LP n°32 : Présenter et illustrer la théorie élémentaire du phénomène de transport suivant :conduction thermique

Prérequis :
- Conduction électrique
- Diffusion de particule
- Thermodynamique

Bibliographie :
- HP BCPST 2
- Hecht
- Tt en 1

Introduction :

Confusion chaleur / Température , Lavoisier Thomson, fluide ou énergie (sensation de chaleur, effusivité), 3 modes de transfert thermique :
- Rayonnement (soleil, pas de matière nécessaire)
- Convection : mouvement macroscopique de la matière
- Diffusion, conduction : objet de la leçon.

Hypothèses : Problème unidimensionnel, hors équilibre global, équilibre local, système indéformable, homogène, ρ c λ indépendants de T

I Loi de Fourier

1 Mise en évidence expérimentale

Expérience : avec barres de $\neq$ métaux plongés dans de l'eau bouillante.

Jan Ingenhousz : mesure de la conductance thermique des métaux en les entourant de cire, mesure de la longueur de cire fondue. $\Longrightarrow$ λ dépend du matériau, la conduction dépend du gradient de température.

2 Énoncé de la loi

$\overrightarrow{j_{th}} = -\lambda\ \overrightarrow{grad}(T)$

Hypothèses : λ ne dépend pas de T, $\overrightarrow{grad}(T)$ est faible

$\overrightarrow{j_{th}}$ densité de flux thermique $\Longrightarrow [\lambda] = W.K^{-1}.m^{-1}$

Le - indique l'irréversibilité : transfert des hautes températures vers les basses températures

3 Ordres de grandeur de λ, interprétation de $\overrightarrow{j_{th}}$

Les métaux sont de bons conducteurs thermiques, la mousse est isolante, le bois plus que le béton, les tissus humains sont isolants, mais le sang assure transport de chaleur, en cas de froid, moins d'irrigation pour perdre moins de chaleur

$\lambda_{solide} > \lambda_{liquide} > \lambda_{gaz}$

Courte interprétation microscopique : choc des molécules ou des électrons qui est responsable de la diffusion.

$\varphi_{th} = \iint \overrightarrow{j_{th}}.d\overrightarrow{S} = \dfrac{\delta Q}{\delta t} \qquad \overrightarrow{j_{th}} = -\lambda \dfrac{\partial T}{\partial x}\overrightarrow{e_x}$

II Bilan de puissance thermique

1 Régime transitoire

Hypothèses : pas de source interne ni de fuite thermique. Bilan d'enthalpie sur une tranche d'épaisseur dx de surface S pendant dt :

$\dfrac{\partial H}{\partial t}dt = \rho c \dfrac{\partial T}{\partial t} Sdxdt = (j_{th}(x) - j_{th}(x+dx))Sdt = -\dfrac{\partial j_{th}}{\partial x}Sdxdt \Longrightarrow \dfrac{\partial T}{\partial t} = \dfrac{\lambda}{\rho c}\dfrac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

$\dfrac{\lambda}{\rho c} = D_{th}$: diffusivité thermique $[D_{th}] = L^2T^{-1} \Longrightarrow$ La diffusion est efficace à petite échelle spatiale

On retrouve l'irréversibilité dans cette équation.

↻ La diffusion s'épuise dans le temps

2 Régime permanent

$T(x) = T_0 + x\dfrac{\Delta T}{L}$ On montre avec l'expérience de la barre que T est linéaire en fonction de x pour un temps suffisamment long (estimé avec la diffusivité thermique)

Notion de résistance thermique : $R_{th} = \dfrac{T_1 - T_2}{\phi}$ Analogie avec électricité, application a la barre : $R_{th} = \dfrac{l}{\lambda S}$

↻ On peut calculer la résistance thermique pour certains systèmes et essayer de voir l'isolation de certains systèmes

III Exemples

1 Résistance thermique de la croûte terrestre

BCPST2 p160 bilan sur une couronne sphérique

2 Double vitrage

Simple vitrage : $R_{th} = \dfrac{l}{\lambda S}$

Double vitrage : flux constant $\frac{\lambda_v S}{e_1}(T_1 - T_{a,v}) = \frac{\lambda_v S}{e_1}(T_{a,v} - T_2) = \frac{\lambda_a S}{e_2}(T_{v,a} - T_{a,v})$ Problème équivalent à des résistances en série

Conclusion :

Diffusion valable pour de faibles échelles spatiales. Analogie complète entre électricité et conduction.