

LPM. Transfert thermique.

Niveau: Terminale S (au 1^{er} STI2D fonctionnement imposé)

Prerequis

- * Energie interne
- * Agitation thermique
- * Phénomène de dilatation
- * (Modes de transferts thermiques) si on veut sauter I
- * Module du corps noir
- * Loi de Wien
- * Notion de travail
- * Le Kelvin
- * Energie électrique
- * Association de résistance en électrique

Bibliographie

- * Physique Chimie T^S - Delcours
- * Livre 1^{er} STI2D. Hochette

⚠ Une partie extrop : en fait sauter une
↳ meilleure application pour l'optique ?

Expérience: Conduction, convection et rayonnement thermique

- Barres en métaux ⊕ eau bouillante
- tube en corré ⊕ calorant ⊕ flamme (Tube de Thiele)
- Ampoule ?

Calorimétrie : } Mesure chaleur latente fusion glace ?
 } Mesure c_{eau}.

Introduction Pédagogie

- * Ce cours se place au niveau terminal S dans le thème "Comprendre"
- * Il sert en cours introductif sur la thermodynamique à les élèves ont vu ce qu'est l'énergie interne, et comment on pouvait interpréter la température comme de l'agitation thermique
- * Ce cours vient en terminal car pour pouvoir bien expliquer les phénomènes mis en jeu dans les transferts thermiques, les élèves ont besoin d'un bagage scientifique important.
- * Il faut que les élèves soient déjà familiers avec les notions d'énergie et de puissance, ainsi qu'avec les notions vu en électricité.
- * Afin de mieux appréhender le transfert par rayonnement les élèves devraient être familiers avec le modèle du corps noir et la loi de Wien
- * Dans ce cours on va essayer de modéliser des phénomènes que les élèves expérimentent tout les jours avec des outils de la physique.
- * Pour rendre cela le moins abstrait possible on prendra un maximum d'exemples pour illustrer les phénomènes
- * Nous réaliserons aussi des expériences simple pour mettre les phénomènes en évidence
- * Comme les élèves ne connaissent pas la notion d'enthalpie, par abus on expliquera que le travail des forces de pression est compris dans la capacité calorifique, et on fera les calculs avec U .
- * La difficulté de ce cours réside dans le fait de comprendre l'influence d'effets microscopiques sur des propriétés macroscopiques, ainsi que le sens des transferts.
- * On utilisera au maximum des schémas pour rendre la chose la plus claire possible
- * TD : Etude des transferts thermiques d'une maison avec bilan
- * TP cours : Sur la chaleur latente de changement d'état.
- * Etude de doc : Sur les machines thermiques avec le rendement d'un chauffe-eau solaire

Introduction

* Bonjour à tous, aujourd'hui nous allons parler de transfert thermique, c'est une notion qui semble familière, mais on ne sait pas vraiment physiquement ce que cela représente.

* On a vu au cours dernier que dans un système les particules qui le compose bougent, et que plus elle bouge vite plus le système a une grande énergie interne.

↳ ça se traduit pour nous par une température de système plus importante.

↳ projection image.

* Intuitivement on sait que si je prends de l'eau de mon frigo que je la mets dans un verre sur une table, au bout d'un moment elle va s'être réchauffée et être à température ambiante.

* Mais comment est-ce qu'on a réussi à augmenter l'énergie interne de l'eau ?

Objectif Comprendre les différents modes de transferts thermiques
Savoir appliquer un bilan d'énergie à un système

Transition : On a parlé de transfert thermique, mais comment est-ce qu'ils sont réalisés ?

I - Les Modes de transfert thermique

A - La conduction et diffusion (eau bouillante @ barre métallique Al Cu, bois)

* La conduction thermique : c'est un transfert qui s'effectue par contact de proche en proche sans transport de matière.

↳ Si un solide n'est pas à la même température partout, certaines particules ont une agitation thermique plus grande. Elles vont s'entrechoquer avec les plus froides et leur céder une partie de l'énergie cinétique

⇒ augmentation de la température de proche en proche (projection)



* C'est par exemple si je mets un glaçon dans mon verre d'eau.

• Le bord est à 0°C

• L'intérieur à -20°C

↳ Transfert du bord vers le centre

* On peut aussi le faire si je plonge des barres en Cu, Al et bois dans l'eau (expérience)

* Si je mesure la température au bout de chaque matériau, je n'ai pas la même température



↳ certains conduisent mieux la chaleur

↳ on définit un coefficient de conductivité thermique λ en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ (proje)

⇒ on a des isolants et des conducteurs thermiques

Transition : Si je veux boire du thé je vais avoir besoin de chauffer

de l'eau : je la mets dans une casserole et je chauffe : que se passe-t-il dans l'eau ?

B - La Convection

Experience

- * Par essayer de voir ce qu'il se passe, j'ai mis du colorant dans une partie de mon tube et je vais chauffer le fond.
- * On veut qu'en chauffant l'eau se déplace
⇒ c'est la convection
- * Comment ça se fait ?
- * Quand je chauffe l'eau se dilate, et devient moins dense
 - ↳ Elle va remonter à la surface et donc l'eau froide plus dense va descendre au fond
 - ↳ Elle va chauffer, remonter et ainsi de suite. (projo)

Transition : Une fois que mon eau est chaude, il faut attendre qu'elle refroidisse pour ne pas se brûler.

Cela se produit par un troisième mode de transfert

C - Le rayonnement

* Si vous vous souvenez en a vu le modèle du corps noir quand on parle de sources de lumière.

* Un corps noir, émet un rayonnement en fonction de sa température, c'est la loi de Wien (projo), et le rayonnement qu'il émet lui fait perdre de l'énergie $\Rightarrow$ et donc le refroidit. (projo)

* On peut avoir l'effet inverse s'il absorbe un rayonnement (si je le laisse au soleil, mon verre d'eau va se réchauffer).

* Ce rayonnement conformément à la loi de Wien : $\lambda = \frac{2.89 \cdot 10^{-3}}{80} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

$\hookrightarrow$ il est dans l'infrarouge $\Rightarrow$ c'est ce qu'utilise les caméras thermiques, elles sont sensibles aux infrarouges (projo)

Transition : On a vu quels étaient les différents modes de transfert thermique, mais est ce qu'on peut prévoir comment va évoluer la température du système ?

II - Bilans microscopique

A - Variation d'énergie interne

- * Un transfert thermique c'est une énergie qu'on va noter Q
- * Un système peut recevoir un transfert thermique, mais il peut aussi recevoir un travail, mécanique ou électrique par exemple.
- * Un grand principe de la thermodynamique nous dit que la variation d'énergie interne c'est le travail qu'elle reçoit + son transfert thermique

$$\Rightarrow \boxed{\Delta U = W + Q}$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
J J J

avec W et Q les travaux reçus par le système
 $W > 0$ si reçoit travail $W < 0$ si fournit travail

- Exemple :
 - mon verre au soleil $Q > 0$: on chauffe U augmente, T augmente.
 - mon verre qui refroidit $Q < 0$

Transition : Mais comment est ce qu'on peut relier l'énergie interne à la température ?

B - Lien entre macroscopie et microscopie

* On définit une grandeur que l'on appelle la capacité calorifique d'un système,

↳ elle correspond à sa capacité à changer de température plus ou moins facilement

* Si C est grand il faut apporter beaucoup d'énergie pour changer T

* " " petit = " " peu = " "

* Comme elle dépend du système, on définit la capacité calorifique massique

$c_m = \frac{C}{m}$, en $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$, comme son on peut avoir des tables par chaque composé. (projection)

* C'est cette grandeur qui relie la variation d'énergie interne à la variation de température,

$$\Rightarrow \boxed{\Delta U = m \cdot c_m \cdot \Delta T} \quad K$$

$J \quad kg \quad J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$\Rightarrow$ C'est donc l'énergie à fournir par augmenter la température du système de $1K$

Transition : Est-ce qu'on pourrait utiliser ce qu'on connaît sur les transferts thermiques et les travaux pour déterminer une capacité calorifique ?

C- Détermination de la capacité calorifique massique de l'eau.



- * Par faire ça on va utiliser un calorimètre, il est composé de
 - d'un volume pour accueillir des liq.
 - recouvert d'Aluminium pour éviter les pertes par rayonnement
 - il est fermé pour avoir un minimum d'échange avec l'air
 - les parois sont dans des matériaux isolant, avec du vide au milieu $\Rightarrow$ pas conduction

* On apporte un travail élec. $W = U \cdot I \cdot \Delta t$ (Normalement il y a des forces de pression, mais elles peuvent être prise en compte dans c)

* Pas de transfert thermique $\Rightarrow Q = 0$

$$\Rightarrow \Delta U = 0$$

* Il faut faire attention parce que l'intérieur du calorimètre aussi va chauffer donc il faut le prendre en compte $\Rightarrow$ on lui associe une masse en eau équivalente qu'on a mesuré en avance : $m_{\text{calo}} =$ kg



* En plongeant une résistance dans l'eau, froide dans le calo à T_0

$$\Delta U = W = U I \Delta t = (m_{\text{eau}} + m_{\text{calo}}) \cdot c_{\text{eau}} (T_f - T_0)$$

$$= (m_{\text{eau}} + m_{\text{calo}}) \cdot c_{\text{eau}} (T_f - T_0)$$

En traçant $\frac{U I \Delta t}{m_{\text{eau}} + m_{\text{calo}}} = f(\Delta T)$ on a une droite de coeff c_{eau}

* Expérience: faire une mesure: ajouter un point à la droite
 $\hookrightarrow$ incertitude + compensation

Transition: On a parlé d'augmentation d'énergie interne, mais de quoi nous intéresse beaucoup avec la température c'est celle de notre mesure.

$\hookrightarrow$ Est ce qu'on peut aussi modéliser ça ?

III. Transfert macroscopique

A. Flux et résistance thermique

* Un flux c'est une quantité d'énergie qui traverse une surface pendant un temps Δt

* Dans le cas du transfert thermique, si je prend le mur de ma maison, où l'intérieur est à 20°C et l'extérieur est à 0°C , je vais perdre de l'énergie. Il va y avoir un transfert thermique vers l'ext

$\Rightarrow$ le flux : $\boxed{\varphi = \frac{Q}{\Delta t}}$

W J s

* Il existe une autre expression dans le cas du rayonnement, le flux est donné

par $\boxed{\varphi = \sigma \cdot S \cdot T^4}$: Loi de Stefan

W $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ K}$ K

$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

* Ce qui m'intéresse dans ma maison c'est de perdre le moins d'énergie, on a parlé au début d'isolant ou de conducteur, eh bien comme en électricité on a une résistance, mais Thermique

$\hookrightarrow \boxed{\varphi = \frac{\Delta T}{R_{th}}}$

W K $K \cdot W^{-1}$

grâce résistance $\Rightarrow$ bon isolant

même chose que $p = U/R$ en électricité.

* La résistance thermique dépend de plusieurs paramètres

- Plus le mur est épais plus il isole $\Rightarrow$ épaisseur
- Si on a une grande surface on peut avoir plus de pertes $\Rightarrow$ surface
- Un paramètre qui dépend du matériau (λ : cf première partie)

$\Rightarrow \boxed{R_{th} = \frac{e}{\lambda S}}$ et donc $\boxed{\varphi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\Delta T \cdot \lambda \cdot S}{e}}$ Animation

$K \cdot W^{-1}$ m m^2 $W \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$ $\Rightarrow$ projection λ

* Comme pour les résistances en électronique, on peut les associer :

↳ En série : $R_{th} = R_{th1} + R_{th2}$

↳ Exemple on ajoute de l'isolant sur un mur, on fait deux couches

* En dérivation $\frac{1}{R_{th}} = \frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}}$

↳ Exemple on met une fenêtre dans un mur.

Transition : Maintenant qu'on sait tout ça, est-ce qu'on peut étudier les pertes dans une maison ?

B. Interet du double vitrage

* Si j'ai un mur en beton de 10 cm d'epaisseur, la resistance thermique est

$$R_{th1} = \frac{e_{\text{beton}}}{\lambda_{\text{beton}} \times S} = \frac{1,0 \cdot 10^{-1}}{1,0 \times 2,0 \times 4,0} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

* C'est trop peu: je rajoute un isolant: ayant $\lambda = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$R_{th2} = R_{th1} + R_{th\text{isolant}} = 1,3 \cdot 10^{-2} + \frac{2,4 \cdot 10^{-1}}{3,5 \cdot 10^{-2} \times 8,0} = 0,87 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

* Si j'ajoute une fenetre simple vitrage: $\lambda_{\text{verre}} = 1,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $e = 1 \text{ cm}$
 $S = 1 \text{ m}^2$

$$\frac{1}{R_{th3}} = \frac{1}{R_{\text{verre}}} + \frac{1}{R_{th2}} = \frac{1,0 \times 1,0}{1,0 \cdot 10^{-2}} + \frac{1}{0,87} = 1,0 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Rightarrow R_{th3} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \Rightarrow \text{on retombe au debut}$$

* Avec du double vitrage:



$$\lambda_{\text{air}} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$e = 2 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{R_{th4}} = \frac{1}{2R_{th\text{verre}} + R_{th\text{air}}} + \frac{1}{R_{th2}} = \frac{1}{2,0 \cdot 10^{-2} + \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{2,0 \cdot 10^{-2} \times 1,0}} + \frac{1}{0,87} = 3,1 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Rightarrow R_{th4} = 0,33 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

* La fenetre fait perdre beaucoup, mais comme l'air est tres isolant, le double vitrage nous fait gagner beaucoup

Conclusion: On a 3 modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement, qui sont responsables:

- les changements de temperature d'un systeme comme mon verre d'eau
- des pertes dans ma maison.