

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

لا تصح بل يجب ان يشار إلى ان القيم V_1 و V_2 نسبة إلى الحجم V_0 عند درجة حرارة 0°C ، وكما يأتي:

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

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

بقسمة المعادلة الأولى على الثانية نحصل:

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

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 حجمه عند درجة حرارة 0°C لكل زيادة في درجة حرارته مقدارها درجة حرارية واحدة. ان هذا القانون يعني ان حجم الغاز سيصبح صفرأ عند درجة حرارة -273°C . إلا ان جميع الغازات تتحول إلى الحالة السائلة لها قبل الوصول إلى درجة حرارة -273°C (أي درجة حرارة الصفر المطلق). وهذا يعني ان **قانون جارلس لا يصح تطبيقه عند درجات الحرارة الواطئة.**

مثال (٦) : كرة من النحاس حجمها $V_0=0.2\text{m}^3$ في درجة الحرارة صفر مئوية، احسب **حجمها الجديد** عندما نرفع درجة حرارتها بمقدار 10°C ، علماً ان معامل التمدد الحجمي للنحاس $5 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
الحل:

$$V = V_0(1 + \gamma \Delta T)$$

$$V = 0.2(1 + 5 \times 10^{-5}(10 - 0))$$

$$V = 0.2001\text{m}^3$$

مثال (٧) : اذا كان معامل التمدد الطولي للفولاذ $1.27 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. احسب **معامل التمدد الحجمي للفولاذ.**

الحل:

$$\gamma = 3\alpha$$

$$\gamma = 3 \times 1.27 \times 10^{-5}$$

$$\gamma = 3.81 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

مثال (٨): برهن على ان معامل التمدد الحجمي يساوي ثلاثة امثال معامل التمدد الطولي $\gamma=3\alpha$.

الحل: نفرض مكعب معدني طول ضلعه L_0 وحجمه V_0 ، اي ان

$$V_0=L_0^3$$

اذا ارتفعت درجة حرارة المكعب بمقدار ΔT فانها تؤدي الى تغير الطول بمقدار ΔL

$$\Delta L=L-L_0$$

اذ يمثل L الطول بعد الاستطالة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة ويعطى بالعلاقة الاتية

$$L=L_0(1+\alpha \Delta T) \quad (1)$$

على فرض بان المادة متجانسة فان الحجم سوف يتغير من V_0 الى V عندما تتغير درجة الحرارة بمقدار ΔT اي ان الحجم الجديد

$$V=L^3$$

يمكن كتابة المعادلة (1) بالشكل الاتي

$$L^3=L_0^3(1+\alpha\Delta T)^3$$

$$L^3=L_0^3(1+3\alpha\Delta T+3\alpha^2\Delta T^2+\alpha^3\Delta T^3)$$

قيم $\alpha^2\Delta T^2$ و $\alpha^3\Delta T^3$ تكون صغيرة جداً بالمقارنة مع $\alpha\Delta T$ وعليه يمكن اهمالها لتصبح المعادلة

$$V=L_0^3(1+3\alpha \Delta T) \quad (2)$$

$$V=L_0^3(1+\gamma \Delta T) \quad (3)$$

ومن مقارنة المعادلة (3) مع المعادلة (2) نحصل على

$$\gamma=3\alpha$$

اليات انتقال الحرارة: Mechanism of Heat Transfer

تنتقل الحرارة تلقائياً من الأجسام ذات درجات الحرارة **المرتفعة** إلى الأجسام ذات درجات الحرارة **الأقل**. ويستمر الانتقال حتى تحدث عملية اتزان حراري بين الجسمين ، اي تكون درجة الحرارة للجسم الاول هي نفسها درجة الحرارة للجسم الثاني. ونفس الشيء يقع بين جسم الإنسان ومحيطه. وعندما نريد ضبط درجة حرارة المحيط لتحقيق راحة الإنسان، يجب أن يكون هناك نوع من التبادل الحراري، **كالتسخين** حين يكون الجو بارداً في فصل الشتاء أو **التبريد** حين يكون الجو حاراً في فصل الصيف. تتم **عملية انتقال الحرارة بطريقة** او اكثر إما **١. بالتوصيل أو ٢. الحمل أو ٣. الإشعاع** ، ويمكن أن تنتقل الحرارة بمجموع هذه الطرق في نفس الوقت.

١. التوصيل الحراري: Thermal Conductivity

وهو انتقال الحرارة من جُزءٍ إلى آخر داخل المادة، أو انتقال الحرارة من مادة إلى أخرى عندما يكونا متماستان مباشرة. يسمح التوصيل الحراري بانتقال الحرارة عبر المواد الصلبة، فعندما نسخن مثلاً ساق حديدي من جهة، فالحرارة تنتقل بفعل التوصيل الحراري إلى الجهة الأخرى الباردة. وآلية التوصيل الحراري عبر المواد الصلبة عملية معقدة وهي تختلف من مادة إلى أخرى.

آلية الانتقال الحراري بالتوصيل :

التوصيل الحراري يحدث على المستوى الذري للمادة، فإكتساب مادة لحرارة يعمل على تحفيز الذرات والجزيئات بداخلها فتنتشر، وينتج عن الانتشار تحريك **للطاقة الداخلية** فيها والتي هي مجموع الطاقة الكامنة والطاقة الحركية، فيحدث الانتقال الحراري الذي له عدة صور هي:

١. التصادم: إكتساب الذرات لحرارة يعمل على زيادة ذبذبتها وتحررها في مواقعها مما يسبب تصادمها مع جاراتها من الذرات الأخرى.

٢. تحرر الإلكترونات: تعمل الحرارة أيضاً على إكساب الإلكترونات لطاقة تحررها من مداراتها داخل الذرة، فتتحرك حاملة معها جزء من الطاقة، وتقوم بإعطائها لذرة مجاورة.

٣. تدفق الفونونات: أنّ إكتساب الذرات لطاقة يعمل على اهتزاز الذرات محدثة طاقة تسمى (بطاقة الفونون)، وتكون أقل من الطاقة المحمولة بالإلكترونات للمادة.

أنواع المواد بالنسبة للقدرة على التوصيل :

تصنف المواد في الطبيعة من حيث قدرتها على توصيل الحرارة إلى ثلاثة أنواع :

الفلزات: مثل الحديد والألمنيوم والنحاس وهي جيدة التوصيل للحرارة.

المواد شبه الموصلة: مثل السيليكون والكربون، هذه المواد موصلة للحرارة بكفاءة أقل من الفلزات وتحسن قدرتها على التوصيل مع ارتفاع درجة حرارتها.

المواد العازلة: مثل الخشب والطابوق وهي مواد تعتبر رديئة التوصيل للحرارة، ولا يمكن القول بأنّها لا توصل الحرارة نهائياً.

خواص عمليات التوصيل الحراري:

١. يحدث التوصيل في جميع أشكال المادة (الصلبة والسائلة والغازية والبلازما) .

٢. عملية التوصيل الحراري عملية ليست منتظمة.

٣. الغازات عادة قليلة الموصلية ولكن موصليتها تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. الاتصال

الحراري بين سطحين مختلفين، لا يمكن أن تصل إلى 100%.

قانون فورييه للانتقال الحراري ينص: على أن معدل التدفق الحراري مع الزمن عبر سطح مادة ما يتناسب مع التدرج الحراري ومع مساحة السطح القائم الذي يعبره، ويتم حساب التدفق بالمعادلة

$$\Delta Q = K_L t A (T_1 - T_2) / L$$

إذ إن K_L ثابت الموصلية الحرارية للمادة، والتي هي عبارة عن كمية الحرارة المتدفقة بالثانية الواحدة عند اختلاف درجة حرارة الجسم درجة حرارية مطلقة واحدة، وهي مقدار ثابت لكل نوع من أنواع المواد.

T_1 درجة الحرارة عند النقطة (١).

T_2 درجة الحرارة عند النقطة (٢).

A المساحة لسطح التبادل.

L المسافة بين نقطة (١) ونقطة (٢).

t الفترة الزمنية التي ينتقل خلالها من نقطة (١) إلى نقطة (٢).

٢. الحمل الحراري: Thermal Convection

وهو أساس انتقال الحرارة في الأجسام المائعة (السوائل والغازات)، حيث تطفو الأجزاء الساخنة والتي تقل كثافتها والأجزاء الباردة تحل محلها وينتج عن هذه العملية تبادل حراري يُسمى **الحمل الحراري**. عندما نسخن الماء على النار، تتكون داخل الإناء تيارات الحمل فتصعد جزيئات الماء الساخنة الأقل في الكثافة إلى الأعلى ويحل محلها جزيئات الماء الباردة الأكبر في الكثافة، وهذا النوع من الحمل يسمى **الحمل الحر**. والذي يعتمد على الاختلاف في الكثافة، أما النوع الثاني من الحمل فيسمى **الحمل القسري** وهو يتم بواسطة حمل الجزيئات على الحركة بواسطة قسر الجزيئات على الحركة بواسطة مؤثر خارجي مثل مروحة أو مضخة تفرغ. وتعطى كمية الحرارة ΔQ المنتقلة من السطح الصلب إلى السائل خلال فترة زمنية Δt بـ

$$\Delta Q = h_c \cdot A \cdot \Delta T \cdot \Delta t$$

حيث A مساحة السطح ، ΔT الفرق بين درجة حرارة السطح ودرجة حرارة المائع h_c ، معامل الحمل الحراري.



هناك تيارات حمل بدون حرارة منها:

١. **حمل الجاذبية أو الطفو**: أحد أشكال الحمل الطبيعي ويعتمد في مبدأ عمله على خاصية الطفو للمائع نتيجة اختلاف الكثافة في المواد وليس الحرارة. فمثلاً في المحيطات فان أحد أسباب رطوبة الجو هو **الاختلاف في تركيز ماء الوسط عن تركيز الماء في الجو** فينتقل الماء إلى الجو لا بسبب الحرارة ولكن بسبب اختلاف التركيز، سميت **بالجاذبية** لحدوثها ضمن الغلاف الجوي وتحت تأثير الجاذبية الأرضية.

٢. **الحمل التابع للخواص المغناطيسية - الحرارية**: التطبيقات على هذا النوع تجمع بين خواص نقل الحرارة باستخدام القوة المغناطيسية وعلم الديناميكا للموائع. من المعروف ان تعريض سائل ممغنط إلى مجال مغناطيسي يعمل على إنشاء مجال مغناطيسي داخل هذا المائع وذلك عن طريق كسر الروابط المتوازنة وإحداث حركة غير منتظمة في جزيئات المائع.

٣. **الحمل في الخاصية الشعرية**: وهي التي تصف حركة سائل داخل أنبوب ضيق لأعلى باتجاه يعاكس قوة الجاذبية، معتمداً على قوة الشد والالتصاق بين سطح الأنبوب والسائل.

٣. الإشعاع الحراري: **Thermal Radiation**

ان آلية عمل الإشعاع الحراري عند ارتفاع درجة حرارة المادة هي تحرر الذرات والجزيئات في المادة، فتتحرك وتصطدم ببعضها، فان حركتها تحدث **إشعاعاً كهربومغناطيسياً**، يسير بخطوط مستقيمة ويحمل جزء من طاقة الذرة مبتعداً بها عنها، والإشعاع عملية مستمرة لفقد الطاقة من سطح الجسم، ويحدث على جميع الأجسام، وفي حال اصطدام الأشعة بجسم فإن الجسم يمتص جزء منها وتتحول داخله إلى حرارة. وقدرة الجسم على امتصاص الإشعاع تعرف بـ **(عامل الامتصاص)**.

من خصائص الطاقة الحرارية المنقولة بالإشعاع هي ان موجات الإشعاع الحراري تنتقل في الفراغ **بسرعة الضوء**، بالتالي تعتبر أسرع طريقة في الانتقال الحراري مقارنة مع التوصيل والحمل الحراري. الإشعاع الحراري يسير في خطوط مستقيمة. لا يمكن لجسم أن يمتص كامل الطاقة الإشعاعية أي بكفاءة تصل إلى 100%، إذ أن جزء من الحرارة يمتص والآخر ينعكس وإذا كان الجسم شفافاً فإن جزء من الأشعة يخترق الجسم ويخرج. من الممكن استغلال الإشعاع الحراري في إنتاج كل من **الحرارة والطاقة**، وليس كما في الحرارة الناتجة عن التوصيل أو الحمل الحراري.

تخضع الأشعة الحرارية لنفس القوانين التي تخضع لها الأشعة الضوئية :

١. قانون التربيع العكسي في موجات الضوء
٢. قوانين الاستقطاب
٣. قوانين الحيود
٤. قوانين التداخل

اهم التطبيقات العملية على الانتقال الحراري بالإشعاع :

١. **الطاقة الشمسية على الأرض:** ومن التطبيقات العملية التي استخدمها الإنسان لزيادة الاستفادة من الطاقة الشمسية هي الخلايا الشمسية التي تعمل على امتصاص الطاقة الإشعاعية للشمس، وتحويلها إلى طاقة حرارية أو كهربائية.

٢. **البيوت البلاستيكية المستخدمة في الزراعة:** والتي يمكن وصف آلية عملها برفع درجة الحرارة داخل البيت البلاستيكي مقارنة مع الوسط الخارجي.

العوامل المؤثرة على درجتي الانجماد والغليان:

العوامل المؤثرة على درجة الانجماد:

هو تحوّل المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة، حيث يتجمّد الماء ويتحوّل إلى جليد عندما تصل درجة حرارته إلى درجة التجمد صفر درجة مئوية، وهي نفسها درجة الحرارة التي يحدث عندها انصهار الجليد .

العوامل المؤثرة على درجة تجمّد الماء يمكن خفض درجة تجمّد الماء عند :

١- إضافة مادة قابلة للذوبان إلى الماء

مما يقلّل من القوى التي تربط بين جزيئاته، ويؤدي إلى خفض درجة تجمده، كما يحدث عند إضافة الملح إلى الشوارع في الشتاء لمنع تجمّد الماء عند انخفاض درجة الحرارة.

٢- تغيير الضّغط

عند تعرّض الماء لضغط مرتفع تقل القوى التي تربط بين جزيئاته، فتتخفّف درجة تجمده، أما عند تعرّض بخار الماء لضغط منخفض فإنه يتجمّد دون أن يمر بحالة السيولة.

العوامل المؤثرة على درجة الغليان

يوجد العديد من العوامل المؤثرة على درجة غليان السائل، والتي من الممكن أن تزيد تلك الدرجة أو تقللها، ومن أبرز تلك العوامل ما يأتي:

١- الضّغط:

إذ تقل درجة الغليان مع انخفاض قيمة الضغط المحيط بالسائل.

٢- الروابط بين الجزيئات:

إذ تزداد درجة الغليان مع زيادة قوة الروابط بين الجزيئات.

٣- إضافة مذيب إلى السائل أو المحلول:

إذ تزداد درجة الغليان عند إضافة مادة مذابة إلى السائل.