

Heat**الحرارة:**

هي نوع من انواع الطاقة، تأثير هذه الطاقة هو رفع أو خفض درجة حرارة الجسم الذي يكتسب أو يفقد هذه الطاقة، أو تؤدي الى تغيير حالة المادة أو بعض من خواصها.

كذلك يمكن القول أن الحرارة هي الطاقة المنتقلة بين جسمين مختلفين بدرجة الحرارة، حيث تنتقل الحرارة أو الطاقة من الجسم الى محيطه أو بالعكس بتأثير فرق درجة الحرارة بين الجسم ومحيطه.

والطاقة الحرارية هي نوع من انواع الطاقة المرتبطة بالحركة العشوائية للجزيئات، وان الطاقة التي تكتسبها المادة تزيد من الطاقة الداخلية لجسيماتها، وتمثل الطاقة الداخلية مجموع الطاقة الكامنة والحركية لجميع جسيمات المادة.

تقاس الحرارة بالسعرة Calorie، وبما انها طاقة فهي تقاس ايضاً بوحدة الطاقة وهي الجول Joule، وتعرف السعرة بانها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء المقطر درجة سليزية واحدة من 14.5°C الى 15.5°C . أما الجول فهو يكافئ شغلا تنجزه قوة مقدارها نيوتن واحد عندما تزيح جسم كتلته 1kg مسافة قدرها 1m بنفس الاتجاه. وان:

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} \approx 4.2 \text{ J}$$

اذن الحرارة الناتجة بأي طريقة تكون مكافئة للشغل المعطى للمجموعة سواء كان ميكانيكياً أو كهربائياً.

Temperature**درجة الحرارة:**

هي مقياس لمعدل الطاقة الحركية للجزيء الواحد في الجسم، وهي الصفة التي تجعلنا نتعرف على كون المادة ساخنة أو باردة.

Principles of Temperature Measurement**اسس قياس درجة الحرارة:**

تعتمد خواص المادة الفيزيائية على درجة الحرارة، وتتغير هذه الخواص مع تغير درجة الحرارة، ومن هذه الخواص: حجم المادة، مقاومة السلك الكهربائية، ضغط الغاز المحفوظ تحت حجم ثابت، حجم الغاز المحفوظ تحت ضغط ثابت، لون سلك التسخين في المصباح الكهربائي، وغيرها. وتم على اساس هذه الخواص بناء المحارير (مقاييس درجة الحرارة) وذلك اعتماداً على الاختيارات التالية:

- 1- اختيار المادة الحرارية المناسبة.
- 2- اختيار الصفة الحرارية المناسبة.
- 3- اختيار المدى المناسب لدرجات الحرارة التي يراد قياسها.
- 4- الافتراض بان الصفة الحرارية المختارة تتغير باستمرار مع درجة الحرارة.

ان العلاقة بين الصفة الحرارية X ودرجة الحرارة T للمحرار او أي جهاز آخر في حالة توازن معه هي:

$$T \propto X \quad \longrightarrow \quad T = a X \dots\dots (1)$$

حيث a كمية ثابتة.

ان المعادلة (1) تشير الى:

- 1- الفروق المتساوية في درجة حرارة المادة ينتج عنها تغيرات متساوية المقدار في قيمة الخاصية الحرارية.
- 2- ان النسبة بين اي درجتين حراريتين تساوي النسبة بين قيمتي الخاصية الحرارية عند تلك الدرجتين. أي أن:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{X_1}{X_2} \dots\dots (2)$$

ان استخدام العلاقات السابقة يحتم علينا ملاحظة ما يلي:

- 1- ان قيم T لمقياس معين يعتمد على مادة معينة وخاصية حرارية معينة، وليس بالضرورة ان تكون متطابقة مع T الناتجة من مقياس آخر يعتمد على مادة اخرى أو خاصية حرارية أخرى.
- 2- إذا حدث تطابق بين قيم T الناتجة من مقياسين مختلفين في مدى معين من درجات الحرارة فإنه ليس من الضروري ان يحدث تطابق في مدى آخر من درجات الحرارة.
- 3- ان العلاقة (2) لا تصح لجميع مديات درجات الحرارة، أي أن قيمة الثابت a ليست نفسها لجميع درجات الحرارة.

ويمكن صياغة العلاقة (2) بشكل آخر، حيث نختار نقطة مناسبة ثابتة بحيث تسجل عندها كافة المحارير نفس القياس لدرجة الحرارة، وقد اتفق ان تكون هذه النقطة الثابتة هي النقطة الثلاثية للماء Triple Point، وهي النقطة التي يتواجد عندها الجليد والماء والبخار في حالة توازن حراري تحت ضغط يعادل 4.58mmHg وهي 273.16K أو 0°C، فإذا فرضنا ان الخاصية الحرارية تأخذ X_0 عند النقطة الثلاثية للماء و X عند أي درجة حرارية أخرى، فإن:

$$\frac{T_{(X)}}{T_{(X_0)}} = \frac{X}{X_0}$$

$$T_{(X_0)} = 273 K \quad \text{لدينا}$$

$$\therefore T_{(X)} = 273 \frac{X}{X_0} \dots\dots (3)$$

ففي المحرار الزئبقي أو الكحولي أو أي محرار سائل تكون X هي طول عمود السائل في الانبوبة الشعرية للمحرار.

$$T_{(L)} = 273 \frac{L}{L_0} (K)$$

وفي المحرار الغازي ذو الحجم الثابت تكون X هي ضغط الغاز

$$T_{(P)} = 273 \frac{P}{P_0} \quad (K)$$

وفي المحرار الغازي ذو الضغط الثابت تكون X هي حجم الغاز

$$T_{(V)} = 273 \frac{V}{V_0} \quad (K)$$

وفي محرار المقاومة البلاتيني تكون X هي مقاومة السلك الكهربائية

$$T_{(R)} = 273 \frac{R}{R_0} \quad (K)$$

وفي محرار المزدوج الحراري تكون X هي القوة الدافعة الكهربائية

$$T_{(\varepsilon)} = 273 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (K)$$

إن درجة الحرارة ليست نفسها لجميع المحارير لذلك لابد من اختيار محرار قياسي وقد اتفق ان تكون المحارير الغازية هي المحارير القياسية.

مثال 1: إذا كان طول عمود الزئبق بالمحرار الزئبقي 8cm عند الدرجة الثلاثية للماء، فكم يكون طوله عندما يسجل المحرار 300K؟

$$T_{(L)} = 273 \times \frac{L}{L_0}$$

$$300 = 273 \times \frac{L}{8}$$

$$\therefore L = 8.79cm$$

مثال 2: إذا كانت قيمة مقاومة محرار المقاومة عند النقطة الثلاثية للماء هي 105.5Ω ، فما هي درجة الحرارة التي تكون عندها قيمة المقاومة 114.5Ω ؟

$$T_{(R)} = 273 \times \frac{R}{R_0}$$

$$T_{(R)} = 273 \times \frac{114.5}{105.5}$$

$$\therefore T_{(R)} = 296 K$$

The Temperature Scales

مقاييس درجة الحرارة:

1- **المقياس السليزي (المئوي) C** : يتم التدريج هنا من صفر الى مئة درجة وذلك بوضع انبوبة شعيرية تحتوي زئبق في خليط من الماء والجليد، وتترك قليلاً حتى يستقر مستوى الزئبق وهذه تمثل درجة الصفر المئوي 0°C ، ثم توضع الانبوبة في ماء يغلي وتترك الى ان يستقر مستوى الزئبق وهذه تمثل درجة 100°C (نقطة غليان الماء)، وتقسم المسافة بين 0°C و 100°C الى 100 جزء متساوي.

2- **المقياس الفهرنهايتي F** : في هذا المقياس درجة انجماد الماء 32°F ودرجة غليان الماء 212°F ، ثم تقسم الانبوبة الى 180 جزء متساوي وذلك بعد اجراء نفس خطوات التجربة الخاصة بالمقياس السليزي.

3- **المقياس الكلفني (المطلق) K** : درجة انجماد الماء هنا 273K ودرجة غليانه 373K ثم تقسم المسافة بينهما الى 100 جزء متساوي.

Conversion of Scales

التحويل من مقياس الى آخر:

1- السليزي والفهرنهايتي:

أ- من المقياس السليزي الى المقياس الفهرنهايتي نستخدم العلاقة التالية:

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

ب- من المقياس الفهرنهايتي الى المقياس السليزي نستخدم العلاقة التالية:

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

2- السليزي والكلفني:

أ- من المقياس السليزي الى المقياس الكلفني نستخدم العلاقة التالية:

$$K = C + 273$$

ب- من المقياس الكلفني الى المقياس السليزي نستخدم العلاقة التالية:

$$C = K - 273$$

3- الكلفني والفهرنهايتي:

أ- من المقياس الكلفني الى المقياس الفهرنهايتي نستخدم العلاقة التالية:

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

ب- من المقياس الفهرنهايتي الى المقياس الكلفني نستخدم العلاقة التالية:

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

مثال : جد درجة الحرارة السيليزية والكلفنية المقابلة لدرجة 77 F.

$$1- C = \frac{5}{9} (F - 32) = \frac{5}{9} (77 - 32)$$

$$C = \frac{5}{9} \times 45 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$2- K = C + 273 = 25 + 273 = 298\text{K}$$

Types of Thermometers

أنواع المحارير:

لأجل قياس درجة الحرارة تم استخدام عدة انواع من المحارير، وكل نوع من هذه المحارير يعتمد على احدى خواص المادة وعلاقتها بدرجة الحرارة، وكما في الجدول التالي:

| اسم المحرار | نوع الخاصية المستخدمة |
|--------------------------------|----------------------------|
| المحرار الزئبقي | طول عمود الزئبق L |
| محرار المزدوج الحراري | القوة الدافعة الكهربائية E |
| المحرار الغازي ذو الحجم الثابت | ضغط الغاز P |
| المحرار الغازي ذو الضغط الثابت | حجم الغاز V |
| محرار المقاومة الكهربائية | المقاومة الكهربائية R |

راجع الكتاب للتعرف على كل نوع من انواع المحارير بشكل تفصيلي (مطلوب في الامتحانات).

Effect of Temperature Changes

تأثير تغير درجة الحرارة على حالات المادة:

تتحرك ذرات وجزيئات المادة حركة اهتزازية حول مواضع استقرارها في جميع مديات درجات الحرارة طالما كانت اعلى من الصفر المطلق.

ان تزويد المادة بالحرارة تعني اكتساب ذراتها وجزيئاتها طاقة مضافة تزيد من سعة تذبذبها حول مواضع استقرارها. قد تكون كمية الطاقة المضافة كبيرة بحيث تؤدي الى تغير حالة المادة، أو قد تكون أقل مما تسبب تمددها (أي زيادة معدل المسافة الفاصلة بين ذرة واخرى) وهذا يؤدي الى تمدد الجسم ككل.

Expansion of Solids

تمدد الاجسام الصلبة:

Linear Expansion (α)

1- التمدد الطولي:

وهو التغير الذي يحصل في بعد واحد من ابعاد المادة الصلبة كالتطول أو العرض أو الارتفاع، وقد وجد بالتجربة ان الزيادة بالتطول ΔL الناتجة عن زيادة درجة الحرارة بمقدار ΔT تتناسب طردياً مع الطول الاصلي L_0 ومع التغير في درجة الحرارة ΔT ، أي ان:

$$\Delta L \propto L_0 \Delta T \quad \Longrightarrow \quad \Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (4)$$

حيث α كمية ثابت تسمى معامل التمدد الطولي، ويعرف بأنه الزيادة في طول المادة لوحة الاطوال نتيجة لتغير درجة حرارة المادة بمقدار درجة حرارية واحدة.

ويمكن اعادة كتابة العلاقة (4) بالصيغة التالية:

$$\alpha = \frac{\Delta L / L_0}{\Delta T}$$

وأن

$$\Delta L = L_T - L_0$$

حيث L_T هو الطول الجديد، وبذلك تصبح العلاقة (4)

$$L_T - L_0 = \alpha L_0 \Delta T \quad \Longrightarrow \quad L_T = L_0 + \alpha L_0 \Delta T$$

$$\therefore L_T = L_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (5)$$

وان وحدة معامل التمدد الطولي α هي مقلوب درجة الحرارة. أي $\frac{1}{^\circ C}$ أو $\frac{1}{K}$ أو $\frac{1}{F}$.

وهناك جداول خاصة لقيم α لعدد من المواد، وقد وجد تقارب قيم α للحديد والكونكريت، وهذا يفسر استخدامهما معاً في الانشاءات.

مثال : قطعة من الحديد طولها 5m تتغير درجة حرارتها من $30^\circ C$ الى $50^\circ C$ ، جد مقدار التغير بالطول إذا علمت ان $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ C$.

$$\Delta T = 50 - 30 = 20^\circ C$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = 12 \times 10^{-6} \times 5 \times 20 = 12 \times 10^{-4} m$$

$$\text{Or } \Delta L = 1.2mm$$

ان هذه الاستطالة تظهر كأنها غير ذات اهمية إلا ان هذا التصور غير صحيح لان الاستطالة في قطعة الحديد تحتاج الى قوة هائلة تقدر بالأطنان.

Surface Expansion (β)

2- التمدد السطحي:

يعرف معامل التمدد السطحي β بأنه مقدار الزيادة في المساحة لوحدة المساحة عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة، وله نفس وحدات معامل التمدد الطولي (مقلوب درجة الحرارة).

$$\beta = \frac{\Delta A / A_0}{\Delta T}$$

ومنها نحصل على:

$$A_T = A_0 (1 + \beta \Delta T) \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

حيث A_0 هي المساحة الاصلية و A_T هي المساحة الجديدة (بعد تغير درجة الحرارة)

وقد وجد أن $\beta = 2 \alpha$ (واجب)

Volume Expansion (γ)

3- التمدد الحجمي:

يعرف معامل التمدد الحجمي γ بأنه مقدار الزيادة الحاصلة في الحجم لوحدة الحجم عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة، وله نفس وحدات معامل التمدد الطولي (مقلوب درجة الحرارة).

$$\gamma = \frac{\Delta V / V_0}{\Delta T}$$

ومنها نحصل على:

$$V_T = V_0 (1 + \gamma \Delta T) \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

حيث V_0 هو الحجم الاصيل و V_T هو الحجم الجديد (بعد تغير درجة الحرارة)

وقد وجد أن $\gamma = 3 \alpha$ (واجب)

Differential Expansion

4- التمدد التفاضلي:

هو اختلاف تمدد جسمين متساويين في الطول عند رفع (أو خفض) درجة حرارتهما بنفس المقدار (وذلك لاختلاف قيم α لكل منهما)، حيث إن α للنحاس مثلاً أكثر منها للحديد، لذلك سيتمدد النحاس أكثر من الحديد عند التسخين، أما عند التبريد فإن النحاس يتقلص أكثر.

وللتمدد التفاضلي تطبيقات صناعية واسعة في صناعة المنظمات الحرارية لأجهزة التبريد والتسخين.



Expansion of Liquids (ψ)**تمدد السوائل:**

تتميز السوائل بان لها حجم ثابت وشكل متغير، وعليه فإن التمدد المهم هنا هو التمدد الحجمي. ان معامل التمدد الحجمي للسائل ψ يساوي:

$$\psi = \frac{\Delta V/V_0}{\Delta T} \dots \dots (8)$$

ووحده مقلوب درجة الحرارة أيضاً.

ان قيمة ψ لا تتأثر كثيراً بتغير درجة الحرارة، ويزداد حجم السوائل بصورة عامة إذا ارتفعت درجة حرارتها، ويشذ بعض السوائل عن هذه القاعدة ومنها الماء الذي يقل حجمه (ينكمش) إذا ارتفعت درجة حرارته من 0°C الى 4°C . وبعد هذه الدرجة الحرارية فإن الماء يسلك سلوكاً طبيعياً كبقية السوائل الأخرى.

ولشذوذ الماء أهمية كبيرة في الطبيعة للحفاظ على الأحياء المائية، فعندما تنخفض درجة الحرارة تتجمد سطوح البحيرات والأنهار بينما يبقى الماء سائلاً بدرجة 4°C مما يحافظ على حياة الكائنات وهذا سر من أسرار الله تعالى.

Expansion of Gases (ϕ)**تمدد الغازات:**

يتميز الغاز بتأثره الشديد بتغير درجة الحرارة والضغط وذلك لاختلاف طبيعة الغاز عن المواد الصلبة والسائلة.

يكون معامل التمدد الحجمي للغازات ثابت تقريباً ويساوي $36.6 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ لغاز الهيدروجين ويزيد قليلاً لباقي الغازات. ان معامل التمدد الحجمي للغازات ϕ يساوي:

$$\phi = \frac{\Delta V/V_0}{\Delta T}$$

حيث V_0 هو حجم الغاز في درجة الصفر المئوي وهذا مهم جداً لأن ϕ كبير جداً، وإذا كان V_1 و V_2 تمثلان حجم الغاز عند درجتى حرارة T_1 و T_2 فلا يجوز تطبيق المعادلة:

$$V_2 = V_1 [1 + \phi (T_1 - T_2)]$$

بل يجب الإشارة الى قيم V_1 و V_2 نسبة الى الحجم V_0 عند 0°C وكما يلي:

$$V_2 = V_0 (1 + \phi T_2)$$

$$V_1 = V_0 (1 + \phi T_1)$$

ومنها:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1 + \phi T_2}{1 + \phi T_1} \dots \dots (9)$$

وقد وجد عملياً ان ρ يكافئ $\frac{1}{273}$ تقريباً وهو ما يعرف بقانون چارلس الذي ينص على ان: حجم كتلة معينة من غاز محفوظ تحت ضغط ثابت يزداد بنسبة تعادل $\frac{1}{273}$ من حجمه عند درجة حرارة 0°C لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها درجة حرارية واحدة.

وهذا يشير الى حجم الغاز يصبح صفراً عند درجة (-273°C) ، إلا ان جميع الغازات تتحول الى سوائل قبل الوصول الى درجة الصفر المطلق (-273°C) لذلك لا يصح تطبيق قانون چارلس عند درجات الحرارة الموائمة.

آليات انتقال الحرارة:

Mechanism of Heat Transfer

تنتقل الحرارة بإحدى الطرق التالية:

أولاً: طريقة التوصيل

Conduction Method

لو اخذنا قضيب معدني ووضعنا احد طرفيه على قطعة ثلج وطرفه الآخر على مصدر حراري، فإن الحرارة سوف تنتقل من الطرف الساخن الى الطرف البارد، وستكتسب جزيئات المادة في الطرف الساخن طاقة حرارية عالية فتزداد سعة اهتزازها (يزداد تذبذبها)، ونتيجة لاصطدام هذه الجزيئات بالجزيئات المجاورة لها والتي لها اقل سعة اهتزازية تكتسب الاخيرة طاقة اهتزازية وتزداد سعة اهتزازها، وهكذا تنتقل الحرارة خلال القضيب المعدني بواسطة التصادمات الجزيئية وتسمى هذه الطريقة بالتوصيل، وهو يعتمد على وجود الاختلاف في درجة الحرارة وعلى عدم حصول الاتزان الحراري.

ان معدل انسياب الحرارة خلال القضيب المعدني يعتمد على عدة عوامل رئيسية هي:

- 1- الفرق بين درجتي حرارة نهايتي القضيب المعدني ΔT . $\Delta Q \propto \Delta T$
- 2- طول القضيب المعدني X . $\Delta Q \propto \frac{1}{X}$
- 3- مساحة المقطع العرضي A . $\Delta Q \propto A$
- 4- الزمن t (بشرط عدم حصول اتزان حراري). $\Delta Q \propto t$

أي أن:

$$\Delta Q \propto \frac{\Delta T A t}{X}$$

$$\Delta Q = -k \frac{T_2 - T_1}{X} A t \quad (10) \quad \text{وتسمى قانون فورير}$$

حيث k كمية ثابتة تسمى بمعامل التوصيل الحراري أو الموصلية الحرارية Thermal Conductivity. ان قيمة k كبيرة للمواد جيدة التوصيل وصغيرة للمواد رديئة التوصيل الحراري، وقد وجد أيضاً أن المواد جيدة التوصيل الكهربائي تكون كذلك موصلات حرارية جيدة، وذلك نتيجة وجود الالكترونات الحرة.

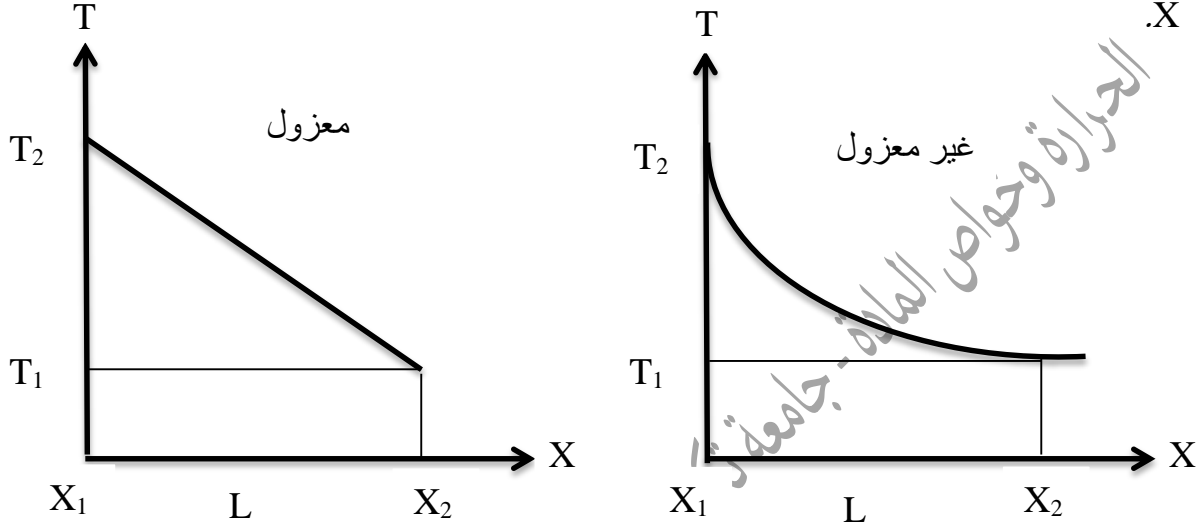
وأن وحدة k هي:

$$\frac{cal}{^{\circ}C.cm.sec} \quad \text{or} \quad \frac{Joule}{^{\circ}C.m.sec} \quad \text{or} \quad \frac{watt}{^{\circ}C.m}$$

Temperature Gradient

تدرج درجة الحرارة:

ويعرف بأنه مقدار تغير درجة الحرارة مع المسافة على طول القضيب المعدني في أي نقطة وعند أي فترة زمنية، ويرمز له $\frac{dT}{dX}$ ، وهو عبارة عن ميل الخط البياني المرسوم بين T و X.



المعزول: يعني عدم حدوث تسريب حراري من جدران القضيب.

Heat Current (H)

التيار الحراري:

ويعرف بأنه كمية الحرارة المنتقلة خلال المقطع العرضي A خلال الفترة الزمنية dt.

$$H = \frac{dQ}{dt} = -k A \frac{\Delta T}{\Delta X} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (11)$$

يلاحظ ان H تتناسب طردياً مع تدرج درجة الحرارة ومع مساحة المقطع. وان وحدة التيار الحراري هي $\frac{cal}{sec}$ أو $\frac{Joule}{sec}$ أو watt. وتدل الإشارة السالبة في العلاقتين (10 , 11) ان انسياب الحرارة يكون باتجاه درجة الحرارة الأقل.

مثال: قضيب من النحاس معزول حرارياً عن محيطه ماعدا نهايتيه، طوله 10cm ومساحة مقطعه $1cm^2$ ، يصل بين سخان حراري درجة حرارته $100^{\circ}C$ وجليد بدرجة $0^{\circ}C$. جد:

(a) انحدار درجة الحرارة.

(b) التيار الحراري.

(c) درجة الحرارة النهائية لنقطة تبعد 2cm عن طرف القضيب الموصل بالسخان.

$$k = 0.92 \frac{cal}{^{\circ}C.cm.sec}$$

$$a) \frac{dT}{dX} = - \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) = - \left(\frac{100 - 0}{10} \right) = - 10^\circ\text{C/cm}$$

وهذا يدل على ان درجة الحرارة تنخفض بمعدل 10 درجات سليزية لكل 1 سم.

$$b) H = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} = - 0.92 \times 1 \times (-10) = 9.2 \frac{\text{cal}}{\text{sec}}$$

c)

بما ان درجة حرارة الطرف الموصل بالسخان 100°C ، وبما ان درجة الحرارة تنخفض بمعدل 10°C/cm فهي تنخفض 20°C على بعد 2cm، وبهذا تكون درجة حرارة النقطة 80°C .

Convection Method

ثانياً: طريقة الحمل الحراري

الحمل هو طريقة نقل الحرارة من مكان لآخر خلال الموائع (السوائل والغازات) وذلك بحركة جزيئات الوسط نفسها، ومن امثلة ذلك تدفئة الغرفة أو جهاز تسخين الماء (الغيزر)، حيث يمتص المائع كمية من الحرارة من جهة من جهاته فينتقل الجزء الساخن بتأثير الاختلاف في الكثافة الى جهة اخرى ليمتزج مع جزء آخر من المائع ويعطيه من الحرارة التي امتصها. ان حركة المادة من المناطق ذات الدرجة الحرارية العالية الى المناطق التي درجة حرارتها واطنة تولد تياراً يسمى بتيار الحمل الحراري وهو كمية الحرارة المكتسبة او المفقودة من قبل السطح الملامس للمائع خلال وحدة الزمن، ويعرف تيار الحمل الحراري بالحمل الطبيعي إذا كان ناتج عن تغير الكثافة، وبالحمل الاضطرابي إذا كان ناتج عن تأثير مروحة أو مضخة.

ولا توجد معادلة واضحة للحمل كما في التوصيل، وذلك لصعوبة النظرية الرياضية له والنتيجة عن كون الحرارة التي يمتصها أو يفقدها سطح مائع في درجة حرارة معينة تعتمد على عدة عوامل، منها:

- 1- كون السطح مستوياً أو مكوراً، افقياً أو عمودياً.
- 2- كون المائع سائل أو غاز.
- 3- كثافة المائع ولزوجته وقابلية توصيله الحراري، وغير ذلك.

ان الطريقة المتبعة لدراسة الحمل الحراري هي بواسطة المعادلة:

$$H = h A \Delta T \longrightarrow h = \frac{H}{A \Delta T} \quad (12)$$

حيث H هي تيار الحمل، أي كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة بطريقة الحمل.

A مساحة السطح.

ΔT الفرق في درجة الحرارة بين السطح وباقي اجزاء المائع.

h معامل الحمل.

وتدل التجارب على ان h ليس كمية ثابتة ويعتمد على ΔT .

يشكل الحمل الحراري طريقة فعالة لنقل الحرارة في محيط الارض، فتيارات الحمل الحراري ترتفع عند خط الاستواء وتهبط عند القطبين، وهي في دورتها هذه تتأثر بدوران

الارض وبقوى الاحتكاك مما يؤدي الى تفككها الى مناطق ذات ضغط عالي وواطئ، وهذا ما يلعب دوراً رئيسياً في تحديد مناخ الكرة الارضية.

Radiation Method

ثالثاً: طريقة الإشعاع

الإشعاع هو الانبعاث المتواصل للطاقة من سطوح الاجسام المختلفة، وهذه الطاقة تنتقل من محل لآخر دون الحاجة الى وسط مادي، كانتقال أشعة الشمس الى الارض بطريقة الاشعاع عبر الفراغ.

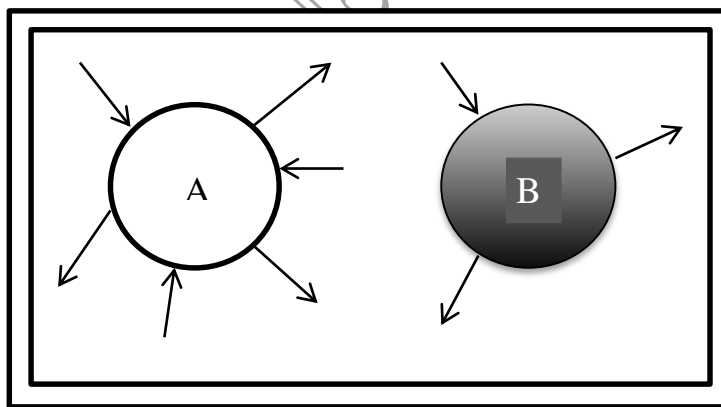
ان الإشعاع الحراري عبارة عن طاقة كهرومغناطيسية تنبعث من الأجسام الساخنة وتنتقل بسرعة الضوء ($3 \times 10^8 \text{m/sec}$) فمنها ما ينعكس عن الجسم الذي يعترضها ومنها ما يمتصه الجسم ويتحول الى حرارة. وقد أدت هذه الظاهرة الى دفع العالم بلانك Planck الى وضع الأسس الأولى للفيزياء الكمية التي ربطت بين المفهوم المادي والموجي للإشعاع.

نفترض ان هناك جسمين A و B موضوعين في فرن حراري معزول ومفرغ من الهواء، بعد فترة زمنية يستتود هذا النظام حالة من التوازن الحراري حيث تتساوى درجة الحرارة لـ A و B. الجسم A يستلم كمية من الحرارة عن طريق الإشعاع، فيعكس جزء منها r ويمتص الباقي a بحيث ان $a + r = 1$.

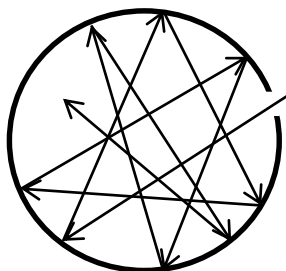
الكمية r تمثل النسبة الجزء المعكوس الى الجزء الساقط من الإشعاع.

الكمية a تمثل النسبة الجزء الممتص الى الجزء الساقط من الإشعاع.

وبما أن الجسم A في حالة توازن حراري لذلك يجب أن يشع نفس الجزء من الإشعاع الذي يمتصه. أي أن قابلية الجسم الإشعاعية e تساوي قابليته الامتصاصية في حالة التوازن، أي أن $e = a$. وتعتمد كل من a و e على طبيعة الجسم وعلى طول الموجة الساقطة.



أما الجسم B فقد ظهر وكأنه يمتص جميع الطاقة الساقطة عليه ثم يعيد إشعاعها كلياً في حالة التوازن الحراري، أي أن $e_B = 1$ ، ويسمى الجسم الذي يمتص جميع الإشعاع الساقط عليه بالجسم الأسود Black Body، وأن الجسم الأسود مشع جيد للحرارة كما هو ماص جيد لها.



ويمثل الجسم الأسود بفجوة معزولة حرارياً ذات فتحة صغيرة بحيث ان الإشعاع الذي يدخلها يعاني انعكاسات متتالية على السطح الداخلي، بحيث تصبح الفرص لخروجه من الفتحة ضئيلة جداً كما في الشكل المجاور.

إن كمية الإشعاع R المنبعثة من وحدة المساحات من الجسم الاسود في الثانية الواحدة

هي:

$$R = \sigma T^4 \quad (13)$$

حيث T درجة الحرارة الكفنية.

$$\sigma \text{ كمية ثابتة قيمتها } 5.567 \times 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2.\text{sec.k}^4} \text{ أو } 5.567 \times 10^{-8} \frac{\text{J}}{\text{m}^2.\text{sec.k}^4}$$

وتسمى العلاقة (13) بقانون ستيفان – بولتزمان، ويمكن كتابتها لأي جسم عدا الجسم الأسود إشعاعيته e كما يلي:

$$R = e \sigma T^4 \quad (14)$$

أما كمية الحرارة ΔQ المنبعثة من الجسم الساخن إلى الاجسام الأخرى الأقل درجة حرارة فيمكن كتابتها كما في الشكل التالي:

$$\Delta Q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) t \quad (15)$$

وهذه تمثل قانون ستيفان.

مثال: كرة صلبة سوداء نصف قطرها 2m ودرجة حرارتها 120°C ، وضعت بغرفة مفرغة من الهواء درجة حرارتها 100°C . بأي معدل يجب ان تزود الكرة بالطاقة الحرارية لكي تحافظ على درجة حرارتها؟

تشع الكرة كمية من الطاقة وفق العلاقة $R_1 = \sigma T_1^4$ لأنها تنصرف كجسم أسود وهي بنفس الوقت تستلم كمية من الإشعاع الساقط عليها من جدران الغرفة $R_2 = \sigma T_2^4$ وبما أن درجة حرارتها أعلى لذلك هي ستفقد جزء من طاقتها لتصبح في حالة توازن حراري مع الغرفة، وعليه يجب تزويدها بالطاقة بمعدل ثابت (الفرق بين طاقتها الحرارية وطاقة الغرفة الحرارية) كي تحافظ على حرارتها وقدرها $R_1 A - R_2 A$.

$$T_1 = 120 + 273 = 393 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$w_1 = A R_1 = A \sigma T_1^4$$

$$T_2 = 100 + 273 = 373 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$w_2 = A R_2 = A \sigma T_2^4$$

$$A = 4\pi r^2 = 4\pi (2)^2 = 16\pi \text{ m}^2 \quad \text{مساحة سطح الكرة}$$

$$w_1 - w_2 = A \sigma T_1^4 - A \sigma T_2^4 = A \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$$w_1 - w_2 = 16\pi \times 5.567 \times 10^{-8} \times (393^4 - 373^4)$$

$$w_1 - w_2 = 12586 \text{ J/sec} = 12586 \text{ watt}$$

وبصورة عامة فإن قانون ستيفان – بولتزمان لمثل هذه الحالة هو:

$$w = \Delta Q/t = A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

درجات الحرارة الواطئة:

Low Temperatures

يسمى العلم الذي يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للمواد في درجات الحرارة الواطئة بعلم الزمهرير. وتشمل درجات الحرارة الواطئة الاقل من 100K أي (-173°C). يتم الحصول على درجات الحرارة الواطئة بسحب جزء او كل الطاقة الداخلية للمادة المراد خفض درجة حرارتها. ففي الثلجات والمكيفات يتم استخدام الضغط، حيث تكبس الغازات مثل الفريون والامونيا بمكبس، فيؤدي الى رفع درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة المحيط ثم يتم تبريدها الى درجة حرارة المحيط.

بما أن الغازات تحت تأثير ضغط لذا فإنها تتحول الى سائل ثم يسمح لهذا السائل أن يتمدد ويتبخر فترتفع درجة حرارته مما يؤدي الى سحب الحرارة من المنطقة المحيطة به (الثلجة) مؤدياً الى خفض حرارتها، ثم يعاد الغاز الى المكبس ثانية لإكمال الدورة. وهنا يقوم الغاز بنقل الحرارة من الجزء المراد تبريده الى المحيط الخارجي. وطريقة تحويل الغاز الى سائل من الطرق المستخدمة بشكل واسع للحصول على درجات الحرارة المنخفضة، وتشترك هذه الطرق بما يلي:

1- خفض درجة حرارة الغاز المراد تسييله.

2- زيادة ضغط الغاز المسلط عليه.

يجب تبريد الغاز المراد تسييله الى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرارية الحرجة، والتي تعرف بأنها الدرجة الحرارية التي لا يمكن تسييل الغاز فوقها مهما بلغ الضغط المسلط عليه. كما يعرف الضغط الحرج بأنه أقل قيمة للضغط اللازم لتسليطه على الغاز المراد تسييله عند درجة حرارته الحرجة. كلما ازداد انخفاض درجة حرارة الغاز عن الدرجة الحرجة سهل تسييله وقلت قيمة الضغط اللازم لذلك.

طريقة جعل السائل يغلي دون تزويده بالحرارة:

يتم ذلك بخفض الضغط المسلط عليه مما يؤدي الى خفض درجة حرارة غليانه فيبدأ بالغليان، فيعمل على سحب الحرارة من السائل نفسه فتتخفض درجة حرارته، وبذلك نحصل على درجة حرارة اقل من درجة غليان السائل تحت الضغط الجوي الاعتيادي.

إن مقدار الانخفاض في درجة الحرارة الذي يمكن الحصول عليه بهذه الطريقة يعتمد على قيمة الضغط المنخفض الذي يمكن تحقيقه وكذلك نوع سائل الغاز الذي يتم تبريده.

إن أكثر الغازات المستخدمة للحصول على درجات الحرارة الواطئة هما غازي N_2 , He لأن استخدام H_2 , O_2 يؤدي إلى مخاطر بسبب قابليتهما على الاشتعال.