

## الفصل الرابع

### حالات المادة والمقادير الحرارية

#### I - مقدمة:

تبين التجربة أن المادة نفسها يمكن وفقاً للشروط الفيزيائية (درجة الحرارة، الضغط...) أن توجد في ثلاث حالات هي: صلبة، سائلة، غازية (توجد حالة رابعة لن نهتم بها إنها البلازما).

في هذه الحالات المختلفة تكون الجزيئات نفسها، ولكن الاختلاف يأتي من التأثير المتبادل ما بين هذه الجزيئات. إذا فحالة المادة ناتجة من تنافس ما بين قوى التجاذب التي تسعى لتقريب الجسيمات ومسببات التباعد.

#### 1 - قوى التجاذب ما بين الجسيمات:

توجد قوى ما بين الشوارد، ما بين الجزيئات المعتدلة، ما بين الشوارد والجزيئات.

فعندما تكون الجسيمات المعنية هي الشوارد، فإن قوى التجاذب ما بين الشوارد الموجبة والسالبة تخضع إلى قانون كولون الذي يشير إلى أن قوى التجاذب ما بين شوارد ذات إشارات متعاكسة متناسبة عكسياً مع ثابت العزل الكهربائي للوسط، وأنه فقط في الأوساط ذات ثابت العزل الكهربائي  $\epsilon$  المرتفع (ماء مثلاً) تبقى الشوارد منفصلة.

$$F = K \frac{qq'}{\epsilon r^2}$$

فعندما تكون  $\epsilon$  صغيرة، تكون القوة كبيرة وبالتالي فإن الشاردتان الموجبة والسالبة تجتمعان ثانية. أما الانفصال الكهليلي أو التأين لا يحدث إلا في مذيبات ذات عزل كهربائي كبير (جزئيات مستقطبة).

أحياناً وبالرغم من أن قيمة  $\epsilon$  مرتفعة إلا أن قوى التجاذب حتى وإن كانت ضعيفة فهي موجودة؛ لذا فإن كل شاردة تجذب بضعف شوارد ذات إشارة معاكسة لها، وهي بدورها تجذب شوارد إشاراتها من نفس إشارة الشاردة الأولى، إن هذه الظاهرة هامة في حالة الشوارد الكبيرة، فتركيز الشوارد الصغيرة يكون أكثر أهمية في الجوار المباشر للشاردة الكبيرة وينخفض تدريجياً بالابتعاد عنها. ويجري التشابه مع جزئيات الهواء حول الأرض نسمي هذا بالغللاف الشاردي، وإنه عندما تتحرك الشاردة الكبيرة تجر معها غلافها الشاردي.

أما ما بين الجزئيات المعتدلة كهربائياً فتوجد قوى تجاذب عائدة إلى عدم مساواة توزيع الشحنات الكهربائية داخل الجزيء؛ لذا فإن هذا الجزيء يسلك سلوك ثنائي قطب كهربائي ينتج حقلاً كهربائياً قادراً على جذب ثنائيات أقطاب أخرى. إن قوى التجاذب هذه ما بين الجزئيات والمسماة بقوى الترابط الفيزيائية أو قوى فاندر فالس أصغر بكثير من القوى الموجودة ما بين ذرات نفس الجزيء (قوى داخل الجزئيات أو رابطة كيميائية)، فهي تتناقص عند ازدياد المسافة ما بين الجزئيات

$$F \approx \frac{K}{r^7}$$

ويمكن تمييز ثلاثة أنماط لثنائيات الأقطاب الجزيئية.

## - ثنائيات الأقطاب الدائمة:

في كل لحظة لا تكون مراكز دوران الشحنات السالبة والموجبة داخل الجزيء منطبقة على بعضها البعض؛ لهذا يسمى الجزيء بثنائي الأقطاب، فهو يسلك باستمرار سلوك ثنائيات الأقطاب، وتوافق هذه الحالة الماء الذي له ثابت عزل كهربائي مرتفع.

## - ثنائيات الأقطاب المحرصة أو المشوهة:

عندما يكون الجزيء بعيداً عن تأثير أية شحنة كهربائية فإن مراكز دوران الشحنات الموجبة والسالبة تنطبق على بعضها البعض، لذا لا يسلك الجزيء سلوك ثنائيات الأقطاب. لكن عندما يتواجد هذا الجزيء ضمن حقل كهربائي (متولد بشاردة أو بثنائي أقطاب جزئياً مجاور) فإن الشحنات الموجبة داخل الجزيء تتحرك بشكل طفيف وفق اتجاه شدة الحقل، أما الشحنات السالبة فتنتقل باتجاه معاكس، لذا فإن مركزي الدوران لا ينطبقان أبداً على بعضهما البعض مما يجعل الجزيء يسلك سلوك ثنائيات أقطاب.

## - ثنائيات الأقطاب اللحظية:

لنأخذ على سبيل المثال ذرة الهيدروجين التي تتكون من إلكترون شحنته  $-e$  يدور حول بروتون شحنته  $+e$  وهذا يعني وجود شحنتان متساويتان بالقيمة المطلقة ومختلفتان بالإشارة، تفصل بينهما مسافة معينة مشكلة ثنائي أقطاب، لكن بما أن الإلكترون يتحرك حول النواة فإن منحنى ثنائي الأقطاب يتغير باستمرار. أما عندما تتواجد الشوارد وثنائيات الأقطاب الجزئية مع بعضها البعض فإن الشوارد تجذب الجزء من ثنائي الأقطاب الذي يحمل شحنة معاكسة لشحنتها؛ ولهذا

فإنها تكون محاطة بجزء أو بعدة جزيئات، وهذه هي ظاهرة التذبذب. وأن الحالة الأكثر أهمية هي الحالة حيث أن الجزيء المستقطب هو الماء، وتسمى هذه الظاهرة بالإمالة. ففي المحلول المائي تكون  $H^+$  مصحوبة بجزء ماء مشكلة الهيدرونيوم  $H_3O^+$ ،  $Na^+$  محاطة بـ (5) جزيئات ماء،  $K^+$  محاطة بـ (4) جزيئات،  $Cl^-$  محاطة بـ (3) جزيئات ..).

إن هذا الطوق المائي يزيد بشكل معتبر حجم الشاردة، وإن الحجم الكلي للشاردة المميعة هو الذي يدخل في ظواهر الانتقال الشاردي، لهذا ينتج بأن  $K^+$ ،  $Cl^-$  الغير مميحتين واللتي تملكان حجمين مختلفين هما في الحالة المذابة عبارة عن كرات أنصاف أقطارهما متقاربة جداً ( $0.121nm$  من أجل  $K^+$ ،  $0.12nm$  من أجل  $Cl^-$ ) وأن كل شاردة لا تتحرك بمفردها، بل محاطة بغلافها الشاردي وطوقها المائي.

## 2 - مسيات الابتعاد:

لا تلعب قوى التنافر ما بين الجزيئات دوراً معتبراً إلا عندما تكون الجزيئات

$$F \approx \frac{K}{r^{13}} \text{ قريبة جداً من بعضها البعض}$$

لهذا فإن التهيج الحراري هو السبب الرئيسي للابتعاد ما بين الجزيئات وهذه

الظاهرة عامة، فكل جسيم (ذرة، جزيء، شاردة، مجموع جزيئات، خلايا...) يخضع تلقائياً لتهيج عشوائي، وهذا يعني حدوثه وفق جميع المناحي وأن شدته تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة المطلقة.

## II - الخواص العامة لمختلف حالات المادة:

تنتج الحالات المختلفة للمادة من تنافس قوى التجاذب ما بين الجزيئات والتهيج الحراري وبشكل مبسط:

توجد الحالة الصلبة عند درجات حرارة منخفضة، حيث إن التهيج الحراري يكون قليلاً جداً وبالتالي فالجسيمات التي تكون الصلب تكون ملتصقة مع بعضها البعض وينتج أن:

- عدد الجسيمات في واحدة الحجم كبير، أي أن الكتلة الحجمية للأجسام الصلبة مرتفعة نسبياً.

- يتغير الحجم قليلاً مع درجة الحرارة.

- لا يتغير عملياً الحجم مع الضغط، أي أن الأجسام الصلبة غير قابلة للانضغاط.

- قوى التجاذب ما بين الجسيمات كبيرة جداً، وبالتالي لا تتحرك الجسيمات بالنسبة لبعضها البعض؛ ولهذا يكون للجسم الصلب شكلاً خاصاً به.

أما الحالة الغازية فهي على العكس، توجد في درجات حرارة مرتفعة؛ لهذا تكون الجزيئات مبعثرة عن بعضها البعض وإن:

- الكتلة الحجمية للغازات صغيرة.

- عند ارتفاع الضغط تقترب الجزيئات من بعضها البعض ويتناقص الحجم بشكل معتبر، أي أن الغازات قابلة للانضغاط.

- عند انخفاض درجة الحرارة فإن التهيج الحراري ومن ثم الحجم أو ضغط الغاز ينخفض كثيراً.

- قوى التجاذب ما بين الجزيئات معدومة أو صغيرة جداً وبالتالي ليس للغاز شكلاً خاصاً به، إنه مائع وبما أن كتلته الحجمية صغيرة فإن تأثير الثقالة تقريباً مهملاً؛ ولهذا يسعى الغاز ليشغل كامل الحجم الذي يحتويه بداخله، لكن عندما يكون هذا الحجم كبيراً فإن دور الثقالة لا يكون معدوماً وإن الغاز لا يتوزع بشكل منتظم في كامل الحجم (الغلاف الجوي، تغير الكتلة الحجمية مع الارتفاع...)

ويكون هذا أكثر وضوحاً بالنسبة للغازات الثقيلة مثل البروبان وغاز ثاني أكسيد الكربون.

أما الحالة السائلة فهي الحالة الوسطية ما بين الأجسام الصلبة والغازات، وكما في الحالة الصلبة فإن هذه الحالة كثيفة وهذا يعني بأن الجزيئات متصلة مع بعضها البعض والكتلة الحجمية مرتفعة، وأن الحجم يتغير قليلاً مع درجة الحرارة. وعملياً فهو لا يتغير مع الضغط أي أن السوائل غير قابلة للانضغاط.

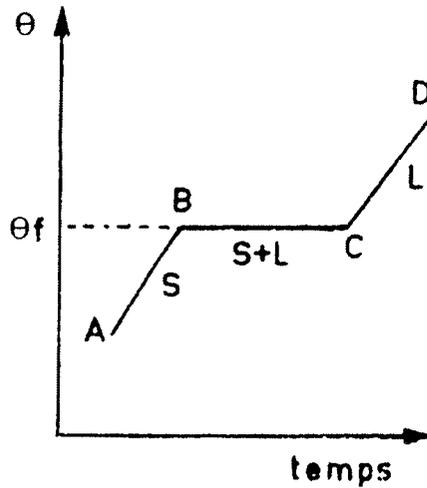
وبالعكس فإن التهيج الحراري هام جداً لأن الجزيئات أقل ارتباطاً مما هي عليه في الأجسام الصلبة، وتستطيع الانزلاق على بعضها البعض؛ ولهذا لا يكون للسوائل شكلاً خاصاً بها. وكما في الغازات فهي موائع لكن كتلتها الحجمية كبيرة، لهذا فإن تأثير الجاذبية الأرضية لا يكون مهماً وهي تشغل فقط الأجزاء السفلية من الوعاء وإن سطحها الحر هو عبارة عن مستوى أفقي.

### III - مفاهيم أولية حول بعض تغيرات الحالة:

#### 1 - تحولات عكوسة : صلب - سائل

##### الانصهار:

عند وضع صلب في حجرة درجة حرارتها مرتفعة، فإن درجة حرارة الصلب ترتفع بتابعة الزمن (الشكل 1).



الشكل 1

- في AB تكون المادة دائماً في الحالة الصلبة.
- في BC يوجد مزيج من الصلب والسائل وإنه خلال الزمن حيث يوجد هذا المزيج، تبقى درجة الحرارة ثابتة عند قيمة (درجة حرارة الانصهار) مميزة لطبيعة المادة (جليد وعند ضغط واحد جو هي  $0^{\circ}\text{C}$ )
- في CD لا يوجد سوى سائل.

## الحرارة الكامنة للانصهار:

هي عبارة عن كمية الحرارة الضرورية لتحويل واحدة الكتلة من المادة الصلبة إلى نفس الكتلة من نفس المادة السائلة عند نفس درجة الحرارة (درجة حرارة الانصهار).

وإنه من (الشكل 1) نرى بأن الحرارة المقدمة للصلب تفيد:

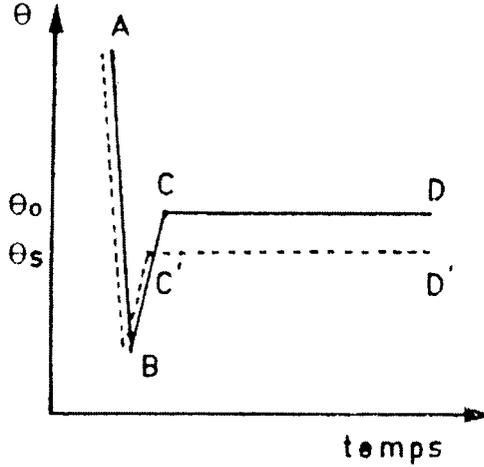
- أولا في رفع درجة حرارة الصلب (AB).
  - ثم بعد ذلك في تحويل الصلب إلى سائل (BC) : انصهار.
  - أخيرا في رفع درجة حرارة السائل (CD) .
- إن حرارة انصهار الجليد مرتفعة نسبيا بالمقارنة مع المواد الأخرى.

$$334 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

## التجمد:

عند وضع سائل في حجرة درجة حرارتها منخفضة، تحدث ظاهرة معاكسة للظاهرة السابقة، مع بقاء درجة الحرارة ثابتة عند وجود السائل والصلب معا (درجة حرارة التجمد التي قيمتها مساوية إلى قيمة درجة حرارة الانصهار) والاختلاف الأساسي بينهما هو أنه أثناء التبريد تصبح درجة حرارة السائل أقل من درجة حرارة التجمد دون أن يحدث التجمد، تسمى هذه الظاهرة فوق الانصهار وهي لا تتوقف إلا عندما تهب السائل بقوة أو أن نضيف إليه بلنورة صغيرة من

الصلب، عندئذٍ نلاحظ بأن درجة الحرارة ترتفع فجأة إلى قيمة درجة حرارة التجمد ويحدث التجمد (الشكل 2).



الشكل 2

والفائدة الطبية الحيوية الرئيسية من التجمد هي أن درجة حرارة التجمد ( $\theta_s$ ) للمحلول أصغر من درجة حرارة التجمد ( $\theta_0$ ) للمذيب: يسمى الفرق

$$\Delta\theta = \theta_0 - \theta_s$$

انخفاض نقطة التجمد وهي متناسبة مع الاسمولاليتيه  $\eta$  (مجموع التراكيز المولية لمختلف المواد المذابة في المحلول)

$$\Delta\theta = K.\eta$$

عندما يكون المذيب هو الماء فإن  $K = 1,86 \text{ degree.Kg/mol}$

(حيث يعبر عن  $\eta$  في الجملة الدولية بالواحدة  $\text{mol/Kg}$ ). إن تحديد انخفاض نقطة التجمد يستخدم بشكل عام في قياس  $\eta$  للسوائل البيولوجية.

2 - تحول سائل  $\longleftrightarrow$  بخار: نميز ظاهرتين التبخر والغليان:

### التبخر:

هو عبارة عن ظاهرة متتالية تحدث عند كل درجة حرارة (الماء السائل عند درجة حرارة الوسط الخارجي  $20^{\circ}\text{C}$  يتبخر) ولا يتوقف إلا عندما يصل الضغط الجزئي للبخار إلى قيمة تسمى بضغط البخار المشبع الذي لا يتعلق إلا بطبيعة السائل ودرجة الحرارة (جدول 1).

وإن المزيج الغازي الموجود بتماس سائل يحتوي على بخار هذا السائل وعندما تتحقق بعض الشروط (سطح التماس ما بين الغاز والسائل كبير، مزيج غازي موجود ضمن حجم مغلق نسبياً) يصبح ضغط البخار مشبعاً. والتبخر ما هو إلا انتقال جزيئات السائل الموجودة على السطح إلى الحالة البخارية دون تشكل فقاعات بخار داخل السائل.

درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$	f mm Hg
0	4,6
10	9,1
20	17,3
30	31,4
35	42
37	47
40	55
45	72

جدول 1 ضغط بخار الماء المشبع بتابعة درجة الحرارة

## الغليان:

هو عبارة عن ظاهرة عنيفة مستمرة طالما أن السائل موجود وبداخله فقاعات البخار وأن درجة الحرارة تبقى ثابتة عند قيمة محددة بشكل جيد طالما أن تشكل الفقاعات داخل السائل مستمر، وتسمى درجة حرارة الغليان والتي لا تتعلق إلا بطبيعة السائل والضغط فمثلاً درجة حرارة غليان الماء تحت ضغط جوي 1 atm محددة اصطلاحاً عند الدرجة  $100^{\circ}\text{C}$ . وبالتالي يمكننا رفع درجة حرارة السائل إلى قيمة أكبر من درجة حرارة الغليان دون أن يحدث الغليان (تم الوصول بالايتر الذي درجة حرارة غليانه تحت الضغط الجوي النظامي  $35^{\circ}\text{C}$ ، حتى  $143^{\circ}\text{C}$  دون أن يحدث الغليان). لكن ما إن تظهر فقاعة بخار صغيرة جداً داخل السائل حتى نشاهد حدوث غليان شديد.

## ملاحظة:

كلما ازداد الضغط المطبق على السائل كلما أدى ذلك إلى ارتفاع نقطة غليانه. فالماء الذي يخضع إلى 2 atm يغلي عند الدرجة  $121^{\circ}\text{C}$  بدلاً من  $100^{\circ}\text{C}$  عند الضغط الجوي النظامي (على مستوى سطح البحر). أما في المناطق المرتفعة عن سطح البحر فالماء يغلي عند درجة حرارة أقل من  $100^{\circ}\text{C}$ ؛ لأن الضغط في هذه المناطق المرتفعة أقل من الضغط الجوي عند سطح البحر، فعلى ارتفاع 200 m يكون الضغط الجوي  $\frac{3}{4}$  من الضغط الجوي عند سطح البحر؛ لذا فالماء يغلي عند الدرجة  $93^{\circ}\text{C}$ .

## الحرارة الكامنة للتبخّر:

هي عبارة عن كمية الحرارة الضرورية لتحويل واحدة كتلة السائل إلى واحدة

كتلة بخار عند نفس درجة الحرارة، فمثلاً بالنسبة للماء :

- عند  $20^{\circ}\text{C}$  في الجملة السغئية: 591 cal/gr

في الجملة الدولية:  $2,47.10^6$  J/Kgr

- عند  $37^{\circ}\text{C}$  في الجملة السغئية: 580 cal/gr

في الجملة الدولية:  $2,42.10^6$  J/Kgr

- عند  $100^{\circ}\text{C}$  في الجملة السغئية: 537 cal/gr

في الجملة الدولية:  $2,24.10^6$  J/Kgr

## دور تبخر الماء في تنظيم الحرارة:

إن كل واحد غرام ماء متبخّر يمتص حوالي 580 cal من الوسط الخارجي الذي

بدوره يبرد. ولهذا ترش الأرض بالماء بغية تلطيف الجو.

تناسب كتلة الماء المتبخرة خلال واحدة الزمن  $\frac{dm}{dt}$  مع S سطح التبخر، ومع

الفرق ما بين f ضغط البخار المشبع للماء و  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  ضغطه الجزئي عند اللحظة المعتبرة أي:

$$\frac{dm}{dt} = KS(f - P_{\text{H}_2\text{O}})$$

فعندما تزداد درجة الحرارة فإن f تزداد وكذلك تزداد كتلة الماء المتبخرة؛ ولهذا

تزداد كمية الحرارة المستبعدة أيضاً مما يتسبب بانخفاض درجة الحرارة التي تسعى

بدورها للحد من كمية الحرارة المستبعدة وبالتالي تنظيمها. فعند الكائنات الحية نرى

بأن تبخر الماء يلعب دوراً كبيراً في إزالة كمية الحرارة الزائدة الناتجة من التفاعلات البيوكيميائية سواء أكانت في الحالة الطبيعية أو في حالة الحمى، يحدث هذا التبخر بشكل أساسي في الحويصلات الرئوية (الهواء الحويصلي المستبعد يكون مشبعاً ببخار الماء). أما على مستوى الجلد فيجب التمييز ما بين التعرق اللاإرادي وهو عبارة عن ظاهرة تقريباً ثابتة (حوالي 0,7 لتر في اليوم) وافراز العرق أو النتح الذي تتحكم به الجملة العصبية ويتغير بعنف وفقاً للمتطلبات (من 0 إلى عدة لترات يومياً).

تكون كمية الماء المتبخرة كبيرة بمقدار ما يكون الضغط الجزئي لبخار الماء في الغلاف الجوي صغيراً، ونفهم من ذلك أن الكائنات الحية تتحمل الحرارة المرتفعة الخارجية عندما يكون الهواء جافاً ( $P_{H_2O}$  صغيرة) بسهولة أكبر من تحملها عندما يكون الهواء رطباً ( $P_{H_2O}$  قريب من  $f$ ) كما أن التبخر المنتج لبخار الماء يزيد  $P_{H_2O}$  في الهواء الملامس للجلد فيعمل على إبطاء هذه الظاهرة؛ ولهذا فإن تجديد هذا الهواء وإعادة التبخر يحدث برودة (تيارات هواء، مراوح...).

### الانتقال من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة (تجميع أو تكثيف):

إن لتجميع الغازات لاسيما الأكسجين أو الآزوت فائدة تقنية أساسية في التطبيقات الطبية وبصورة خاصة في الإنعاش.

نشير أحياناً أنه عند غياب السائل فإن بخاره (هذا السائل) يمكن أن يتواجد عند ضغط جزئي أعلى من ضغط الإشباع ويطلق على هذا البخار اسم فوق الإشباع، وأن التكثيف لا يتم إلا عند تشكل قطرة سائل صغيرة جداً، ثم يصبح بعد ذلك عتيقاً (مطرًا) ويتوقف عندما يصل ضغط البخار إلى قيمته الإشباعية.

## IV - المقادير الحرارية:

### 1 - درجة الحرارة:

مقدار يدخل تقريباً في معظم الظواهر الفيزيائية والكيمياء الفيزيائية ومع ذلك لا يمكن معرفتها مباشرة بالعين المجردة، فهي لا تظهر إلا من خلال تأثيرها:

- الفيزيولوجيا: الشعور بالسخونة أو البرودة.

- الفيزياء: تغيرات الحجم

تغيرات الناقلية الكهربائية

تغيرات فرق الكمون الكهربائي

- الكيمياء: تغيرات سرعة التفاعل

وبغية الاستدلال على درجات الحرارة وتقديرها فيما إذا كانت إحداها أكبر من الأخرى وتحديد نسبتها، نستخدم سلالم درجات الحرارة .

- سلم سلزيوس أو المتوي، نفترض وبشكل كفي أن:

درجة انصهار الجليد تحت الضغط الجوي النظامي تساوي الصفر.

درجة غليان الماء تحت الضغط الجوي النظامي تساوي المئة.

إذا فدرجة سلزيوس هي بالتقريب  $\frac{1}{100}$  من فرق درجة الحرارة ما بين الجليد

المنصهر وبخار الماء الذي يغلي وكلاهما تحت الضغط الجوي النظامي.

وبشكل عام يرمز لدرجة حرارة سلزيوس بالرمز  $\theta$ :

$$\theta = X \text{ } ^\circ\text{C}$$

- السلم المطلق أو ما يعرف بسلم كلفن ويرمز لدرجة الحرارة المطلقة بالرمز T وإن درجة الحرارة هي نفسها كما في سلم سلزيوس لكن المبدأ (الصفير المطلق) يساوي إلى  $273^{\circ}\text{C}$  - ومنه فإن:

$$T^{\circ}\text{K} = \theta^{\circ}\text{C} + 273$$

ملاحظة: إذا مزجنا 1Kgr من الماء درجة حرارته  $30^{\circ}\text{C}$  مع 1Kgr ماء درجة حرارته  $50^{\circ}\text{C}$  فإن درجة الحرارة النهائية لا تساوي أبدا:

$$50+30=80^{\circ}\text{C}$$

أي أن درجات الحرارة لا تجمع.

## 2 - كمية الحرارة:

لنضع قطعة حديد درجة حرارتها  $60^{\circ}\text{C}$  في ماء درجة حرارته  $20^{\circ}\text{C}$  عندئذ نلاحظ بأن درجة حرارة الماء ترتفع بينما درجة حرارة الحديد تنخفض وهذا يعني بأن الحديد الذي انخفضت درجة حرارته قد فقد كمية من الحرارة اكتسبها الماء؛ ولهذا ارتفعت درجة حرارته، وبما أن الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة لذا يعبر عنها في الجملة الدولية بالجول. وأحيانا تستخدم وغالبا في الكيمياء والبيولوجيا الحرارة وهي كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة 1gr ماء درجة مئوية واحدة وذلك ما بين  $14,5^{\circ}\text{C}$  و  $15,5^{\circ}\text{C}$ .

وبما أن تعريف الحرارة هو كيمي لذا فإن معادها بالجول لا يمكن أن يكون إلا

تجريبيا ( $1\text{cal} = 4,18 \text{joules}$ ).

### 3 - العلاقة ما بين كمية الحرارة وتغيرات درجة الحرارة:

تبين التجربة أنه إذا قدمنا إلى كتلة  $m$  من مادة ما درجة حرارتها البدائية  $\theta_1$ ، كمية من الحرارة  $Q$  فإن درجة حرارتها ترتفع وتصل إلى القيمة  $\theta_2$ ، ( $\theta_2 > \theta_1$ )

وبالعكس إذا فقدت المادة كمية من الحرارة  $Q$  فإن درجة حرارتها تنخفض ( $\theta_2 < \theta_1$ ).

فإذا اعتبرنا  $Q$  موجبة عندما تكسبها المادة وسالبة عندما تفقدها، نحصل في الحالتين على:

$$Q = K(\theta_2 - \theta_1)$$

حيث  $K$ : السعة الحرارية للمادة ويعبر عنها في الجoule الدولية: جول/درجة (أحياناً حريرة/درجة) وهي تتعلق بطبيعة المادة كما أنها تتناسب مع كميتها التي يعبر عنها بكتلتها  $m$  أو بعدد المولات  $n$  أي أن:

$$K = C.m$$

$$K = C_m.n$$

$C$ : الحرارة الكتلية (أحياناً الحرارة النوعية) ويعبر عنها في الجoule الدولية جول/درجة كغ (أحياناً حريرة/درجة. غرام)

$C_m$ : السعة الحرارية المولية ويعبر عنها في الجoule الدولية جول/درجة. مول (أحياناً حريرة/درجة. مول) ويتعلق  $C$  و  $C_m$  بطبيعة المادة المعنية (وبشكل طفيف مع درجة الحرارة التي توجد عندها) ويبين (الجدول 2) قيم الحرارة الكتلية لبعض

المواد، ومنه نستنتج بأن قيمة الحرارة الكتلية للماء كبيرة بالمقارنة مع الحرارة الكتلية للمواد الأخرى وبالتالي ينتج بأن نفس كمية الحرارة Q المقدمة تتسبب بارتفاع حراري ( $\theta_2 - \theta_1$ ) يكون أقل في الماء مما هو عليه في مادة أخرى لها نفس الكتلة:

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{Q}{mc}$$

وبالعكس عند تبريد كتلة ماء من  $\theta_1$  إلى  $\theta_2$  تقدم للوسط الخارجي كمية حرارة أكبر مما تقدمه نفس الكتلة من مادة أخرى. لذا فإنه يلعب دور منظم لدرجة الحرارة:

ففي المناطق الواقعة بالقرب من كتل الماء الكبيرة ( محيط، بحر، بحيرة.. ) تكون الفروقات الحدية لدرجة الحرارة أقل مما هي عليه في المناطق الصحراوية. وهذا صحيح أيضاً عند الكائنات الحية، فالماء وبفضل حرارته الكتلية المرتفعة يلعب دوراً هاماً في التجانس الحراري عندها.

كحول ايتلي	2340
نحاس	387
ماء	4180
حديد	459
غليكول	3177

جدول 2 الحرارة الكتلية ( $\text{joule} \cdot \text{degre}^{-1} \text{Kgr}^{-1}$ )

## V - انتشار الحرارة:

عندما تكون  $\theta_A$  و  $\theta_B$  درجتا حرارة نقطتين B و A مختلفتين، فإن كمية من الحرارة تنتقل من النقطة حيث درجة الحرارة مرتفعة إلى النقطة التي درجة حرارتها منخفضة ويستمر هذا الانتقال حتى تتعادل درجتا الحرارة في هاتين النقطتين، ويمكن أن يتم انتقال الحرارة هذا وفق ثلاث طرق:

### 1 - بالنقل (بالتوصيل):

عندما نرفع درجة حرارة الطرف A لقضيب معدني، نلاحظ بأن درجة حرارة الطرف الآخر B للقضيب ترتفع وهذا يعني أنه تم انتقال للحرارة من A نحو B في الوقت الذي لم ينتقل فيه أي جسيم من A نحو B ضمن هذا المعدن. إذا فالنقل هو انتشار للحرارة داخل المادة التي تبقى ثابتة.

ونطلق اسم تدفق الحرارة  $\phi$  على كمية الحرارة التي تجتاز مقطعاً محاللاً واحدة الزمن. وأنه عندما يستمر هذا الانتقال زمناً قدره  $dt$  فإن كمية الحرارة التي تجتاز مقطع القضيب هي  $dQ$  ومنه فإن:

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$

في حالة حجم متجانس مساحة مقطعه S ثابت وطوله L فإن:

$$\phi = \frac{\sigma S(\theta_A - \theta_B)}{L}$$

حيث  $\sigma$ : الناقلية الحرارية للمادة وتعلق بطبيعتها.

## 2 - بالحمل:

يتم نقل الحرارة بمادة متحركة (تدفئة مركزية بالماء الساخن أو بالهواء السلخن مثلاً) وهنا نميز:

### - الحمل الطبيعي:

الذي ينسب إلى أن حجم كتلة المائع يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة أي أن الكتلة الحجمية تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة وأنه بمقدار ما يكون هذا المائع ساخناً بمقدار ما يكون خفيفاً، فالهواء الساخن يرتفع في الجو والماء الساخن يتجمع في الجزء العلوي من حجم السائل، كما يسمح الحمل الطبيعي للهواء بتماس الجلد بتخليص الجسم من كمية من الحرارة، ومن جهة أخرى يسهل التبخر وذلك باستبدال الهواء المحمل ببخار الماء بهواء أكثر جفافاً.

### - الحمل القسري:

تتم حركة المائع بمضخة، ففي الجسم يلعب حمل الدم (دوران الدم) دوراً هاماً في تنظيم درجة الحرارة، فهو يوزع الحرارة الناتجة في بعض نقاط الجسم على الجسم كله مجنباً الجسم ارتفاع درجات الحرارة المتموضعة في مكان إنتاجها.

## 3 - بالإشعاع:

كل جسم A درجة حرارته أعلى من  $0^{\circ}\text{K}$  يصدر طاقة على شكل إشعاعات كهروميسية تتحول بشكل شبه كامل إلى حرارة عند امتصاصها من قبل جسم B. ويجب الملاحظة هنا أنه على عكس الطريقتين الأوليتين لانتشار الحرارة واللتين تتطلبان حاملاً مادياً، إن الإشعاع ينتشر حتى في الفراغ وإن طريقة الانتشار هذه أساسية للحياة لأنه من خلالها تسخن الشمس الأرض.



## مسائل غير محلولة

- نضع في وعاء معزول حرارياً 1kg من الجليد درجة حرارته  $0^{\circ}\text{C}$  و 0,5Kg من الحديد درجة حرارته  $200^{\circ}\text{C}$ . صف ما يحدث ثم أوجد درجة الحرارة النهائية للجملة.
- ما هي كمية الحرارة المستبعدة خلال 24 ساعة عن طريق الجلد من شخص يبعد عن هذا الطريق (5) لتر من العرق خلال 24 ساعة منها (2) لتر على شكل بخار و(3) لتر تنساب إلى الأرض بدون تبخر. ضمن أي شروط تحدث هذه الظواهر.
- شخص غير راض عن سلق البيض في قدر يحتوي على ماء يغلي. هل يسلق البيض بسرعة أكبر إذا زاد النار، أم إذا استخدم قدر (طنجرة) الضغط.
- غمر ميزان حرارة زئبقي في سائل حتى التقسيمة 10 فأشار إلى  $60^{\circ}\text{C}$ ، ثم غمر ثانية حتى التقسيمة 40 فأشار إلى  $60,6^{\circ}\text{C}$  ما هي درجة حرارة السائل.
- يستهلك مثقب 200 واط خلال دقيقتين لعمل ثقب في لوح نحاسي كتلته 1Kg. فإذا كان 75% من الحرارة المتحررة ممتصة من قبل النحاس، ما هو مقدار ارتفاع درجة حرارته علماً بأن الحرارة النوعية للنحاس هي  $0,09 \frac{\text{cal}}{\text{gr}^{\circ}\text{C}}$
- طلقة رصاص كتلتها  $m = 2\text{gr}$  تتحرك بسرعة  $200 \frac{m}{s}$  فتصطدم بلوح خشبي ثابت كتلته  $M = 2\text{Kgr}$ .

- احسب ارتفاع درجة حرارة الطلقة مفترضين بأن كامل الحرارة المتحررة تتلقاها  
الطلقة، علماً بأن الحرارة النوعية للرصاص هي:

$$0,03 \frac{\text{cal}}{\text{gr.}^\circ\text{C}}$$