انتقال الحراري

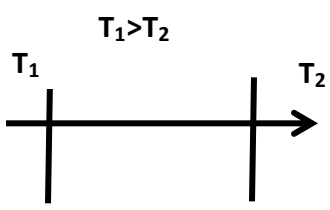
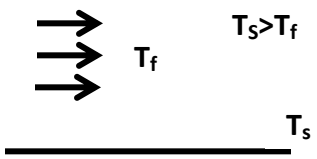
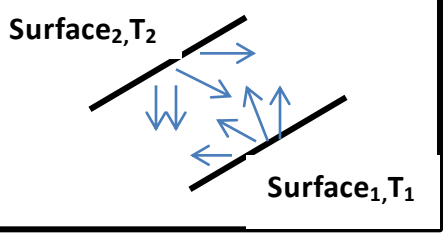
Heat transform

المقدمة: تعرفنا من دراستنا السابقة ان الطاقة يمكن ان تنتقل نتيجة التفاعل المتبادل بين النظام والمحيط الخارجي وان هذا التفاعل يكون على شكل حرارة او شغل وفي هذا الجزء سنتعرف على كيفية او طرق انتقال الحرارة وكيف ممكن حساب معدل انتقال الحرارة . ان انتقال الحرارة يحدث كنتيجة للفرق في درجات الحرارة, فأينما يظهر فرق في درجات الحرارة في وسط (medium) ما او بين وسطين يجب أن يكون هنالك انتقال للحرارة.

وبالتالي هنالك ثلاث طرق لانتقال الحرارة وهي:

- انتقال الحرارة بالتوصيل
- انتقال الحرارة بالحمل
- انتقال الحرارة بالإشعاع

الشكل (1) يشير الى الانواع المختلفة من عمليات انتقال الحرارة حيث نستعمل تعبير التوصيل *(conduction)* للتعبير عن انتقال الحرارة الذي سوف يظهر عبر الوسط عند وجود تدرج في درجات الحرارة وبالمقابل يشير الحمل *(convection)* الى انتقال الحرارة بين سطح ومائع متحرك عندما يكونان عند درجتي حرارة مختلفتين .اما الطريقة الثالثة فتدعى الاشعاع الحراري *(thermal radiation)* حيث تبعث جميع السطوح ذات درجات الحرارة المحددة طاقة على شكل موجات كهرومغناطيسية.

التوصيل خلال جسم صلب او مائع	الحمل من سطح الى مائع متحرك	تبادل حراري بالإشعاع بين سطحين
		

1 - ***انتقال الحرارة بالتوصيل:*** ***Conduction***

يسمى انتقال الطاقة الحرارية خلال الاوساط الصلبة او مائع غير متحرك عنما يكون هنالك فرق في درجات الحرارة في الوسط اي يوجد تدرج حراري بالتوصيل الحراري حيث تنتقل الطاقة الحرارية من الجزء الساخن الاكبر درجة حرارة الى الجزء البارد الاقل درجة حرارة .ان ميكانيكية انتقال الحرارة هو الحركة الاهتزازية لجسيمات(ذرات او جزيئات) المادة الصلبة تمثل معظم الطاقة الحرارية في المادة الصلبة اي انها تدعم هذا النوع من انتقال الحرارة, حيث تكون جسيمات الجزء الساخن تكون ذات سعة اهتزازية اكبر من جسيمات الجسم البارد بحيث ان الجسيمات ذات الطاقة الاقل تكتسب طاقة نتيجة تصادمها بجسيمات الاكثر طاقة وببطيء تزداد سعة الجزيئات الاهتزازية بالتدريج . على سبيل المثال اذا امسكت بطرف قضيب معدني طويل وعرضت الطرف الاخر الى لهب موقد , ستجد أن درجة حرارة الطرف الذي تمسكه في يدك سرعان ما يرتفع . ولتفسير ذلك يمكن القول انه قبل وضع طرف القضيب على اللهب كانت الجسيمات الميكروسكوبية من جزيئات وذرات والكترونات تتذبذب حول موضع اتزانها , وبعد وضعه على اللهب فان الجسيمات القريبة من اللهب تسخن وتزداد سعة ذبذبتها مما يؤدي الى تصادمها مع الجسيمات القريبة منها فينتقل جزء من طاقتها الى هذه الجسيمات وبالتدريج تزداد سعة تذبذب الجسيمات الاخرى الى ان تنتقل الطاقة الى الطرف الاخر من القضيب هذه الزيادة في سعة التذبذب تعني زيادة في درجة الحرارة.

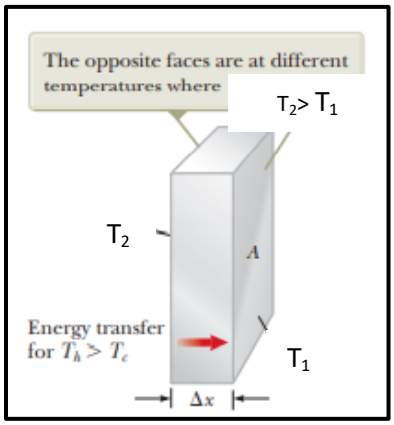
ان معدل التوصيل الحراري يعتمد على نوع المادة اي خواص المادة ففي الفلزات او المعادن مثل النحاس جيدة التوصيل الحراري حيث التوصيل يكون بسبب اهتزاز الجزيئات وكذلك نتيجة الحركة الانتقالية للإلكترونات الحرة وبصورة عامة فأن الموصلات الكهربائية الجيدة تكون موصلات حرارية جيدة لان الكترونات الحرة تتحرك بحرية تامة حاملة معها طاقة حرارية الى اجزاء المعدن المختلفة اما المواد الاخرى مثل الخشب الفلين فهي رديئة التوصيل للحرارة . اما في حالة الموائع حيث تختلف عن المادة الصلبة بكبر المسافات البينية الجزيئية وتكون حركة الجزيئات اكثر عشوائية مما يؤدي الى قلة فعالية انتقال الطاقة الحرارية فتكون الموصلية الحرارية للغازات والسوائل بصورة عامة اصغر مما للصلب حيث تنتقل الطاقة الحرارية نتيجة تصادم الجزيئات بسبب حركتها الانتقالية العشوائية وبالتالي ممكن القول ان انتقال الحرارة بالتوصيل في الموائع على انها انتشار طاقة (*diffusion*) , ان معدل انتقال الحرارة بالتوصيل خلال وسط معين بالإضافة على اعتماده على نوع المادة يعتمد ايضا على الشكل الهندسي لذلك الوسط

(سمكه) Δx وكذلك فرق درجات الحرارة عبر ذلك الوسط ΔT نحن ندرك ان عملية وضع صوف زجاجي كعازل حول خزان ماء ساخن يقلل من معدل انتقال الحرارة من ذلك الخزان , وكلما كان ذلك العازل سميكا كلما كان معدل فقدان الحرارة اقل , كما ان الخزان يفقد حرارة بمعدل اعلى كلما انخفضت درجة حرارة الغرفة التي يوضع بها الخزان.

2 – التدرج الحراري ***Temperature gradient***

كما ذكرنا سابقا ان التوصيل الحراري يحدث عندما يكون فرق في درجة الحرارة بين جزئين في الوسط الموصل وبالتالي يعرف التدرج الحراري على انه تغير درجة الحرارة مع تغير المسافة على طول الوسط اي مع تغير الموقع على طول الوسط dT/dx .

1 - نفرض لوح من مادة ما سمكه Δx ومساحة مقطعه A .احد وجهي اللوح عند درجة حرارة T_1 والوجه الاخر عند درجة حرارة T_2 بحيث $T_2 > T_1$ كما في الشكل (2)



الشكل : (2)

عمليا أن الطاقة Q المنتقلة خلال فترة زمنية Δt تنتقل من الوجه الساخن الى الوجه البارد. لقد استنتج العالم الفرنسي فورير ان معدل انتقال الحرارة $\frac{Q}{\Delta t}$ خلال لوح او سطح مستوي يتناسب طرديا مع مساحة السطح العمودية على خط انتقال الطاقة وفرق درجتي الحرارة $\Delta T = T_2 - T_1$ ويتناسب عكسيا مع السمك Δx

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

وسوف نستخدم الرمز q للتعبير عن معدل انتقال الطاقة الحرارية اي ان $q = \frac{Q}{\Delta t}$ ووحداتها هي watt (W) وذلك عندما تكون وحدات Q هي الجول والزمن Δt بالثواني ولشريحة متناهية في الصغر dx وفرق درجات الحرارة dt فان معادلة التوصيل الحراري تكتب بالشكل التالي .

$$q = -kA\frac{dT}{dx} \text{------ (1)}$$

حيث ان معدل انتقال الحرارة(q) باتجاه محور x يتناسب مع التدرج في درجة الحرارة dT/dx وثابت التناسب هو k هو خاصية انتقالية (*transport property*) وتعرف بالموصلية الحرارية (*thermal conductivity*) وهي صفة لمادة اي مقياس لمقدرة المادة للتوصيل الحراري, وحدة k هي W/m.K

$$\because \quad \frac{dT}{dx} = \frac{T_1 - T_2}{dx}$$

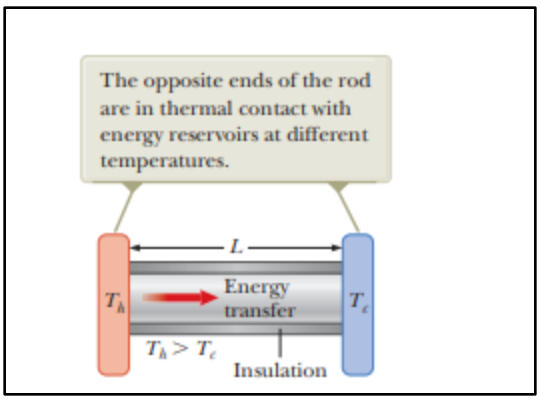
$$\therefore q = -kA\frac{T_1 - T_2}{dx}$$

وتعود الاشارة السالبة الى حقيقة ان الحرارة تنتقل في اتجاه الاقل , وبترتيب المعادلة يكتب قانون التوصيل الحراري المسمى بقانون فورير للتوصيل الحراري:

$$q = kA\frac{T_2 - T_1}{dx} = kA\frac{\Delta T}{dx} \text{------ (2)}$$

2 – نفرض ان قضيب طويل منتظم طوله L معزول حراريا بحيث لا تتسرب الحرارة من سطحه ماعدا عند اطرافه كما في الشكل (3) احد اطرافه متصل حراريا بمستودع للطاقة عند درجة حرارة T_l والطرف الاخر متصل حراريا مع مستودع عند درجة حرارة T_h بحيث $T_h > T_l$. عندما يصل القضيب الى حالة استقرار حراري تصبح كل نقطة على سطحه درجة حرارتها ثابتة مع الزمن .في هذه الحالة اذا اعتبرنا ان k ليست دالة لدرجة الحرارة. سنجد ان الانحدار الحراري واحد على طول القضيب ويساوي

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_l - T_h}{L} - - - -(3)$$



الشكل (3)

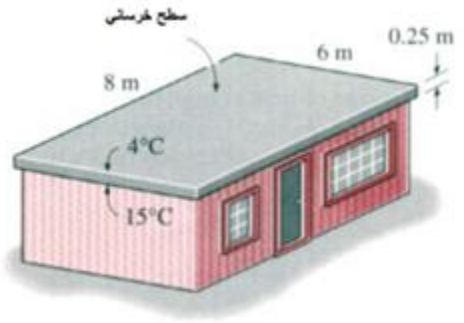
وبالتالي فأن معدل انتقال الطاقة بالتوصيل خلال القضيب هو

$$q = kA\frac{T_h - T_l}{L} - - - (4)$$

المواد جيدة التوصل للحرارة لها قيم عالية للتوصيلة الحرارية ,بينما المواد جيدة العزل لها توصيلة حرارية منخفض القيمة . الجدول يعطي قيما لمعامل التوصيلة الحرارية للعديد من المواد , يلاحظ ان الفلزات موصلات حرارية افضل من اللافلزات

المـــــادة	معامل التوصل الحراري W/m˚C	المـــــادة	معامل التوصل الحراري W/m˚C
ألمونيوم	238	جليد	2
نحاس	397	كاوتشوك	0.2
ذهب	314	ماء	0.6
حديد	79.5	خشب	0.08
رصاص	34.7	**غازات (20˚C)**	–
فضة	427	هواء	0.0234
لافلزات	–	هيليوم	0.138
اسبستوس	0.08	هيدروجين	0.172
خرسانة	0.8	نتروجين	0.0234
الزجاج	0.8	أكسجين	0.0238

مثال : سقف منزل طوله 8m وعرضه 6m وسمكه 0.25m كما في الشكل مصنوع من الخرسانة التي لها معامل انتقال الحرارة بالتوصيل قدره 0.8W/ m. K . اذا كانت درجات الحرارة في احدى ليالي الشتاء للسطح الداخلي للسقف 15°C وللسطح الخارجي 4 °C . احسب معدل فقدان الحرارة خلال ذلك السقف في تلك الليلة.



$$q = \frac{k\,A(T_2 - T_1)}{\Delta x}$$

$$A = W \times H$$

$$A = 6m \times 8m = 48m^2$$

$$q = \frac{0.8\ {}^{W}/_{m.K} \cdot 48m^2(15-4)K}{0.25m}$$

=1690W

واجب (1) : حائط ارتفاعة 3m وعرضه 5m وسمكه 0.3m له معامل انتقال الحرارة بالتوصيل k يساوي 0.9W/m.K ,كانت درجات الحرارة للسطح الداخلي للحائط 16°Cوللسطح الخارجي للحائط 2°C . احسب فقدان الحرارة خلال ذلك الحائط

واجب 2 : جدار فرن صناعي بني من طابوق طين ناري سمكه 0.15m . وموصليته الحرارية 1.7W/mK . القياسات التي اجريت خلال ظروف اشتغال عند حالة الاستقرار أظهرت درجتي حرارة

1400K و1150K عند السطحين الداخلي والخارجي على التوالي . ما هو معدل فقدان الحرارة خلال جدار ابعاده الجانبية (العرض 3m والطول 0.5m).

واجب 3 : معدل انتقال حرارة قدرها 3kW انتقل بالتوصيل خلال مقطع مادة عازلة مساحة مقطعها العرضي $10m^2$ وسمكها 2.5 cm . فاذا كانت درجة حرارة السطح الداخلي (الساخن) 415°C والموصلية الحرارية للمادة 0.2W/m.K . فما هي درجة حرارة السطح الخارجي .

واجب 4 : جدار كونكريتي مساحته السطحية $30m^2$ وسمكه 0.3m . يفصل هواء الغرفة الدافيء عن هواء المحيط البارد . كان السطح الداخلي للجدار عند درجة 25 °C والسطح الخارجي عند 15°C-والموصلية للكونكريت 1W/.m.K. ما مقدار فقدان الحرارة خلال الجدار؟

واجب 5 : وجد معدل انتقال الحرارة خلال لوحة خشبية . سمكها 50mm ودرجتي حرارتها السطحية الداخلية والخارجية هي 40°C و 20°C على التوالي يساوي 40 W فما مقدار الموصلية الحرارية.

واجب 6 :درجتا الحرارة السطحية الداخلية والخارجية لزجاجة شباك سمكها 5mm هما 15°C و 5°C على التوالي ما مقدار فقدان الحرارة خلال الشباك اذا كانت ابعاده 3m x 1m ؟ علما ان الموصلية الحرارية للزجاج تساوي $1.4W/m^2.k$.

2– *انتقال الحرارة بالحمل:* ***Convection***

ان انتقال الحرارة بالحمل يظهر بين مائع في حالة حركة والسطح المحيط به عندما يكون الاثنان عند درجتي حرارة مختلفتين ,تشتمل طريقة انتقال الحرارة بالحمل على ميكانيكيتين فبالإضافة الى انتقال الطاقة الحرارية نتيجة حركة الجزيئات العشوائية وهذا ما يسمى بالانتشار (اي حركة انتقالية من مكان الى اخر عكس طريقة التوصيل الحراري الذي يحدث خلال المادة الصلبة والذي لا يحدث فيه انتقال بل فقط اهتزاز الجزيئات وتصادمها مع الجزيئات الاخرى وهكذا تنتقل الطاقة) اما الميكانيكية الثانية فهي انتقال الطاقة بسبب حركة المائع الظاهرية اي حركة اعداد كبيرة من الجزيئات معا بشكل مجاميع مثل هذه الحركة ومع وجود انحدار حراري او تدرج في درجة الحرارة سوف تعطي دفع لعملية انتقال الطاقة وكون الجزيئات في هذه المجاميع تحتفظ بحركتها العشوائية اذا سيكون مجموع الحرارة المنتقلة هو نتيجة لاتحاد انتقال الطاقة بواسطة الحركة العشوائية للجزيئات والظاهرية للمائع . ويمكن تصنيف انتقال الحرارة بالحمل تبعا لطبيعة الجريان فعندما تكون الحركة ناتجة عن فرق الكثافة يسمى الحمل في هذه الحالة الحمل الطبيعي , ومن امثلة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي تدفئة الغرف في الشتاء فعند تشغيل المدفئة تمتص جزيئات الهواء القريبة طاقة حرارية من سطح المدفأة فيتمدد الهواء فتقل كثافته ويرتفع الى الاعلى ويتحرك الهواء البارد الاكثر

كثافة الى الاسفل وكذلك انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي الذي يظهر من رصيف ساخن الى الجو المحيط به في يوم جو ساكن. اما اذا تحركت الكتلة الساخنة بفعل قوة ما مثل مروحة او مضخة كما في انظمة التدفئة يسمى الحمل القسري .

3 - انتقال الحرارة بالإشعاع *Radiation*

عند دراستنا لانتقال الحرارة بالتوصيل والحمل لاحظنا بأن ذلك الانتقال يحتاج الى وجود تدرج في درجة الحرارة في وسط مادي . وبالمقابل فأن انتقال الحرارة بالإشعاع الحراري لا يحتاج الى وجود اي وسط مادي . وهي عملية مهمة جدا وتعتبر من الناحية الفيزيائية اهم طرق انتقال الحرارة . اذا ما هو الاشعاع الاشعاع ؟هو الطاقة المنبعثة من المادة عندما تكون في درجة حرارة محددة وان ميكانيكية الانبعاث ترتبط بالطاقة التي تتحرر بسبب تذبذب او انتقال الالكترونات العديدة التي تحتويها المادة وهذه التذبذبات ترتبط بالطاقة الداخليةومن ثم بدرجة الحرارة .ان معدل اشعاع الطاقة من سطح حقيقي يتناسب مع درجة حرارته المطلقة مرفوعة للاس الرابع وهذا ما يسمى بقانون ستيفان

$$q = \sigma A e T^4 \text{-----(1)}$$

حيث q هي القدرة وتقاس بالواط التي يشعها الجسم , σ ثابت ستيفان بولتزمان ويساوي 5.67×10^{-8} $W/m^2.K^4$ و A المساحة السطحية للجسم بالامتار المربعة وe الانبعاثية *emissivity* وتشير هذه الخاصية الى مدى كفاءة بعث السطح مقارنة بسطح المشع المثالي و T درجة حرارة السطح بالكلفن . مقدار e تتغير قيمته من صفر الى واحد ويعتمد على نوع سطح الجسم المشع. تعتمد القابلية الاشعاعية او الامتصاصية على طبيعة السطح والطول الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة عندما يكون جسم في حالة اتزان مع الوسط فأنه يشع ويمتص طاقة بنفس المعدل ومن ثم تبقى درجة الحرارة ثابتة . عندما يكون الجسم اكثر حرارة من الوسط المحيط فأنه يشع طاقة اكثر مما يمتص وتهبط درجة حرارته . والسطح الماص المثالي هو السطح او الجسم الذي يمتص كل الطاقة الساقطة عليه ومقدار e تساوي 1 مثل هذا السطح او الجسم يسمى الجسم الاسود والجسم الماص المثالي هو ايضا مشع مثالي وتصبح المعادلة (1)

$$q = \sigma A T^4 \text{-----(3)}$$

على العكس فأن الجسم الذي له e تساوي صفر لا يمتص اي طاقة ساقطة عليه ,مثل هذا الجسم يعكس كل الطاقة الساقطة عليه ويسمى عاكسا مثاليا.

تقدر الطاقة المصاحبة للإشعاعات الكهرومغناطيسية القادمة عموديا من الشمس بمقدار 1340 J لكل متر مربع فوق سطح الارض لكل ثانية اي $1340\ W/m^2$ ان الجزء الوسط من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يمتد من (0.1-100) μm) تقريبا ويضم جزء من الاشعة فوق البنفسجية وجميع الاشعة المرئية وتحت الحمراء فيطلق عليه بالإشعاع الحراري *(Thermal radiation)* وان الاشعاع الحراري المنبعث من السطح يحتوي على مدى من الاطوال الموجية وان مقدار الاشعاع اي شدته تتغير مع الطول الموجي .كما ان الاجسام تشع طاقة بالمعدل الذي تعطيه معادلة (1) فهي ايضا تمتص الاشعاعات الكهرومغناطيسية . واذا لم تحدث هذه العملية فان الجسم سيفقد كل طاقته ويصل الى الصفر المطلق . الطاقة التي يمتصها الجسم تأتي من الوسط المحيط والذي يحتوي على اجسام اخرى مشعة . فاذا كانت درجة حرارة الجسم هي T والوسط المحيط T_0 عندئذ سيكون مقدار الطاقة المكتسبة او المفقودة في كل ثانية بواسطة الجسم عن طريق الاشعاع اي المعدل الصافي

$$q = \sigma A e(T^4 - T_0^4)\text{-----(2)}$$

ان وحدة الطول الموجي الشائعة هي μm حيث ($1\ \mu m = 10^{-6} m = 10^4 Angstroms$)