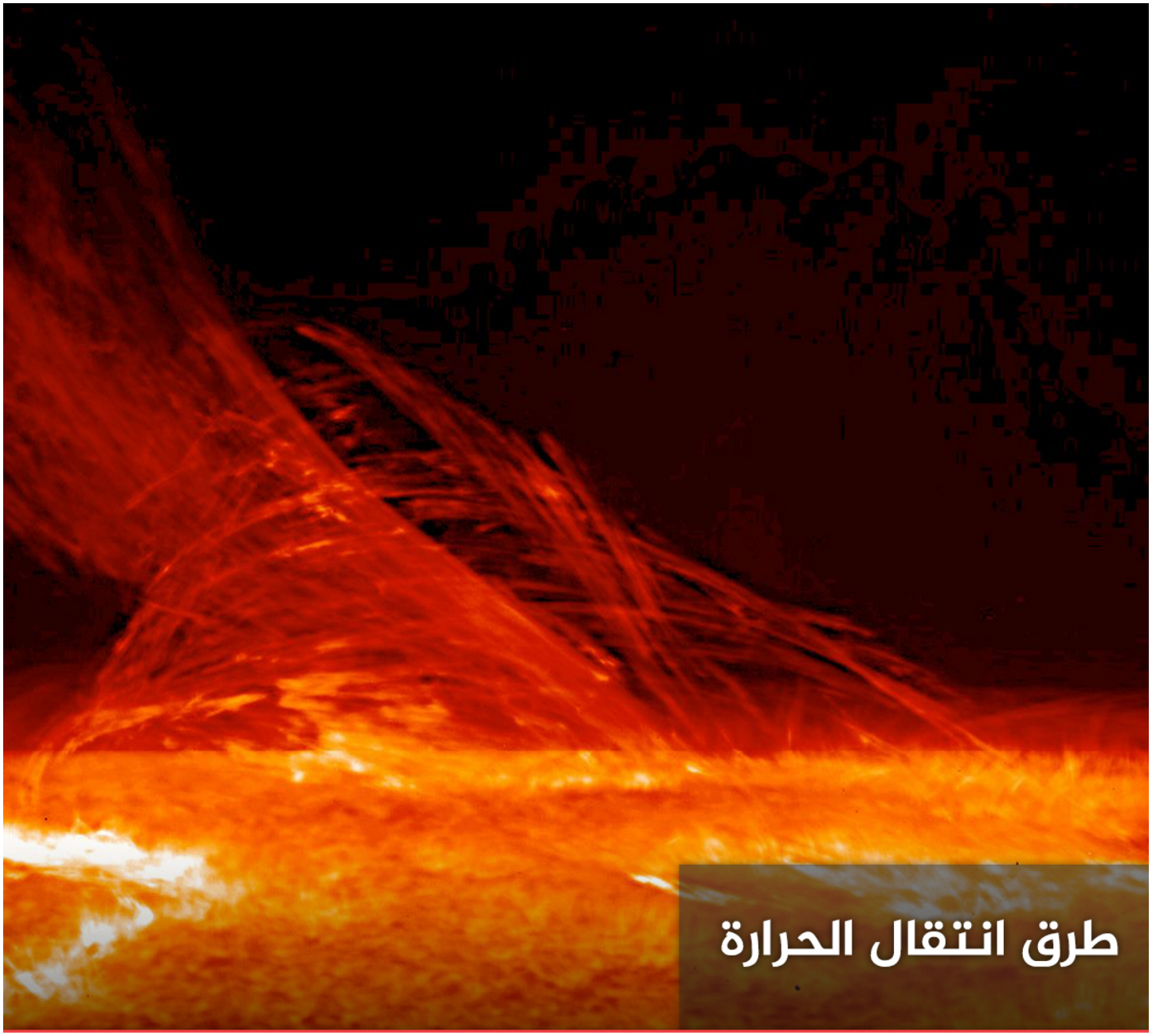
طرق انتقال الحرارة



www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

هذا المقال هو جزء من سلسلة مقالات مرتبطة حول الفيزياء الحرارية. تسعى هذه السلسلة إلى تقديم شرح متكامل حول مفهوم الحرارة والطاقة الحرارية وتجلياتها في الكون، ودور الفيزياء في تدقيق مفهومها وشرح أساسياتها.

يمكنك الإطلاع على المقالات الأخرى بالترتيب من خلال الروابط التالية: الجزء الأول، الجزء الثاني، الجزء الثالث، الجزء الرابع.

طرق انتقال الحرارة

إذا كنت متابعاً منذ بداية هذا الدرس فقد تطور لديك مفهوم متطور تدريجياً عن درجة الحرارة والحرارة. ينبغي أن تكون قد طورت مفهوماً

عن المادة على أنها تتألف من جزيئات تقوم بالإهتزاز (تتذبذب حول موضع ثابت)، وتنتقل (تتحرك من موقع إلى آخر)، وتدور كذلك (تدور حول محور تخيلي). تعطي هذه الحركة للجزيئات طاقة حركية.

ودرجة الحرارة هي مقياس لمقدار متوسط الطاقة الحركية التي تمتلكها الجزيئات في عينة مادية. كلما ازداد اهتزاز وانتقال ودوران هذه الجزيئات كانت درجة حرارة الجسم أكبر. واعتمدت بشكل مثالي مفهوم للحرارة على أنها تدفق للطاقة من جسم ذي درجة حرارة أعلى إلى جسم ذي درجة حرارة أقل.

اختلاف درجة الحرارة بين هذين الجسمين المتجاورين هو الذي يسبب انتقال الحرارة. يستمر انتقال الحرارة حتى يصل هذين الجسمين إلى حالة التوازن الحراري ويصبحان عند الدرجة نفسها من الحرارة. بنيت مفاهيم انتقال الحرارة حول بعض الأمثلة اليومية كتبريد فنجان من القهوة أو تسخين وعاء من المأكولات. في النهاية قمنا ببحث تجربة لفكرة يوضع فيها وعاء معدني حار يحتوي ماء ساخن في وعاء ستايروفورم **Styrofoam** (ترمس) يحتوي ماء بارد. تنتقل الحرارة من الماء الساخن إلى الماء البارد حتى يصبح للعينتين درجة الحرارة نفسها.

الآن علينا البحث في بعض الأسئلة التالية



مجموعة من الأسئلة الممتازة

- ما الذي يحدث على المستوى الجزيئي عندما تنتقل الطاقة بين جسمين؟
- لماذا يتحقق التوازن الحراري دوماً عندما يقوم جسمان بنقل الحرارة؟
- كيف يعمل انتقال الحرارة في داخل كتلة جسم؟
- هل هناك أكثر من طريقة لانتقال الحرارة؟ وإذا كان كذلك فما هي أوجه التشابه والاختلاف بينها؟

التوصيل – نظرة جزيئية

لنبدأ بحثنا بالعودة إلى التجربة الفكرية والتي فيها وضع كأس من الماء الحار في وعاء ستايروفورم يحتوي ماء بارد. تنتقل الحرارة من الماء الساخن إلى الماء البارد حتى يصبح لكلا الجسمين درجة الحرارة نفسها. في هذا المثال، يشار إلى انتقال الحرارة من الماء الساخن عبر الكوب المعدني إلى الماء البارد على أنه توصيل "**Conduction**".

تدفق الحرارة بالتوصيل يتضمن انتقال الحرارة من موضع إلى آخر بدون وجود أي جريان للمادة. ليس هناك أي شيء جوهري أو مادي يتحرك من الماء الساخن إلى الماء البارد. تنتقل الطاقة فحسب من الماء الساخن إلى الماء البارد. باستثناء فقدان الطاقة، لا يوجد أي شيء يخرج من الماء الحار. وباستثناء اكتساب الطاقة، ليس هناك أي شيء آخر يدخل إلى الماء البارد. كيف حصل ذلك؟ وماهي الآلية التي جعلت من تدفق الحرارة بالتوصيل ممكناً؟

سؤال كهذا هو سؤال على مستوى جزيئي. لفهم الإجابة، علينا التفكير بالمادة على أنها تتألف من ذرات جسيمات صغيرة، ومن جزيئات وشوارد. الجزيئات في حركة مستمرة وهذا يعطيها طاقة حركية. وكما أشير سابقاً في هذا الدرس، تتحرك هذه الجزيئات عبر الفراغ في الوعاء الذي يحتويها، مصطدمة ببعضها البعض وبجدران الوعاء.

ويعرف هذا بالطاقة الحركية الانتقالية وهي الشكل الرئيسي للطاقة الحركية للغازات والسوائل. ولكن يمكن لهذه الجزيئات أيضاً أن تهتز حول موضع ثابت. وهذا يعطي الجزيئات طاقة حركية اهتزازية وهي الشكل الرئيسي للطاقة الحركية في الاجسام الصلبة. الاهتزازيات **wigglers** هي تلك الجزئيات التي تهتز حول موضع ثابت، ولها طاقة حركية اهتزازية. والاصطداميات **bangers** هي تلك الجزيئات التي تتحرك عبر الوعاء ولها طاقة حركية انتقالية وتصطدم بجدران الوعاء.

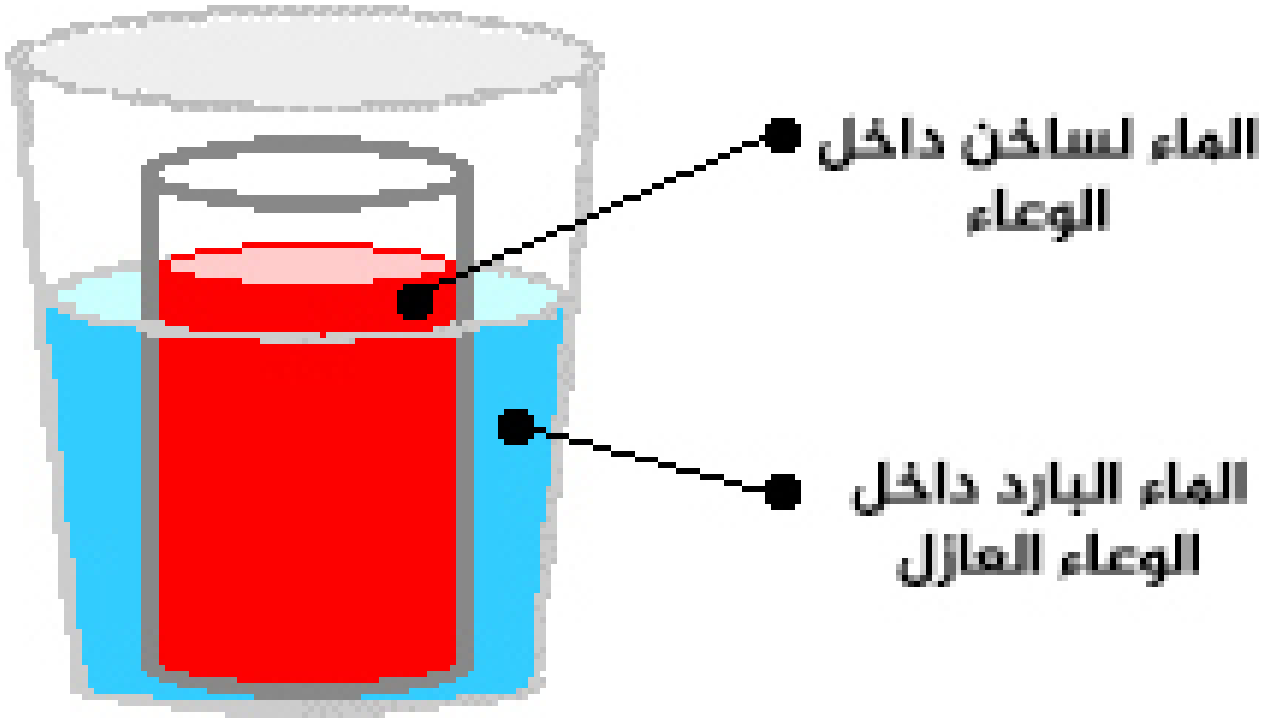
الطاقة الحركية الانتقالية

تمثل جدران الوعاء محيط عينة مادية. كما هو الحال في محيط ملكيتك (كملكية عقارية)، هو أبعد امتداد للملكية. كذلك فإن محيط الجسم هو الامتداد الأبعد للجزيئات في عينة مادية. عند المحيط، تصطدم الجزيئات الاصطدامية مع جزيئات مادة أخرى، جزيئات الوعاء أو حتى جزيئات الهواء المحيط. كذلك الجسيمات المهتزة والتي لها موضع ثابت ضمن المحيط تحدث لها بعض الاصطدامات. بكونها ضمن المحيط، ينتج عن اهتزازها اصطدام مع الجزيئات المجاورة لها، وهي جزيئات الوعاء او جزيئات الهواء المحيط.

ضمن هذا المحيط أو الحدود، اصطدامات الجسيمات المهتزة والمصطدمة تكون اصطدامات مرنة وفيها يكون المقدار الكلي للطاقة الحركية للجزيئات المهتزة محفوظ. التأثير الصافي لهذه الاصطدامات المرنة هو انتقال للطاقة الحركية عبر الحدود إلى الجزيئات على الجانب المقابل. الجزيئات الأكثر نشاطاً ستفقد القليل من الطاقة الحركية وستكتسب الجزيئات الأقل نشاطاً القليل من الطاقة الحركية.

درجة الحرارة هي مقياس لمتوسط كمية الطاقة الحركية التي تمتلكها الجزيئات في عينة مادية. وبالتالي في المتوسط، سيكون هناك المزيد من الجزيئات في الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى بطاقة حركية أكبر مما هو موجود في الجسم ذي درجة الحرارة الأقل. وبالتالي عند أخذ متوسط كل الاصطدامات المرنة وتطبيق المبادئ المرتبطة بالتصادمات المرنة على الجزيئات في العينة المادية، فمن المنطقي الاستنتاج أن الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى سيفقد بعض الطاقة الحركية وسيكتسب الجسم ذي درجة الحرارة الأقل بعض الطاقة الحركية.

ستستمر اصطدامات جزيئاتنا الاهتزازية والصدامية بنقل الطاقة الحركية حتى تطابق درجتي حرارة الجسمين. عند الوصول إلى هذه الحالة من التوازن الحراري، سيتساوى متوسط الطاقة الحركية لكلا الجسمين. عند التوازن الحراري سيكون هناك عدد من الاصطدامات التي ينتج عنها اكتساب الطاقة مساوٍ لتلك الاصطدامات التي يتنج عنها فقدان طاقة. بشكل وسطي عندها، لن يكون هناك انتقال صافي للطاقة ينتج عن اصطدام الجزيئات بالمحيط.



لماء لساخن داخل الوعاء، الماء البارد داخل الوعاء العازل

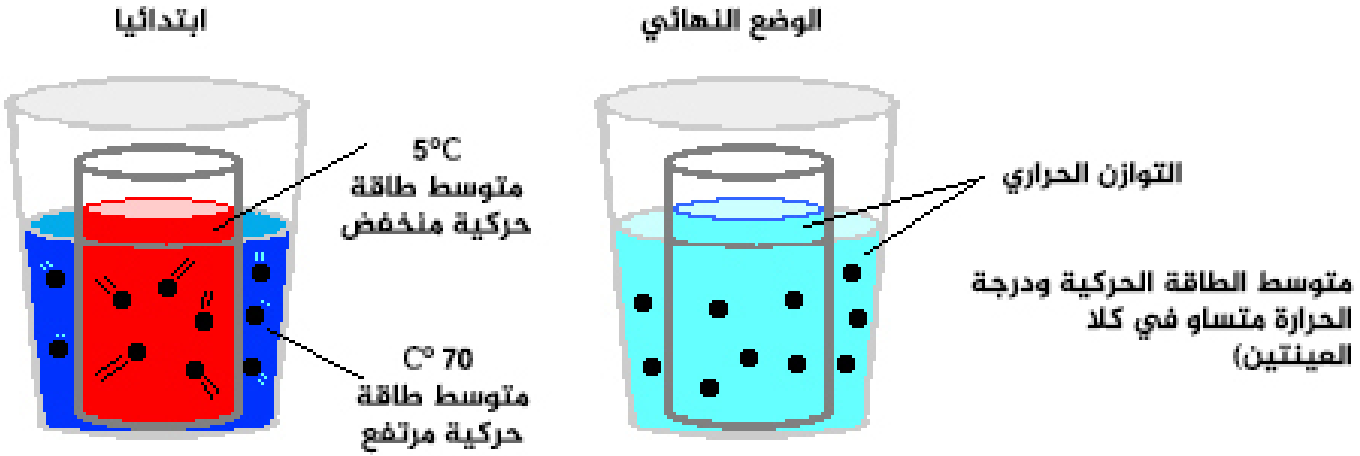
على المستوى المنظور، الحرارة هي انتقال للطاقة من الجسم ذي درجة الحرارة المرتفعة إلى الجسم ذي درجة الحرارة المنخفضة. على المستوى الجزيئي، يمكن تفسير تدفق الحرارة على أنه التأثير الصافي للاصطدامات لمجموعة كاملة من الاصطدامات الصغيرة. التسخين والتبريد هو نتيجة أخرى لهذه الظاهرة التي تحدث على مستوى جزيئي.

الآن لنطبق هذه الرؤية الجزيئية على سيناريو الوعاء المعدني ذي الماء الساخن الموضوع داخل وعاء ستايروفورم يحتوي ماء بارد. في المتوسط، الجزيئات ذات القدر الأكبر من الطاقة الحركية هي جزيئات الماء الساخن. لكونها مائع، تتحرك هذه الجزيئات بطاقة حركية انتقالية وتصطدم بجزيئات الوعاء المعدني.

عندما تصطدم جزيئات الماء الساخن بجزيئات الوعاء المعدني، تقوم بنقل الطاقة إلى الوعاء المعدني. مما يرفع درجة حرارة الوعاء المعدني. معظم المعادن هي موصلات حرارية جيدة لذا تقوم بالتسخين بسرعة تامة عبر كتلة الوعاء. يفترض بالوعاء أن تكون له درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الماء الساخن. ولكونه معدن فإن الوعاء يتألف من اهتزازيات صغيرة.

الاهتزازيات عند المحيط الخارجي للوعاء تصطدم بجزيئات الماء البارد.الاصطدام بين جزيئات الوعاء المعدني وجزيئات الماء البارد ينتج عنه انتقال للطاقة إلى الماء البارد. وهذا يؤدي إلى تبريد بطيء للماء البارد. ينتج عن هذا التأثير المتبادل بين جزيئات الماء الساخن والوعاء المعدني والماء البارد انتقال للحرارة من الماء الساخن باتجاه الخارج إلى الماء البارد.

يتناقص تدريجياً متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الماء الساخن ، ويتزايد متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الماء البارد، وفي النهاية يتم الوصول إلى نقطة التوازن الحراري عند النقطة التي يصبح فيها متوسط الطاقة الحركية لجزيئات الماء البارد ولجزيئات الماء الساخن نفسه تقريباً. على المستوى الملحوظ سيشاهد المرء تناقص في درجة حرارة الماء الساخن وزيادة في درجة حرارة الماء البارد.

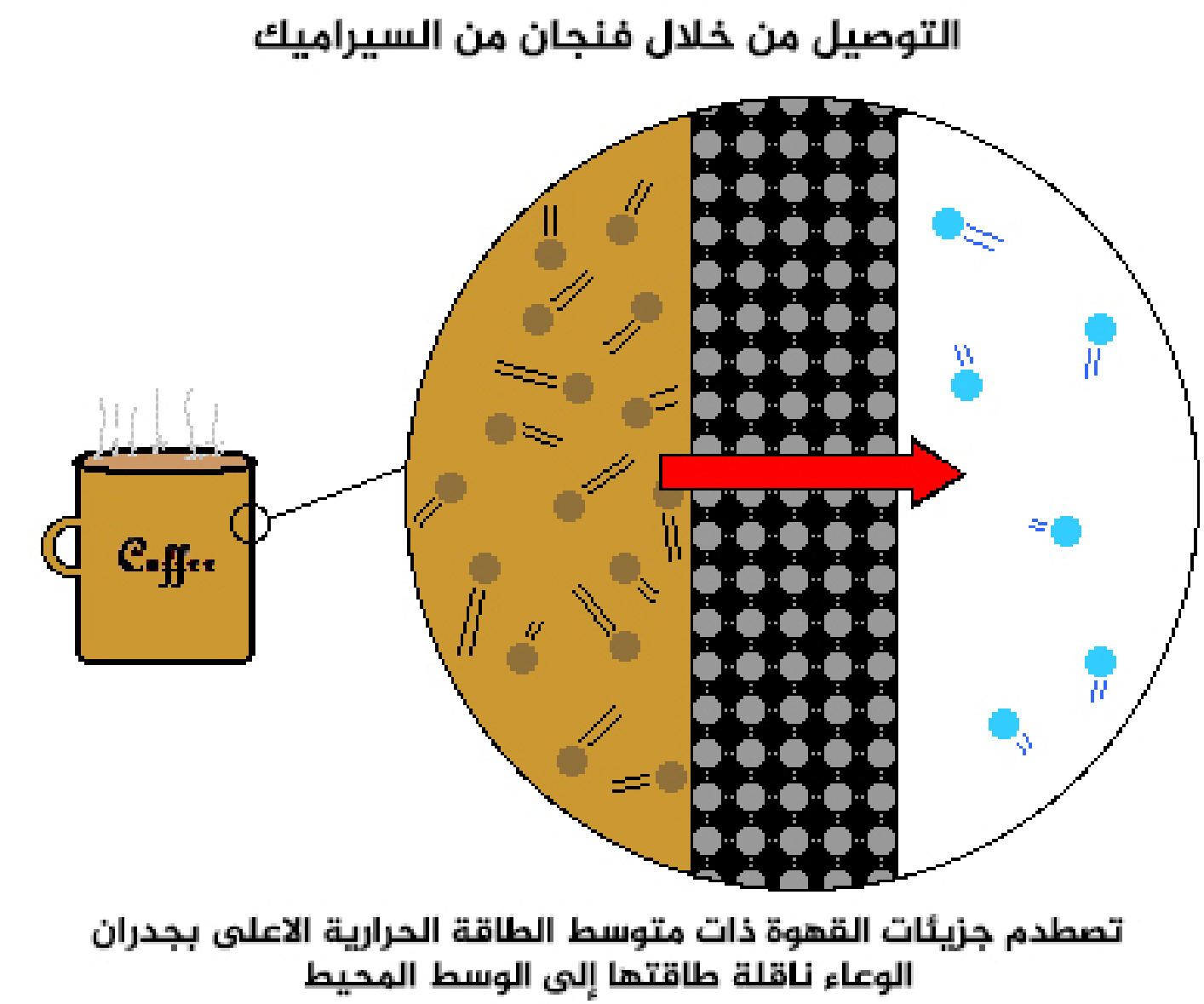


التوازن الحراري

تعرف الآلية التي تنتقل بها الحرارة من جسم إلى جسم آخر عن طريق اصطدام الجزيئات بالتوصيل. في التوصيل، لا يوجد هناك انتقال صافي لأشياء فيزيائية بين الأجسام. لا يتحرك أي شيء مادي عبر الحدود. تفسر تغيرات درجة الحرارة بشكل كلي كنتيجة لفقدان واكتساب الطاقة الحركية أثناء التصادمات.

التوصيل عبر كتلة مادية

لقد ناقشنا كيفية انتقال الحرارة من جسم إلى آخر بالتوصيل. ولكن كيف تنقل عبر نسيج المادة. على سبيل المثال، افترض أننا نخرج فنجان قهوة سيراميكي من خزانة ونضعه على طاولة. يكون فنجان القهوة عند درجة حرارة الغرفة ـ ربما تكون \(26°C\) . بعد ذلك افترض أننا نقوم بملء فنجان القهوة السيراميكي بالقهوة الحارة عند درجة الحرارة \(80°C\). يسخن الفنجان بسرعة. تتدفق الحرارة في البداية إلى الجسيمات عند الحدود بين القهوة الحارة والفنجان السيراميكي. ولكنها فيما بعد تنتقل عبر كتلة السيراميك إلى جميع اجزاء الفنجان السيراميكي. كيف يحدث التوصيل الحراري في السيراميك نفسه؟



التوصيل من خلال فنجان من السيراميك : تصطدم جزيئات القهوة ذات متوسط الطاقة الحرارية الاعلى بجدران الوعاء ناقلة طاقتها إلى الوسط المحيط

يفسر الحمل أيضاً كيفية قيام المدافئ الكهربائية الموضوعة على أرضية غرفة باردة بتسخين الهواء في الغرفة. يسخن الهواء الموجود بالقرب من المدفأة. عندما يسخن الهواء، يتمدد، فيصبح أقل كثافة ويبدأ بالارتفاع. عندما يرتفع الهواء الساخن، فإنه يدفع بعض الهواء البارد أعلى الغرفة مبعداً إياه عن طريقه.

انتقال الحرارة بالحمل

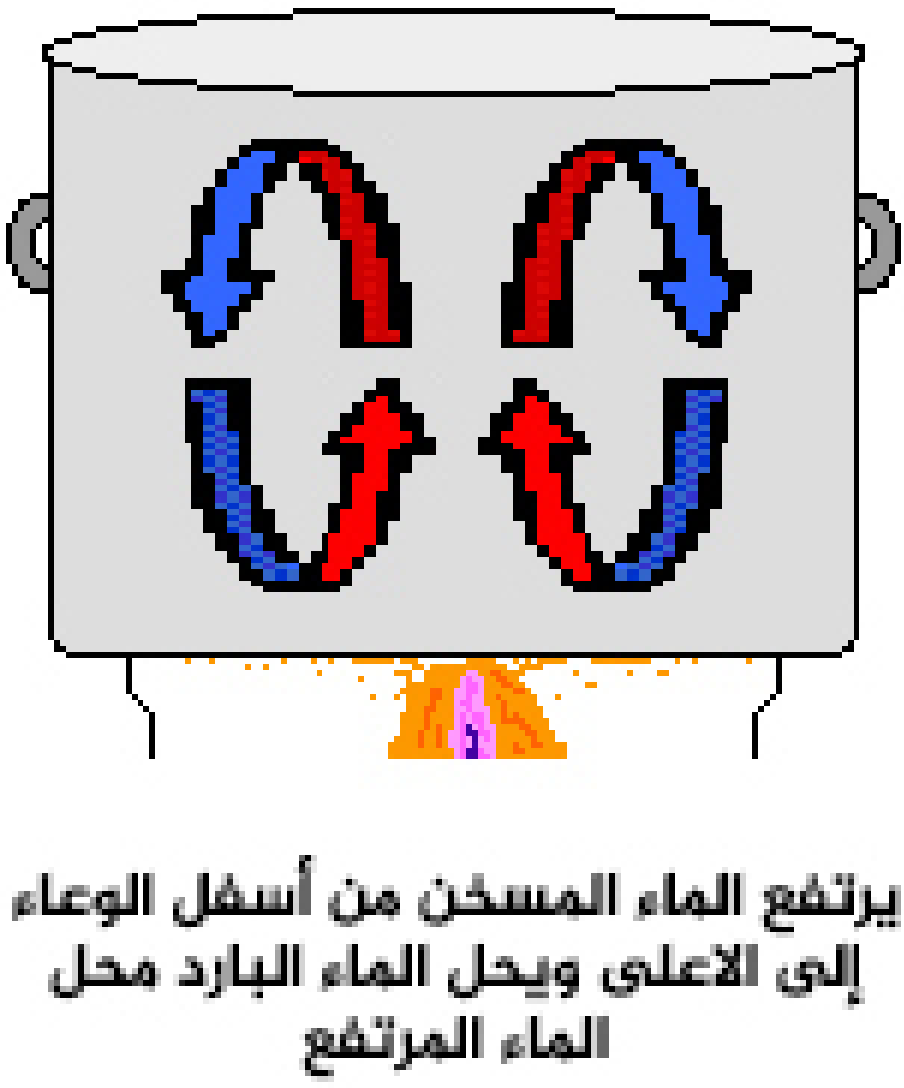
هل التوصيل هو الطريقة الوحيدة التي تنتقل بها الحرارة؟ هل يمكن أن تنتقل الحرارة في كتلة الأجسام بطريقة أخرى غير التوصيل؟ الجواب هو نعم. يتضمن نموذج انتقال الحرارة عبر كتلة فنجان القهوة السيراميك والمقلاة المعدنية بالتوصيل.



السوائل والغازات موصلات ضعيفة للحرارة

سيراميك فنجان القهوة ومعدن المقلاة كلاهما صلبين. يحدث انتقال الحرارة عبر الأجسام الصلبة بالتوصيل. يعود ذلك بشكل أساسي إلى أن الأجسام الصلبة لديها ترتيب منظم للجزيئات تكون فيه ثابتة في مكانها. لا تشكل الغازات والسوائل موصلات جيدة بشكل كبير. وتعتبر عملياً عوازل حرارية جيدة.

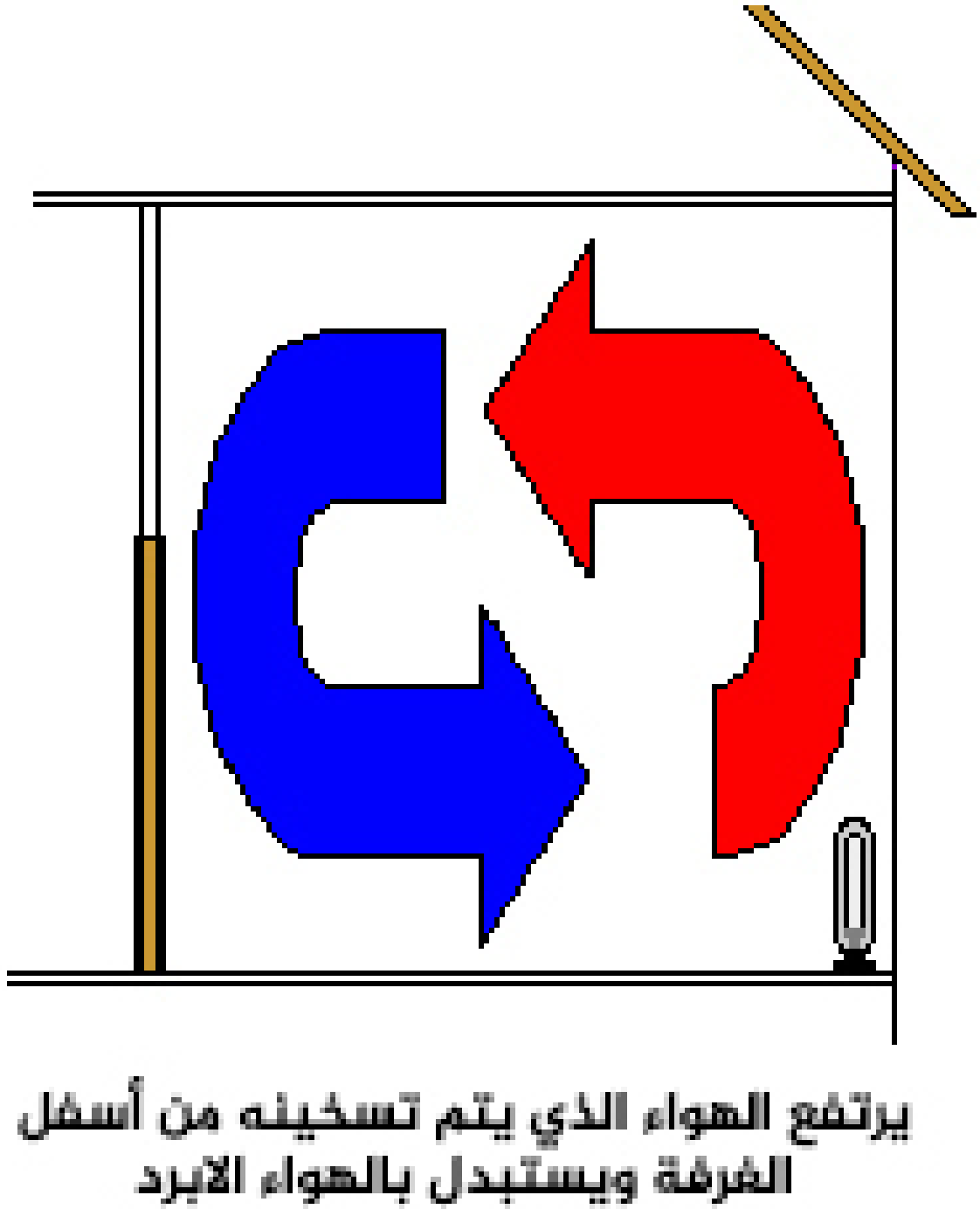
عادة لا يحدث تدفق الحرارة بالتوصيل عبر الغازات والسوائل، لأنها موائع؛ لا تكون جزيئاتها ثابتة في مكان؛ إنها تتحرك حول كتلة عينة مادية. النموذج المستخدم لتفسير انتقال الحرارة عبر كتلة السوائل والغازات ينطوي على الحمل "**Convection**". الحمل هو عملية انتقال الحرارة من موقع إلى موقع مجاور عن طريق حركة الموائع يحمل المائع المتحرك الطاقة معه. يتحرك المائع من المكان ذي درجة الحرارة المرتفعة إلى مكان ذي درجة حرارة منخفضة.



يرتفع الماء المسخن من الأسفل لى أعلى القدر، يحل الماء البارد محل الماء المرتفع

لفهم الحمل في الموائع، سندرس انتقال الحرارة خلال ماء في قدر يسخن فوق موقد. بالطبع مصدر الحرارة هو مشعل الموقد. يتم تسخين القدر المعدني الذي يضم الماء بواسطة المشاعل. عندما يصبح المعدن ساخناً يبدأ بتوصيل الحرارة إلى الماء. الماء الذي يكون على تماس مع القدر المعدني يصبح حاراً. تتمدد الموائع عند تسخينها وتصبح أقل كثافة.

وبالتالي عندما يصبح الماء أسفل القدر ساخناً، تتناقص كثافته. ينتج عن الفرق في كثافة الماء أسفل القدر وكثافته أعلى القدر تشكيل تدريجي لتيارات دوارة **circulation currents**. يبدأ الماء الساخن بالارتفاع إلى أعلى القدر مزيحاً الماء الأبرد الذي كان بالأصل هناك. ويتحرك الماء الأبرد الذي كان أعلى القدر باتجاه أسفل القدر حيث يتم تسخينه ويبدأ بالارتفاع. تتطور هذه التيارات الدوارة مع الزمن ، موفرة ممر للمياه الساخنة لنقل الطاقة من أسفل القدر إلى السطح.



يرتفع الهواء الذي يتم تسخينه من أسفل الغرفة ويستبدل بلهواء الابرد

يتحرك الهواء البارد باتجاه أسفل الغرفة ليحل مكان الهواء الساخن الذي ارتفع. عندما يقترب الهواء الأبرد من المدفأة أسفل الغرفة، يصبح ساخناً عندما تسخنه المدفأة ويبدأ بالارتفاع. تتشكل تيارات الحمل مرة أخرى ببطء. ينتقل الهواء على طول هذه الممرات، حاملاً الطاقة معه من المدفأة عبر الغرفة.

الحمل هو الطريقة الأساسية التي تنتقل فيها الحرارة في الموائع كالماء والهواء. غالباً ما يقال أن الحرارة ترتفع في هذه الحالات. القول

الأنسب هو أن السائل الذي يتم تسخينه يرتفع. على سبيل المثال، عندما يرتفع الهواء الذي تسخنه المدفأة على الأرض، يحمل معه جزيئات أكثر نشاطاً، عندما تمتزج الجزيئات الأعلى نشاطاً مع الهواء الأبرد بالقرب من سطح الغرفة، يتزايد متوسط الطاقة الحركية للهواء بالقرب من أعلى الغرفة.

تنسجم هذه الزيادة في متوسط الطاقة الحركية مع ارتفاع درجة الحرارة. النتيجة الصافية لارتفاع المائع الحار هي انتقال الحرارة من موقع لآخر. طريقة الحمل في انتقال الحرارة تتضمن انتقال الحرارة عبر حركة المادة. لا ينبغي الخلط بين هذا والنظرية الكالورية التي نوقشت سابقاً في هذا الدرس. في النظرية الكالورية المائع كان حرارة والمائع المتحرك كان الحرارة. نموذجنا بالحمل يعتبر الحرارة هي انتقال للطاقة والذي ينتج ببساطة عن حركة الجزيئات الأكثر نشاطاً.

كلا المثالين في الحمل الذين تمت مناقشتهما هنا– تسخين ماء في قدر وتسخين هواء في غرفة– هي أمثلة عن الحمل الطبيعي (**natural convection**). القوة الدافعة للدوران في الموائع طبيعية– الاختلافات في الكثافة بين الموقعين هي نتيجة تسخين المائع من مصدر ما. (تقدم بعض المصادر مفهوم قوى الطفو لشرح سبب ارتفاع الموائع المسخنة. لن نبحث مثل هذه التفسيرات هنا).

الحمل الطبيعي شائع في الطبيعة. تسخن محيطات الأرض و غلافها الجوي بالحمل الطبيعي. على النقيض من الحمل الحراري الطبيعي، يتضمن الحمل القسري الموائع التي تم دفعها من موقع إلى آخر بواسطة المراوح والمضخات وغيرها من الأجهزة. العديد من أنظمة التدفئة المنزلية تنطوي على تسخين الهواء قسرياً. يسخن الهواء في فرن وينفخ عن طريق مراوح في مجاري للهواء وينطلق إلى الغرفة من مواقع تنفيث.

هذا مثال عن الحمل القسري. حركة المائع من الموقع الساخن (بالقرب من الفرن) إلى الموقع البارد (غرف المنزل) يتم دفعها أو قسرها بواسطة مروحة. بعض الأفران هي أفران حمل قسري؛ لديها مراوح تنفث الهواء المسخن من مصدر التسخين داخل الفرن. تعزز بعض مواقد التسخين قدرة التسخين بنفخ الهواء المسخن من وحدة التسخين إلى غرفة مجاورة. وهذا مثال آخر عن الحمل القسري.

انتقال الحرارة بالإشعاع

تتضمن وسيلة أخيرة من وسائل انتقال الحرارة الاشعاع .الإشعاع هو انتقال الحرارة بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية. أن تشع يعني أن ترسل إلى الخارج أو تنشر من موقع مركزي. سواء أكان ذلك صوت أو ضوء أو أمواج أو أشعة أو بتلات من الزهور أو مكابح عجلة أو ألم، إذا كان شيئاً ما مشعاً فذلك يعني أن يبرز أو ينتشر إلى الخارج من مصدر ما.

ينطوي انتقال الحرارة بالإشعاع على حمل الطاقة من مصدر إلى الفراغ الذي يحيط به. تحمل الطاقة بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية ولا تتضمن حركة أو تأثير متبادل للمادة. يمكن أن يحدث الإشعاع الحراري في المادة أو في منطقة من الفراغ تكون خالية من المادة (أي في الخلاء). وعملياً الحرارة التي تتلقاها الأرض من الشمس هي نتيجة لانتقال الأمواج الكهرومغناطيسية عبر فراغ الفضاء من الشمس إلى الأرض.

جميع الأجسام تشع الطاقة على شكل أمواج كهرومغناطيسية. المعدل الذي تنطلق به هذه الطاقة يتناسب مع درجة الحرارة مأخوذة بالكلفن ومرفوعة إلى الأس 4 :

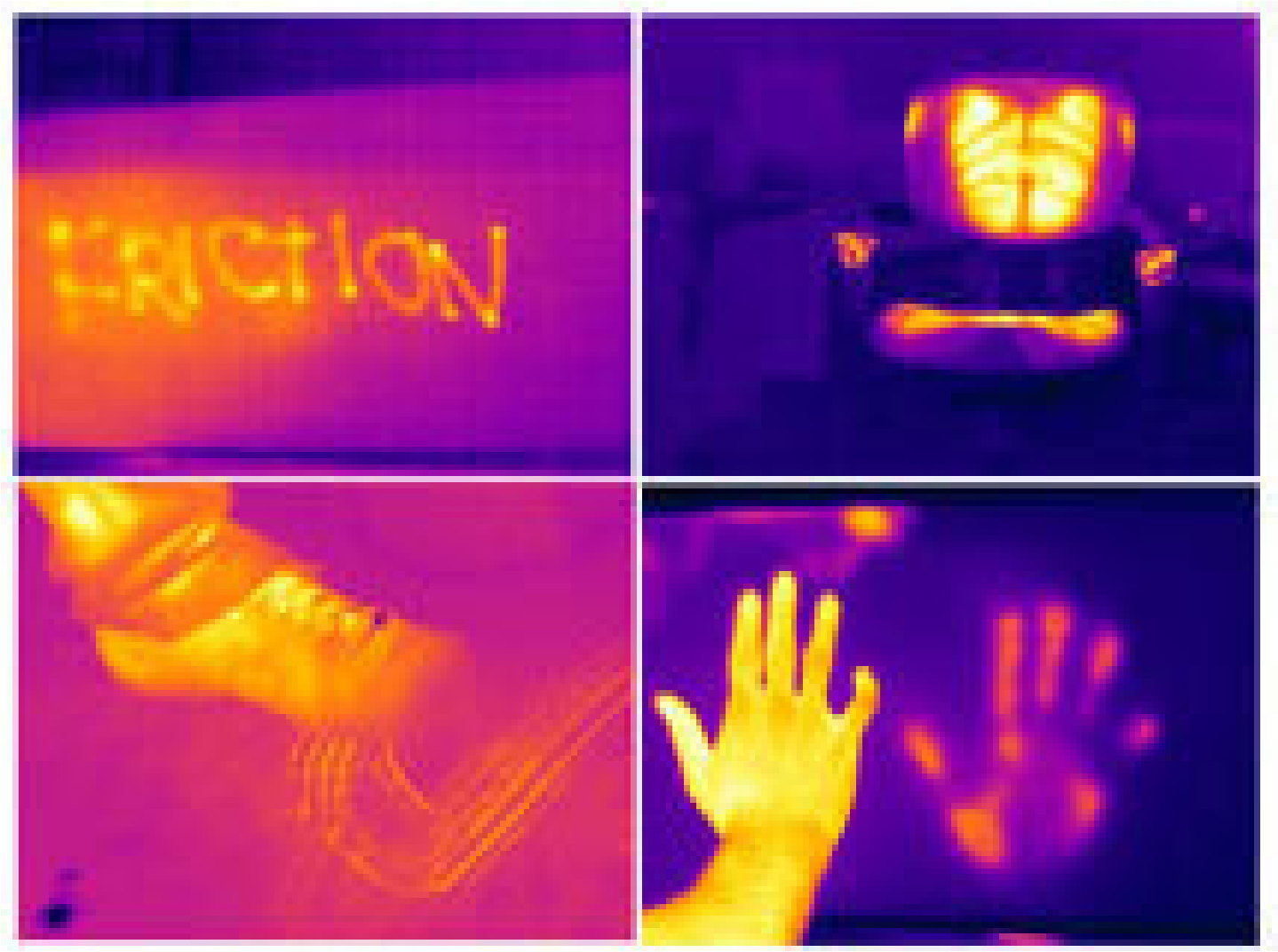
$$\text{Radiation rate} = k \bullet T^4$$

كلما كان الجسم أسخن كلما ازداد إشعاعه. ومن الواضح أن الشمس تشع طاقة أكبر بكثير من فنجان القهوة. تؤثر درجة الحرارة أيضاً على طول موجة وتردد الأمواج التي يتم إشعاعها. تشع الأجسام عند درجة حرارة الغرفة الاعتيادية الطاقة على شكل أمواج تحت حمراء. ولكونها غير مرئية بالنسبة لعين الإنسان فإنه لا يمكننا رؤية

هذا النوع من الإشعاع. وتكون كاميرا للأشعة تحت الحمراء قادرة على كشف هذا النوع من الإشعاع. ربما تكون قد شاهدت صوراً حرارية أو فيديوهات عن الإشعاع الذي يحيط بشخص أو بحيوان أو فنجان ساخن من القهوة أو الأرض. عادة ما تكون الطاقة التي يشعها جسم عبارة عن مجموعة أو مجال من الأطوال الموجية. ويشار إلى ذلك غالباً على أنه طيف إصدار **emission spectrum**.

كلما ارتفعت درجة حرارة جسم، تتناقص الأطوال الموجية داخل مطياف الأشعة المنبعثة. تميل الأجسام ذات درجة الحرارة الأعلى إلى إصدار أشعة ذات أطوال موجية أقصر، وترددات اعلى. تكون لفائف شواية كهربائية أسخن بكثير من درجة حرارة الغرفة لذا تصدر الأشعة الكهرومغناطيسية في الطيف المرئي.

لحسن الحظ، يعطي ذلك تحذيراً جيداً لمستخدميها على أن اللفائف أصبحت حارة. تصدر أسلاك التنغستين في لمبة ضوئية ساطعة أشعة كهرومغناطيسية في المجال المرئي وخارجه. لا يمكُننا هذا الاشعاع من الرؤية وحسب ، إنما يقوم أيضاً بتسخين زجاجة اللمبة التي تحتوي السلك. ضع يدك بالقرب من اللمبة (بدون لمسها) ستشعر أيضاً بالإشعاع من اللمبة.



(تعود ملكية الصورة لبيتر لويس و كريس ويست مختبر SLAC الوطني/ ستانفورد) (Images courtesy Peter Lewis and Chris West of Standford's SLAC.)

الإشعاع الحراري هو شكل من انتقال الحرارة لأن الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنبعث من المصدر تحمل الطاقة بعيداً عن المصدر إلى المحيط (أو الأجسام البعيدة). تمتص هذه الطاقة من قبل هذه الأجسام، مسببة زيادة في متوسط الطاقة الحركية لهذه الجزيئات وارتفاع درجة حرارتها. بهذا المعنى، تنتقل الطاقة من موقع إلى آخر بواسطة الإشعاع الكهرومغناطيسي.

الصورة على اليسار أخذت بواسطة كاميرا تصوير حرارية. تكشف الكاميرا عن الاشعاع الذي تصدره الأجسام وتقدمه على شكل صور ملونة. تمثل الألوان الأكثر حرارة المناطق من الاجسام التي تصدر إ'شعاعات حرارية بمعدلات أعلى كثافة.

كانت مناقشاتنا في هذه الصفحة متعلقة بالطرق المختلفة لانتقال الحرارة وتمت مناقشة وتوضيح كل من التوصيل والحمل والاشعاع. تم شرح ما هو منظور بعبارات جزيئية- وهو هدف مستمر لهذا الفصل من فيزياء الصف التعليمية. موضوع نقاشنا الأخير في الدرس الأول ذو طبيعة كمية. في صفحتنا القادمة ، سنتحرى الرياضيات المرتبطة بمعدل انتقال الحرارة.

- التاريخ: 2018-01-24
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#الطاقة #الحرارة #سلسلة الفيزياء الحرارية #انتقال الحرارة #الفيزياء الحرارية

المصطلحات

- **الإصدارية (Emission)**: هي كمية الضوء، أو بشكلٍ عام الإشعاع الكهرومغناطيسي، الناتجة عن ذرة ما أو جسم آخر. المصدر: ناسا

المصادر

- physicsclassroom
- الصورة

المساهمون

- ترجمة
  - نجوى بيطار
- مُراجعة
  - نداء البابطين
- تحرير
  - أنس عبود
  - أنس الهود

- تصميم
  - علي كاظم
- نشر
  - مي الشاهد