بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة المثنى
كلية التربية الأساسية
قسم العلوم

المادة: الديناميكية الحرارية
الفصل الدراسي: الثاني
المرحلة: الثانية
نوع الدراسة: الصباحية
تدريسي المادة: م. زيد سعود رزاق

مقدمة عن المادة

الديناميكية الحرارية (الثرموديناميكا) هي فرع الفيزياء الذي يدرس العلاقة بين الحرارة، الشغل، والطاقة .يفسر العلم كيفية تحول الطاقة من شكل لآخر وتأثير ذلك على حالات المادة، ويُعد أساساً هندسياً وفيزيائياً لفهم المحركات، محطات الطاقة، وحتى العمليات الحيوية

تُبنى الديناميكية الحرارية على 4 قوانين أساسية:

- **القانون الصفري :**يحدد مفهوم درجة الحرارة ويؤكد أنه إذا كان هناك جسمان في حالة اتزان حراري مع جسم ثالث، فهما في حالة اتزان مع بعضهما البعض.
- **القانون الأول /حفظ الطاقة :**الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، بل تتحول من شكل لآخر (مثل تحويل الحرارة إلى شغل ميكانيكي
- **القانون الثاني :**يحدد اتجاه انتقال الحرارة؛ حيث تنتقل تلقائياً من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد. كما يعرّف "الإنتروبيا" (العشوائية) التي تزداد دائماً في العمليات الطبيعية المعزولة
- **القانون الثالث :**ينص على أن "الإنتروبيا" لنظام مثالي تقترب من الصفر عندما تقترب درجة الحرارة من الصفر المطلق.

أولا: مفردات المادة

الأسبوع الأول
- **المقررات :**مفاهيم في الحرارة، درجة الحرارة، الاتزان الحراري، المحارير، معايرة المحارير، أنواع المحارير

الأسبوع الثاني
- **المقررات :**النظام المعزول وغير المعزول، النظام المفتوح والمغلق، القانون الصفري، وحدات درجة الحرارة وتحويلاته.

الأسبوع الثالث
- **المقررات :**محرار المزدوج الحراري، محرار المقاومة الكهربائية، محرار أخرى.

الأسبوع الرابع
- **المقررات :**حساب الحرارة النوعية – قانون التبادل الحراري – تطبيقات.

الأسبوع الخامس
- **المقررات :**الحرارة الكاملة للانصهار والتشغيل – تطبيقات تأثير الضغط في درجة الحرارة.

الأسبوع السادس
- **المقررات :**إثبات انتقال الحرارة، انتقال الحرارة بالتوصيل (الميل الحراري، التير الحراري في الميل الحراري) التير الحراري، معامل التوصيل الحراري

الأسبوع السابع
- **المقررات :**انتقال الحرارة بالتوصيل، بالحمل، انتقال الحرارة بالإشعاع.

الأسبوع الثامن
- **المقررات :**تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة، التمدد الحراري، تمدد المواد الصلبة (التمدد الطولي، التمدد السطحي، التمدد الحجمي)، تمدد السوائل، تمدد الغازات.

الأسبوع التاسع
- **المقررات :**الحرارة وتغير طور المادة، نقطة الانصهار والغازين، مخطط درجة الحرارة والطاقة، حساب كمية الحرارة الحرارية الكامنة، التبخر.

الأسبوع العاشر
- **المقررات :**الثرموداينمك – حالة النظام – العلاقة بين الحرارة والضغط – الطاقة الداخلية.

الأسبوع الحادي عشر
- **المقررات :**القانون الأول للثرموداينمك – الشغل في عملية إيزوثرمية – الشغل في عملية ادبياتيكية.

الأسبوع الثاني عشر

- **المقررات :**المعادلة العامة للغازات – الغاز المثالي، النظيرة الحرارية.

الأسبوع الثالث عشر

- **المقررات :**القانون الثاني للثرموداينمك – دورة كارلو – الماكنة الحرارية.

الأسبوع الرابع عشر

- **المقررات :**قانون بوتن للتبريد الكفاءة.

ثانيا: المصادر و المراجع

1. الفيزياء العامة – تأليف عبد المجيد عبد الخالق مجيد الصوفي
2. الفيزياء الجامعية – تأليف رحيم عبد الكتل – عبد السلام عبد الأمير –طالب ناهي الخفاجي-فياض عبد اللطيف النجم
3. الحرارة وخواص المادة - تأليف – كاظم احمد محمد
4. اساسيات الفيزياء – تأليف – ف.بوش

ثالثا: اهداف المادة

1. يهتم بدراسة التغير في درجة حرارة النظام والتغير في حالته (الصلبة او السائلة او الغازية) نتيجة لتحول الطاقة من وألى النظام
2. علم الديناميكا الحرارية مفيد في توضيح وتفسير خواص المادة وعالقة هذه الخواص مع الذرات والجزيئات المكونة للمادة.
3. علم الديناميكا الحرارية يجيب على الكثير من الأسئلة والاستفسارات العملية. مثال على ذلك هل فكرت كيف تتمكن الثلاجة من تبريد محتوياتها، وما هي طبيعة التحولات التي تحدث في محطات الطاقة وفي محركات السيارات، أو ماذا يحدث للطاقة الحركية للأجسام المتحركة عندما تتوقف وان قوانين الديناميكا الحرارية توفر لنا تفسيرات لكل هذه الظواهر وغيرها.
4. دراسة اسباب اعتبار المادة عنصر مهم لدراسة الظواهر الحرارية. على سبيل المثال .الغازات تتمدد كثيراً عندما تسخن، في حين أن تمدد السوائل والمواد الصلبة يكون بدرجة قليلة.
5. يتناول الوصف العياني macroscopic للغاز المثالي، حيث سيتم التركيز على العالقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة، و على الوصف المجهري microscopic للغاز المثالي بالاعتماد على ان الغاز مكون من جسيمات دقيقة وهذا يمكن ان يكون نموذجا لدراسة الغازات
6. التوضيح للطالب كيفية التمييز بين العمليات وأنظمة درجات الحرارة
7. تمكين الطالب على فهم معنى الديناميكيا والفرق بينهما
8. تمكين الطالب من ان يشرح الية انتقال الحرارة وتحولاتها
9. ان يفهم الطالب معنى الحجم والضغط ودرجه الحرارة
10. ان يميز الطالب بين الحرارة ودرجة الحرارة

المحاضرة الأولى

درجة الحرارة
Temperature

المقدمة

يتناول هذا الفصل دراسة درجة الحرارة ومقاييسها وطرق قياسها وأنواع المحارير المستخدمة لذلك. وكذلك دراسة تأثيرات تغير درجة الحرارة على الخواص الفيزيائية للمادة. ولقد تم التطرق إلى انتقال الحرارة والآليات المختلفة لانتقالها. وأخيرا تم توضيح درجات الحرارة الواطئة وكيفية الحصول عليها.

درجة الحرارة **Temperature**

يعد مفهوم درجة الحرارة من المفاهيم الأساسية في الفيزياء, شأنه شأن المفاهيم الأساسية الأخرى كالقوى مثلاً. وعلى الرغم من ان الجميع يملك فكرة واضحة أو تصوراً معيناً عن معنى هذا المفهوم وذلك بدلالة أحاسيسه, إلا ان مفهوم درجة الحرارة ليس سهل التعريف والتحديد بدقة.

ومن المفاهيم البسيطة والأولية هو ان درجة الحرارة هي ذلك الشيء المسؤول عن إحساسنا بالسخونة والبرودة. وتُعدُّ حاسة اللمس ابسط طريقة لتميز سخونة وبرودة الأجسام, إذ نستطيع القول ان الجسم X أشدُّ سخونة من الجسم Y , والجسم Y أشدُّ أو اقلُّ سخونة من الجسم Z وهكذا نستطيع التعبير عن مفهوم درجة الحرارة.

ومن أجل فهم أكثر لمعنى درجة الحرارة, دعنا نأخذ جسماً معيناً وليكن X ذا درجة حرارة معينة T_1 , كأن يكون بارداً عند لمسه باليد, وجسماً ثانياً مماثلاً للأول تماماً وليكن Y وذا درجة حرارة معينة T_2 , كأن يكون ساخناً عند لمسه باليد. فإذا وُضع الجسمان في حالة اتصال حراري, فإن الجسم الساخن يبرد, أي تنخفض درجة حرارته بينما يسخن الجسم البارد أي ترتفع درجة حرارته, وبعد مرور فترة كافية من الزمن فإن كل من الجسمين X و Y سيؤولان إلى الدرجة الحرارية نفسها, وعندها يمكن القول بأن الجسمين أصبحا في حالة توازن حراري. ويمكن توضيح ذلك بافتراضنا ان هناك شيء ما, نسميه الحرارة Heat (وهي نوع من أنواع الطاقة) قد تنساب من الجسم الساخن إلى داخل الجسم البارد. وهذا المثال مشابه إلى ربط وعاءين يحتويان على الماء بمستويات مختلفة, بأنبوب, إذ نجد أن الماء سينساب خلال الأنبوب من الوعاء الذي يحتوي على سائل ذات مستوى أعلى إلى الوعاء الحاوي على السائل بمستوى أقل.

ومن هذا يتضح لنا بأن درجة حرارة الجسم (أو النظام) تأخذ القيمة نفسها التي تؤول إليها قيم درجات الحرارة المختلفة لتلك الأجسام (أو الأنظمة), إذا وضعت هذه الأجسام (أو الأنظمة) سوية وباتصال حراري مباشر. ان هذا الشرح أو التفسير يتطابق مع فكرة ان درجة الحرارة هي مقياس لسخونة أو برودة الأجسام (أو الأنظمة), فضلاً عن انه يقود أيضاً إلى معنى أساس آخر لدرجة الحرارة وهو أنها

خاصية ما للمادة تؤول إلى نفس قيمتها في مواد أخرى عندما توضع هذه المواد في حالة اتصال حراري ويتحقق التوازن الحراري.

وبذلك فان اي جسمين متماسين او سائلين مخاوطين وكانت درجة حراتهما مختلفة وكانا معزولين عن المحيط الخارجي فان الطاقة الحرارية تنتقل من الجسم الساخن الى الجسم البارد حتى تتساوى درجة حرارة الجسمين المتماسين او السائلين المخلوطين ويحدث الاتزان الحراري (Thermal Equilibrium). فضلاً عما تقدم فإنه يمكن اعتبار درجة الحرارة كمقياس للنشاط الحراري لذرات أو جزيئات المادة. وتعرّف على أنها مقياس للطاقة الحركية (أو الاهتزازية) لذرات أو جزيئات المادة. ويعبّر عن درجة الحرارة بالدرجة السليزية (أو المئوية) $^{\circ}C$ أو بالدرجة الفهرنهايتية $^{\circ}F$ أو بالدرجة الكلفانية (أو المطلقة) K.

مقاييس درجة الحرارة The Temperature Scales

قبل البدء بشرح عملية بناء المحارير يجب تعيين مقياس درجة الحرارة المناسب وتعيين الطريقة المناسبة لتدرج هذا المحرار. وبصورة عامة هناك ثلاثة مقاييس رئيسة لدرجة الحرارة, وهي كما يأتي:

1- المقياس السليزي The Celsius (Centigrade) Scale ($^{\circ}C$)

2- المقياس الفهرنهايتي The Fahrenheit Scale ($^{\circ}F$)

3- المقياس الكلفاني The Kelvin Scale (K)

المقياس السليزي ($^{\circ}C$) The Celsius (Centigrade) Scale

يتم تدريج هذا المقياس وذلك بتعريف نقطة انجماد الماء على أنها تساوي صفر درجة سليزية, 0 $^{\circ}C$ تحت الضغط الجوي الاعتيادي, ونقطة الغليان على أنها تساوي $100^{\circ}C$ تحت الضغط الجوي الاعتيادي, والطريقة المستخدمة لتدريج المحرار الزئبقي وفق هذا المقياس هي بوضع المحرار الزئبقي في خليط الثلج والماء وتركه مدة كافية حتى يستقر مستوى الزئبق. ويؤشر مستوى الزئبق على انه 0 $^{\circ}C$ ثم يهيئ خليط البخار والماء ويوضع المحرار داخله فيرتفع مستوى الزئبق ويستقر عند مستوى معين, يؤشر هذا المستوى على انه 100 $^{\circ}C$ ثم تقسم المسافة بين العلامتين 0 $^{\circ}C$ و 100 $^{\circ}C$ إلى 100 جزء متساوٍ كل جزء سيمثل تغيراً في درجة الحرارة مقداره درجة سليزية واحدة 1 $^{\circ}C$. ويمكن توسيع مدى المحرار المذكور وذلك بإضافة المسافات نفسها قبل النقطة 0 $^{\circ}C$ من اجل الحصول على الدرجات الحرارية الأقل من 0 $^{\circ}C$, وبعد النقطة 100 $^{\circ}C$ للحصول على الدرجات الحرارية الواقعة بعد 100 $^{\circ}C$

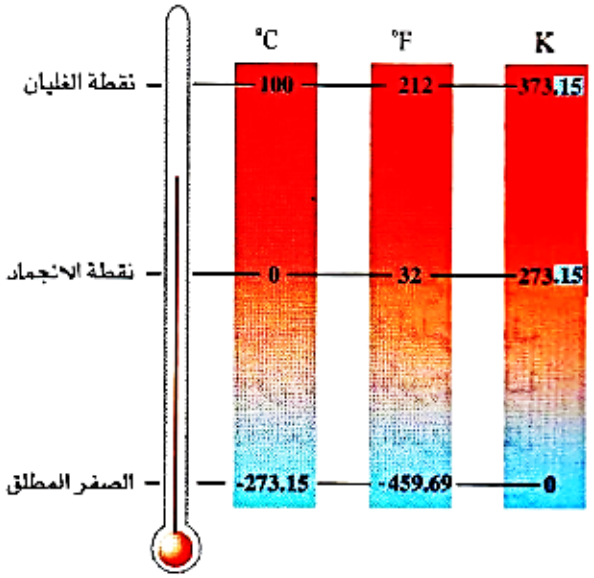
المقياس الفهرنهايتي (^{o}F) The Fahrenheit Scale

يعد المقياس الفهرنهايتي من مقاييس درجة الحرارة المعروفة. ان مسافة درجة الحرارة الفهرنهايتية على المقياس تساوي (5/9) مسافة درجة الحرارة السليزية. ان درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي 32 درجة فهرنهايتية ($32^{o}F$), ودرجة غليان الماء تساوي $212^{o}F$. وتقسم المسافة بين النقطتين إلى 180 جزءاً متساوياً. وان طريقة تدريجه هي طريقة تدرج المقياس السليزي نفسها.

المقياس الكلفاني (K) The Kelvin Scale

يعد المقياس الكلفاني المقياس العلمي الأساس لدرجة الحرارة والذي على أساسه يتم تعريف المقياس السليزي. يشبه المقياس الكلفاني في تقسيماته المقياس السليزي, إن درجة انجماد الماء في هذا المقياس تساوي 273.15 درجة كلفانيه, وغالباً ما تأخذ على أنها مساوية إلى 273 K , أما درجة حرارة غليان الماء فإنها تساوي 373.15 K درجة كلفانية تحت الضغط الجوي الاعتيادي.

ومن هذا يتبين ان المسافة بين النقطتين مقسمة إلى 100 جزء متساو, كما هي الحالة في المقياس السليزي, فضلاً عن ان تساوي الدرجة الكلفانية مع الدرجة السليزية. يوضح الشكل (1) هذه المقاييس الثلاثة والدرجات الحرارية المهمة فيها:



الشكل (1) يمثل تخطيطاً مبسطاً للمقاييس الثلاثة

أولاً: الواجب اليومي / عرّف المصطلحات التالية تعريفاً فيزيائياً دقيقاً:

1. **درجة الحرارة (Temperature):** بماذا تقيس، وما علاقتها بالحركة الجزيئية؟
2. **الحرارة (Heat):** كيف تختلف عن درجة الحرارة؟ وما هي وحدة قياسها في النظام الدولي؟
3. **الاتزان الحراري (Thermal Equilibrium):** اذكر الشرط اللازم لتحققه بين جسمين.

ثانيا الواجب الأسبوعي /حلل الموقف التالي:

يشعر شخص بأن مكعبات الثلج في يده "باردة جداً" وتؤلمه، بينما يشعر شخص آخر بأن قطعة حديد في نفس الغرفة "أدفأ" من الخشب. مع العلم أن جميع الأجسام في الغرفة لها نفس درجة الحرارة.

المطلوب :فسر ذلك فيزيائياً مستخدماً مفهومي (التوصيل الحراري، والسعة الحرارية، ودرجة الحرارة)

المحاضرة الثانية

النظام المفتوح(Open System)

- **التعريف :**هو نظام **يتبادل المادة والطاقة (حرارة وشغل)** مع الوسط المحيط به عبر حدوده.
- **مثال :**محرك السيارة (يدخل وقود وهواء، ويخرج عادم وحرارة)، أو قدر مفتوح يغلي (يدخل حرارة، ويخرج بخار ماء).
- **الخاصية :**الكتلة داخل النظام **ليست ثابتة**، لأنها تتغير بدخول أو خروج المادة.

النظام المغلق(Closed System)

- **التعريف :**هو نظام **يتبادل الطاقة (حرارة وشغل) مع المحيط، لكن لا يتبادل المادة.**
- **مثال :**أسطوانة مكبس محكمة تحتوي على غاز (تسخن أو تبرد، لكن الغاز لا يخرج ولا يدخل)
- **الخاصية :**الكتلة داخل النظام **ثابتة**، لكن الطاقة يمكن أن تعبر حدوده.

النظام المعزول(Isolated System)

- **التعريف :**هو نظام **لا يتبادل المادة ولا الطاقة (حرارة ولا شغل) مع المحيط.**
- **مثال :**ترمس مثالي (يفترض أنه لا تفقد حرارة ولا يدخل هواء)، أو الكون ككل (يعتبر نظاماً معزولاً).
- **الخاصية :**الكتلة والطاقة **كلتاهما ثابتتان** داخل النظام.

النظام غير المعزول(Non-isolated System)

- هذا المصطلح يُستخدم أحياناً **للإشارة إلى أي نظام ليس معزولاً**، أي إما مفتوح أو مغلق.
- في بعض السياقات، يُطلق على النظام الذي **يتبادل الطاقة فقط** (أي المغلق) بأنه "غير معزول"، وهذا يختلف حسب المرجع العلمي.

جدول مقارنة سريع:

نوع النظام	تبادل المادة	تبادل الحرارة	تبادل الشغل (الميكانيكي)
مفتوح	□نعم	□نعم	□نعم
مغلق	□لا	□نعم	□نعم
معزول	□لا	□لا	□لا
غير معزول	يمكن أن يكون مفتوحاً أو مغلقاً (أي يتبادل الطاقة)		

التحويل من مقياس إلى آخر Conversion of Scales

يمكن تحويل درجة الحرارة من مقياس إلى آخر النسبة الاتية:

$$\frac{^{\circ}C-0}{100}=\frac{K-273}{100}=\frac{^{\circ}F-32}{180}$$

1- من المقياس السليزي إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في المعادلات الأتية:

$$^{\circ}F=\frac{9}{5}\,^{\circ}C+32 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

أو

$$^{\circ}C=\frac{5}{9}(\,^{\circ}F-32) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

2- من المقياس السليزي إلى المقياس الكلفاني وبالعكس كما في المعادلات الأتية:

$$K=\,^{\circ}C+273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أو

$$^{\circ}C=K-273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

3- من المقياس الكلفاني إلى المقياس الفهرنهايتي وبالعكس كما في العادلات الأتية:

$$^{\circ}F=\frac{9}{5}(K-273)+32 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

أو

$$K=\frac{5}{9}(\,^{\circ}F-32)+273 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

القانون الصفري في الديناميكية الحرارية The Zeroth law of thermodynamics

إذا وجد جسمين معزولين وكلاً منهما في حالة اتزان حراري مع جسم ثالث فإن ذلك يؤدي إلى أن الجسمين أيضا في حالة اتزان حراري مع بعضهما البعض. وسمي بالقانون الصفري للديناميكية الحرارية لأنه من المسلمات البديهية ويعتبر هذا القانون الأساس لفكرة الثيرموميتر المستخدم لقياس درجات الحرارة.

الواجب اليومي/صنّف الأنظمة التالية وفق الجدول نظام مفتوح / مغلق / معزول:

- قدر ضغط على نار الغاز (مع مراعاة صمام الأمان).

- ترمس (زجاجة حرارية) محكم الإغلاق وفارغ من الهواء تماماً (مثالي).
- مكيف الهواء في غرفة مغلقة.

الواجب الأسبوعي/كيف يستخدم المصنعون القانون الصفري عند معايرة موازين الحرارة (المحارير) في المصانع؟ اشرح الخطوات التي يقومون بها لضمان دقة جميع المحارير المنتجة باستخدام محرار مرجعي واحد.

المحاضرة الثالثة

أنواع المحارير Types of Thermometers

ولأجل قياس درجة الحرارة فقد تم استخدام عدة أنواع من المحارير, اذ ان كل نوع من هذه المحارير يعتمد على إحدى خواص المادة وعلاقتها بدرجة الحرارة. ومن أمثلة هذه المحارير: المحرار الزئبقي ومحرار المزدوج الحراري والمحرار الغازي ذو الحجم الثابت ومحرار المقاومة الكهربائية والمحرار الغازي ذو الضغط الثابت وغيرها. والجدول (1) يوضح أنوع المحارير والخاصية المستخدمة لأجل قياس درجة الحرارة.

الجدول (1) أنوع المحارير

اسم المحرار	نوع الخاصية المستعملة
المحرار الزئبقي	طول عمود الزئبق (L)
المزدوج الحراري	القوة الدافعة الكهربائية (E)
المحرار الغازي ذو الحجم الثابت	ضغط الغاز (P)
المقاومة الكهربائية	المقاومة الكهربائية (R)
المحرار الغازي ذو الضغط الثابت	حجم الغاز (V)

تدرج المحارير Calibration of Thermometers

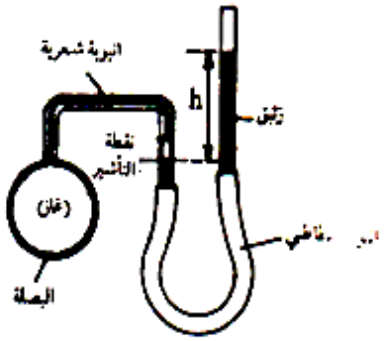
ان عملية تدرج المحارير تعني تعيين قيمة الثابت (a) لأي نوع منها. وهذه العملية تتطلب اختيار نقطة أساس (قياسية) ثابتة لدرجة الحرارة, وتم الاتفاق على اختيار النقطة الثلاثية للماء لهذا الغرض. وتعرف النقطة الثلاثية للماء على أنها: درجة الحرارة التي يتواجد عندها الجليد (صلب) والماء (سائل) والبخار (غاز) معاً في آن واحد وفي حالة توازن حراري تحت ضغط ثابت يعادل (4.6 mm Hg). وقد اتفق على ان تكون درجة الحرارة (273.16K) هي الدرجة الحرارية التي تمثل النقطة الثلاثية للماء.

ويجب ملاحظة ان قراءة جميع أنواع المحارير لدرجة الحرارة عند النقطة الثلاثية للماء يجب ان تكون نفسها.

المحرار الغازي ذو الحجم الثابت The Constant Volume Gas Thermometer

يتكون المحرار الغازي ذو الحجم الثابت من وعاء زجاجي او معدني يسمى أحيانا بـ (البصلة). يتصل بأنبوبة زجاجية – يمكن ان تكون أنبوبة شعرية – إلى المانومتر (مقياس زئبقي). تحتوي البصلة على الغاز أو الهواء, توضع البصلة في وعاء خارجي يمثل الوسط أو المحيط المراد قياس درجة حرارته, انظر الشكل (2). يتم استخدام هذا المحرار وذلك بجعل مستوى الزئبق في جهتي المانومتر متساوية ويتم تأثيرها بين النقطتين. وفي هذه الحالة سيكون الضغط المسلط على الغاز المحصور في البصلة مساوياً للضغط الجوي. ثم نغمر البصلة في المحيط المراد قياس درجة حرارته. فإذا كان المحيط ساخناً أدى إلى تمدد الغاز المحصور في البصلة, الذي سيقوم بدفع الزئبق مؤدياً إلى انخفاض مستواه في الجهة اليسرى من المانومتر, وبالعكس إذا كان الوسط بارداً أدى إلى تقلص الغاز في البصلة والى ارتفاع مستوى الزئبق في الجهة اليسرى من المانومتر. وبعد حصول التوازن الحراري يرتفع أو ينخفض مستوى الزئبق (وذلك بخفض أو رفع الجهة اليمنى من المانومتر) إلى أن يصل مستوى الزئبق في الجهة اليسرى إلى

نقطة المؤشرة قبل غمر البصلة في المحيط. تسجل قراءة (ارتفاع) مستوى الزئبق في الجهة اليمنى من المانومتر. ويقصد بالارتفاع هنا الفرق بين مستويات الزئبق في جهتي المانومتر ولتكن (h).



الشكل (2) المحرار الغازي ذو الحجم الثابت

ان الضغط المسلط على الغاز في هذه الحالة سيكون مساوياً الى الضغط الجوي زائداً ضغط عمود الزئبق والذي يساوي $\rho g h$, حيث ان ρ تمثل كثافة الزئبق و g التعجيل الأرضي.

هناك أسباب تؤدي إلى عدم دقة قراءة درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار ومن أهمها:

1- تمدد أو تقلص البصلة الذي يسبب تغير في حجم الغاز المحصور بداخلها. إذ غالباً ما يتم إهمال هذا التغير من حجم الغاز أو البصلة.

2- الاختلاف الحاصل بين درجتي حرارة الغاز المحصور في البصلة والغاز المحصور في الأنبوبة الموصلة إلى المانومتر.

ولأجل إيجاد قيمة درجة الحرارة باستخدام هذا المحرار تستخدم المعادلة الآتية:

$$T(P) = 273.16 \frac{P}{P_o}$$

وتكون القراءة بالدرجة الكلفنية, كما ان الحجم (V) يبقى ثابتاً.

وقد وجد عملياً بان المحارير الغازية المختلفة التي تستخدم غازات مختلفة تسجل قراءات مختلفة للدرجة الحرارية نفسها ويستثنى من هذه, الحالة التي يصبح فيها الضغط P_o مساوياً أو مقارباً للصفر.

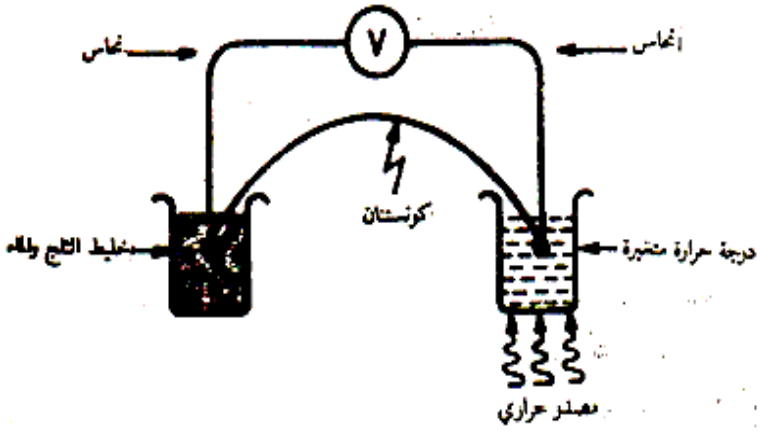
محرار المزدوج الحراري The Thermocouple Thermometer

يتكون محرار المزدوج الحراري من سلكين مصنوعين من مادتين مختلفتين كالنحاس والكونستنتات أو النحاس والحديد أو البلاتين والروديوم وغيرها. يتصل السلكان اتصالاً جيداً في نهايتهما فقط انظر الشكل (3). ان أساس عمل هذا المحرار يعتمد على توليد القوة الدافعة الكهربائية نتيجة لاختلاف درجتي حرارة النهايتين المتصلتين. ان قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تعتمد على عدة عوامل منها:

1- مقدار الفرق بين درجتي حرارة نهايتي المزدوج الحراري.

2- نوع المواد المصنوع منها المزدوج الحراري.

يتم تدريج محرار المزدوج الحراري بوضع إحدى نقطتي الاتصال في خليط الجليد والماء وتبقى ثابتة ثم تغير درجة حرارة النقطة الثانية وتقرأ قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة عند كل درجة حرارة بوساطة المجهاد (الفولتميتر). ان العلاقة بين قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ودرجة الحرارة علاقة غير خطية, وبرسم قيم القوة الدافعة الكهربائية ضد درجة الحرارة يمكن الحصول على منحني تدرج المزدوج الحراري. كما ويمكن عمل جدول بتلك القيم.



الشكل (3) محرار المزدوج الحراري

ومن مميزات محرار المزدوج الحراري ما يأتي:

1- سرعة وصوله الى حالة التوازن الحراري مع الجسم المراد قياس درجة حرارته وذلك لانخفاض سعته الحرارية.

2- المدى الواسع لدرجات الحرارة التي يمكن قياسها (من $250^{\circ}C$- إلى حوالي $1500^{\circ}C$) بشرط استخدام المواد المناسبة لكل مدى.

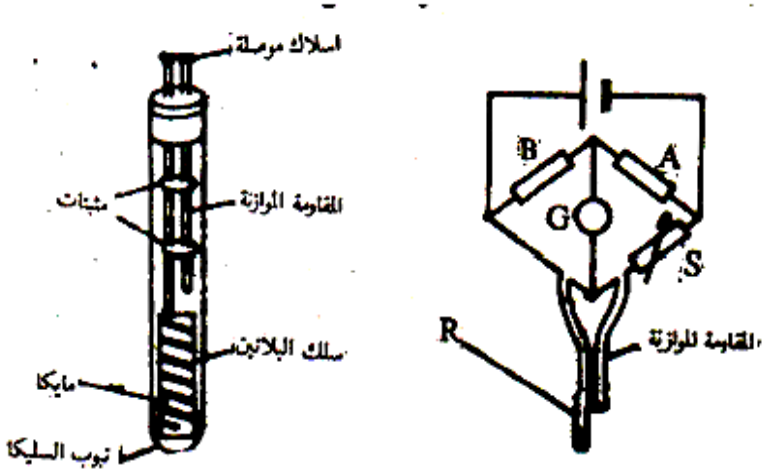
3- صغر حجمة ودقته العالية نسبياً.

4- يستخدم كثيراً في الصناعة وفي المجالات التي تتطلب تحديد موضعي(نقطي) لدرجة الحرارة وتعاني تغيراً سريعاً في درجات الحرارة.

محرار المقاومة الكهربائية The Electrical Thermometer

يتكون محرار المقاومة الكهربائية من سلك من مادة البلاتين ملفوف بصورة مزدوجة حول مادة عازلة كهربائياً, يوضع في أنبوبة مصنعة من مادة جيدة التوصيل الحراري كالفضة أو النحاس للمحافظة عليه من التأثيرات الخارجية. أما محرار المقاومة الكهربائية المستخدم لأغراض العرض المختبري فيتكون من

سلك من النحاس ملفوف حول مادة عازلة من المايكا موضوع داخل انبوبة اختبار مملؤة بمادة الزيت, ويستخدم هذا النموذج لأغراض تدريب الطلبة على كيفية تدريج محرار المقاومة. تستخدم مقاومة السلك الكهربائية كخاصية محرارية يتم قياسها والاستدلال بها على درجة الحرارة. وقد وجد ان العلاقة بين المقاومة الكهربائية للسلك المعدني ودرجة الحرارة علاقة غير خطية في مديات درجات الحرارة المختلفة. لأجل قياس قيمة المقاومة يربط طرفا السلك إلى قنطرة ونستون, إذ تربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل (4).



الشكل (4) محرار المقاومة الكهربائية

تختار المقاومتان A و B متساويتين ويجرى تغيير قيمة المقاومة S حتى تصل الدائرة الكهربائية إلى حالة الاتزان (قراءة الكفانومتر تؤشر صفر), وعندها تكون قيمة المقاومة S مساوية إلى قيمة مقاومة المحرار R. وتستخدم قيمة R لأجل الحصول على درجة الحرارة. ان استخدام قنطرة ونستون يفيد في تعيين قيمة مقاومة المحرار بدقة عالية والتي بدورها تؤدي إلى تحديد دقيق لدرجة الحرارة. يستخدم هذا النوع من المحارير في درجات الحرارة الواطئة. ومن مميزات محرار المقاومة ما يأتي:

1- يستخدم لمديات واسعة من درجات الحرارة (من $-200^{\circ}C$ إلى أكثر من $1000^{\circ}C$).

2- دقيق جداً, ويفيد في التغيرات البطيئة لدرجات الحرارة.

ولكنه لا يكون كفوءاً في قياس تغيرات درجات الحرارة السريعة, وذلك لحاجته إلى وقت كاف للوصول إلى حالة التوازن الحراري, بسبب سعته الحرارية العالية (حرارته النوعية كبيرة).

الواجب اليومي : عدد مميزات وعيوب المزدوجة الحرارية:

- **المميزات :** اذكر 3 مميزات على الأقل
- **العيوب :** اذكر عيبين رئيسيين

الواجب الأسبوعي :

في أفران صهر المعادن التي تصل درجة حرارتها الى 1500° مئوية, لماذا يستخدم المهندسون المزدوجات الحرارية بدلاً من المحارير الزئبقية؟ (علل بالخصائص الفيزيائية لكل منهما)

المحاضرة الرابعة

الحرارة وتأثيراتها Heat and Its Effects

إن عملية رفع درجة حرارة المادة يعني تزويدها بالطاقة الحرارية, اما عملية خفض درجة الحرارة المادة فتعني سحب مقدار من الطاقة الحرارية. ان كمية الطاقة التي يجب تجهيزها أو سحبها من المادة تعتمد على عدة عوامل منها:

1- كتلة المادة.

2- مقدار الارتفاع أو الانخفاض (مقدار التغير) في درجة حرارة المادة.

3- الحرارة النوعية للمادة.

أما في عمليات الغليان والانصهار والتسامي التي تمر بها المواد, فان كمية من الطاقة الحرارية سوف تمتص من دون ان تسبب أية زيادة في درجة حرارة المادة. وفي حالة عمليات التكاثف والانجماد فان مقداراً من الطاقة الحرارية سوف يتحرر مع بقاء درجة حرارة المادة ثابتة.

ومن خلال دراسة عمليات التسخين والتبريد والعمليات التي تمر بها المادة كالغليان والانصهار والتكاثف والتسامي والانجماد يمكن استنتاج بعض النقاط المهمة:

1- تقوم الطاقة الحرارية المزودة للمادة بزيادة الطاقة الحركية أو الاهتزازية لذرات أو جزيئات المادة مما يؤدي الى رفع درجة حرارتها, والعكس صحيح. مع ملاحظة ان المادة تبقى محافظة على حالتها سوءا كانت صلبة أم سائلة أم غازية.

2- ان امتصاص أو تحرير الطاقة الحرارية خلال عمليات الغليان والانصهار والتسامي والتكاثف والانجماد لا يؤدي الى زيادة أو خفض درجة حرارة المادة, بل ان درجة الحرارة تبقى ثابتة طيلة فترة عملية التحول في حالة المادة. ان الطاقة الحرارية التي تمتصها المادة تستخدم في تلين أو تكسر الأواصر التي تربط بين ذرات أو جزيئات المادة. ويحدث العكس عند تكوين وبناء هذه الأواصر.

المكافئ الميكانيكي للحرارة Mechanical Equivalent Heat(J)

الحرارة هي شكل من إشكال الطاقة وتقاس بوحدة السعرة (calorie) أو الكيلو سعرة (Kcalorie). ويمكن تحويل الحرارة الى شغل ميكانيكي وبالعكس ومن تطبيقات تحويل الحرارة الى شغل الماكنة البخارية. ان عامل التحول بين الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية يسمى بالمكافئ الميكانيكي (J). ومن التجارب المشهورة في قياس هذه الكمية تجربة العالم جول الذي أوجد العلاقة بين الشغل (W) والطاقة الحرارية (Q) وحسب المعادلة الآتية:

$$W = J\,Q \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أي أن الطاقة الميكانيكية يمكن ان تتحول الى طاقة حرارية وبالعكس وان أفضل قيمة لمكافئ التحول (J) هي:

1cal = 4.186 J
1Kcal = 4186 J

الحرارة النوعية للمواد Specific Heat of Materials (C)

يطلق على السعة الحرارية النوعية بالحرارة النوعية وهي كمية الحرارة التي يجب ان تنساب الى أو من وحدة الكتلة من المادة لتغير درجة حرارتها بمقدار درجة واحدة. ويرمز لها بالرمز (c) ويعبر عنها رياضياً من خلال المعادلة الآتية:

$$C = \frac{\Delta Q}{m\,\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

إذ إن (ΔQ) تمثل كمية الحرارة التي تزود بها كتلة مقدارها (m) من المادة تتغير درجة حرارتها بمقدار (ΔT) درجة حرارية. وتقاس الحرارة النوعية بوحدة $(J / Kg.^{o}C)$, أو $(J / g.^{o}C)$, أو $(J / mole.^{o}C)$, أو $(cal / g.^{o}C)$. وتعتمد الحرارة النوعية للمادة اعتماداً كبيراً على درجة الحرارة, وعلية يجب ذكر درجة الحرارة عند اعطاء قيمة الحرارة النوعية لمادة ما. حيث ان الحرارة النوعية للماء عند درجة حرارة الغرفة تساوي تقريباً $(4.2x10^{3}\ J / Kg.^{o}C)$.

تتناقص السعة الحرارية والحرارة النوعية لجميع المواد بانخفاض درجة الحرارة وتعرف السعة الحرارية على انها كمية الحرارة للازمة لرفع درجة حرارة مادة ما درجة حرارية واحدة وتقاس بوحدة $(J / {}^{o}C)$. وترتبط السعة الحرارية للمادة مع الحرارة النوعية لها بالعلاقة الآتية:

السعة الحرارية = الكتلة × الحرارة النوعية

يمكن إيجاد كمية الحرارة (Q) التي يزود بها جسم ذات كتلة مقدارها (m) وحرارة نوعية (C) لأجل رفع درجة حرارتها من T_1 الى T_2 وفق العلاقة الآتية:

$$Q = m C\,(T_2 - T_1) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

الواجب اليومي/ مسائل تطبيقية على حساب كمية الحرارة

المسألة 1:
سخان كهربائي يرفع درجة حرارة 2 كجم من الماء من 20 °C إلى 80 .°C إذا كانت الحرارة النوعية للماء = 4186 جول/كجم.°C.احسب كمية الحرارة التي امتصها الماء بالجول، ثم بالسعرات الحرارية (علماً بأن 1 سعرة = 4.186 جول

المسألة 2:
قطعة من النحاس كتلتها 500 جرام، امتصت حرارة مقدارها 19500 جول، فارتفعت حرارتها من 25 °C إلى 125 °C احسب الحرارة النوعية للنحاس بوحدة (جول/جرام(°C.، ثم قارنها بالقيمة المعروفة (0.385 جول/جرام (°C.وهل النتيجة منطقية؟

ثانيا الواجب الأسبوعي

في تجربة معملية، تم تسخين كتلة 50 جرام من مادة مجهولة (صُلبة) إلى 100°C، ثم إسقاطها في مسعر به 100 جرام من الماء عند 25 .°C بعد الوصول إلى الاتزان، أصبحت درجة الحرارة 30.°C

المحاضرة الخامسة

كمية الحرارة (Q) Quantity Heat

باستخدام قانون حفظ الطاقة يمكن تحديد كمية الحرارة (Q) التي تكتسبها أو تفقدها المادة وذلك باستخدام العلاقة الآتية:

كمية الحرارة المفقودة = كمية الحرارة المكتسبة

وهناك بعض النقاط المهمة التي يجب مراعاتها عند القيام بعملية حساب كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة من قبل المادة في الحالات الآتية:

الحالة الأولى: حالة تغير درجة حرارة المادة

ان كمية الحرارة (Q) التي تكتسبها المادة أو تفقدها خلال عمليات التسخين أو التبريد لغرض رفع أو خفض درجة حرارتها فقط من دون حصول عملية تغير في حالة المادة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mC\,\Delta T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ ان: m تمثل كتلة المادة, C تمثل الحرارة النوعية للمادة (عندما يكون الضغط ثابتا)، (ΔT) مقدار التغير في درجة حرارتها.

الحالة الثانية: حالة تغير حالة المادة

ان كمية الحرارة (Q) التي يجب تزويدها للمادة خلال عمليات تحول حالة المادة كالغليان أو الانصهار أو التسامي أو الانجماد أو التكاثف من دون ان تسبب زيادة أو نقصان في درجة حرارة المادة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mL \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ ان L تمثل الحرارة الكامنة، فعند تحويل المادة من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة فكمية الحرارة اللازمة لذلك هي $(Q = mL_f)$، حيث (L_f) تمثل الحرارة الكامنة للانصهار (latent heat of fusion)، وعند تحويل المادة من الحالة السائلة الى الحالة الغازية فان كمية الحرارة اللازمة لذلك هي $(Q = mL_v)$ حيث ان (L_v) تمثل الحرارة الكامنة للتبخر (latent heat of vaporization).

دائما ما تكون $(L_v > L_f)$ وذلك لأن الشغل اللازم لتحويل السائل إلى غاز (المسافة بين جزيئات الغاز أكثر تباعداً من السائل) أكبر من الشغل اللازم لتحويل الصلب إلى سائل حيث المسافة بين جزيئات الصلب والسائل متقاربة.

الحالة الثالثة: حالة تغير طبيعة أو تركيب المادة

وتشمل هذه الحالة حالات التغير المغناطيسية أو الكهربائية أو تغيرات تركيب المادة والتي تحدث عند تغير درجة حرارة المادة.

عند تسخين مادة صلبة، ترتفع درجة حرارتها تدريجياً حتى تصل إلى "درجة الانصهار". عند هذه النقطة بالتحديد، **تتوقف درجة الحرارة عن الارتفاع تماماً**، رغم استمرارنا في تزويد المادة بالحرارة. **أين تذهب هذه الحرارة؟**

- تذهب الطاقة الحرارية الممتصة بالكامل لكسر الروابط الجزيئية والقوى الجاذبة التي تحافظ على المادة في شكلها الصلب المنظم.
- تسمى هذه الطاقة بالحرارة **"الكامنة "** لأنها لا تظهر على ميزان الحرارة (الترمومتر) كارتفاع في درجة الحرارة، بل تظهر فقط كتحول في حالة المادة من الصلب إلى السائل.

تأثير الضغط على درجة الانصهار(Effect of Pressure on Melting Point)

العلاقة بين الضغط ودرجة الانصهار تحكمها قوانين الديناميكا الحرارية (مثل معادلة كلاوزيوس-كلابيرون)، وتعتمد بشكل رئيسي على **كثافة المادة وحجمها** أثناء التحول. تنقسم المواد هنا إلى نوعين:

النوع الأول: المواد التي "يتمدد" حجمها عند التجمد (مثل الماء(

- **السلوك الفيزيائي :**الجليد (الصلب) أقل كثافة وأكبر حجماً من الماء (السائل.(
- **تأثير الضغط :**عند تطبيق ضغط خارجي عالي على الجليد، فإن الضغط يحاول "إجبار" الجزيئات على الانضغاط وتقليل حجمها. وبما أن الحالة السائلة للماء هي الأقل حجماً، فإن الضغط **يُسهّل عملية الانصهار.**
- **النتيجة :زيادة الضغط تؤدي إلى خفض درجة الانصهار) .**الماء تحت الضغط العالي ينصهر في درجة حرارة أقل

النوع الثاني: المواد التي "ينكمش" حجمها عند التجمد (معظم المواد كالشمع والمعادن)

- **السلوك الفيزيائي :**الحالة الصلبة تكون أكثر كثافة وأقل حجماً من الحالة السائلة.
- **تأثير الضغط :**الضغط الخارجي يعوق جزيئات المادة من التمدد والتحول إلى سائل.
- **النتيجة :زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار) .**تحتاج إلى حرارة أعلى بكثير لصهر المادة تحت الضغط العالي.(

التطبيقات العملية والتشغيلية لتأثير الضغط

فهم هذه الظواهر يقع في قلب العديد من التطبيقات الصناعية والطبيعية:

أولاً: ظاهرة إعادة التجمد (Regelation) والتزلج

- **التزلج على الجليد :**شفرة حذاء التزلج رقيقة جداً. عندما يقف المتزلج عليها، يتركز وزنه بالكامل على مساحة متناهية الصغر، مما يخلق **ضغطاً هائلاً** على الجليد تحته. هذا الضغط يخفض درجة انصهار الجليد فإن الجليد ينصهر فوراً تحت الشفرة ويتحول إلى طبقة ماء رقيقة تعمل كمزيّت يقلل الاحتكاك تماماً. بمجرد مرور الشفرة وزوال الضغط، يعود الماء ليتجمد فوراً.

ثانياً: في أنظمة التبريد والتكييف(Refrigeration Systems)

- في هندسة التشغيل، تُبنى "دورة الانضغاط" في الثلاجات والمكيفات على التحكم بالضغط:

A) يتم ضغط غاز التبريد (المبرد) بواسطة **الضاغط (Compressor)** لرفع ضغطه ودرجة حرارته، مما يسهل تكثيفه (تحويله لسائل) في المكثف الخارجي حيث يطرد الحرارة.

B) يتم بعد ذلك تمريره عبر **صمام التمدد (Expansion Valve)** حيث ينخفض الضغط فجأة، فيتبخر السائل ويمتص "الحرارة الكامنة" من الغرفة أو داخل الثلاجة، مما يؤدي إلى تبريدها.

ثالثاً: الجيولوجيا وحركة الصفائح الأرضية

- **صخور الوشاح الأرضي :**تقع الصخور في باطن الأرض تحت ضغط ودرجة حرارة هائلين. نظراً لأن الضغط العالي يرفع درجة انصهار الصخور (لأنها تنكمش بالتجمد)، تظل هذه الصخور صلبة أو شبه صلبة رغم أن حرارتها تتجاوز آلاف الدرجات.
- عندما تتحرك الصفائح وتجد هذه الصخور طريقاً للصعود إلى الأعلى (حيث يقل الضغط)، تنصهر فوراً وتتحول إلى **صهارة (ماجما)**تسبب البراكين، وذلك بسبب زوال الضغط الخارجي عنها.

رابعاً: سباكة المعادن وتشكيلها

- في المصانع، يُؤخذ تأثير الضغط بعين الاعتبار عند صب المعادن في القوالب. الضغط الواقع داخل القوالب المغلقة يغير من نقطة انصهار وتجمد المعادن، مما يؤثر على جودة المنتج النهائي وخلوه من الفقاعات أو العيوب الهيكلية.

الواجب اليومي/ أكمل العبارات التالية بالكلمات المناسبة:

- تسمى الحرارة التي تمتصها المادة أثناء الانصهار أو التبخر بـ "كامنة" لأنها ..... (تغير - لا تغير) درجة حرارة المادة، وإنما تستخدم في ..... (كسر الروابط الجزيئية - زيادة الحركة الاهتزازية)
- بالنسبة للماء، الحرارة الكامنة للتبخر (..... أكبر - أصغر) من الحرارة الكامنة للانصهار، وهذا يفسر لماذا ..... (يغلي - يذوب) بسرعة أكبر.
- وحدة قياس الحرارة الكامنة في النظام الدولي هي ..... (جول/كجم.درجة - جول/كجم - جول.درجة)

ثانيا الواجب الأسبوعي/قارن بين عملية الانصهار وعملية التبخر من حيث:

- التغير في درجة الحرارة أثناء حدوثهما.
- التغير في الترتيب الجزيئي (البعد بين الجزيئات.(
- كمية الطاقة المطلوبة (مع ذكر السبب الفيزيائي(

آليات انتقال الحرارة Mechanism of Heat Transfer

تنتقل الحرارة من مكان إلى آخر بأحد الطرق الرئيسة الثلاثة:

1- التوصيل.

2- الحمل.

3- الإشعاع.

تنتقل الحرارة بالتوصيل من الأجزاء الساخنة إلى الأجزاء الباردة من الوسط المادي, دون حركة موضعية للوسط. أما في طريقة الحمل فان الحرارة تنتقل بحركة الأجزاء الساخنة للوسط المادي (سائل أو غاز), ولا تحدث ظاهر الحمل في المواد الصلبة. تنتقل الحرارة بواسطة الإشعاع الكهرومغناطيسي من مكان إلى آخر من دون الحاجة إلى وسط مادي من دون ان تسخن (ترفع) درجة حرارة الفضاء الذي تمر خلاله. ومن المفيد ان نذكر ان مصطلح الإشعاع الحراري يقصد به (في الغالب) الاشعة تحت الحمراء, إذ إنها تحمل الجزء الأكبر من الطاقة التي تصل إلى الأرض من الشمس. وإذا مر الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفضاء الحاوي على مادة ما فان جزءاً من الطاقة المشعة سيمتص وسيعمل على رفع درجة حرارة المادة, كما يحدث عند مرور الاشعة الكهرومغناطيسية خلال جو الأرض. وسنتطرق إلى طرق انتقال الحرارة بشيء من التفصيل في الفقرات اللاحقة.

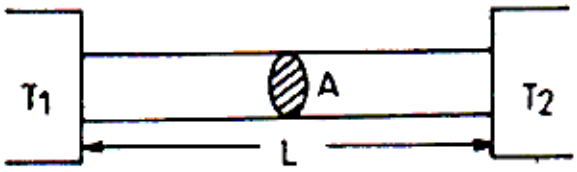
طريقة التوصيل Conduction Method

من المعروف انه إذا تلامس جسمان فان الحرارة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأقل سخونة, وبتعبير آخر تنتقل الحرارة من الجسم ذي درجة الحرارة المرتفعة إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأقل, ويتوقف انتقال الحرارة بين الجسمين عندما تتساوى درجتا حرارتيهما ويتحقق التوازن الحراري. ان انتقال الحرارة بين الأجسام يعني انتقال الطاقة الحرارية من الجزء الساخن إلى الجزء البارد. فإذا عرفنا ان الحركة الاهتزازية لجسيمات المادة تمثل معظم الطاقة الحرارية في المادة, فان جسيمات الجزء الساخن تكون ذات سعة اهتزازية اكبر من جزيئات الجزء البارد, ونتيجة التصادم بين هذه الجسيمات والجسيمات المجاورة تنتقل إليها جزءاً من طاقتها الحرارية, أي تزداد سعة اهتزازها وهذه بدورها تعمل على نقل الطاقة الحرارية بالتصادم إلى الجسيمات المجاورة, وهكذا تستمر العملية إلى ان تكتسب جميع الجسيمات نفس معدل الطاقة الحرارية, وعندها يتوقف انتقال الحرارة. ان انتقال الحرارة في الأجسام الصلبة يتم بوساطة التصادمات الجزيئية, وتسمى هذه الطريقة لانتقال الحرارة في الأجسام الصلبة بالتوصيل. وتكون المعادن جيدة التوصيل الحراري, وبصورة عامة تكون الموصلات الجيدة التوصيلية الكهربائية موصلات حرارية

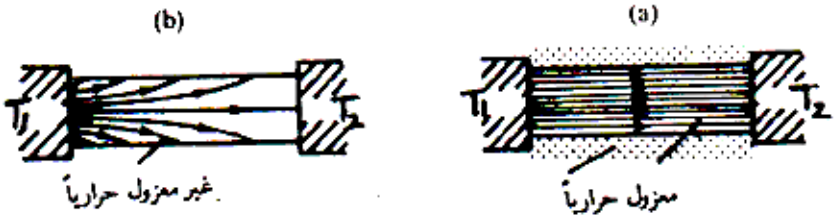
جيدة لان الكترونات التكافؤ تتحرك بحرية تامة تقريباً خلال المعدن حاملة معها الحرارة إلى أجزاء المعدن المختلفة.

الميل الحراري Temperature gradient

يعرف الميل الحراري على انه تغير درجة الحرارة مع تغير المسافة على طول الجسم. نأخذ قضيباً معدنياً طوله (L) ومساحة مقطعه العرضي (A) ودرجة حرارته (T)،متصلاً بجهازين (خزانين) درجتا حرارتهما T_1 و T_2 (افرض ان $T_2 < T_1$) كما هو موضح في الشكل (5), وكما هو معلوم بأن الحرارة تنساب من الطرف الساخن إلى الطرف البارد, إلا ان شكل خطوط انتقال الحرارة خلال المادة يعتمد أساسا على طريقة العزل الحراري للمادة. فعندما يغلف القضيب بمادة عازلة للحرارة, نرى ان خطوط انتقال الحرارة تكون بصورة مستقيمة ومنتظمة وكما هو مبين في الشكل (6a). أما في حالة عدم عزل القضيب حراريا فان خطوط انتقال الحرارة تسلك مسارات غير منتظمة وكما هو مبين في الشكل (6b).

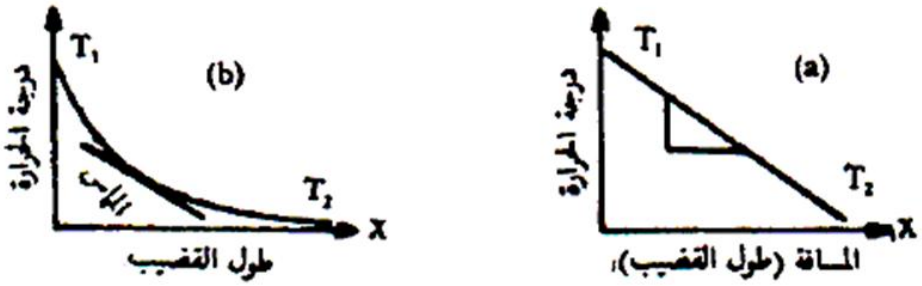


الشكل (5) الميل الحراري



الشكل (6) خطوط انتقال الحرارة في المادة الصلبة

ففي كلتا الحالتين, وبعد مرور فترة زمنية كافية تستقر درجة حرارة الأجزاء المختلفة من المعدن عند قيم ثابتة لا تتغير , وهذه الحالة تسمى الحالة الثابتة (أو المستقرة) steady state. يبين الشكل (7) العلاقة بين درجات الحرارة المقاسة عند مسافات مختلفة على القضيب في الحالتين سواءً كان معزولاً أم غير معزول.



الشكل (7) العلاقة بين درجة الحرارة والمسافة

ان ميل الخط المستقيم في شكل (7a) وميل المماس في شكل (7b) يمثلان تدرج درجة الحرارة Temperature gradient الذي عرفناه سابقاً على انه تغيّر درجة الحرارة مع المسافة على طول المادة

. تنتقل الحرارة دائماً من الجزء الساخن إلى الجزء الأقل سخونة (البارد), ويعرف التيار الحراري Thermal Current على انه كمية الحرارة (dQ) المنتقلة أو العابرة لمقطع في المادة خلال فترة زمنية (dt), أي ان:

$$H = \frac{dQ}{dt} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

ووحدته هي J/s أو cal/s .

معامل التوصيل الحراري Thermal Conductivity Coefficient (K_L)

لقد وجد عملياً (تجريبياً) ان التيار الحراري (dQ/dt) يتناسب طردياً مع مساحة المقطع العرضي وتدرج درجة الحرارة $(\Delta T/\Delta x)$, أي أن

$$\frac{dQ}{dt} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

أو

$$\frac{dQ}{dt} = - K_L A \frac{\Delta T}{\Delta x} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

إذ ان (K_L) تمثل ثابت التناسب وتسمى بمعامل التوصيل الحراري أو الموصلية الحرارية Thermal Conductivity. تعني الإشارة السالبة ان انسياب الحرارة يكون باتجاه درجة الحرارة الأقل, أي انه كلما زادت المسافة (x) من المصدر الحراري قلت معها درجة الحرارة (T) وهذا يجعل الكمية $(\Delta T/\Delta x)$ سالبة الإشارة. ان إضافة الإشارة السالبة في المعادلة أعلاه يفيد في جعل الكميتين (dQ/dt) و(K_L) كميتين موجبتين. وتعرف الموصلية الحرارية (K_L) على أنها المعدل الزمني لانسياب الحرارة خلال المادة لوحدة المساحة لكل وحدة تدرج حراري. ومن الصيغ الأخرى للمعادلة (17) بعد تكامل طرفيها الصيغة الآتية:

$$Q = K_L A t \frac{(T_1 - T_2)}{L} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (18)$$

ويسمى هذا القانون أحيانا بقانون فورير (Fouriers Law)

ان وحدة K_L هي J/s.m.K أو W/m.K

الواجب اليومي/ (فسر) العبارات التالية:

1. مقابض أواني الطهي المعدنية تصنع عادة من الخشب أو البلاستيك، وليس من المعدن.
2. في الشتاء، تشعر بأن مقعد السيارة الجلدي أبرد من المقعد القماشي، رغم أنهما في نفس درجة الحرارة.
3. يستخدم البناؤون "الفيبر جلاس" (الألياف الزجاجية) كعازل حراري في أسقف المنازل.

ثانيا الواجب الأسبوعي/ جدار من الطوب طوله 4 متر، وارتفاعه 3 متر، وسمكه 20 سم (0.2 متر). معامل التوصيل الحراري للطوب هو 0.8 W/m·K. إذا كانت درجة الحرارة على السطح الداخلي للجدار 25°C، وعلى السطح الخارجي 5°C. . احسب معدل انتقال الحرارة بالتوصيل عبر هذا الجدار (بالواط)

المحاضرة السابعة

طريقة الحمل Convection Method

يعرف الحمل على انه طريقة انتقال الحرارة من مكان إلى آخر خلال السوائل والغازات وذلك بحركة جزيئات مادة الوسط نفسها من مكان إلى آخر, على عكس حركة جزيئات المادة الصلبة خلال عملية التوصيل الحراري والتي لا تتضمن حركة الجزيئات من مكان إلى آخر, إذ تنتقل الحرارة من جزيء إلى آخر بالتصادم. ومن الأمثلة على انتقال الحرارة بطريقة الحمل تدفئة الغرف في الشتاء بوساطة المدفئات أو جهاز تسخين الماء, إذ تمتص جزيئات الهواء أو السائل كمية من الحرارة من الجزء الساخن فيتمدد الهواء أو السائل أي تقل كثافته فينتقل إلى الجهة الأخرى (إلى الأعلى) لتمتزج هذه الجزيئات مع جزيئات الهواء أو السائل الأقل طاقة حرارية وتكسبها كمية من الحرارة التي امتصتها. ان انتقال المادة (غاز أو سائل) من المنطقة ذات الدرجة الحرارة العالية إلى المنطقة ذات الدرجة الحرارة الواطئة (الأقل) يولد تياراً يسمى تيار الحمل الحراري(Thermal Convection Current) الذي يعرف على انه كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة من قبل السطح الملامس للغاز أو السائل خلال وحدة الزمن.

واعتماداً على الطريقة التي يتولد بها تيار الحمل فانه يكون بصورة عامة على نوعين هما:

1- تيار الحمل الطبيعي Natural Convection Current إذا كان ناتجاً عن تغيير كثافة الوسط.

2- تيار الحمل الاضطراري Forced Convection Current إذا كان ناتجاً عن تأثير اصطناعي كاستخدام المروحة أو المضخة أو غيرها.

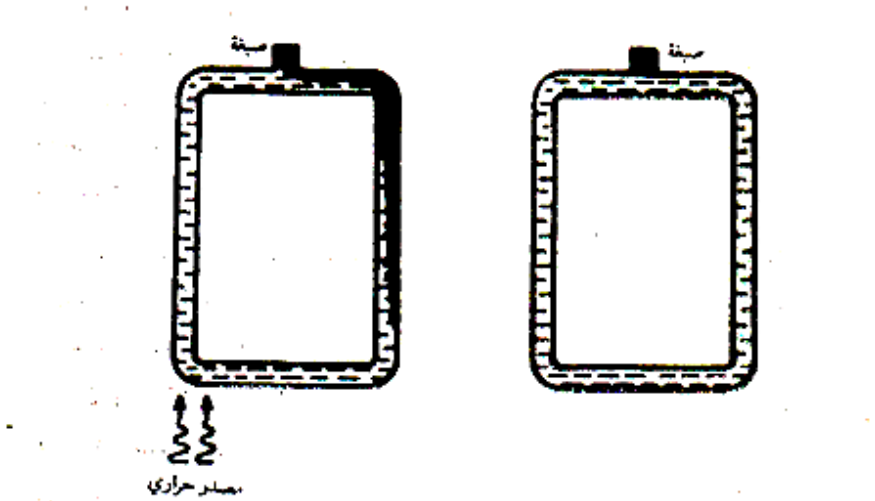
وتعد طريقة الحمل من الطرق الفعالة لانتقال الحرارة وتشكيل تيارات الحمل الهوائية في المناطق الساحلية والجبلية وعند خط الاستواء والقطبين وفي المناطق المدارية.

ان دراسة الحمل بطريقة المعادلات الرياضية ليس شيئاً سهلاً وذلك يرجع إلى ان فقدان واكتساب الحرارة من الأجسام الملامسة للمائع (غاز أو سائل) عملية معقدة رياضياً وتعتمد على كثير من العوامل مثل شكل السطح وكثافة المائع ولزوجته وعلى عوامل أخرى. ويتم أحيانا تعريف معامل الحمل الحراري Thermal Convection Coefficient (h) حسب المعادلة الآتية:

$$h = \frac{H_c}{A\Delta T} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

إذ تمثل H_C تيار الحمل الحراري و A المساحة و ΔT الفرق بين درجة حرارة السطح والمائع. ان المعادلة في أعلاه تدل على ان (h) تعتمد على الفرق بين درجات الحرارة, وعليه يجب تعيين قيمتها لكل حالة من الحالات.

يمكن إجراء تجربة بسيطة توضح ظاهرة الحمل, فلو أخذنا الأنبوبان الموضحان في الشكل (8) وملأناهما بالماء ووضعت قليل من الصبغة قرب نهايتيهما عند الفتحتين. عند تسخين احد الأنبوبتين بالطريقة المبينة في الشكل (8) نجد ان السائل سيبدأ بالانسياب والدوران داخل الأنبوبة, حاملاً معه الصبغة, وبعد فترة من الزمن نجد ان الصبغة قد انتشرت في جميع أنحاء السائل, مما يدل على انتقال جزيئات السائل خلال الأنبوبة ودورانها خلالها. ان سبب هذه الحركة يعود إلى تمدد السائل (تقل كثافته) عند التسخين فيصبح اخف من باقي السائل, ولهذا فانه يحدث اختلال توازن الضغط بين العمودين الأيسر والأيمن, فيرتفع السائل في الطرف الساخن وينخفض السائل في الطرف الأقل حرارة مؤدياً إلى انسياب السائل ودورانه وبذلك تنتقل الحرارة خلال حركة السائل إلى الأماكن البعيدة من المصدر الحراري, والشيء نفسه يحدث في انتقال الحرارة خلال الغاز أو الهواء. واعتماداً على طريقة انتقال الحرارة بالحمل تُصمم الأجهزة في أنظمة التدفئة بحيث تسمح بالهواء البارد أو السائل البارد بالعودة إلى المصدر الحراري لإكمال الدورة.



الشكل (8) يوضح ظاهرة الحمل في السوائل

طريقة الإشعاع Radiation Method

يتم انتقال الحرارة خلال الفضاء بطريقة الإشعاع. ويقصد بالإشعاع أيضا الانبعاث المتواصل للطاقة من سطوح الأجسام المختلفة إلى الأجسام الأخرى الأقل درجة حرارية ويجب ملاحظة ان الإشعاع الحراري ما هو إلا طاقة كهرومغناطيسية تنبعث من الأجسام الساخنة وتنتقل بسرعة الضوء خلال الفضاء. فينعكس جزء من هذه الطاقة ويمتص الجزء الأخر من قبل الأجسام التي تسقط عليها. ان امتصاص الاشعة الكهرومغناطيسية يؤدي إلى تحولها إلى طاقة حرارية وسترتفع حرارة الجسم. ان الحرارة التي تصل إلى الأرض والكواكب الأخرى من الشمس بوساطة الإشعاع الذي ينتقل خلال الفراغ الشاسع ودونما الحاجة إلى وسط مادي لتصل إلى الأرض. لو فرضنا ان جزء الطاقة التي تمتص من قبل الجسم تساوي (a) والجزء الذي ينعكس يساوي (r) فان

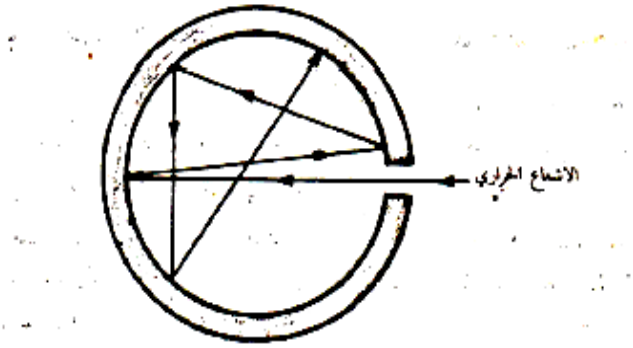
$$a + r = 1 \qquad \text{..... (20)}$$

وفي حالة التوازن الحراري التي تبقى درجة حرارة الجسم عندها ثابتة, فان الجسم يشع كمية من الطاقة الحرارية مساوياً إلى الكمية التي يمتصها, أي ان قابليته الإشعاعية (e) (emissivity) تساوي قابليته الامتصاصية (r) وفي حالة التوازن يكون:

$$a = e \qquad \text{..... (21)}$$

وتعتمد كل من القابلية الإشعاعية والقابلية الامتصاصية على طبيعة الجسم وعلى طول الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة. ويطلق على الجسم الذي يمتص جميع الإشعاع الساقط عليه بالجسم الأسود (Black Body). ويمثل هذا الجسم بفجوة معزولة حرارياً ذات فتحة صغيرة لدخول الإشعاع, الذي يعاني انعكاسات متتالية عن السطح الداخلي للفجوة, وتصمم الفجوة بحيث تصبح فرصة خروج الإشعاع من الفتحة ضئيلة جداً, كما في الشكل (9).

ومن المؤكد ان الجسم الأسود مشع جيد للحرارة مثلما هو ماص جيد لها. وإشعاعية الجسم الأسود تكون اكبر من انعكاسية الأجسام العادية, وبصورة عامة تكون الأجسام ذات الامتصاصية الحرارية الجيدة مشعات حرارية جيدة.



الشكل (9) يوضح الجسم الأسود

ان كمية الإشعاع الحراري (R) التي تنبعث من وحدة المساحة من سطح أسود في الثانية الواحدة تعطى بالعلاقة الاتية:

$$R = \sigma T^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

إذ تمثل T درجة حرارة الجسم المشع بالدرجات الكلفنية و σ تمثل كمية ثابتة, قيمتها تساوي

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ Joule/m^2.s.K^4$$

أو

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5}\ erg/cm^2.s.K^4$$

ويطلق على العلاقة (22) بقانون ستيفان – بولتزمان Stefan – Boltzmann Law .

يمكن إعادة كتابة **قانون ستيفان – بولتزمان** للجسم غير الأسود بالصيغة الآتية:

$$R = e\sigma T^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

إذ تمثل (e) القابلية الإشعاعية للجسم المذكور .

أما كمية الحرارة المنبعثة (ΔQ) من الجسم الساخن إلى الأجسام الأخرى الأقل درجة حرارية, فانه يمكن كتابتها كما في الصيغة الآتية:

$$\Delta Q = \sigma A (T_1^4 - T_o^4) t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (24)$$

إذ تمثل t الزمن بالثانية. وتعرف هذه المعادلة بقانون ستيفان. ومن شروط استخدام هذا القانون هو: ان تكون كل من T_1 و T_2 مقاسة بالدرجات الكلفانية والفرق بينهما ليس قليلاً.

مثال (1)

حول الدرجات الحرارية الأتية إلى ما يقابلها:

1- 70^oC إلى قيمتها الفهرنهايتية والكلفانية.

2- $150K$ إلى قيمتها السليزية والفهرنهايتية.

الحل

أولا: باستخدام المعادلة الأتية:

$$^oF = \frac{9}{5}\,^oC + 32$$

نحصل على

$$^oF = \frac{9}{5}70 + 32$$

$$= 158\,^oF$$

وباستخدام المعادلة الأتية:

$$K = {}^oC + 273$$

نحصل على

$$= 70 + 273 = 343\,K$$

ثانياً: باستخدام المعادلة الآتية:

$$^{o}C = K - 273$$

نحصل على

$$^{o}C = 150 - 273 = -123\,^{o}C$$

وباستخدام المعادلة الآتية:

$$^{o}F = \frac{9}{5}\,^{o}C + 32$$

نحصل على

$$^{o}F = \frac{9}{5}(-123) + 32 = -221.4 + 32$$

$$^{o}F = -189.4\,^{o}F$$

مثال (2)

جد قيمة درجة الحرارة التي تتساوى عندها الدرجة السليزية مع الدرجة الفهرنهايتية.

الحل

باستخدام المعادلة الاتية :

$$^{o}C = \frac{5}{9}\,(\,^{o}F - 32\,)$$

وبما ان $(^{o}F = {}^{o}C)$ فان :

$$9\,^{o}F = 5\,^{o}F - 160$$

$$9\,^{o}F - 5\,^{o}F = -160$$

$$4\,^{o}F = -160$$

$$^{o}F = \frac{-160}{4}$$

$$^{o}F = {}^{o}C = -40$$

وعليه فان درجتي حرارة $(-40\ ^{o}C)$ و $(-40\ ^{o}F)$ متكافئتان.

الواجب اليومي :

فسّر فيزيائياً عند تسخين الماء في قدر على النار، نلاحظ أن الماء الساخن يرتفع إلى أعلى والماء البارد يهبط إلى أسفل، مما يحدث تيارات حملية (تيارات حمل)

ثانيا الواجب الأسبوعي

مبرد سيارة (راديياتير) مصنوع من النحاس، ويمر فيه ماء سائل لتبريد المحرك. الماء يدخل المبرد عند 95 °C ويخرج عند 85 .°C إذا كانت كتلة الماء المارة في الدقيقة 10 كجم، والحرارة النوعية للماء = 4186 جول/كجم.°C. احسب كمية الحرارة التي ينقلها الماء إلى الهواء الخارجي (عبر المبرد) كل دقيقة.

المحاضرة الثامنة

تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة Effect of Temperature Changes

تكون الذرات والجزيئات المكونة للمادة في حالة تذبذب مستمر حول مواقع استقرارها, إذ تتحرك ذهاباً وإيابا فتتجاذب أو تتنافر فيما بينها بصورة مستمرة. ان الطاقة الكلية لهذه الذرات أو الجزيئات تسمى بالطاقة الداخلية Internal Energy . تمثل الطاقة الداخلية جميع أنواع الطاقات التي تملكها الذرات أو الجزيئات المكونة للمادة, كالطاقة الحركية والدورانية والكيميائية والنووية وغيرها. وما يخص درجة الحرارة هو الطاقة الحركية (الاهتزازية) للذرات أو الجزيئات والتي تعتمد بصورة مباشرة على درجة حرارة المادة. فعند تلامس مادتين متشابهتين ولكنهما مختلفتان في درجة حرارتيهما, فان ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة العالية تفقد كمية من طاقتها إذ تكتسبها ذرات أو جزيئات المادة ذات درجة الحرارة الأوطأ, أي ان المادة الأولى تبرد والثانية تسخن. ان الطاقة التي تنتقل من الجسم ذي درجة الحرارة العالية (طاقة اهتزاز ذراته اكبر) إلى الجسم ذي درجة الحرارة المنخفضة (طاقة اهتزاز ذراته أقل) نتيجة لفرق درجتي حرارتيهما تسمى بالطاقة الحرارية. ان انسياب الطاقة الحرارية بين المادتين يستمر إلى ان تصبح درجتا حرارة المادتين متساويتين. وبتعبير آخر إلى ان يتساوى معدل الطاقة الاهتزازية لذرات أو جزيئات المادتين.

التمدد الحراري Thermal Expansion

ان تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الأخرى للمادة ومن ابرز هذه التغيرات هو تغير أبعاد المادة أو تغير حالتها. ان رفع درجة حرارة المادة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها أو جزيئاتها وعندها تزداد سعة اهتزاز تلك الجسيمات, وهذا معناه زيادة معدل أو متوسط المسافة بين الذرات أو الجزيئات, أي ان جميع أبعاد المادة سوف تتغير , تزداد بارتفاع درجة حرارتهما وتنكمش بانخفاض درجة حرارتها (عدا بعض الاستثناءات مثل الماء الذي يتقلص حجمه عند رفع درجة حرارته من $0^{\circ}C$ إلى $4^{\circ}C$). وتسمى ظاهرة تغير أبعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدد الحراري. ولأجل تفادي المشاكل التي يسببها التمدد الحراري تترك فواصل بين قضبان السكك الحديدية وخرسانة الطرق السريعة.

تمدد الأجسام الصلبة Expansion of Solids

التمدد الطولي (α) Linear Expansion

ان التغير الذي يحصل في أي بعد من أبعاد المادة الصلبة كالطول والعرض والارتفاع نتيجة لتغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد الطولي. وقد ثبت عملياً ان الزيادة الحاصلة في طول المادة الصلبة (ΔL) والناتجة عن زيادة درجة حرارة المادة (ΔT) يتناسب طردياً مع كل من طول المادة (L_o) ومقدار التغير في درجة حرارتها (ΔT), أي ان:

$$\Delta L \propto L_o \Delta T$$

$$\Delta L = \alpha \, L_o \Delta T \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

إذ ان (α) تمثل ثابت التناسب وتسمى بمعامل التمدد الحراري الطولي. يعرف معامل التمدد الطولي (α) : على انه الزيادة في طول المادة لوحدة الأطوال نتيجة لتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارية واحدة. ويمكن أعادة كتابة المعادلة (7) بالصيغة الأتية:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_o}{\Delta T}$$

وبما ان $\Delta L = L - L_o$

فان الطول الجديد (L) عند أية درجة حرارية (T) يساوي

$$L = L_o(1+\alpha\,\Delta T) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

ان وحدة معامل التمدد الطولي هي مقلوب درجة الحرارة, أي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$ وذلك نتيجة لاختصار وحدات الطول مع بعضها.

ان قيمة معامل التمدد الطولي تعتمد على نوع المادة المستخدمة, وان قيمتها ليست ثابتة تماماً, ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة.

التمدد السطحي (β) Surface Expansion

ان تغير مساحة السطوح مع تغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد السطحي أو تمدد المساحة. ويعرف معامل التمدد السطحي (β) على انه مقدار الزيادة في المساحة لوحدة المساحة عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة. ان قيمة (β) تعطى بالمعادلة الأتية:

$$\beta = \frac{\Delta A / A_o}{\Delta T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

ويمكن التعبير عن تغير المساحة مع تغير درجة حرارتها بالمعادلة الأتية:

$$A = A_o(1+\beta\,\Delta T) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

حيث تمثل A_o و A المساحة الأصلية والمساحة الجديدة عند درجتا الحرارة T_o و T على التعاقب, ان وحدة β هي K^{-1} أو $^oC^{-1}$ أو $^oF^{-1}$, وذلك لاختصار وحدتي المساحة. ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد السطحي يساوي تقريباً ضعف معامل التمدد الطولي للمادة نفسها أي ان:

$$\beta \cong 2\,\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

ويكون مقدار التغير في وحدة الطول الناتج عن تأثير تغير درجة حرارة المادة متساوياً في جميع الاتجاهات في المادة بشرط ان تكون المادة الصلبة متجانسة الخواص, أي يكون لها الخواص نفسها في جميع الاتجاهات. وهذا يعني ان المسافة بين أية نقطتين في المادة تتغير بالمقدار نفسه لمقدار التغير في درجة الحرارة نفسها.

التمدد الحجمي (γ) **Volume Expansion**

ان حجم المادة يتغير اذا تغيرت درجة حرارة المادة بنفس طريقتي التمدد الطولي والتمدد السطحي ويعرف معامل التمدد الحجمي (γ) على انه التغير النسبي في حجم المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها درجة واحدة. ان معامل التمدد الحجمي يعطى بالمعادلة الآتية:

$$\gamma = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

ان حجم المادة الجديد V يمكن الحصول عليه من المعادلة الاتية:

$$V = V_o(1+\gamma\,\Delta T) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

ويمكن البرهنة على ان معامل التمدد الحجمي (γ) يساوي تقريباً ثلاثة أمثال معامل التمدد الطولي (α) , للمادة نفسها أي ان:

$$\gamma \cong 3\,\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

ويعود ذلك إلى ان الجسم المتجانس يتمدد في أبعاده الثلاثة بالمقادير نفسها أي انه يتمدد باتجاه الطول والعرض والارتفاع. ومن المعروف انه لا توجد جداول لقيم معاملات تمدد الأجسام الصلبة السطحية والحجمية وذلك لأنه يمكن إيجاد قيمها مباشرة من قيم معاملات التمدد الطولية للمادة نفسها.

تمدد السوائل **Expansion of Liquids**

من المعروف ان السوائل (الموائع بصورة عامة) لا تمتلك شكلاً محدداً ولذلك فان التمدد الحراري المهم فيها هو تمددها الحجمي, حيث يتغير حجم السائل عندما تتغير درجة حرارته. ان معامل التمدد الحجمي للسائل ψ يساوي:

$$\psi = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

إذ ان V_o تمثل حجم السائل الأصلي و ΔV تمثل مقدار التغير في حجم السائل الناتج عن تغير في درجة حرارته مقداره ΔT . ان قيمة ψ لا تتأثر كثيراً بتغير درجة الحرارة.

يزداد حجم السوائل بصورة عامة إذا ارتفعت درجة حرارتها, ويشذ عن هذه القاعدة بعض السوائل مثل الماء الذي يقل حجمه (ينكمش) إذا ارتفعت درجة حرارته من 0^oC إلى 4^oC. أما بعد هذه الدرجة الحرارية فان الماء يسلك سلوكاً طبيعياً كبقية السوائل, أي يزداد حجمة بزيادة درجة حرارته.

تمدد الغازات Expansion of Gases

يتغير حجم الغاز تغيراً كبيراً إذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه, ان قيمة معامل التمدد الحجمي للغازات تكاد تكون ثابتة تقريباً. ان قيمة معامل التمدد الحجمي لغاز الهيدروجين تساوي (3.66×10^{-3}) لكل درجة حرارية, ويزيد قليلاً عن هذه القيمة لبقية الغازات. ويمكن الحصول على معامل التمدد الحجمي للغاز (φ) من المعادلة الآتية:

$$\varphi = \frac{\Delta V / V_o}{\Delta T}$$

إذ ان V_o تمثل حجم كتلة معينة من غاز عند درجة حرارة 0^oC . ان الإشارة إلى حجم الغاز عند درجة حرارة 0^oC ضروري جداً لان معامل التمدد الحجمي للغاز كبير جداً. إذا كان V_1 و V_2 تمثلان حجم الغاز عند درجتي الحرارة T_1 و T_2 على الترتيب, فانه لا يصح تطبيق المعادلة الآتية:

$$V_2 = V_1 \left[1 + \varphi (T_2 - T_1) \right]$$ لا تصح

بل يجب ان يشار إلى ان القيم V_1 و V_2 نسبة إلى الحجم V_o عند درجة حرارة 0^oC , وكما يأتي:

$$V_2 = V_o (1 + \varphi T_2)$$

$$V_1 = V_o (1 + \varphi T_1)$$

وبقسمة المعادلة الأولى على الثانية نحصل على المعادلة الاتية:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1 + \varphi T_2}{1 + \varphi T_1}$$

وقد وجد عملياً ان معامل التمدد الحجمي للغاز يكافئ تقريباً (1/273). وهو ما يعرف **بقانون جارلس** الذي ينص على: **ان حجم كتلة معينة من غاز محفوظ تحت ضغط ثابت, يزداد بنسبة ثابتة تعادل (1/273) من حجمة عند درجة حرارة 0^oC لكل زيادة في درجة حرارته مقدارها درجة حرارية واحدة.**

ان هذا القانون يعني ان حجم الغاز سيصبح صفراً عند درجة حرارة $-273\ ^oC$. إلا ان جميع الغازات تتحول إلى الحالة السائلة لها قبل الوصول إلى درجة حرارة $-273\ ^oC$ (أي درجة حرارة الصفر المطلق). وهذا يعني ان قانون جارلس لا يصح تطبيقه عند درجات الحرارة الواطئة.

الواجب اليومي/

1. **لماذا تمتلئ موازين الحرارة الزئبقية بالزئبق، رغم أن معامل تمدده الحجمي أقل من الكحول؟ (اذكر سببين: نقطة التجمد، والرؤية**
2. **لماذا ينفجر أنبوب الماء (المواسير) في الشتاء إذا لم يتم تفريغه من الماء؟**

ثانيا الواجب الأسبوعي

قضبان السكك الحديدية المصنوعة من الصلب طول كل منها 20 متر عند 10 .C°إذا كانت أقصى درجة حرارة في الصيف C50°، فما هو الفرق الحراري الذي يجب تركيه بين كل قضيب وآخر لئلا يتقوسا (يتحدبا)؟
(المطلوب هو حساب الزيادة في الطول لكل قضيب)

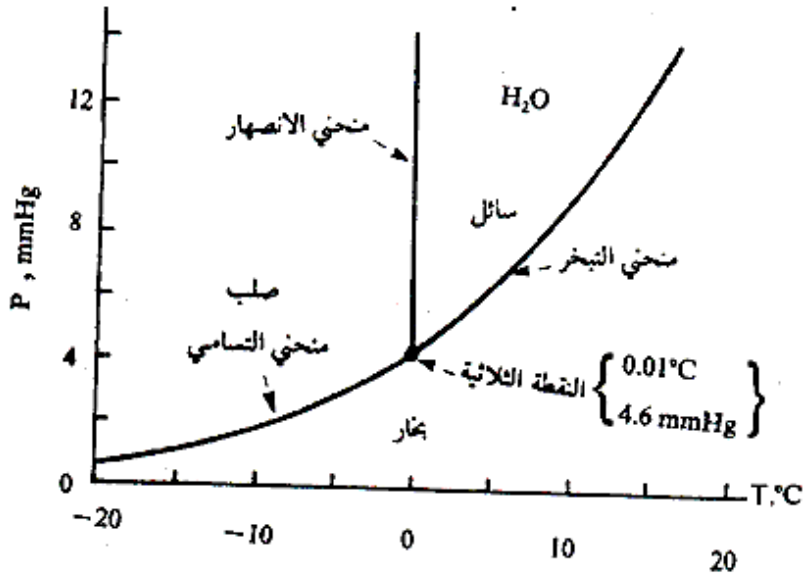
المحاضرة التاسعة

النقطة الثلاثية للمادة Triple Point

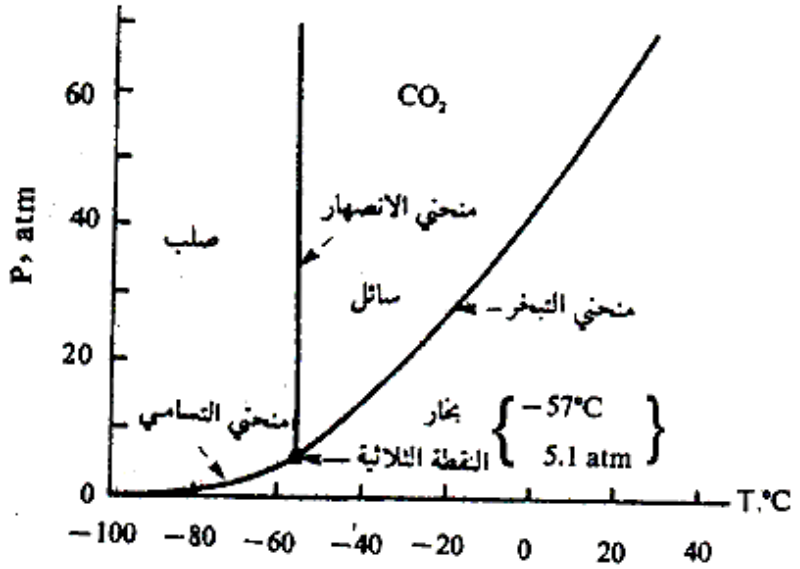
يؤثر الضغط المسلط على تغيرات حالات المادة عندما تتغير درجة حرارتها. فنجد ان درجة حرارة غليان الماء تزداد بزيادة الضغط المسلط عليها الى ان تصل قيمة حرجة لها, بحيث لا يمكن فوقها ان تبقى المادة في حالة السيولة مهما ازداد الضغط المسلط عليه. إن تغير درجة غليان المادة مع الضغط المسلط عليها يسمى بمنحني التبخر.

تعتمد درجة حرارة انصهار المواد الصلبة على الضغط المسلط عليها (ولكن بدرجة اقل مما هي علية لدرجة حرارة الغليان). ان تغير درجة حرارة انصهار الثلج مع الضغط المسلط عليه يسمى بمنحني الانصهار. وقد وجد بان درجة حرارة انصهار الثلج تقل بزيادة الضغط المسلط عليه, على عكس معظم المواد الأخرى والتي تزداد درجة حرارة انصهارها بزيادة الضغط المسلط عليه. وهذا يعني انه يمكن صهر الثلج بطريقتين: بزيادة الضغط المسلط عليه أو بتسخينه. وقد استغلت هذه الخاصية للثلج في عمليات التزلج عليه, إذ تتكون طبقة من الماء بسبب ضغط المتزلج تساعد على التزلج على الجليد.

يتقاطع منحنيا الانصهار والتبخر للماء عند درجة حرارة $0.01\ ^{o}C$ وتحت ضغط $406\ mmHg$ ان نقطة التقاطع تسمى بالنقطة الثلاثية والتي يتواجد فيها الماء في حالاته الثلاث الصلبة والسائلة والغازية. الشكل رقم (3) يوضح النقطة الثلاثية للماء. وعند ضغط أقل من ضغط النقطة الثلاثية لا يمكن لأي مادة ان تبقى في حالتها السائلة. ان منحني الضغط ودرجة الحرارة الذي يفصل بين الحالة الصلبة والحالة الغازية (البخار) للمادة يسمى منحني التسامي والذي يمثل الظروف المطلوبة للصلب كي يتحول الى بخار أو البخار الى صلب مباشراً من دون المرور بالحالة السائلة. الشكل (4) يوضح منحني النقطة الثلاثية لمادة ثناني اوكسيد الكاربون CO_2. فعند زيادة درجة الحرارة فان ثناني اوكسيد الكاربون الصلب تحت الضغط الجوي الاعتيادي يجعله يتسامى وذلك لوقع النقطة الثلاثية له على ضغط اعلى من الضغط الجوي الاعتيادي. على عكس الماء الذي يتحول فيه الثلج الى سائل عند تزويده بالحرارة تحت الضغط الجوي الاعتيادي وذلك لوقوع النقطة الثلاثية للماء عند ضغط أقل بكثير من الضغط الجوي الاعتيادي.



الشكل (3) النقطة الثلاثية للماء



الشكل (4) النقطة الثلاثية لثنائي أوكسيد الكاربون

تحولات حالة المادة State Transformation

يطلق على العمليات التي تتغير فيها حالة المادة بعملية التغير في الطور, فمثلاً يحدث تغير في طور المادة المعدنية عند انصهارها وكذلك يحدث تغير في طور السائل عند غليانه وتحوله الى الحالة الغازية (طور البخار). ولكي يحدث التغير في الطور يجب اضافة الحرارة, ولكن على الرغم من اضافة الحرارة الى المادة فان درجة حرارتها لا ترتفع وهذا يعني ان الطاقة الداخلية للمادة هي التي تتغير عندما تتحول المادة من طور الى آخر. ومثال على ذلك الطاقة الداخلية لجزيئات الماء في الثلج هي أقل من الطاقة

الداخلية لها في الماء السائل, وتكون الطاقة الداخلية لجزيئات الماء في بخار الماء اكبر من طاقتها الداخلية بعد ان تتكثف وتصبح سائلاً.

وهناك تحولات من نوع آخر تحدث داخل المادة وتغير من خواصها الفيزيائية أو الكيميائية كالتحولات المغناطيسية والكهربائية وتركيب المادة. يحدث هذا النوع من تغيرات الطور نتيجة لتسخين أو تبريد المادة الى درجة حرارة حرجة. ان هذه التحولات تكون مصحوبة بامتصاص أو تحرير كمية من الطاقة الحرارية فضلاً عن تغيرات خواص المادة. سنتناول بعض حالات تغير المادة كالتبخر والغليان والانصهار والانجماد وغيرها.

التبخر Evaporation

إن عملية التبخر ما هي الا عملية تبريد وتستخدم اساساً في معظم اجهزة التبريد, إذ تؤدي الى خفض درجة حرارة السائل وخفض طاقته الداخلية. وهنا يمكن ان تعرف الحرارة الكامنة للتبخر على انها كمية الحرارة اللازمة (الطاقة اللازمة) لفصل وحدة الكتلة من جزيئات السائل عن بعضها البعض وتحويلها من طور السيولة الى طور الغاز (البخار) تحت ضغط ثابت ودرجة حرارة ثابتة. وهناك حقيقة اخرى وهي ان نفس كمية الحرارة سوف تنطلق (تتحرر) عندما يتكاثف البخار, أي عندما تتحول جزيئات الغاز (البخار) من طور الغاز (البخار) الى طور السيولة.

اما من ناحية علاقة الحرارة الكامنة للتبخير مع درجة الحرارة فان الحرارة الكامنة تتغير عكسياً مع تغير درجة الحرارة, أي انها تقل كلما ارتفعت درجة حرارة السائل ويعود ذلك الى كون جزيئات السائل تكون اقل ترابطاً مع بعضها عند درجات الحرارة العالية عنها عند درجات الحرارة المنخفضة. ومثال ذلك الحرارة اللازمة لتبخير الماء عند درجة حرارة 100 ^{o}C تساوي 539 cal/g بينما تساوي 590 cal/g عند درجة حرارة 10 ^{o}C. وغالباً ما تعطى الحرارة الكامنة للتبخير عند درجة غليان السائل العادية.

إن معظم الحرارة الكامنة للتبخير تصرف للتغلب على قوة التجاذب الكبيرة لجزيئات المادة في حالة السيولة وبصرف جزء قليل منها كشغل خلال عملية التمدد ضد الضغط المسلط على السائل (كالضغط الجوي).

اما وحدات قياس الحرارة الكامنة للتبخر فهي cal/g أو J/g. وفي نظام الوحدات العالمي (SI) فيستخدم وحدة J/Kg.

اذا وضع سائل في وعاء مغلق مفرغ من الهواء, فان جزيئات السائل سوف تتبخر الى الفراغ الموجود فوق سطح السائل, كما وتعود بعض جزئيات البخار وتصطدم بسطح السائل وتعود اليه, وتستمر هذه العملية الى ان تحصل حالة التوازن, وهي الحالة التي تتساوى فيها عدد الجزيئات التي تترك السائل في

زمن معين مع الجزيئات التي تعود اليه من البخار في نفس الزمن. وهذا يعني ان عدد جزيئات البخار ستبقى ثابتة عند حد معين بشرط عدم تغير درجة حرارة النظام, ويقال عندئذٍ بان البخار مشبعاً تحت هذه الظروف. ويطلق على ضغط الجزيئات في البخار تحت هذه الشروط بضغط البخار للسائل, الذي يزداد بارتفاع درجة الحرارة ويقل بانخفاضها. مثال ذلك يكون ضغط بخار الماء 9.21 و 149.4 و 760 ملم زئبق عند درجة حرارة 10 و60 و 100 درجة سليزية على التوالي.

ملاحظة / 1 ملم زئبق يساوي 1 تور (1mm Hg = 1Torr). الشكل (5) يوضح حالة البخار المشبع.

الشكل (5) يوضح حالة البخار المشبع

الانصهار Melting

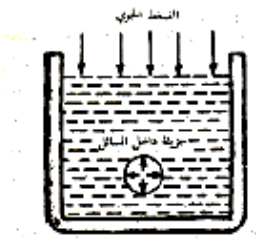
تعرف الحرارة الكامنة للانصهار على انها كمية الحرارة اللازمة لتحول وحدة الكتلة من المادة من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة تحت درجة حرارة ثابتة وضغط ثابت. وبما ان الطاقة الداخلية للمادة في حالتها السائلة اعلى بكثير من طاقتها الداخلية في حالتها الصلبة, فان المادة عند تحويلها من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة تحتاج الى تزويدها بالطاقة الحرارية مثلاً.

ان وحدة قياس الحرارة الكامنة للانصهار هي cal/g . اما في نظام (SI) فانها تساوي (J/Kg). ان الحرارة الكامنة لانصهار الجليد في درجة حرارة $0\ ^{\circ}C$ هي 80 cal/g تحت الضغط الجوي الاعتيادي. ان الطاقة المجهزة للجسم الصلب تعمل على مساعدة الجزيئات على التغلب على القوى التي تربطها مع الجزيئات الأخرى في التركيب الصلب وجعلها تتحرك بحرية اكبر. تبدأ المادة الصلبة عند تسخينها بالانصهار عند درجة حرارة معينة. وعند تسخين خليط المادة الصلبة مع السائل تبقى درجة حرارة الخليط ثابتة الى ان يكتمل انصهار المادة الصلبة. ولكل مادة درجة حرارة انصهار معينة. وتحرر نفس الكمية من الحرارة من المادة عند تحويلها من الحالة السائلة الى الحالة الصلبة عند نفس درجة الحرارة والضغط الجوي. تمتص الحرارة الكامنة لعرق الجسم من الجسم عند التعرق لكي يتبخر العرق وبذلك يتم تبريد الجسم.

الغليان Boiling

تنشأ ظاهرة الغليان عندما تكتسب مجموعة من الجزيئات في داخل السائل طاقة تكفي لفصلها عن بقية الجزيئات وتكوين فقاعة صغيرة. ان ضغط البخار داخل الفقاعة يعتمد على درجة الحرارة, فإذا كانت درجة الحرارة أقل من درجة غليان السائل, فان الضغط الجوي المسلط على السائل يكون اكبر من ضغط البخار داخل الفقاعة. وبناء على ذلك فان الفقاعة سوف تتلاشى تدريجياً قبل ان تجد الفرصة للنمو والوصول الى سطح السائل. وعندما ترتفع درجة الحرارة (كما في حالة تسخين السائل) يرتفع معها ضغط بخار السائل داخل الفقاعات وسوف يصل الى درجة حرارة معينة يتساوى عندها الضغط الجوي مع ضغط البخار داخل الفقاعة, وعندها سوف تنمو الفقاعة ويزداد حجمها كلما ارتفعت نحو سطح السائل (بدلاً من التلاشي والاختفاء) وبتكرار حدوث هذه الظاهرة في اماكن متفرقة كثيرة داخل السائل تنشأ ظاهرة الغليان. والشكل (6) يوضح ظاهرة الغليان.

وتعرف درجة الغليان على انها الدرجة الحرارية التي يتساوى عندها ضغط بخار السائل داخل الفقاعة مع الضغط الخارجي المسلط على السائل. ان انخفاض الضغط المسلط على السائل يؤدي الى انخفاض درجة غليان السائل والعكس صحيح. ان عملية هروب بخار السائل يحتاج الى طاقة عالية تكتسبها من جزيئات السائل الأخرى. ان الاستمرار في الغليان يحتاج الى امداد السائل بالحرارة. ولن ترتفع درجة حرارة السائل اعلى من درجة حرارة الغليان مهما كانت كمية الحرارة التي يزود بها السائل خلال عملية الغليان. تتكون الفقاعة بسهولة اكبر اذا كان السائل يحتوي على الشوائب كدقائق الغبار أو فقاعات الهواء, ومن الممكن ان يسخن السائل النقي الى اعلى من درجة غليانه من دون تكون الفقاعات, ولكن عندما يبدأ تكوين الفقاعات فانه يحدث بشدة كبيرة تقرب من الانفجار. تعطى درجة الغليان (في الغالب) لمختلف السوائل تحت الضغط الجوي القياسي اي 760mmHg أو (1atm). ان درجة حرارة غليان الماء تساوي $100\ ^{o}C$ تحت نفس الظروف. اما الحرارة الكامنة لتبخير الماء تحت الظروف السابقة فتساوي 539cal/g. ان درجة غليان الماء في المدن الواقعة في الجبال تكون اقل من $100\ ^{o}C$. وذلك بسبب ان الضغط الجوي يقل كلما ارتفعنا عن سطح البحر. وهذا يفسر لنا اهمية استخدام قدور الضغط في عمليات الطهو.



الشكل (6) يوضح ظاهرة الغليان

التسامي The Sublimation

لا يمكن ان تبقى المادة في حالتها السائلة تحت ضغط اقل من ضغط نقطتها الثلاثية, يسمى منحني الضغط - درجة الحرارة الفاصل بين الحالة الصلبة وحالة البخار بمنحني التسامي, لانه يمثل الظروف المناسبة لجزيئات الحالة الصلبة للتبخر مباشرة دون المرور بالحالة السائلة بالعكس. ان اضافة الحرارة الى الثلج تحت الضغط الجوي الاعتيادي يسبب انصهار الثلج, اي الانتقال من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة والسبب في ذلك يعود الى ان ضغط النقطة الثلاثية للماء اقل بكثير من الضغط الجوي الاعتيادي. بينما اضافة الحرارة الى صلب ثنائي اوكسيد الكاربون تسبب حالة التسامي أي الانتقال من الحالة الصلبة الى الحالة البخارية لان ضغط النقطة الثلاثية لثنائي اوكسيد الكاربون اعلى بكثير من الضغط الجوي الاعتيادي.

مثال (1)

إذا كان معدل انسياب سائل خلال مسعر الانسياب المستمر تساوي 15g/s, وان السخان الكهربائي يقوم بتزويد قدرة مقدارها 200 W . تحت هذه الظروف تم الحصول على فرق في درجة الحرارة مقدارها 3 °C , ولأجل الحصول على نفس الفرق في درجات الحرارة تحت معدل انسياب مقداره 5g/s يجب تبديد قدره مقدارها 80 W . جد الحرارة النوعية للسائل ومعدل فقدان الحرارة إلى المحيط. افرض أن درجة حرارة المحيط هي نفسها في الحالتين.

الحل

1W = 1 J/s

الطاقة الكهربائية للحالة الأولى = 200 J/s

الطاقة الكهربائية للحالة الثانية = 200 J/s

كمية الحرارة المكتسبة بواسطة الماء في الثانية الواحدة = m.C.ΔT

$\Delta T = T_2 - T_1 = 3\,^{\circ}C$

نفرض أن معدل فقدان الحرارة إلى المحيط خلال الثانية الواحدة = H

كمية الحرارة المكتسبة = كمية الحرارة المفقودة

في الحالة الأولى $200\ J/s = (15\times10^{-3}\ Kg/s)\ C\ (3^{\circ}C) + H$

في الحالة الثانية $80\ J/s = (5\times10^{-3}\ Kg/s) \times C \times (3^{\circ}C) + H$

وبطرح الحالة الثانية من الحالة الأولى نجد

$(200 - 80)\ J/s = (15 - 5) \times 10^{-3}\ Kg/s \times C \times (3^{\circ}C)$

$120\ J/s = 30 \times 10^{-3}\ Kg/s \times C \times 3^{\circ}C$

$$C = \frac{120\ J/s}{30\times10^{-3}\ Kg.\,^{\circ}C/s} = 4\times10^{3}\ J/Kg.^{\circ}C$$

بالتعويض عن C في الحالة الأولى أو الثانية نجد أن

$200\ J/s = (15\times10^{-3}\ Kg/s)\ (4\times10^{3}\ J/Kg.^{\circ}C)\ (3^{\circ}C) + H$

$200\ J/s = 180\ J/s + H$

$H = 200\ J/s - 180\ J/s$

$H = 20\ J/s$

الواجب اليومي/ حل المسائل التالية :

- **ما هي كمية الحرارة اللازمة لصهر 5 كجم من الجليد عند 0 °C إلى ماء عند 0°C؟ (L_f = 334,000جول/كجم)**
- **خزان ماء مكشوف يحتوي على 10 كجم من الماء عند 100 .°C ما هي كمية الحرارة اللازمة لتبخير نصف كمية الماء (5 كجم) إلى بخار عند 100°C؟ (L_v = 2,260,000 جول/كجم)**
- **قطعة جليد كتلتها 200 جرام (0.2 كجم) عند درجة حرارة -10°C، وضعت في وعاء معزول يحتوي على 500 جرام من الماء عند 60.°C**

المطلوب:

1. **احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجليد من -10 °C إلى 0) °C مرحلة التسخين)**
2. **احسب كمية الحرارة اللازمة لصهر الجليد بالكامل عند 0.°C**
3. **هل يستطيع الماء الساخن (عند 60 (°C توفير هذه الكمية من الحرارة ليذوب الجليد كاملاً ويصل الخليط إلى درجة حرارة نهائية أعلى من 0°C؟ (احسب الحرارة التي يفقدها الماء الساخن عند تبريده من 60 °C إلى 0°C**
4. **احسب درجة الحرارة النهائية للتجربة بعد الوصول إلى الاتزان (إذا بقيت حرارة متبقية)**

ثانيا الواجب الأسبوعي:

في الشكل أدناه (تصوره تخيلياً)، يمثل منحنى التسخين لعينة كتلتها 1 كجم من مادة مجهولة. استخدم المعطيات التالية:

- **درجة حرارة الانصهار = 0.°C**
- **درجة حرارة الغليان = 100.°C**
- **الحرارة النوعية في الحالة الصلبة = 2000 جول/كجم.°C.**
- **الحرارة النوعية في الحالة السائلة = 4000 جول/كجم.°C.**
- **الحرارة النوعية في الحالة الغازية = 1500 جول/كجم.°C.**
- **الحرارة الكامنة للانصهار = 300,000 جول/كجم.**
- **الحرارة الكامنة للتبخر = 2,000,000 جول/كجم.**

المطلوب:

5. **احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة من -20 °C إلى 0) °C تسخين الصلب.(**
6. **احسب كمية الحرارة اللازمة لصهر المادة بالكامل عند 0.°C**
7. **احسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين المادة السائلة من 0 °C إلى 100.°C**
8. **احسب كمية الحرارة اللازمة لتبخير المادة بالكامل عند 100.°C**
9. **احسب كمية الحرارة اللازمة لتسخين البخار من 100 °C إلى 150.°C**
10. **احسب إجمالي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 كجم من المادة من -20 °C إلى بخار عند 150.°C**

المحاضرة العاشرة

الثرموداينمك

لتعميق فهمك لعلم الثرموداينمك (THERMODYNAMICS) ، يجب أن نتجاوز التعريفات السطحية إلى الجوهر الفلسفي والرياضي لهذا العلم. الثرموداينمك ليس مجرد قوانين فيزيائية، بل هو علم "التحولات"؛ إنه يدرس كيف تنتقل الطاقة، ولماذا تسير الأمور في اتجاه معين وليس العكس، وكيف يمكننا استغلال هذه القوانين في تصميم الآلات وفهم الكون.

أهم نقطة لفهم الثرموداينمك هي أنها علم إحصائي وليس علم ميكانيكي دقيق.

الميكانيكا الكلاسيكية تهتم بدراسة حركة كل جزيء على حدة (موقعه وسرعته) وهذا مستحيل تطبيقه على مول واحد من الغاز (يحتوي على 1023×10236×6 جزيء.)

الثرموداينمك تتجاهل التفاصيل الدقيقة للجزيئات الفردية، وتكتفي بدراسة الخصائص الجماعية (BULK PROPERTIES)للنظام مثل الضغط، الحرارة، والحجم.

الاستنتاج الفلسفي :الثرموداينمك تهتم بـ"السلوك الكلي" للمادة، وكأنها تنظر إلى الغاز كـ"سائل مستمر" وليس كحبيبات منفردة. لذلك، كل مفاهيمها (مثل الحرارة والضغط) هي متوسطات إحصائية لسلوك أعداد هائلة من الجزيئات

أنواع الأنظمة الترموديناميكية

لفهم أي عملية، يجب أولاً تصنيف النظام بناءً على قدرته على تبادل الطاقة والمادة مع المحيط:

النظام المعزول :(ISOLATED) لا يتبادل مادة ولا حرارة ولا شغل مع المحيط (مثالي ولا يوجد في الطبيعة)

النظام المغلق :(CLOSED) يتبادل حرارة وشغل مع المحيط، ولكنه لا يتبادل مادة) مثل الغاز المحصور في أسطوانة محكمة الإغلاق)

النظام المفتوح :(OPEN) يتبادل حرارة، وشغل، ومادة مع المحيط (مثل المحرك النفاث أو جسم الإنسان)

٣ .العمليات الديناميكية الحرارية (كيف تتغير الحالة)

عندما ينتقل النظام من حالة إلى أخرى، يسمى ذلك عملية .(PROCESS) ولكي نفهم تأثير الحرارة والضغط، يجب أن نعرف أنواع هذه العمليات التي تحدث في الطبيعة والتطبيقات الهندسية:

عملية متساوية الحرارة :(ISOTHERMAL) تتم عند درجة حرارة ثابتة(Tثابت) هنا، أي حرارة تدخل تتحول بالكامل إلى شغل (والعكس صحيح)

عملية متساوية الضغط :(ISOBARIC) تتم عند ضغط ثابتP (ثابت). هذا هو النمط الأكثر شيوعاً في التفاعلات الكيميائية في المختبرات.

عملية متساوية الحجم :(ISOCHORIC) تتم عند حجم ثابتV (ثابت). هنا، الحرارة الداخلة تذهب بالكامل لرفع الطاقة الداخلية (لأنه لا يوجد شغل مبذول)

عملية كظومة :(ADIABATIC) لا يحدث فيها تبادل للحرارة مع المحيط .(Q=0) في هذه الحالة، أي شغل يُبذل يأتي على حساب الطاقة الداخلية، مما يسبب انخفاضاً في درجة الحرارة (مثل تبريد علبة الغاز عند خروج الغاز منها بسرعة)

مفهوم "النظام" وحالته(STATE OF A SYSTEM)

في الثرموداينمك، لا يمكننا دراسة "الحرارة" أو "الضغط" بشكل منفصل عن المادة التي تحملها. لذلك، نبدأ بتعريف النظام الترموديناميكي:

النظام :(SYSTEM) هو الجزء المادي الذي نركز عليه في دراستنا (مثل غاز محصور في أسطوانة، أو كوب من الماء.(

المحيط :(SURROUNDINGS) هو كل ما يقع خارج النظام ويؤثر فيه أو يتأثر به.

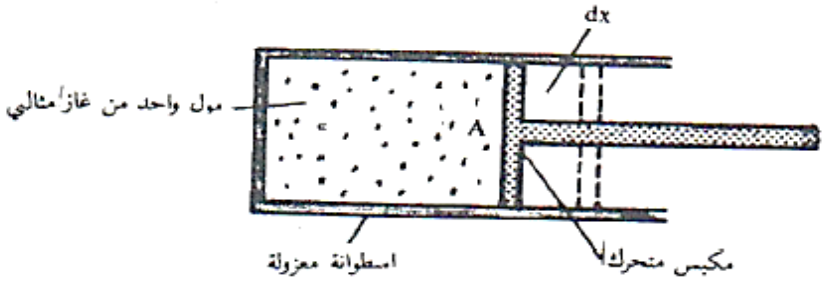
حالة النظام :(THERMODYNAMIC STATE) هي وصف دقيق لخصائص النظام في لحظة زمنية معينة. تُعرّف هذه الحالة بواسطة متغيرات الحالة(STATE VARIABLES) ، وأهمها:

الضغط(P)
الحجم(V)
درجة الحرارة(T)
كمية المادة(N)
خاصية أساسية :تعتمد متغيرات الحالة فقط على النقطة الحالية التي وصل إليها النظام، ولا تعتمد على الطريق أو المسار الذي سلكه للوصول إلى هذه النقطة (أي لا تعتمد على التاريخ). فمثلاً، درجة حرارة الغاز في الأسطوانة تحددها قراءة الترمومتر الآن، وليس كيفية تسخينه قبل دقيقة

العلاقة بين C_p و C_V للغاز المثالي

The Relation between C_V and C_p

لنأخذ مولاً واحداً من غاز مثالي ونضعه في اسطوانة ذات مكبس طليق الحركة كما في الشكل(6), ولنفرض أن مساحة المكبس تساوي (A) وازيح مسافة مقدارها (dx), نتيجة لتزويد الغاز بكمية من الحرارة مقدارها (dQ), وهذا يعني ان حجم الغاز قد ازداد من (V) إلى (V + dV) نتيجة لارتفاع درجة حرارة من T الى (T + dT).



الشكل(6) التحقق من العلاقة بين C_P و C_V

إن القوة التي يسلطها الغاز على المكبس تساوي (PA), والتي ستنجز شغلاً (dW) يعطى بالعلاقة الآتية:

$$dW = PAdx = pdV \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

ان كمية الحرارة (dQ) ستؤدي الى رفع درجة حرارة مول واحد من الغاز درجة حرارية واحدة, ومن تعريف الحرارة النوعية المولية عند الضغط الثابت C_P فان

dQ = عدد المولات x C_P x الارتفاع في درجة الحرارة

الطاقة الداخلية (INTERNAL ENERGY - UU)

الطاقة الداخلية هي المجموع الكلي لجميع أشكال الطاقة المخزنة داخل جزيئات النظام، والتي لا تتعلق بموقعه في الفضاء الخارجي (طاقة وضع خارجية) أو حركته الانتقالية ككل (طاقة حركة مركز الكتلة)

لفهم ذلك، تخيل أنك تنظر إلى جزيء واحد داخل وعاء غاز محكم الإغلاق؛ الطاقة الداخلية لهذا النظام تتكون من خمسة مكونات رئيسية:

الطاقة الحركية الانتقالية (TRANSLATIONAL KINETIC ENERGY): طاقة حركة الجزيء في الفراغ (حركة الذهاب والإياب)

الطاقة الحركية الدورانية (ROTATIONAL KINETIC ENERGY): طاقة دوران الجزيء حول محاوره (مثل دوران الكرة)

طاقة الاهتزاز :(VIBRATIONAL ENERGY) طاقة اهتزاز الذرات داخل الجزيء وكأنها متصلة بنوابض، وتشمل طاقة حركية وطاقة كامنة.

الطاقة الكامنة بين الجزيئات :(INTERMOLECULAR POTENTIAL ENERGY) طاقة التجاذب والتنافر بين جزيء وآخر.

الطاقة الكامنة داخل الذرة :(CHEMICAL/NUCLEAR ENERGY) الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية وفي النواة.

نتيجة مهمة :في حالات معينة (كغاز مثالي)، نهمل الطاقة الكامنة بين الجزيئات والطاقة الاهتزازية، فتكون الطاقة الداخلية دالة في درجة الحرارة فقط

٢ .الطاقة الداخلية "لا تُقاس" مطلقاً

لا يمكننا معرفة القيمة المطلقة للطاقة الداخلية (UU) لأي نظام. لماذا؟ لأننا لا نستطيع حصر كل الطاقات الجزيئية والنووية بدقة مطلقة منذ لحظة نشأة المادة (وهي كمية هائلة). ما نستطيع قياسه في الفيزياء هو التغير في الطاقة الداخلية (ΔU) فقط. عندما نسخن نظاماً، نستطيع حساب مقدار الحرارة التي دخلت إليه. وعندما يبذل النظام شغلاً، نستطيع حساب هذا الشغل. وبالتالي، نحدد كم تغيرت طاقته الداخلية، وذلك فقط بالاعتماد على نقطة مرجعية نتفق عليها (مثلاً: اعتبار أن الطاقة الداخلية للماء عند C^0 تساوي صفراً، لراحة الحسابات فقط)

٣ .الطاقة الداخلية كـ "دالة حالة" (الدليل الرياضي والمنطقي)

يعني أن الطاقة الداخلية تعتمد فقط على النقطة التي وصل إليها النظام الآن (قيم الحجم VV ودرجة الحرارة(TT ، ولا تعتمد إطلاقاً على كيف وصل إلى هذه النقطة.

المعنى الرياضي :التفاضل (DU) هو تفاضل تام .(EXACT DIFFERENTIAL) هذا يعني أن التكامل الرياضي لـ DU بين حالتين يعتمد فقط على النهاية والبداية .التطبيق العملي لهذه الخاصية :تخترع آلة تنتقل بالغاز من الحالة (A) إلى الحالة .(B) إذا اتبعت مساراً (1) وكان التغير في الطاقة الداخلية 100 J ، فلو اتبعت مساراً (2) مختلفاً تماماً (أكثر تعقيداً) فإن التغير في الطاقة الداخلية سيظل .100J

قاعدة ذهبية :الحرارة (Q) والشغل (W) ليسا دوال حالة، ويعتمدان على المسار. ولكن الفرق بينهما (Q –W) هو الذي يساوي تغير الطاقة الداخلية(ΔU) ، وبالتالي يكون مستقلاً عن المسار.

٤ .آليات تغيير الطاقة الداخلية

ينص القانون الأول للثرموداينمك على أن الطاقة الداخلية لا تتغير إلا بطريقين فقط، وهما تفاعل النظام مع محيطه:

$$\Delta U = Q - W$$

الحرارة :(Q) هي انتقال الطاقة بسبب اختلاف درجات الحرارة .عندما تسخن نظاماً، تزيد الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالتالي تزيد) .U عند امتصاص حرارة Q :موجبة، تزيد.(U)

الشغل :(W) هو انتقال الطاقة بسبب قوة تؤثر عبر مسافة(أي تغير في الحجم تحت تأثير ضغط). عندما يتمدد الغاز ويدفع مكبساً للخارج، فهو يبذل شغلاً على المحيط، وهذا الشغل يُستهلك من طاقته الداخلية، فتقل U عند بذل النظام شغلاً على المحيط W :موجبة، تقل U

الواجب اليومي/ مسائل تطبيقية

- نظام حراري يمتص 500 جول من الحرارة، ويبذل شغلاً مقداره 200 جول على المحيط.احسب التغير في الطاقة الداخلية للنظام.(ΔU)
- نظام تتناقص طاقته الداخلية بمقدار 300 جول، ويبذل المحيط شغلاً على النظام مقداره 150 جول.احسب كمية الحرارة (Q) المتبادلة، وهل يمتصها النظام أم يطردها؟
- في عملية متساوية الحجم، امتص النظام 800 جول من الحرارة. احسب ΔU والشغل المبذول.(W)
- في عملية أدياباتية (معزولة حرارياً)، بذل النظام شغلاً مقداره 400 جول. احسب ΔU و.(Q)

ثانيا الواجب الأسبوعي/

السؤال الأول : املأ الفراغات التالية :

1. **الديناميكا الحرارية :(Thermodynamics)** هي فرع الفيزياء الذي يدرس العلاقات بين ..... و ..... وأشكال الطاقة الأخرى.
2. **حالة النظام :(State of a System)** هي وصف كامل للنظام باستخدام مجموعة من ..... مثل (الضغط، الحجم، درجة الحرارة، وكتلة المادة). هذه الخواص تُسمى **خواص الحالة (State Functions)**.
3. **خواص الحالة :(State Functions)** هي خواص تعتمد فقط على ..... (الحالة الابتدائية والنهائية - المسار الذي سلكه النظام) للوصول إلى تلك الحالة. مثل: .....، .....، و.....
4. **الطاقة الداخلية :(Internal Energy - U)** هي مجموع ..... (الطاقة الحركية - الطاقة الكامنة) لجميع جزيئات النظام، وتشمل الطاقة ..... وطاقة ..... وطاقة ..... الجزيئية.

السؤال الثاني: أجب بصحيح أو خطأ مع تصحيح الخطأ:

1. درجة الحرارة والضغط والحجم هي دوال (خواص) مسار.(Path Functions)
2. الطاقة الداخلية للنظام تعتمد على تاريخ النظام (كيف وصل إلى حالته الحالية)
3. عند تغير حالة النظام من (1) إلى (2)، يكون التغير في الطاقة الداخلية ($\Delta U \Delta U$) مساوياً لـ $U_2 - U_1$ بغض النظر عن المسار الذي سلكه النظام.

السؤال الثالث: صنّف الخواص التالية إلى (خواص حالة) أو (خواص مسار)

- الضغط(P)
- درجة الحرارة(T)
- الحجم(V)
- كمية الحرارة(Q)
- الشغل المبذول(W)
- الطاقة الداخلية(U)
- الإنتروبيا(S)

القانون الأول في الديناميكية الحرارية

First Law of Thermodynamics

لو تصورنا أن حجماً معيناً من غاز (V_1) في درجة حرارة (T_1) وتحت ضغط (P_1) موجود في وعاء ذي مكبس, فإذا ضغط الغاز الى حجم (V_2) وانخفضت درجة حرارته الى (T_2) فان الضغط سيزداد الى (P_2). ان الانتقال من الحالة الأولى (P_1, V_1, T_1) الى الحالة الجديدة (P_2, V_2, T_2) يمكن ان يتم بعدة طرق منها زيادة الضغط ثم خفض درجة الحرارة او خفض درجة الحرارة اولاً ثم زيادة الضغط المسلط على الغاز ثانياً. ان كبس الغاز يتطلب انجاز شغل, كما وان تبريد الغاز يتطلب سحب كمية من الحرارة منه. **ان عملية انجاز الشغل وسحب كمية من الحرارة سوف يغير من الطاقة الداخلية للغاز**. ان العلاقة بين الكميات الثلاثة, الشغل المنجز ΔW وكمية الحرارة ΔQ والتغير في الطاقة الداخلية ΔU هي كما يأتي:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

إن إشارة ΔQ تكون موجبة اذا اضيفت الحرارة الى الغاز وسالبة اذا سحبت منه الحرارة. واشارة ΔW تكون موجبة اذا انجز الغاز شغلاً وسالبة اذا انجز الشغل على الغاز, ومهما كانت ترتيب العمليات التي يتعرض لها الغاز لجلبة من الحالة الابتدائية (P_1, V_1, T_1) الى الحالة النهائية (P_2, V_2, T_2) فإن صافي التغير في الطاقة الداخلية ΔU هو دائماً نفسه. أي ان كلاً من ΔQ و ΔW يتغير, ولكن مجموع تغير ΔQ و ΔW يكون ثابتاً. وهذا هو جوهر القانون الأول للثرموداينمك. والذي يعني ان الطاقة تكون دائماً محفوظة, أي لا يمكن استحداثها او أفنائها, ولكنه يمكن تحويلها من شكل الى آخر.

ان مقدار التغير في ΔU يمكن ان يكون صفراً في حالة التمدد الحر للغاز الذي يكون فيه ΔQ و ΔW تساويان صفر. وهذا يعني ان تغير الحجم لا يغير الطاقة, أي ان طاقة الغاز ليس دالة لحجمه. بل ان الطاقة دالة لدرجة الحرارة فقط.

تطبيقات على القانون الأول Applications of The First Law

ينطبق القانون الأول للثرموداينمك على جميع الأنظمة مهما كانت معقدة. ومن الأنظمة المألوفة لنا هو جسم الإنسان الذي يفقد طاقة داخلية باستمرار, اذ تفقد معظم هذه الطاقة على شكل حرارة يفقدها الجسم الى المحيط ويمثل الشغل الذي يبذله الجسم جزءاً من هذه الطاقة. وبناءً على ما تقدم يمكن صياغة القانون الأول ليناسب الجسم كما يأتي:

الشغل المبذول + الحرارة المفقودة = النقص في الطاقة الداخلية

ويمكن تلخيص التطبيقات على القانون الاول بالعمليات الاتية:

العملية الايسوباريكية Isobaric Process

يمكن حساب الشغل الذي ينجزه نظام يتمدد ضد محيطه ويبقى فيها الضغط ثابتاً بينما يتغير الحجم من V_i الى V_f من العلاقة الآتية:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

$$W = P \int_{V_i}^{V_f} dV$$

$$W = P(V_f - V_i)$$

وتسمى هذه العملية بالعملية الثابتة الضغط (Isobaric Process) وتعرف بأنها العملية التي تحدث للنظام بحيث يبقى الضغط المؤثر عليه ثابتاً.

يبين الشكل رقم (1) عملية ثابتة الضغط وتتكون من كمية من الماء محصورة في وعاء اسطواني مجهز بمكبس حر الحركة وفوقه ثقل معين. يمكن تزويد الماء بالطاقة الحرارية وذلك بتسخينه الى ان يتحول جزء من الماء الى بخار ويتمدد النظام (الماء والبخار) ويحرك المكبس, أي ينجز شغلاً ضد المكبس. فإذا تحولت كتلة مقدارها (m) من الماء الى بخار وازداد حجمها من V_i الى V_f وكان الضغط ودرجة الحرارة ثابتين فان الشغل المنجز خلال هذه العملية يعطى بالعلاقة الآتية :

$$W = P\ (V_f - V_i)$$

إن تحول السائل الى بخار يحتاج الى كمية من الحرارة (Q) تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mL$$

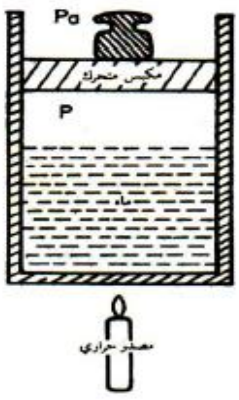
حيث أن L تمثل الحرارة الكامنة للتبخر.

ان هذه الحرارة ستؤدي الى تغير في الطاقة الداخلية للنظام تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\Delta U = U_f - U_i$$

حيث أن U_i و U_f تمثلان الطاقة الداخلية للسائل والبخار على التوالي. وعند تطبيق القانون الأول للثرموداينمك على هذه العملية نحصل على الصيغة الآتية :

$$Q = P\ (V_f - V_i) + (U_f - U_i)$$



الشكل (1) يوضح عملية ثابتة الضغط

العملية الأديباتيكية Adiabatic Process

العملية الأديباتيكية هي العملية التي تحدث للنظام, بحيث لا تدخله ولا تخرج منه حرارة. ويمكن ان يتم ذلك إما:

1- بإحاطة النظام بمادة عازلة حرارياً (كالفلين).

2- بالقيام بالعملية بسرعة كبيرة بحيث نضمن عدم انتقال حرارة من النظام او إليه. وذلك لان انتقال الحرارة عملية بطيئة نسبياً, وبتطبيق القانون الأول للثرموداينمك على هذه العملية نحصل على:

$$dU = -dW$$

ومن هنا نرى انه في العملية الأديباتيكية يكون التغير في طاقة النظام الداخلية مساوياً للقيمة المطلقة للشغل. فإذا كان الشغل سالباً, كما هي الحال عندما يضغط النظام, فان (U_f) اكبر من (U_i) وبذلك فان الطاقة الداخلية للنظام تزداد. أما عندما يكون الشغل موجباً, كما هي الحال عند تمدد النظام, فان (U_f) اقل من (U_i) وبذلك فان الطاقة الداخلية للنظام تقل. والجدير بالذكر ان زيادة الطاقة الداخلية للنظام يصاحبها عادة ارتفاع في درجة حرارة النظام. أما عند انخفاض الطاقة الداخلية للنظام فإن ذلك يصاحبه عادة انخفاض في درجة حرارته.

والأمثلة على العملية الأديباتيكية كثيرة فانضغاط مزيج البنزين والهواء في آلة الاحتراق الداخلي (في شوط الانضغاط) هو عملية أديباتيكية. وفي هذه الحالة ترتفع درجة حرارة النظام (مزيج البنزين والهواء). كذلك تمدد نواتج الاحتراق (في شوط القوة) هو عملية أديباتيكية, ولكن في هذه الحالة تنخفض درجة الحرارة.

الواجب اليومي/ مسائل تطبيقية : غاز مثالي عدده 2 مول يتمدد أيزوثرمياً عند درجة حرارة 300 K من حجم 0.02 m^3 إلى حجم 0.06 m^3. (R=8.314 J/mol·K$R=8.314 J/mol\cdot K$) **أوجد:**

1. احسب الشغل المبذول بواسطة الغاز.(W)
2. احسب كمية الحرارة الممتصة.(Q)
3. احسب التغير في الطاقة الداخلية.(ΔUΔU)

ثانيا الواجب الأسبوعي / أكمل الجدول التالي للعملية الأيزوثرمية :

.....	**التغير في الطاقة الداخلية** (ΔU)
(تساوي الشغل)	**كمية الحرارة المتبادلة (Q)**
(موجب - سالب)	**الشغل المبذول (W)** إذا تمدد الغاز $(V_2 > V_1)$
(موجب - سالب)	**الشغل المبذول (W)** إذا انضغط الغاز $(V_2 < V_1)$
(قانون بويل) ..... $P \propto$	**العلاقة بين الضغط والحجم**

المحاضرة الثانية عشر

الغازات
The Gases

تتكون الغازات من جزيئات صغيرة, تكون الجزيئات مستقلة تقريباً بعضها عن البعض , أي لا تؤثر بعضها على البعض الآخر بأي قوى ما عدا في لحظات تصادمها. كما انها في حركة مستمرة وتتجول في الفضاء (space) متصادمة مع بعضها من دون ان تتلاصق نتيجة هذا التصادم. تكون الطاقة الحركية لجزيئات الغاز كافية للتغلب على القوى الضئيلة التي تربط بين هذه الجزيئات. كما وتكون جزيئات الغاز متباعدة كثيراً عن بعضها, اذ يقدر معدل المسافة بين الجزيئات بعشرة امثال قطر الجزيئة تقريباً. تكون سرعة جزيئات الغاز (في الأحوال الاعتيادية) مقاربة لسرعة الصوت في الهواء (أي 300 الى 400 متر في الثانية), وبناء على ذلك يكون المعدل الزمني لعدد التصادمات بين جزيئات الغاز بحدود 10^9 تصادم لكل ثانية. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الغاز وجدران الوعاء الذي يحتويه الى تكوين الضغط المؤثر على هذه الجدران. ان تباعد جزيئات الغاز بعضها عن البعض الاخر بمسافات اكبر من اقطار هذه الجزيئات ادى الى انعدام الاحتكاك الداخلي بينها, والى هذا السبب ايضاً تعزى قابلية الغازات على الانكماش لكونها لا تمتلك شكلاً محدداً ولا حجماً ثابتاً, اذ تملأ جزيئات الغاز كل أنحاء الوعاء الذي توضع فيه.

ان التغيرات التي تطرأ (اثناء تصادم الجزيئات) على قيمة واتجاه سرعة أحد الجزيئات يقابله تغير معاكس (مضاد) في قيمة سرعة الجزيئة الثانية واتجاهها, اذ يكون معدل التغير في القيمة والاتجاه لسرع الجزيئات المختلفة مساوياً للصفر, وعلى هذا الأساس يكون للكتلة المعينة المتزنة من الغاز وعند درجة الحرارة الثابتة ما يأتي:

1- تكون اتجاهات حركة الجزيئات موزعة بالتساوي على جميع الاتجاهات.
2- يكون معدل الطاقة الحركية لجميع جزيئات الغاز متساوية, ويعتمد على درجة الحرارة.

الغاز المثالي The Ideal Gases

الغاز المثالي هو الغاز الذي تكون جزيئاته متناهية في الصغر (نقطية), تامة المرونة, ينعدم بينها الاحتكاك لأنها لا تؤثر في بعضها البعض باية قوى, ان الغاز المثالي غير موجود في الحقيقة.

الغاز الحقيقي The Real Gases

هو الغاز الذي تكون جزيئاته صغيرة ومتباعدة بعضها عن بعض. وعند الظروف الاعتيادية من ضغط ودرجة حرارة تقترب خواص الغاز الحقيقي من خواص الغاز المثالي.

النظرية الحركية للغازات The Kinetic Theory of Gases

ان الكثير من خواص الغازات يمكن توقعها بالاعتماد على اساسيات النظرية الحركية للغازات. تعتمد هذه النظرية على الفرضيات الرئيسة التي يمكن اجمالها في النقاط الآتية:

1- تتكون الغازات من جزيئات متناهية في الصغر (كتلة نقطية), أي انها تملك كتلة ولا تملك حجماً.

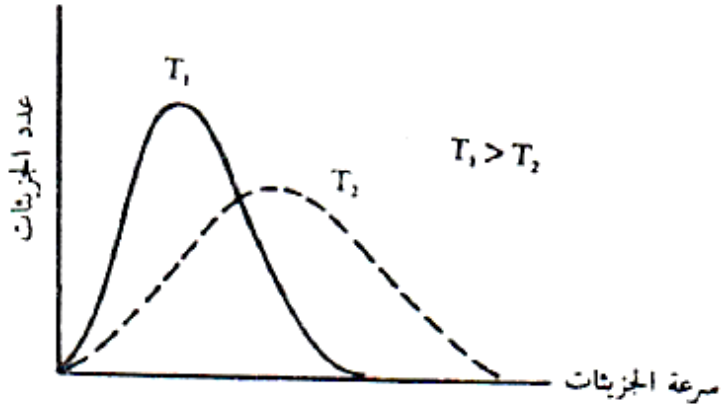
2- اهمال القوى المؤثرة بين جزيئات الغاز, ما عدا لحظة التصادم.

3- تكون حركة الجزيئات عشوائية ومستمرة وبخطوط مستقيمة بين التصادمات.

4- تكون جزيئات الغاز تامة المرونة, كما ويكون التصادم بين هذه الجزيئات مرناً ايضاً, اذ تهمل الطاقة المفقودة عند التصادم بين الجزيئات او عند التصادم مع جدران الوعاء الذي يحتويها, كما وتحفظ الطاقة الحركية خلال التصادم, وقد يحصل تبادل بين الجزيئات للطاقة المذكورة. ان الوقت المستغرق خلال التصادم يكون قصير جداً يمكن اهماله.

5- ان درجة حرارة الغاز هي مقياس لمتوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها جزيئاته نتيجة لحركتها.

ان سرعة جزيء معين تتغير باستمرار نتيجة للتصادم مع الجزيئات الأخرى أو مع جدران الوعاء الذي يحتويها, كما وتختلف قيم سرعة الجزيئات بعضها عن البعض عند اية لحظة من الزمن, وتبعاً لذلك ستختلف طاقتها الحركية. وهذا يعني ان هناك مدى واسعاً جداً لسرع الجزيئات عند اية درجة حرارية. ان توزيع سرع الجزيئات وبالتالي طاقاتها الحركية تتبع توزيعاً معيناً يعرف بتوزيع ماكسويل – بولتزمان. الشكل (1) يوضح هذا النوع من التوزيع.



الشكل (1) تغير عدد الجزيئات مع سرعتها كدالة لدرجة الحرارة

ان الطاقة الحركية للجزيئات تتناسب طردياً مع مربع سرعتها.

يتساوى معدل الطاقة الحركية للجزيئات المختلفة عند درجة الحرارة نفسها, فإذا فرضنا ان m_1 و m_2 تمثلان كتلة جزيئتين من غازين مختلفين, فعند درجة الحرارة نفسها يكون:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث أن v_1^2 و v_2^2 تمثلان متوسط قيم مربع سرع الجزيئتين, وعلية فان:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

عدد افوكادرو Avogadro's Number (N_A)

تحتوي الحجوم المتساوية للغازات جميعها على نفس العدد من الجزيئات, بشرط ان تكون تحت الظروف نفسها من ضغط ودرجة حرارة. وبناء على ما تقدم فان عدد افوكادرو من جزيئات أي غاز تشغل الحجم نفسه تحت الظروف نفسها من ضغط ودرجة حرارة.

وعلى وجه الدقة فان المول الواحد من أي غاز تحت الظروف القياسية من ضغط ودرجة حرارة سوف يشغل الحجم نفسه الذي مقداره 22.4 لتر.

يعد عدد افوكادرو ذا أهمية اساسيه وبخاصة عند التعامل مع الذرات والجزيئات, وغالباً ما يرمز لعدد افوكادرو بـ (N_A). وهذا العدد يعني ان الكتلة الذرية او الجزيئية (الوزن الذري او الجزيئي) من المادة يحتوي على عدد محدد من الذرات او الجزيئات هو عدد افوكادرو. ونورد هنا بعض الأمثلة لتوضيح فكرة عدد افوكادرو والوزن الذري والوزن الجزيئي ومنها: ان الكتلة الذرية للهيدروجين تساوي (1) وهذا يعني ان كيلوغرام واحد من غاز الهيدروجين يحتوي على عدد افوكادرو (N_A) من ذرات الهيدروجين.

وبما ان الكتلة الذرية (الوزن الذري) للاوكسجين تساوي 16, فان هذا يعني 16 كيلوغرام من غاز الاوكسجين يحتوي على افوكادرو من ذرات الاوكسجين والشيء نفسه يقال عن الكتلة الجزيئية (الوزن الجزيئي), فإذا أخذنا الماء (H_2O) فان الكتلة الجزيئية (الوزن الجزيئي) له يساوي 18 . أي ان 18 كيلوغرام من الماء يحتوي على عدد افوكادرو من جزيئات الماء.

ان احسن قيمة تجريبية لعدد افوكادرو هي :

$$N_A = 6.022 \times 10^{26} \text{ particles / Kg.mol}$$

وبما ان الكيلوغرام الواحد يساوي 1000 غرام, فان

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ particles / g.mol}$$

وغالباً ما يستخدم مصطلح المول عوضاً عن الجزيء الغرامي.

قانون الغاز Gas Law

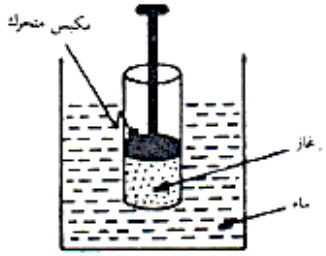
يعد قانون الغاز الذي يحكم سلوك الهواء وكثير من الغازات بسيطاً ويمكن تحقيقه تجريباً. يعتمد قانون الغاز على ثلاثة متغيرات هي الضغط ودرجة الحرارة وعدد الجزيئات في وحدة الحجوم. إن قانون الغاز المثالي ينطوي على قانونين ثانويين وهما:

قانون بويل Boyle's Law

وينص على انه حاصل ضرب ضغط كمية محدودة من غاز في حجمها يجب ان تكون كمية ثابتة في حالة التمدد او الانكماش بشرط ثبوت درجة الحرارة, أي انه:

$$PV = \text{constant}$$ (عند ثبوت درجة الحرارة)

يمكن التحقق من صحة هذا القانون وذلك بوضع كمية محددة من الغاز في اسطوانة ذات مكبس متحرك محاطة بمادة ذات درجة حرارة ثابتة (كحمام الماء مثلاً) وذلك للمحافظة على درجة حرارة ثابتة للغاز. كما الشكل (4).



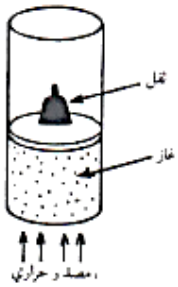
الشكل (4) التحقق من قانون بويل

قانون شارل Charle's Law

وينص على انه ثبوت الضغط فان نسبة حجم كمية من الغاز الى درجة حرارته المطلقة تبقى ثابتة في حالة التسخين او التبريد, أي ان:

$$\frac{V}{T} = \text{cons tan t}$$ (عند ثبوت الضغط)

يمكن التحقق من هذه العلاقة وذلك بوضع كمية محددة من الغاز في اسطوانة ذات مكبس متحرك ووضع ثقل ثابت فوق المكبس. ثم يسخن الغاز لأجل تغيير درجة حرارته كما في الشكل (5).



الشكل (5) التحقق من قانون شارل

ثابت الغاز The Gas Constant (R)

يطلق على القانون الاتي

$$P\,V = (\text{constant})\,T \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

بقانون الغاز المثالي. تمثل P ضغط كمية معينة من الغاز المثالي و V حجم الغاز و T درجة حرارة الغاز المطلقة. وتم تحديد قيمة الكمية الثابتة (constant) تجريباً فوجد بانها مساوية الى (nR), أي ان

$$\text{constant} = n\,R \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

تمثل n عدد الجزيئات الكيلوغرامية أو الغرامية (المولات) من الغاز الموجود في الحجم V, اما R فتمثل ثابت الغاز . ان احسن قيمة تم ايجادها لثابت الغاز مساوية الى:

$R = 8314$ J/Kmol.k

أو

$R = 8.314$ J/mol.k

قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

يمكن الان اعادة كتابة قانون الغاز, كما في الصيغة الآتية:

$$P\,V = n\,R\,T \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

وغالباً ما يطلق على هذا القانون. قانون الغاز المثالي او العام.

هناك عدة نقاط مهمة يجب مراعاتها عند تطبيق هذا القانون واهمها:

1- ان قيمة درجة الحرارة T يجب ان تكون دائماً بالدرجة الكلفنية.

2- استخدام الوحدات المناسبة لمختلف الكميات المستخدمة.

3- ان قيمة R تكون اما

(أ) مساوية الى 8314 في حالة كون (n) تمثل عدد الجزيئات الكيلوغرامية في الحجم V

(ب) مساوية الى 8.314 في حالة كون (n) تمثل عدد الجزيئات الغرامية في الحجم V.

4- يجب ان يكون الحجم الذي تشغله جزيئات الغاز نفسها صغيراً جداً (مهملاً) مقارنة بالحجم الذي يشغله الغاز.

5- يجب ان يكون الغاز بعيدا عن شروط اسالته من ضغط ودرجة حرارة.

ولتحقيق هذا الشرط يجب ان تكون درجة حرارة الغاز عالية لدرجة حرارية تكفي لان يكون عدداً قليلاً جداً من الجزيئات ترتبط ببعضها. وهذا يعني ان تكون الطاقة الحركية الانتقالية لجزيئات الغاز كبيرة بالمقارنة بالطاقة التي تعمل على التصاق الجزيئات مع بعضها. ان عملية التصاق الجزيئات مع بعضها تعني تكاثف الغاز وتحوله الى سائل.

ان مجالات استخدام قانون الغاز المثالي وتطبيقاته واسعة جدا ومفيدة ومن أهمها:

1- استخدام القانون المذكور في تعريف مقياس كلفن لدرجات الحرارة.

2- استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد قيم P او V او T او n اذا كانت جميع الكميات معلومة ما عدا واحدة.

3- استخدام قانون الغاز المثالي لإيجاد قيم P او V او T او n تحت شروط أخرى بشرط ان تكون معلومة تحت شروط معينة.

الواجب اليومي/

غاز مثالي عدده 1 مول. ارسم (أو احسب) قيم الضغط للحجوم التالية: (0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 m^3 (عند درجة حرارة K300 ، ثم عند درجة حرارة K.600 احسب قيمة PV لكل درجة حرارة، ثم اشرح كيف تتغير النظيرة الحرارية مع تغير درجة الحرارة .

ثانيا الواجب الأسبوعي/ السؤال الثاني: ما هي قيمة ثابت الغازات العام (R) بوحدات مختلفة؟ املأ الجدول:

جول / مول · كلفز (J/mol·K)	.....
لتر · ضغط جوي / مول · كلفز (L·atm/mol·K)	.....
كيلو جول / مول · كلفز (kJ/mol·K)	.....
سعرة / مول · كلفز (cal/mol·K)	.....

القانون الثاني في الديناميكية الحرارية
The Second Law in Thermodynamics

بعض العمليات تحصل بشكل تلقائي وقسم منها بشكل غير تلقائي فمثلا يبرد الجسم الساخن تلقائيا ولكن لا يسخن الجسم البارد مطلقا، والغاز يتمدد من المكان المملوء الى الفارغ ولا يحصل العكس. والتفاعلات الكيميائية تسير نحو التوازن ويحصل العكس كذلك، وبشكل عام تسير جميع النظم الى حالة التوازن وان عكس هذه العمليات تحتاج الى قوة خارجية اي يجب ان تنجز شغل.

ولا تعتبر التغيرات في الطاقة الداخلية مؤشر يعول عليه للدلالة على قابلية سير التفاعل اي انها لا تدلنا على موضع الاتزان اي اننا نحتاج الى صيغة او قانون وسناخذ بالقانون الثاني ليعطينا تفسيرا لذلك وللقانون الثاني في الثرموداينمك صيغتان هما:

الصيغة الاولى (كلفن)

من المستحيل اجراء عملية دورية تؤخذ فيها حرارة من مستودع وتحول الى شغل دون نقل حرارة في الوقت نفسه من مستودع ساخن الى مستودع بارد.

فمثلا الآلة البخارية لا يمكن ان تنجز شغلا اذا لم يتوفر الضغط العالي ودرجة الحرارة العالية بالنسبة للوسط المحيط بها.

الصيغة الثانية (كلازيوس)

من المستحيل ان تنتقل حرارة من مستودع بارد الى مستودع ساخن دون ان تحول في نفس الوقت كمية معلومة من شغل الى حرارة. ويمكن توضيح ذلك بعمل الثلاجة الكهربائية.

وعلى هذا الاساس فان محور هذا الفصل سيتضمن دراسة المكائن (المحركات) الحرارية بالاضافة الى اساس عمل الثلاجات (المبردات) الكهربائية.

الماكنة الحرارية Heat Engine

أن الماكنة الحرارية تعمل من خلال تحويل الحرارة إلى شغل من خلال عمليات ثيرموديناميكية، تستمر من خلال دورة متكاملة للنظام (الغاز) ليعود النظام في نهاية الدورة إلى وضعه الابتدائي. وفي كل عملية على هذه الدورة يحدث امتصاص للحرارة أو فقد لها وتكون النتيجة أن النظام يبذل شغل ميكانيكي لتحريك مكبس.

عندما تكون كمية الحرارة التي يمتصها النظام Q_h أكبر من كمية الحرارة التي يفقدها النظام Q_c وان الشغل W يبذل بواسطة النظام على الوسط الخارجي فإن هذه الدورة تعتبر دورة ماكنة حرارية. والماكنة الحرارية تعمل بحيث تعطي باستمرار شغل من خلال تحويل الحرارة إلى شغل ويمكن تعريف الكفاءة

الحرارية (η) لمحرك Thermal Efficiency على أنها الشغل المبذول بواسطة النظام على كمية الحرارة التي امتصها النظام.

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

حيث ان الكفاءة الحرارية كمية خالية من الوحدات اما بقية الكميات فلها نفس الوحدات وهي الجول ونتعامل مع القيمة المطلقة لها. يتضح من المعادلة السابقة أن كفاءة المحرك الحراري تكون 100% عندما تكون كمية الحرارة التي يفقدها النظام Q_c تساوي صفر. وهذا بالطبع لا يمكن أن يحدث من ناحية عملية إذ أن هناك فقد مستمر للحرارة.

تنقسم المحركات إلى نوعين أساسيين هما مكائن الاحتراق الخارجي external-combustion engine ومكائن الاحتراق الداخلي internal combustion engine.

1- ومن امثلة مكائن الاحتراق الخارجي هي ماكنة ستيرلنك والماكنة البخارية.

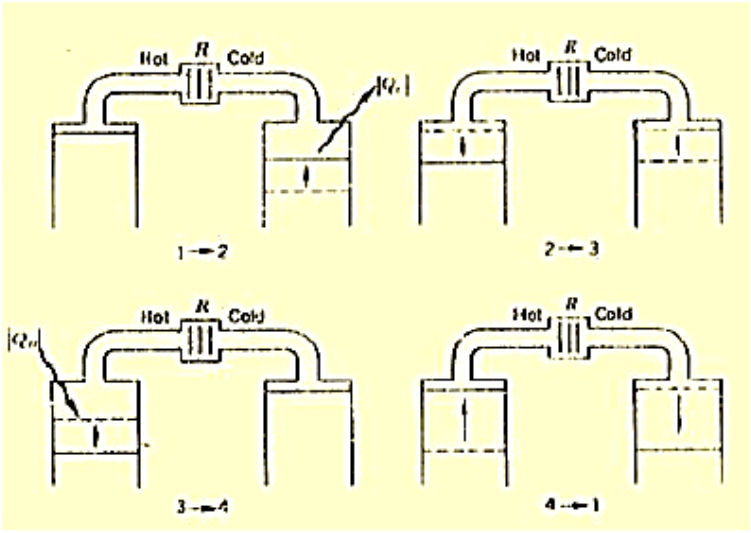
2- اما من امثلة مكائن الاحتراق الداخلي فهي ماكنة البنزين وماكنة الديزل.

وسنقوم بدراسة مثال عن كل نوع وهما ماكنة ستيرلنك وماكنة الجازولين (البنزين).

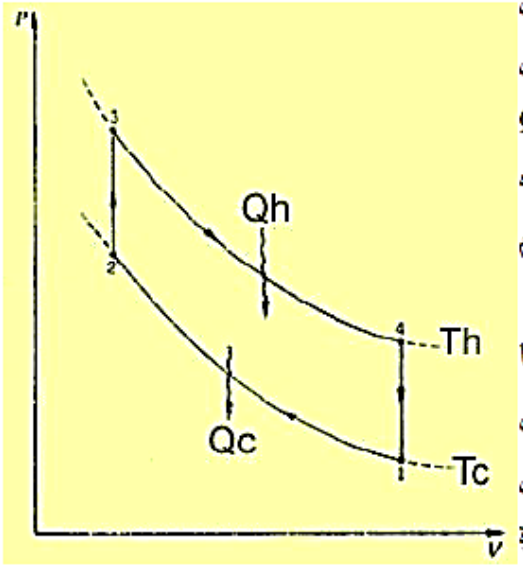
ماكنة ستيرلنك Sterling Engine

في العام 1816 صمم العالم الاسكتلندي روبرت ستيرلينج محرك يقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية، وتم استخدام هذا المحرك في القطارات والسيارات قبل اكتشاف المحركات ذات الاحتراق الداخلي. ويمتاز محرك ستيرلنج بكفاءته العالية وقلة التلوث الذي يخرج من العادم ولكن تكلفة تصنيعه باهظة.

ويتركب هذا المحرك من اسطوانتين cylinder تحتوي كل اسطوانة على مكبس piston متصل بعمود نقل الحركة. توجد الاسطوانة الأولى على اليسار كما في الشكل عند المستودع الحراري الحار والثانية على اليمين عند المستودع الحراري البارد. وتتصل الاسطوانتين من خلال أنبوب يوجد في وسطه مادة عازلة لتفصل بين المنطقة الباردة والحارة تسمى regenerator. ويوجد الغاز (النظام) بين الاسطوانتين ومحصور من خلال المكبسين.



تتكون دورة عمل ماكنة ستيرلنك من خلال اربع مراحل موضحة في الشكل أعلاه وممثلة على منحنى الضغط والحجم PV Diagram.



المرحلة الأولى: عندما يكون المكبس الأيسر ثابت في أعلى مستوى له يتحرك المكبس الأيمن إلى الأعلى إلى منتصف الاسطوانة ضاغطاً الذي يفقد كمية حرارة Q_c إلى المستودع البارد وتكون عملية ضغط الغاز في هذه المرحلة تحت درجة حرارة ثابتة عند T_c. ويقل الحجم ويزداد الضغط.

المرحلة الثانية: يتحرك المكبس الأيسر للأسفل بينما يستمر المكبس الأيمن في الحركة للأعلى وهذا يعني أن حجم الغاز يبقى ثابتاً وينتقل الغاز من الجانب البارد إلى الجانب الحار عبر الـ regenerator، ترتفع درجة حرارة الغاز إلى T_h ويزداد ضغطه مع ثبوت الحجم.

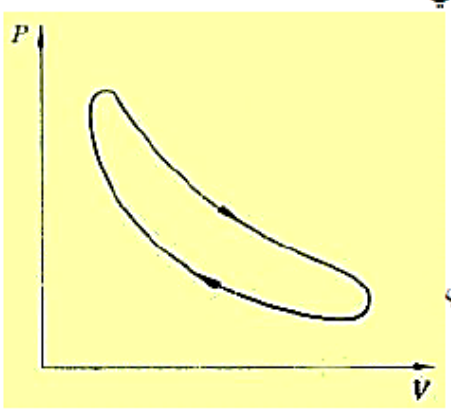
المرحلة الثالثة: يتحرك المكبس الأيسر للأسفل بينما يثبت المكبس الأيمن عند أعلى مستوى له ويمتص الغاز حرارة من المستودع الحار Q_h ويزداد حجمه ويقل ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة عند T_h.

المرحلة الرابعة: يتحرك المكبس الأيسر للأعلى ويتحرك المكبس الأيمن إلى الأسفل وعندها يكون حجم الغاز ثابتاً وينتقل الغاز إلى الاسطوانة على اليمين عند المستودع البارد وتقل درجة حرارته إلى T_c وضغطه ينخفض ويعود الغاز إلى وضعه الابتدائي لتكرار الدورة من جديد.

وبالتالي يمكن تلخيص الدورة السابقة لماكنة ستيرلينك على أن امتصاص الحرارة Q_h عند درجة حرارة T_h وفقدان حرارة Q_c عند درجة حرارة T_c والفرق هو مقدار الشغل الذي بذله الغاز على المحيط الخارجي (المكبس المتصل بعمود نقل الحركة).

$$|W| = |Q_h| - |Q_c|$$

وتجدر الإشارة هنا إلى أن العديد من الافتراضات تم اعتبارها أثناء شرح فكرة عمل دورة ستيرلينك وتمثيلها على منحنى الضغط والحجم ومن هذه الافتراضات ما يلي:



(1) أن الغاز مثالي.

(2) لا يوجد تسرب للغاز من المكبس.

(3) لا يوجد فقد حراري من الاسطوانة إلى الخارج.

(4) لا يوجد احتكاك.

وعليه فإن الشكل الأقرب للواقع لدورة ستيرلنك إذا أخذنا في الاعتبار العوامل السابقة فإنها كما في الشكل المجاور..

نظرية كارنو Carnot Theory

في سنة 1824 قام العالم الفرنسي Sadi Carnot بتصميم دورة لماكنة حرارية مثالية، بحيث انه لا يمكن بأي حال من الأحوال تصميم ماكنة حرارية تعمل بين مستودعين حراريين أن تكون كفاءتها أعلى من كفاءة ماكنة كارنو التي تعمل بين نفس المستودعين الحراريين.

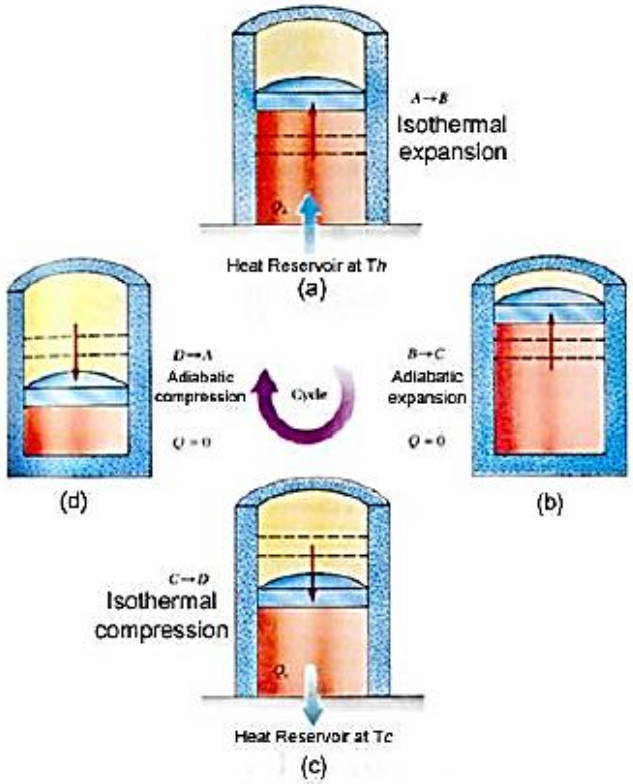
لشرح فكرة عمل ماكنة كارنو سنفترض أن غاز مثالي في مكبس متحرك يعمل بين مستودعين حراريين هما T_c و T_h. نفرض أن كلاً من المكبس وجدار الاسطوانة غير موصلين للحرارة. تتكون دورة ماكنة كارنو من أربعة مراحل منها مرحلتين تحدثان عند ثبوت درجة الحرارة isothermal والأخرتين عند ثبوت كمية الحرارة adiabatic وهذه العمليات هي:

(1) العملية من A الى B هي عملية تمدد ايسوثرمي عند درجة حرارة (T_h).

حيث يكون المكبس متصل حرارياً مع المستودع الحار وهنا يمتص الغاز كمية حرارة Q_h من المستودع الحار ويقوم الغاز ببذل شغل مقداره W_{AB} لرفع المكبس.

(2) العملية من B الى C هي عملية تمدد اديباتيكي.

حيث يتم في هذه المرحلة انتقال المكبس إلى جدار عازل وتكون عملية تمدد الغاز في هذه المرحلة تحت كمية حرارة ثابتة وتنخفض درجة الحرارة من T_h إلى T_c ويبذل الغاز شغل مقداره W_{BC} لرفع المكبس إلى أعلى.



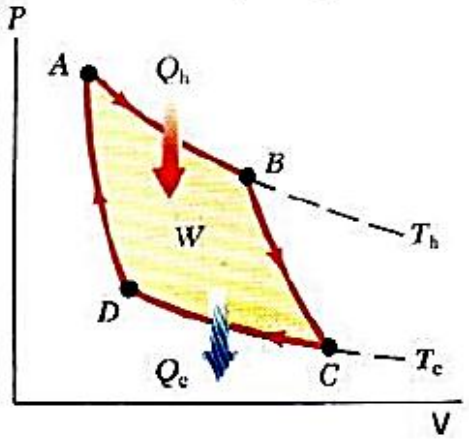
(3) العملية من C الى D هي عملية انضغاط ايسوثيرمي عند درجة حرارة (T_c).

ينتقل المكبس إلى الجدار المتصل بالمستودع البارد عند درجة حرارة T_c والغاز ينضغط تحت درجة حرارة ثابتة T_c حيث يفقد الغاز كمية حرارة Q_c إلى المستودع البارد. وهنا يكون الشغل مبذول على الغاز ومقداره W_{CD}.

(4) العملية من D الى A هي عملية انضغاط اديباتيكي.

وهنا ينتقل المكبس إلى الجدار العازل ليتم ضغط الغاز وترتفع درجة حرارته إلى T_h ويكون الشغل المبذول على الغاز W_{DA}.

يوضح الشكل التالي منحنى تغير الضغط مع الحجم PV diagram لدورة كارنو.



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} اي ان:

$$Q_{\mathrm{h}} = W_{AB} = nRT_{\mathrm{h}} \ln \frac{V_B}{V_A}$$

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

$$Q_{\mathrm{c}} = |W_{CD}| = nRT_{\mathrm{c}} \ln \frac{V_C}{V_D}$$

وبقسمة المعادلتين السابقتين نحصل على:

$$\frac{Q_{\mathrm{c}}}{Q_{\mathrm{h}}} = \frac{T_{\mathrm{c}}}{T_{\mathrm{h}}} \frac{\ln(V_C/V_D)}{\ln(V_B/V_A)}$$

يمكن إثبات أن المقدار $(ln(V_C/V_D)/ln(V_B/V_A))$ يساوي الوحدة اي يساوي واحد من خلال الخطوات التالية:

حيث انه من معادلة الغاز المثالي عند عملية أديباتيكية وكوازي ستاتيكية 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:

$$T_{\mathrm{h}} V_B^{\gamma-1} = T_{\mathrm{c}} V_C^{\gamma-1}$$

$$T_{\mathrm{h}} V_A^{\gamma-1} = T_{\mathrm{c}} V_D^{\gamma-1}$$

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 اعلاه على الصورة التالية:

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

وبذلك تكون كفاءة دورة كارنو هي:

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

نستنتج من ذلك ان:

1- جميع محركات كارنو العاملة بين نفس الدرجتين الحراريتين يكون لهما نفس الكفاءة.

2- من نظرية كارنو فإن كفاءة ماكنة كارنو التي تعمل في دورة ثرموداينميكية بين درجتين حراريتين مختلفتين تكون أكبر من كفاءة أي محرك حقيقي يعمل عند نفس الدرجتين الحراريتين.

مثال (4): محرك بخاري فيه مرجل يعمل عند $(500°K)$ تحول الحرارة فيه الماء إلى بخار، والذي يدفع المكبس. درجة حرارة العادم هي من الهواء الخارجي، حوالي$(300°K)$. (أ) ما هي أعلى كفاءة نظرية لهذا المحرك البخاري؟ (ب) حدد الحد الأقصى للشغل الذي يمكن للمحرك القيام به في كل دورة من العمليات إذا كان يمتص $(200J)$ من الحرارة من الخزان الساخن خلال كل دورة.

الحل: (أ) من كفاءة ماكنة كارنو فان اعلى كفاءة حرارية لاي محرك تعمل عند تلك الدرجتين الحراريتين هي:

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

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{300}{500} = 0.4 = 40\%$$

وهذه تمثل أعلى كفاءة يمكن الحصول عليها في مثل هذه الظروف ولكن بالطبع المحرك الحقيقي ستكون كفاءته أقل من كفاءة محرك كارنو.

ب) ان الشغل يمكن ايجاده باستخدام المعادلة الاتية:

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

The Work is:

$$W = 0.4 \times 200 = 80J$$

الواجب اليومي/ عرّف الماكينة الحرارية، وارسم مخططاً توضيحياً (صندوق أسود) يوضح المكونات الثلاثة الأساسية لها:

1. **المصدر الساخن ..... :(Hot Reservoir) درجة حرارته.($TH T_H$)**

2. **المصدر البارد ..... :(Cold Reservoir) درجة حرارته.(T_C TC)**
3. **المائع العامل ..... :(Working Substance) مثل البخار، أو خليط الوقود)**

ثانيا الواجب الأسبوعي / فسر العبارة التالية: لزيادة كفاءة المحرك، يجب (رفع درجة حرارة المصدر الساخنTH أو (خفض درجة حرارة المصدر البارد.TC

المحاضرة الرابعة عشر

قانون التبريد لنيوتن :

ينص على أن معدل الفقد الحراري لجسم يتناسب طردًا بشكل مباشر مع الفرق في درجات الحرارة بين الجسم ومحيطه .يعدَّل القانون عادةً ليشمل الحالة التي يكون الفرق الحراري فيها صغيرًا وطبيعة آلية انتقال الحرارة تبقى نفسها. القانون بصيغته الأصلية يكافئ القول إن معامل انتقال الحرارة، الذي يتوسط بين الضياعات الحرارية والفروق في درجات الحرارة، ثابت. يتحقق هذا الشرط عمومًا في التوصيل الحراري (حيث يكفله قانون فوريه) إذ أن الموصلية الحرارية لمعظم المواد لا تتعلق إلا قليلًا بدرجة الحرارة، لكنه عادةً يتحقق تقريبيًّا فقط في شروط الانتقال بالحمل الحراري، حيث تجعل بضع عمليات فيزيائية معاملات انتقال الحراري الفعالة متعلقةً إلى حد ما بالفروق في درجات الحرارة. أخيرًا، في حالة انتقال الحرارة بالإشعاع الحراري، يبقى قانون نيوتن صحيحًا فقط في حالة التغيرات الصغيرة نوعًا ما في درجات الحرارة.

لم يصغ السير إسحق نيوتن في الأصل بالصيغة المذكورة أعلاه في عام 1701، حين صاغه في البداية. بل لاحظ نيوتن بعد بعض العمليات الرياضية أن معدل تغير درجة حرارة جسم يتناسب طردًا مع الفرق في درجات الحرارة بين الجسم ومحيطه. هذه الصيغة النهائية الأبسط من القانون التي وضعها نيوتن بنفسه ترجع جزئيًّا للخلط الحادث في عصر نيوتن بين مفهومي الحرارة ودرجة الحرارة، والذي لم ينتهِ حتى وقت متأخر كثيرًا.

عند صياغته بدلالة الفروق في درجة الحرارة، ينتج قانون نيوتن (مع عدة افتراضات تبسيطية أخرى، كانخفاض عدد بيوت وعدم تعلق السعة الحرارية بدرجة الحرارة) معادلةً تفاضليةً بسيطةً لفرق درجة الحرارة كتابع للزمن. لهذه المعادلة حل يحدد معدلًا سالبًا أسيًّا بسيطًا لتناقص الفرق في درجة الحرارة مع الزمن. يرتبط هذا التابع الزمني المميز لسلوك فرق درجة الحرارة أيضًا بقانون نيوتن في التبريد.

العلاقة بآلية التبريد

يدعى التبريد بالحمل أحيانًا «قانون نيوتن في التبريد». يبنى هذا الاستخدام للمصطلح على عمل نشره إسحق نيوتن دون أن ينسبه لنفسه عام 1701 تحت عنوان «مقياس درجة الحرارة. أوصاف ومعايير التسخين – باللاتينية: SCALA GRADUUM CALORIS. CALORUM DESCRIPTIONES & SIGNA في العمليات الفلسفية

في الحالات التي يكون فيها معامل انتقال الحرارة مستقلًا، أو مستقلًا نسبيًّا، عن فرق درجات الحرارة بين الجسم والوسط المحيط، يُتبع قانون نيوتن. قد يكون هذا الاستقلال هو الحالة، لكن هذا أمر غير مضمون. غالبًا ما يكون معامل انتقال الحرارة مستقلًّا عن درجة الحرارة في التبريد بالتوصيل الحراري الصرف، لكنه يصبح تابعًا لدرجة الحرارة في انتقال الحرارة التقليدي الطبيعي بالحمل. في هذه الحالة، لا يقارب قانون نيوتن القيم الحقيقية إلا عندما تكون التغيرات في درجة الحرارة صغيرة نسبيًّا. كان نيوتن نفسه يعي هذه الحدود.

صحح دولونغ وبيتيت قانون نيوتن في عام 1817 تصحيحًا خاصًّا بالفروق الكبيرة في درجات الحرارة. (اشتهر هذان الرجلان أكثر لصياغتهما قانون دولونغ-بيتيت الخاص بالسعة الحرارية المولية لبلورة)

الحالة الأخرى لمعامل انتقال الحرارة المتعلق بدرجة الحرارة هي انتقال الحرارة بالإشعاع، وهي لا تخضع لقانون نيوتن كذلك.

نسخة انتقال الحرارة من القانون

نسخة انتقال الحرارة من قانون نيوتن، التي (كما أشير) تتطلب معامل انتقال حرارة ثابتًا، تنص على أن معدل الفقد الحراري لجسم يتناسب طردًا مع الفرق في درجات الحرارة بين الجسم ومحيطه.

معدل انتقال الحرارة في هذه الظروف مستنتج أدناه:

قانون نيوتن التبريدي في حالة الحمل هو إعادة صياغة للمعادلة التفاضلية المعطاة بقانون فوريه:

$$\frac{dQ}{dt} = -h \cdot A \cdot (T(t) - T_{\text{env}}) = -h \cdot A\Delta T(t),$$

حيث:

Q الطاقة الحرارية

Hمعامل انتقال الحرارة

Aمساحة سطح الانتقال الحراري

Tدرجة حرارة سطح الجسم وداخله

T_{ENV}درجة حرارة الوسط المحيط: أي درجة الحرارة على بعد مناسب عن السطح

$$\Delta T(T)=T(_T)-T_{ENV}$$

يعتمد معامل انتقال الحرارة H على الخواص الفيزيائية للمائع والوضع الفيزيائي الذي يحدث فيه الانتقال بالحمل. لذا، ففي كل نظام يمكن دراسته بافتراض صحة قانون نيوتن، يجب اشتقاق معامل انتقال حرارة وحيد قابل للاستخدام (لا يتغير بشكل ملحوظ في المجال الحراري المستخدم أثناء التبريد والتسخين) أو إيجاده تجريبيًّا.

توجد صيغ وعلاقات في العديد من المراجع لحساب معاملات انتقال الحرارة لطرق التركيب التقليدية والموائع. يكون معامل انتقال الحرارة في الجريانات الصفائحية أقل عادةً منه في الجريانات المضطربة، بسبب امتلاك الجريانات المضطربة طبقة حدية رقيقة أرفع على سطح انتقال الحرارة. على كل، لاحظوا أن قانون نيوتن ينهار عند انتقال الجريان بين جريان مضطرب وجريان صفائحي ، لأن ذلك يغير معامل انتقال الحرارة الذي يفترض ثباته عند حل هذه المعادلة.

الواجب اليومي/ مسائل تطبيقية

كوب قهوة درجة حرارته الابتدائية 90 °C موضوع في غرفة درجة حرارتها 25 .C°بعد 5 دقائق، أصبحت درجة حرارة القهوة 70.C°

ثانيا الواجب الأسبوعي

مبرد (راداياتير) يستخدم لتبريد محرك سيارة. يدخل الماء إلى المبرد عند 95 C°ويخرج عند 85C°، ويمر هواء بدرجة حرارة 30 C°حول المبرد.

المطلوب :كيف يمكن زيادة كفاءة التبريد لهذا المبرد (أي زيادة كمية الحرارة المنقولة من الماء إلى الهواء) باستخدام قانون نيوتن للتبريد؟ اقترح ثلاثة تحسينات عملية، واشرح كل منها فيزيائياً.