من المستودع الساخن ، فيقوم الغاز ببذل شغل لدفع المكبس .وتكون هذه العملية تحت درجة حرارة ثابتة Th أي أنها (تمدد إيزوثيرمي)

2- يتمدد الغاز أديباتيكيا(اى وهو معزولا حراريا)يكون المكبس في هذه الحالة غير متصل بأي مستودع حراري و يبذل الغاز شغلا لدفع المكبس ، ينتج عنه انخفاض في درجة الحرارة.

3- انطلاق كمية من الحرارة يتصل المكبس في هذه الحالة مع المستودع البارد و يضغط الغاز عند درجة حرارة منخفضة وثابتة (انكماش إيزوثيرمي) وهنا يبذل المكبس شغل على الغاز

4- انكماش اديباتيكي للغاز حيث يكون المكبس في هذه الحالة غير متصل بأي مستودع حراري (أي أنه معزول) ويبذل المكبس شغلا على الغاز ، ينتج عنها ارتفاع في درجة الحرارة.



حساب الشغل المبذول فى كل مرحلة

$$PV = nRT \quad P = (nRT) / V$$

$$W = \int PdV = \int (nRT / V)\, dV = nRT \int (dV)/V$$

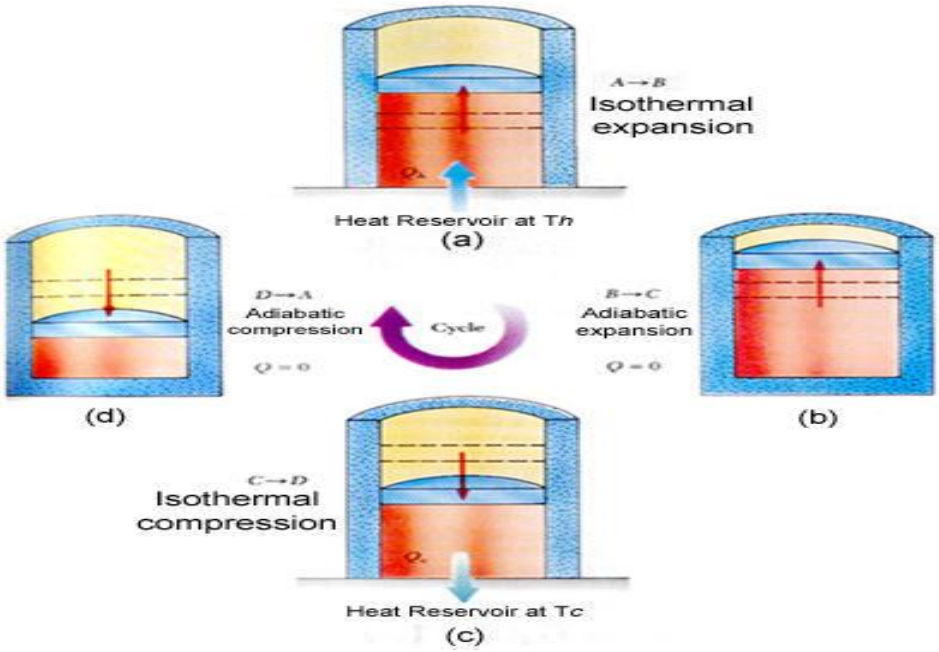
$$= nRT \ln (V2 / V1)$$

1- $q = W = n\,RTh \ln (VB/VA)$ تمدد ايزوثرمى لاحظ ان $W = +$ ، $q = +$

2- $W = n\,RTh \ln (VC/VB)$ تمدد اديباتيكى لاحظ ان $W = +$ ، $q = 0$

3- $q = W = nRTc \ln (VC/VD)$ انكماش ايزوثرمى لاحظ ان $W = -$ ، $q = -$

4- $W = nRTc \ln (VD/VA)$ انكماش اديباتيكى لاحظ ان $W = -$ ، $q = 0$



لإيجاد كفاءة ماكنة كارنو سنقوم باستخدام دورة كارنو الممثلة على منحنى الضغط والحجم في الشكل أعلاه. حيث أن الكفاءة تعطى بالمعادلة التالية:

$$\eta = \frac{W}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$$

في العملية من A إلى B تكون درجة الحرارة ثابتة وبالتالي فإن التغير في الطاقة الداخلية Internal Energy يساوي صفراً، وعليه تكون كمية الحرارة التي امتصها الغاز من المستودع الحار Q_h يساوي الشغل المبذول W_{AB}

$$Q_h = W_{AB} = nRT_h \ln \frac{V_B}{V_A}$$

وبنفس الطريقة تكون كمية الحرارة التي يفقدها الغاز في المرحلة من C إلى D تساوي الشغل W_{CD}

$$Q_c = |W_{CD}| = nRT_c \ln \frac{V_C}{V_D}$$

بقسمة المعادلتين السابقتين نحصل على

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \frac{\ln(V_C/V_D)}{\ln(V_B/V_A)} \quad *$$

$$\frac{\ln(V_C/V_D)}{\ln(V_B/V_A)}$$

يمكن إثبات أن المقدار يساوي مقدار ثابت من خلال الخطوات التالية:

حيث انه من معادلة الغاز عند عملية أديباتيكية يعطي بالعلاقة التالي:

$$PV^{\gamma} = const.$$
$$TV^{\gamma-1} = const.$$

نطبق ذلك على العملية الأديباتيكية من B إلى C والعملية الأديباتيكية من D إلى A نحصل على:

$$T_h V_B^{\gamma-1} = T_c V_C^{\gamma-1}$$
$$T_h V_A^{\gamma-1} = T_c V_D^{\gamma-1}$$

بتقسيم المعادلتين نحصل على:

$$(V_B/V_A)^{\gamma-1} = (V_C/V_D)^{\gamma-1}$$

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

وبهذا تكون المعادلة * على الصورة التالية:

$$\frac{Q_c}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h}$$

وبذلك تكون كفاءة دورة كارنو هي

$$\eta = 1 - \frac{Q_c}{Q_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

ذلك أن نستنتج من

All carnot engines operating between the same two temperatures have the same efficiency.

تنبيه وتأكيد : آلة كارنو الحرارية ليست وصفا لتركيب آلة حرارية محددة ، بل وصفا لعمليات دورة حرارية ، لو تمت – هذه العمليات – في أي آلة حرارية لأعطت أعلى كفاءة ممكنة.

مثال 1

إذا كانت درجة حرارة المتودع الحراري الساخن في آلة كارنو هي 127 ْ م وتحتاج خلال دورة كاملة إلى 420 جول تأخذه من المستودع الساخن بينما يخرج منها 315 جول من الطاقة الحرارية إلى المستودع البارد . أوجد درجة حرارة المستودع البارد .

مثال 2

آلة تتبع دورة كارنو وتستقبل كمية حرارة تساوي 3000 كلية جول من مصدر حراري عند درجة حرارة 727 ْ م . احسب

1- **كمية الحرارة المطرودة .**
2- **الشغل الناتج عن الآلة .**
3- **كفاءة الآلة الحرارية**

مثال 3

تعمل آلة حرارية على دورة كارنو وتنتج شغلاً صافياً معدل 100 كليوات ، بينما تعمل بين مصدر حراري درجة حرارته ْ700م ، ومستقبل حراري عند ْ50 م ، أحسب كفاءة الآلة وكمية الحرارة المنقولة على الدورة وكمية الحرارة المطرودة من الدورة .(واجب)

مثال 4

آلة حرارية تقوم بشغل مقداره 800J (وتمتص) 2000J من المستودع الساخن . إحسب-:

1- كفاء الآلة 2 - كمية الحرار المطرود إلى المستودع البارد ؟

مثال 5

آلة حرارية تنتج شغلاً ميكانيكيا "مقداره 2250J (وتعطي كمية من الحرار مقدارها) 250J (إحسب كفاء هذه الآلة).(واجب)

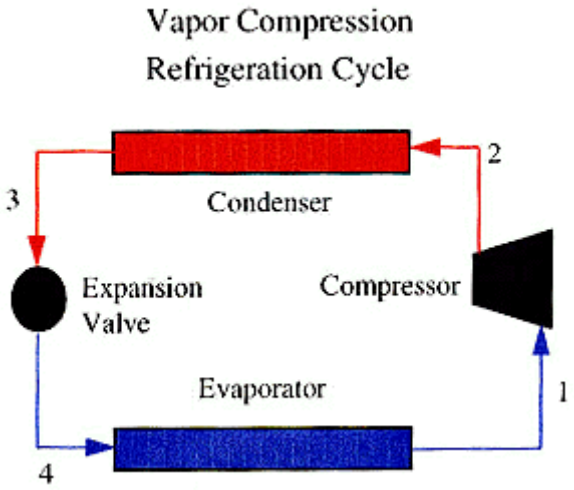
المحاضرة الخامسة

دورة التبريد والتكييف

يعرف التبريد بأنّه إنتقال الحرارة من حيز ذي درجة حرارة منخفضة(مصب SINK) إلى حيز ذي درجة حرارة أعلى(مصدر SOURCE) تتكون دورة التبريد من عدّة عناصر تكوّن دورة مقفلة.

تمثل دورة إنضغاط البخار أهم دورات التبريد، وتستعمل دورة إنضغاط البخار البسيطة موائع تعمل على امتصاص الحرارة من المصب ودفعها باتجاه المصدر وذلك بواسطة الضاغط وتسمى هذه الموائع وسائط التبريد**(refrigerants).**

المكونات الميكانيكية لدورة التبريد:-



دائرة التبريد الأساسية

كما ذكرنا أن أي سائل يتبخر ويتكثف وهو التغير ما بين الحالة السائلة والحالة الغازية، فعند التبخر يجب أن يحصل السائل على الحرارة الكامنة الكافية للتبخر ، بينما عند التكثيف يتم طرد الحرارة الكامنة مرةً أخرى. وتتكون أيّ دائرة تبريد ميكانيكية من أربعة أجزاء رئيسية هي:

1- الضاغط Compressor:

وظيفة الضاغط في دورة الانضغاط هي رفع ضغط البخار الجاف من الضغط المنخفض إلى الضغط العالي للمكثف، ويعتبر الضاغط أحد الأجزاء الرئيسية في أيّ دورة تبريد ميكانيكية، فبدون الضاغط لا يمكن حدوث دورة التبريد وإعادة سائل التبريد إلى حالته الأصلية من حيث المحتوى الحراريّ.

. وتصنع الضواغط بأشكال وأحجام وتصميمات مختلفة وعمومًا تنقسم الضواغط إلى:

(أ) ضواغط ترددية (ب) ضواغط دورانية (ج) ضواغط طاردة مركزية (د) ضواغط حلزونية.

2- المكثف Condenser:

وظيفة المكثف في دورة انضغاط البخار هي استقبال بخار وسيط التبريد الساخن العالي الضغط والقادم من الضاغط، وتخليصه من الحرارة التي امتصها في المبخر وهذه الحرارة عبارة عن حرارة التحميض والحرارة الكامنة وكذلك الحرارة الناتجة عن شغل الضاغط وتطرد هذه الحرارة إلى الوسط المحيط، فإذا كان الوسط المحيط هو الهواء سمّي المكثف بالمكثف المبرد بالهواء (هوائيًا) وإذا كان الوسط المحيط ماء سمّي المكثف بالمكثف المبرد بالماء (مائيا).

3- صمام التمددexpansion valve

يعمل على خفض ضغط المكثف إلى ضغط المبخر(وتسمى هذه العملية بعملية الخنق throttling) وكذلك تتحكم في معدل سريان وسيط التبريد إلى المبخر ويتحول وسيط التبريد من سائل مشبع إلى خليط من بخار وسائل.

4- المبخر Evaporator:

وهو عبارة عن مجموعة من الأنابيب في داخل حيز التبريدويكون وسيط التبريد داخلها عند ضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة عند دخوله المبخر.

الغرض من المبخر في دورة التبريد هو استقبال وسيط التبريد ذي الضغط المنخفض ودرجة الحرارة المنخفضة، والقادم من صمام الخلخلة ، وجعله في ملامس حراريّ ملاصق مع الحمل ويستمد وسيط التبريد حرارته الكامنة للتبخر من الحمل وأيّ كمية حرارة تمتص في المبخر تحول جزءًا من السائل عند درجة حرارة التشبع إلى بخار عند نفس الضغط ودرجة الحرارة .

الأجزاء الإضافية في دورة التبريد:

وهناك أجزاء أخرى في دورة التبريد ضرورية لسلامة عمل هذه الأجزاء الرئيسية أو تمكينها من أداء عملها. وسوف نجد هذه الأجزاء في أيّ وحدة تبريد سواءً أكانت هذه الوحدة وحدة تبريد تجارية أو صناعية أو وحدة تبريد منزلية، وهذه الأجزاء الإضافية هي:

- المجمع Accumulator: وهو جهاز أمان لمنع سائل وسيط التبريد من المرور إلى خط السحب ومنه إلى الضاغط، ويوجد في دائرة التبريد التي تستعمل الأنبوبة الشعرية.

- فاصل الزيت Oil Separator: ويوجد في وحدات التبريد التي تعمل في درجات حرارة منخفضة جدًا، كفريزرات التبريد العميق ، حيث يوجد فاصل الزيت بين خط الطرد للضاغط والمكثف، والغرض الأساسي من فاصل الزيت هو تخلص بخار وسيط التبريد الساخن ذي الضغط العالي من الزيت الزائد والغير مرغوب فيه بالنسبة لأجزاء الدائرة الأخرى مثل المكثف والمبخر، حيث يتم فصل الزيت وإعادته إلى علبة مرفق الضاغط عن طريق ماسورة وهناك عناصر أخرى مهمة أيضا لازمة لسلامة عمل الأجزاء الرئيسية وهي المبادل الحراريّ، والمجفف، وخزان السائل؛ وبالنسبة للدوائر الكهربائية فيوجد الثرموستات (Thermostat) وهو ضابط الحرارة وضابط الضغط العالي، وضابط الضغط المنخفض وغيرها من العناصر الهامة

دورة انضغاط البخار البسيطة((Simple Vapor Compression Cycle (VCC) وتسمى بدورة رانكين Rankine cycle أو الدورة النظرية للتبريد ويمكن تلخيصها كالاتي:-

العملية 1-2 عملية ثبوت الأنتروبيS=C :-

عند دخول وسيط التبريد الى الضاغط يكون في حالة بخار وبعدها يتم ضغط وسيط التبريد في عملية أدياباتية عكسية(ثبوت الأنتروبي) حيث يزداد الضغط من من ضغط السحب عند النقطة 1 الى ضغط الطرد عند النقطة 2 وعندها يتم بذل شغل للضاغط وحسب القانون الأول للديناميك:-

$$W_C = h_2 - h_1$$

وبفرض أنَّ التغير في طاقة الوضع(الكامنة) والحركة صغير جداً فيهمل

العملية 2-3 عملية فقدان حرارة بالمكثف(مع ثبوت الضغط) :P = C:-

عند سريان وسيط التبريد في المكثف من النقطة 2 إلى النقطة 3 يتم فقدان الحرارة الى الجو المحيط الذي درجة

حرارته أقل من درجة حرارة المكثف، يدخل المكثف في حالة تحميص حيث يبرد تبريداً محسوساً مع ثبوت الضغط إلى درجة التشبع بعدها تكون عملية التبريد في المكثف تبريداً كامناً حتى يصل التبريد النقطة 3 عندها يكون وسيط التبريد سائلاً مشبعاً.

تكون كمية الحرارة المفقودة من المكثف:-

$$Q_C = m(h_2 - h_3)$$

العملية 3-4 عملية الخنق خلال صمام التمدد(مع ثبوت الأنثالبي h =C):-

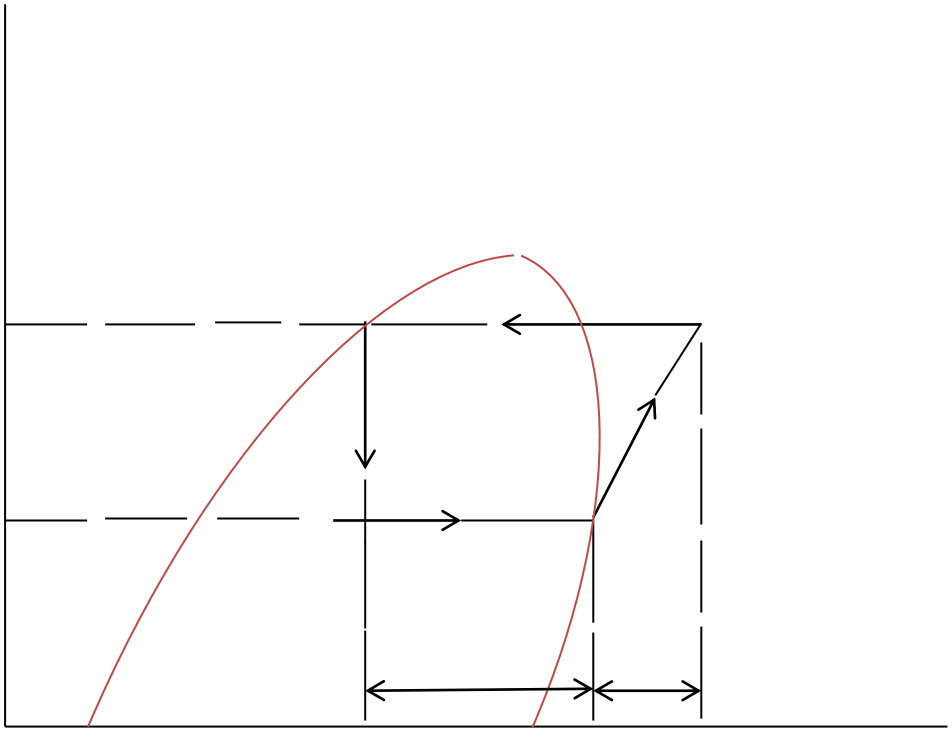
عملية الخنق خلال صمام التمدد تؤدي الى خفض ضغط المكثف في النقطة 3 الى الضغط المنخفض في المبخر عند النقطة 4. وفي العملية 3-4 يتم خفض كلاً من الضغط ودرجة الحرارة باعتبار عملية الخنق عملية أدياباتية وبدون بذل اي شغل وباستعمال القانون الأول للديناميك يكون

$$h_4 = h_3$$

العملية 1-4 عملية إكتساب حرارة بالمبخر(بثبوت الضغط P = C):-

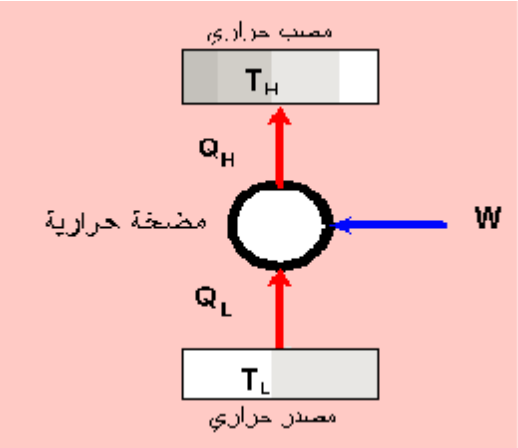
العملية الأخيرة 1-4 لعملية انضغاط البخار تكون في المبخر حيث تكون درجة حرارة المبخر أقل من درجة حرارة حيز المحيط كي تنتقل الحرارة من الحيز المحيط الى المبخر ويدخل وسط التبريد للمبخر كوسيط تبريد مكوّن من بخار وسائل (نسبة كمية السائل غالباً ماتكون أقل من البخار). وتكون عملية اكتساب الحرارة هذه عملية كامنة حتى يكون وسيط التبريد بخاراً مشبعاً النقطة 1) ونكون كمية الحرارة المكتسبة بالنسبة للمبخر:-

$$Q_e = m(h_1 - h_4)$$



المضخة الحرارية والثلاجة:-

تعمل المضخة الحرارية أو الثلاجة طبقاً لدورة آلة حرارية معكوسة فهي تمتص الحرارة بمعدل Q_L من مصدر عند درجة حرارة منخفضة T_L وتطرد حرارة بمعدل Q_H إلى مصب درجة حرارته عالية T_H وتستهلك شغل بمعدل W كما في الشكل:



مضخة حرارية أو ثلاجة

وبتطبيق القانون الأول للديناميك الحراري:

$$W = Q_H - Q_L$$

ولأن الهدف من الثلاجة هو الحرارة الممتصة من المستودع ذي درجة الحرارة المنخفضة Q_L أما الطاقة التي تعطى من خارج المنظومة فهي الشغل W وبالتالي فإن معامل أداء الثلاجة Coffiicient of Performance(COP) يمكن أن يعبر عنه بالمعادلة التالية:-

$$COP_{REF} = \frac{QL}{WC} = \frac{QL}{QL-QH} = \frac{1}{\left(\frac{QH}{QL}\right)-1} > 1$$

$$OR\ COP_{REF} = \frac{TL}{TH-TL} = \frac{RE}{Wc}$$

RE: التأثير التبريدي Refrigeration effect هو كمية الحرارة التي يمتصها 1 Kg من وسيط التبريد في المبخر من الوسط المحيط به من بعد دخوله المبخر حتى خروجه بخاراً مشبعاً وهي تمثل الفرق بين الأنثالبي بين مخرج ومدخل وسيط التبريد حيث:

$$RE = h2-h1$$

Wc: شغل الأنضغاط Input Work: ويحسب بإيجاد فرق الأنثالبي بين مخرج ومدخل وسيط التبريد إلى الضاغط مضروباً في معدل سريان وسيط التبريد في الدورة

$$\mathbf{Wc = m\Delta h = m(h2 - h1)}$$

We: حمل المبخر هو معدل الطاقة الذي سوف يزيله المبخر من الحيز المبرّد أو المنتج المبرّد(kw) وهذا يعتمد على حمل التبريد للحيز أو المنتج المبرّد.حيث:

$$\mathbf{Qe = m(h_2 - h_4)}$$

إذاً يكون معامل أداء دورة التبريد البسيطة:

$$\mathbf{COP_{REF} = \frac{Qe}{Wc} = \frac{RE}{Wc} = \frac{h1-h4}{h2-h1}}$$

معدل سريان مادة وسيط التبريد:

$$\mathbf{m = \frac{Qe}{Wc}}$$

أما حجم الأزاحة للضاغط:

$$\mathbf{V_S = \frac{V}{\eta_v}}$$

حيث V: معدل السريان الحجمي لوسيط التبريد حيث $\mathbf{V = mv_1}$ **حيث v_1:** الحجم النوعي لوسيط التبريد

وعليه يكون حجم الأزاحة للضاغط:

$$V_S = \frac{V}{\eta_v} = \frac{mv_1}{\eta_v}$$

η_v: الكفاءة الحجمية للضاغط وتتراوح بين(65% و85%)

المضخة الحرارية:-

أما إذا كانت الحرارة Q_H هي الهدف فإنَّ الآلة تسمى في هذه الحالة بالمضخة الحرارية ويكون معامل أدائها:-

$$\mathbf{COP_{HP} = \frac{QH}{W} = \frac{QH}{QH-QL} = \frac{1}{1-(\frac{QL}{QH})} > 1}$$

والعلاقة بين معامل أداء الثلاجة والمضخة الحرارية هو:-

$$\mathbf{COP_{HP} - COP_{REF} = 1}$$

مثال1/في دورة آلة حرارية معكوسة إذا كان الشغل المبذول على النظام يساوي 200 KJ/Kg وكانت الحرارة المطرودة من النظام 600KJ/kg ماهي قيمة الحرارة المضافة للنظام؟ إحسب معامل أداء هذه الماكنة إذا استخدمت 1- كثلاجة 2- كمضخة حرارية

مثال2/ ثلاجة تعمل تبعاً لدورة كارنو المعكوسة بين درجتي حرارة 40 °C و 10- °C إحسب معامل أدائها.

مثال 3/ حمل نظام تبريد يستعمل R134a هو TR 25 دائرة التبريد هي دائرة بسيطة تعمل بين ضغطي 1.00MPa0.25MPa إحسب الشغل اللازم لتشغيل المحرك بوحدة 1 - Kw 2- hp كم يكون حجم الأزاحة للضاغط إذا علمت أنَّ الكفاءة الحجمية له تساوي 80%. وكمية الحرارة المزالة من المبخر 85kJ علماً أن =h1 396 kj/kg ، h2= 426kj/kg، h3 = 256 kj/kg وأنَّ الحجم النوعي v1= 80 L/kg

دورات الهواء المثالية

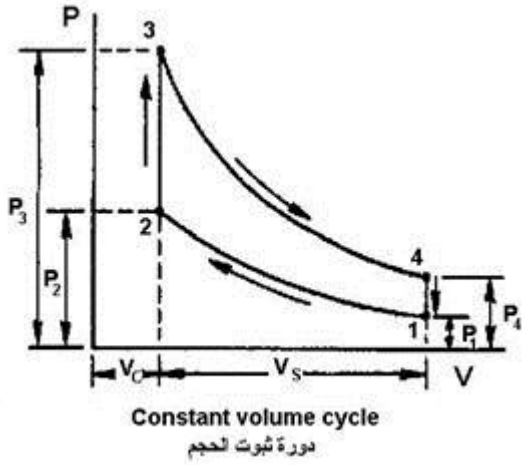
في هذه الدورات نفترض أن الهواء يستخدم بدل من خليط الهواء والوقود ونأخذ في الاعتبار التالي:

- ليس هناك انتقال للحرارة بين الأسطح بالمحرك والهواء
- الاحتراق لحظياً وتام
- السعة الحرارية النوعية تعتبر ثابتة.

دورة ثبوت الحجم (أوتو)

تتبع محركات الإشعال بالشرارة دورة أوتو ولكن على غازات حقيقية (خليط من الهواء والوقود) بدلاً من الهواء. وتتكون دورة أوتو من أربع إجراءات حرارية (أديباتي- ثبوت حجم – أديباتي – ثبوت حجم)

1. أجراء ديباتي (لا يحدث تبادل حراري) من نقطة 1 إلى نقطة 2
(انضغاط الشحنة, شغل مبذول على الغاز)



Constant volume cycle
دورة ثبوت الحجم

ويكون مقدار الشغل المبذول على الغاز W_{in}

$$W_{in} = \frac{(p_1 V_1 - p_2 V_2)}{\gamma - 1} \qquad (1)$$

2. أجراء ثبوت الحجم من نقطة 2 إلى نقطة 3
(إضافة حرارة عند ثبوت الحجم, الاحتراق)

وتكون كمية الحرارة المضافة للغاز Q_{in}

$$Q_{in} = n\, c_V\, (T_3 - T_2) \qquad (2)$$

3. أجراء أديباتي (لا يحدث تبادل حراري) من نقطة 3 إلي نقطة 4
(تمدد الشحنة, شغل مبذول من النظام)

ويكون مقدار الشغل المبذول من الغاز W_{out}

$$W_{out} = \frac{(p_3 V_3 - p_4 V_4)}{\gamma - 1} \qquad (3)$$

4. أجراء ثبوت الحجم من نقطة 4 إلى نقطة 1
(التخلص من الحرارة عند ثبوت الحجم, العادم)
وتكون كمية الحرارة المسحوبة (المتخلص منها) من الغاز Q_{out}

$$Q_{out} = n\, c_v\, (T_1 - T_4) \qquad (4)$$

* وعليه يكون مقدار الشغل الإجمالي للدورة W يساوي الشغل المبذول من الغاز ناقص الشغل المبذول على الغاز (المساحة المحصورة داخل الدورة)

$$W = W_{out} - W_{in} \qquad (5)$$

$$W = \frac{(p_3 V_3 - p_4 V_4) - (p_1 V_1 - p_2 V_2)}{\gamma - 1} \qquad (6)$$

حيث:
g = النسبة بين السعتين الحراريتين (ثبوت الضغط و ثبوت الحجم)
و p_4, p_3, p_2, p_1 مقدار الضغط عند النقاط 1, 2, 3, 4 بالترتيب
و V_4, V_3, V_2, V_1 مقدار الحجم عند النقاط 1, 2, 3, 4 بالترتيب
c_v السعة الحرارية النوعية للغاز عند ثبوت الحجم

*وتكون كفاءة الدورة h تساوي شغل الدورة مقسوم على الحرارة المعطاة, حيث أن الشغل يساوي الفرق بين الحرارة المعطاة والحرارة المفقودة (القانون الثاني للديناميكا الحرارية):

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \qquad (7)$$

$$\eta = \frac{n c_v (T_3 - T_2) - n c_v (T_4 - T_1)}{n c_v (T_3 - T_2)} \qquad (8)$$

$$\eta = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \qquad (9)$$

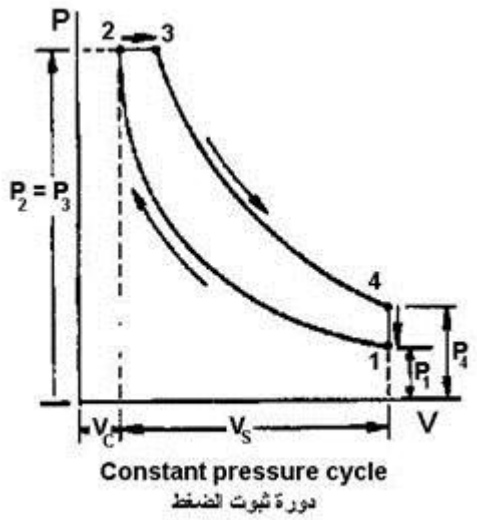
والتي تساوي لدورة الهواء المثالية h_{air} Air Standard Efficiency (ASE)

$$\eta_{air} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma - 1} \qquad (10)$$

حيث T_4, T_3, T_2, T_1 مقدار درجة الحرارة عند النقاط 1, 2, 3, 4 بالترتيب.

دورة ثبوت الضغط (ديزل)

تتبع محركات الإشعال بالضغط دورة ديزل ولكن على غازات حقيقية بدلاً من الهواء. تتكون دورة ديزل من أربع إجراءات حرارية (أديباتي- ثبوت ضغط- أديباتي- ثبوت حجم)



Constant pressure cycle
دورة ثبوت الضغط

1. أجراء أديباتي (لا يحدث تبادل حراري) من نقطة 1 إلى نقطة 2

ويكون مقدار الشغل المبذول على الغاز كما في معادلة (1)

(انضغاط الشحنة, شغل مبذول على النظام

2. أجراء ثبوت الضغط من نقطة 2 إلى نقطة 3

(إضافة حرارة عند ثبوت الضغط, الاحتراق)

وتكون كمية الحرارة المضافة للغاز Q_{in}

$$Q_{in} = n\,c_p\,(T_3 - T_2) \qquad (11)$$

ويكون مقدار الشغل المبذول من الغاز خلال هذا الإجراء $W_{out\,(1)}$

$$W_{out} = p_2\,(V_3 - V_2) \qquad (12)$$

3. أجراء أديباتي (لا يحدث تبادل حراري) من نقطة 3 إلي نقطة 4

(تمدد الشحنة, شغل مبذول من النظام)

ويكون مقدار الشغل المبذول من الغاز كما في معادلة (3)

4. أجراء ثبوت الحجم من نقطة 4 إلى نقطة 1

(التخلص من الحرارة عند ثبوت الحجم, شوط العادم)

وتكون كمية الحرارة المسحوبة (المتخلص منها) من الغاز كما في معادلة (4)

* وعليه يكون مقدار الشغل الإجمالي للدورة W يساوي الشغل المبذول من الغاز ناقص الشغل المبذول على الغاز كما في معادلة (22) ويساوي

$$W = p_2\,(V_3 - V_2) - \frac{(p_1V_1 - p_2V_2)}{\gamma - 1} \qquad (13)$$

وتكون الكفاءة للدورة كما في معادلة (24)

$$\eta = \frac{n c_p\,(T_2 - T_3) - (n c_V\,(T_4 - T_1)}{n c_p\,(T_2 - T_3)} = 1 - (\frac{1}{\gamma})(\frac{(T_4 - T_1)}{(T_2 - T_3)}) \qquad (14)$$

حيث:

c_p السعة الحرارية النوعية للغاز عند ثبوت الضغط

أمثلة:-

1- ماكنة تعمل وفق دورة أوتو الضغط في بداية الأنضغاط 1 باروفي نهاية الأنضغاط 11 بارإحسب نسبة الأنضغاط والكفاءة المثالية لدورة هواء هذه الماكنة (إفرض أنَّ معامل الهواء 1.4)