

Energie thermique et transfert thermique

I-Transfert d'énergie thermique :

1) Notion de transfert thermique :

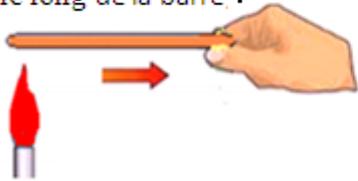
Lorsqu'on met en contact deux corps ayant des températures différentes, la température du corps chaud diminue et celle du corps froid s'élève. L'énergie interne du corps chaud décroît et celle du corps froid croît, on dit qu'il y'a transfert d'énergie entre les deux corps, il s'agit ici d'un transfert d'énergie thermique noté Q qui s'exprime en joule.

2) Les modes du transfert thermique :

Le transfert thermique s'effectue par conduction, par convection ou par rayonnement.

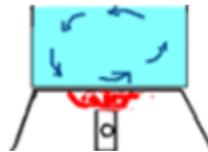
Transfert par conduction :

En chauffant l'une des extrémités d'une barre métallique on constate l'échauffement progressif par conduction le long de la barre.



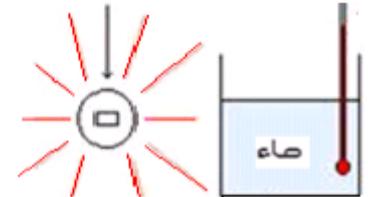
Transfert par convection :

Quand on fait bouillir de l'eau dans une casserole. L'eau, chaude par le fond, se dilate puis monte dans la casserole et l'eau froide descend. Il en résulte un mouvement de convection.



Transfert par rayonnement :

Le rayonnement est une autre forme de transfert de la chaleur il peut se faire sur de très grandes distances et même dans le vide.



II-Energie thermique :

1) Définition de l'énergie thermique :

L'énergie thermique Q , est l'énergie échangée sous forme de chaleur, elle peut faire varier la température d'un corps ou provoquer son changement d'état physique.

L'énergie thermique est la quantité de chaleur Q reçue ou perdue par un corps de masse m lorsque sa température varie de la température θ_i à la température θ_f elle est donnée par la relation suivante :

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

Q : énergie thermique en (J)

m : masse du corps en (kg)

c : la capacité thermique massique du corps (en $J/kg \cdot ^\circ C$)

$\theta_f - \theta_i$: variation de la température (en $^\circ C$) ou (en K)

$\mu = m \cdot c$: capacité thermique en ($J/^\circ C$) ou (J/K)

Remarque : L'énergie thermique : $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ avec : $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$

-Si $\Delta\theta > 0$ ($\theta_f > \theta_i$) donc : $Q > 0$ le corps reçoit la chaleur .

-Si $\Delta\theta < 0$ ($\theta_f < \theta_i$) donc : $Q < 0$ le corps perd la chaleur .

2) Capacité thermique massique : $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$

La capacité thermique massique : c , d'un corps est l'énergie thermique nécessaire pour faire varier de $1^\circ C$ la température de l'unité de masse (1kg) de ce corps .

3) Capacité thermique : dans la relation précédente : $Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$ on pose : $\mu = m \cdot c$ s'appelle la capacité thermique du corps en ($J/^\circ C$) \Rightarrow la relation devient : $Q = \mu \cdot (\theta_f - \theta_i)$. La capacité thermique massique (μ) d'un corps de masse m est l'énergie thermique nécessaire pour faire varier sa température de $1^\circ C$.

4)- Equilibre thermique :

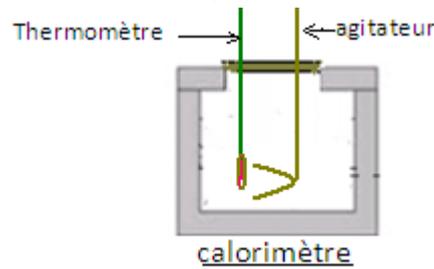
Lorsqu'on met en contact deux corps ayant des températures différentes, le transfert thermique s'effectue spontanément du corps dont la température la plus élevée vers celui dont la température la plus basse et le transfert cesse lorsque les deux corps sont à la même température : on dit que l'équilibre thermique est réalisé .

L'équilibre thermique est traduit par la relation : $\Sigma Q_i = 0$ dans ce cas : $Q_1 + Q_2 = 0$

III-Mesures calorimétriques :

1) Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre

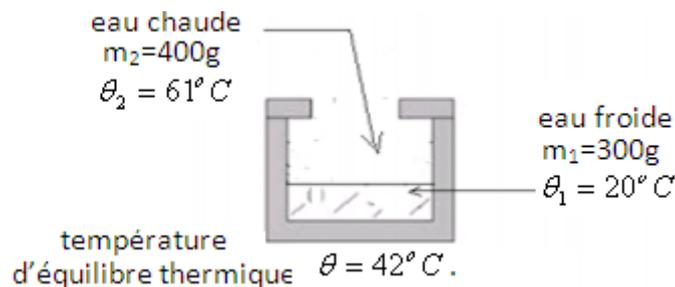
Les transferts thermiques sont souvent accompagnés de fuites thermiques, pour éviter ces fuites on utilise un calorimètre (c'est une enceinte adiabatique) et de cette façon on réduit les pertes de chaleur.



Exemple : Dans un calorimètre contenant une masse $m_1=300\text{g}$ d'eau froide à la température $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$, on verse rapidement une quantité d'eau chaude de masse $m_2=400\text{g}$ et de température $\theta_2 = 61^\circ\text{C}$ et la température d'équilibre thermique du mélange se stabilise à la valeur $\theta = 42^\circ\text{C}$.

On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_e=4180\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$.

Déterminer la capacité thermique du calorimètre.



Expression de l'énergie thermique reçue par l'eau froide : $Q_1 = m_1 \cdot c_e (\theta - \theta_1)$

Expression de l'énergie thermique cédée par l'eau chaude : $Q_2 = m_2 \cdot c_e (\theta - \theta_2)$

Expression de l'énergie thermique reçue par le calorimètre : $q = \mu \cdot (\theta - \theta_1)$

le calorimètre est une enceinte adiabatique donc : $\Sigma Q_i = 0$

$Q_1 + Q_2 + q = 0$ c'est la relation calorimétrique.

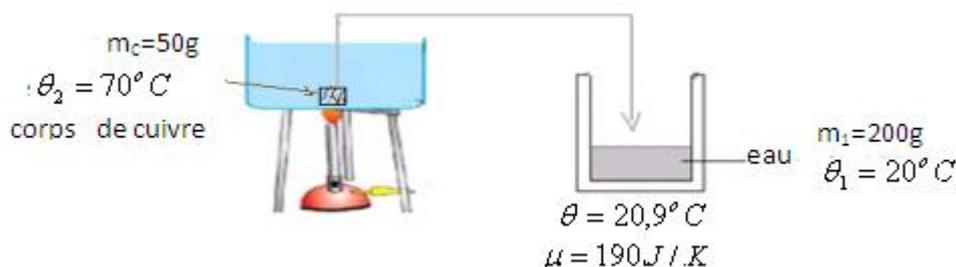
$$m_1 \cdot c_e (\theta - \theta_1) + m_2 \cdot c_e (\theta - \theta_2) + \mu \cdot (\theta - \theta_1) = 0 \Rightarrow : \mu \cdot (\theta_1 - \theta) = m_1 \cdot c_e (\theta - \theta_1) + m_2 \cdot c_e (\theta - \theta_2)$$

$$\mu = \frac{m_1 \cdot c_e (\theta - \theta_1) + m_2 \cdot c_e (\theta - \theta_2)}{\theta_1 - \theta}$$

$$\mu = \frac{0,3 \times 4180 (42 - 20) + 0,4 \times 4180 \cdot (42 - 61)}{20 - 42} = 190 \text{ J/K}$$

2) Détermination de la capacité thermique massique d'un corps :

Un calorimètre de capacité thermique $\mu = 190 \text{ J/K}$ contient une masse $m_1=200\text{g}$ d'eau à la température $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ de façon que l'ensemble (calorimètre eau) soit en équilibre thermique. On fait entrer rapidement dans le calorimètre un corps de cuivre de masse $m_c=50\text{g}$ et de température $\theta_2 = 70^\circ\text{C}$ après l'avoir chauffé dans un bain marie. la température d'équilibre thermique du mélange se stabilise à la valeur $\theta = 20,9^\circ\text{C}$, on donne $c_e=4180\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$. Déterminer capacité thermique massique du cuivre.



Expression de l'énergie thermique reçue par l'eau froide : $Q_1 = m_1 \cdot c_e (\theta - \theta_1)$

Expression de l'énergie thermique cédée par l'eau chaude : $Q_2 = m_2 \cdot c_e (\theta - \theta_2)$

Expression de l'énergie thermique reçue par le calorimètre : $q = \mu \cdot (\theta - \theta_1)$

Or le calorimètre est une enceinte adiabatique (pas d'échange de chaleur avec le milieu extérieur) , la relation calorimétrique s'écrit :

$$\Sigma Q_i = 0 \Rightarrow Q_1 + Q_2 + q = 0$$

$$m_1.c_e(\theta - \theta_1) + m_c.c_c(\theta - \theta_c) + \mu(\theta - \theta_1) = 0 \Rightarrow m_c.c_c(\theta - \theta_c) + (m_1.c_e + \mu)(\theta - \theta_1) = 0$$

$$\Rightarrow m_c.c_c(\theta - \theta_c) = (m_1.c_e + \mu)(\theta_1 - \theta) \quad \text{donc:} \quad c_c = \frac{(m_1.c_e + \mu)(\theta_1 - \theta)}{m_c(\theta - \theta_c)}$$

$$\text{A.N: } c_c = \frac{(0,2 \times 4180 + 190) \cdot (20 - 20,9)}{0,05 \cdot (20,9 - 70)} \approx 376 \text{ J / K.kg}$$

IV-Energie thermique du changement d'état : chaleur latente :

1)La fusion et la solidification :

L'énergie thermique du changement d'état d'un corps pur (ou chaleur latente) ,notée L , est l'énergie qu'il faut fournir à l'unité de masse de ce corps (à sa température de changement d'état) , pour réaliser son changement d'état.

L'énergie thermique reçue par un corps durant sa fusion est proportionnelle à sa masse : **Q=m.L_f**

L_f : chaleur latente de fusion en (J/kg).

Dans le cas inverse :

L'énergie thermique perdue par un corps durant sa solidification est proportionnelle à sa masse : **Q=m.L_s**

L_s : chaleur latente de solidification en (J/kg). Elle liée à la chaleur latente de fusion par la relation : **L_s=-L_f**.

L_s :Chaleur latente de solidification

L_f :Chaleur latente de fusion

2)La vaporisation et la condensation :

L'énergie thermique reçue par un corps pur durant sa vaporisation est proportionnelle à sa masse : **Q=m.L_v**

L_v : chaleur latente de vaporisation en (J/kg).

Dans le cas inverse :

L'énergie thermique perdue par un corps pur durant sa condensation est proportionnelle à sa masse : **Q=m.L_c**

L_c : chaleur latente de condensation en (J/kg). Elle liée à la chaleur latente de vaporisation par la relation : **L_s=-L_v**.

3)Exercice d'application :

On considère un morceau de glace de masse m=50g de température $\theta_1 = -20^\circ \text{C}$ on lui fournit une énergie thermique $Q_1=5,45\text{kJ}$.

1) Déterminer la masse d'eau liquide qui va apparaitre (c'est-à-dire la masse de glace qui va fondre) .

2) Quelle est l'énergie thermique nécessaire pour transformer ce morceau de glace en eau à la température $\theta_2 = 20^\circ \text{C}$?

On donne : capacité thermique massique de la glace : $c_g=2100\text{J/kg.K}$

capacité thermique massique de l'eau : $c_e=4180\text{J/kg.K}$ et la chaleur latente de fusion de la glace : $L_f=335\text{J/kg}$.

1) Déterminons tout d'abord l'énergie thermique nécessaire pour réaliser la fusion du morceau de glace .

$$Q = m.c_g(\theta_f - \theta_1) + m.L_f$$

$$= 0,05 \times 2100(0 - (-20)) + 0,05 \times 335 \cdot 10^3 = 18850 \text{ J} = 18,85 \text{ kJ}$$

$$Q = m.c_g(\theta_f - \theta_1) + m.L_f$$

$$= 0,05 \times 2100(0 - (-20)) + 0,05 \times 335 \cdot 10^3 = 18850 \text{ J}$$

Donc 5,45KJ n'est pas suffisante pour réaliser la fusion totale du morceau de glace.

Soit m' la masse de glace fusionnée.

$$Q_1 = m.c_g(\theta_f - \theta_1) + m'.L_f \Rightarrow m' = \frac{Q_1 - m.c_g(\theta_f - \theta_1)}{L_f} = \frac{5450 - 0,05 \times 2100(0 - (-20))}{335000} = 0,01 \text{ kg} = 10 \text{ g}$$

3) l'énergie thermique nécessaire pour transformer ce morceau de glace en eau à la température $\theta_2 = 20^\circ \text{C}$

$$Q = m.c_g(\theta_f - \theta_1) + m.L_f + m.c_e(\theta_2 - \theta_f)$$

$$= 0,05 \times 2100(0 - (-20)) + 0,05 \times 335 \cdot 10^3 + 0,05 \times 4180(20 - 0) = 23030 \text{ J} \approx 23 \text{ kJ}$$