MP34 - Phénomènes de transport

April 23, 2015

Solène Le Corre & Guillaume Laurent

Bibliographie

✍ *Quaranta Thermodynamique.*
✍ *Garing, onde méca et diffusion*
✍ *BUP 827*

Expériences

- Diffusion thermique dans une barre de cuivre
- diffusion du glycerol dans l'eau
- Mesure de la conductivité électrique du cuivre
- Convection de Rayleight-Bénard

Contents

1 Le rayonnement [BUP 827] **2**

2 la convection **2**

3 La diffusion **3**
3.1 La diffusion thermique [quaranta] 3
3.2 La diffusion de particule [garing, quaranta] 3

4 Conduction électrique[quaranta] **4**

Introduction

Un phénomène de transport est un phénomène irréversible se produisant dans les système hors d'équilibre. Usuellement, on attribue à un phénomène de transport une distance et un temps caractéristique.

↓ *Un phénomène de transport à grande portée : le rayonnement*

1 Le rayonnement [BUP 827]

Le rayonnement est une phénomène de transport dont la vitesse dans le vide est la vitesse de la lumière c. Les caractéristiques du flux émis par le corps rayonnant sont en première approximation indépendante du corps, et varie comme σT^4 (loi de Stefan-Boltzmann). On parle de *rayonnement du corps noir.*

On étudie la puissance dissipée par le filament en tungstène d'une ampoule.

Les hypothèses de départs sont :

1. Le filament se comporte comme un corps noir de longueur l et de section S.
2. la puissance dissipée par effet joule est intégralement évacuée via le rayonnement (on néglige la sublimation du tungstène, les échanges thermiques avec l'atmosphère de l'ampoule). ie $P_{dissipee} = \sigma(T^4 - T^4_{ambiant})$
3. La longueur et le diamètre du filament sont supposés indépendant de T.
4. La dépendance entre la résistivité du tungstène ρ et la température est connue : $\rho(T) = aT^2 + bT$, $a =$, $b =$

Or on sait que

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho l}{S} \\ &= K(aT^2 + bT) \end{aligned} \tag{1}$$

En inversant la relation (1), on remonte à

$$T = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4a\frac{R}{K}}}{2a}$$

☕

Pour différentes valeurs de U, on relève les valeurs de I. La résistance du filament s'en déduit : $R(T) = \frac{U}{I(U)}$.
On trace $log(P_{dissipee}) = log(U * I) = f(log(T))$
Ainsi on peut

1. vérifier la loi de puissance $P \propto T^\alpha$
2. estimer l'exposant $\alpha = ... \pm ...$
3. estimer la constante de Stefan $\sigma = ... \pm ...$ W m^{-2} K^{-4}

↓ *A l'inverse du rayonnement, la plupart des phénomènes de transport ont besoin d'un milieu matériel pour se propager.*

2 la convection

La convection est un phénomène de transport (de particules, de chaleur) associé à des mouvements macroscopiques d'un fluide. Alors que le rayonnement est une phénomène quasi instantané à notre échelle, et opérant sur de grandes distance, la convection est restreinte par la taille du volume occupé par le fluide, et par l'inertie du fluide considéré.

☕

instabilité de Rayleigh-Bénard. Le liquide est chauffé par le dessous. Le fluide du bas, moins dense, a tendance à monter tandis que le fluide du haut, plus froid, descend. Constater la dimension caractéristique, le temps de formation de la cellule de Bénard.

↓ *Avant la formation de ma cellule de bénard, le fluide s'échauffe graduellement par un processus dit* de diffusion thermique. *Intéressons nous à ce processus.*

3 La diffusion

Tout les phénomènes de diffusion ont en commun une équation appelée *équation de la chaleur* :

$$\frac{\partial A}{\partial t} = D\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}$$

où A est la grandeur considérée (température, concentration, quantité de mouvement). Ici on ne s'intéresse qu'au cas 1D.

3.1 La diffusion thermique [quaranta]

On s'intéresse à la propagation d'une onde de température le long d'une barre de cuivre de masse volumique $\rho = 8.96 \cdot 10^3\ kg \cdot m^{-3}$ de capacité thermique massique $c_p = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ et de diffusivité thermique $\lambda = 401\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. L'équation de la chaleur correspondante est :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

où $D_{th} = \frac{\lambda}{c_p \rho}$.

On impose la température en bout de barre avec une cellule peltier alimentée par un générateur de courant. La modulation du générateur se fait via un GBF délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude 6V crête-à-crête et de fréquence 20 mHz. La relation de dispersion d'une telle onde est : $i\omega = -D_{th}k^2$. Cette onde de température vérifie :

$$T(x,t) = T_0 e^{-\frac{x}{\delta}} \cos(wt - \frac{x}{\delta})$$

où $\delta = \sqrt{\frac{2D_{th}}{\omega}}$
Une image de la température est observée sur l'oscillo. On mesure les déphasages en fonction de l'abscisse du capteur.

La diffusion est un phénomène qui s'applique aussi au transport de particules.

3.2 La diffusion de particule [garing, quaranta]

On étudie l'évolution d'une interface eau/glycérol. Ces deux liquides sont miscibles, mais de viscosités et de masses volumiques différentes. Le glycérol est plus dense que l'eau, et d'indice optique supérieur (1.41 contre 1.33 pour l'eau). Le phénomène de diffusion correspondant est un phénomène transitoire qui tend à homogénéiser la solution. La concentration en glycerol est une fonction de z et de t :

$$c(z,t) = \frac{c_1}{2}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}}\int_0^{z/2\sqrt{Dt}} e^{-y^2}dy\right)$$

Le gradient d'indice optique au niveau de l'interface tend à courber un faisceau laser qui serait initialement dans le plan de l'interface. L'angle de déviation α est une fonction de l'altitude z et du temps t :

$$\alpha(z,t) = \frac{e\Delta n}{\sqrt{4Dt}} e^{-z^2/4Dt}$$

Ou les paramètres du problème sont

- e l'épaisseur de la cuve traversée par le laser
- D le coefficient de diffusion
- Δn la différence d'indice entre le glycérol et l'eau

on prend une cuve remplie a moitié d'eau. On injecte lentement du glycerol 50% en masse avec une seringue et on démarre le chrono. On balaye l'interface avec une nappe laser (laser + tube de verre) de biais. Toute les 15 min, on releve la hauteur du max de déviation de la nappe laser. Eventuellement : on trace l'allure de la nappe laser à la main à un instant donné.

t On peut exploiter deux séries de mesures :

1. le max de déviation $\alpha(t)_{max} = \frac{e\Delta n}{\sqrt{4Dt}}$
2. l'allure de la nappe à un temps fixé : $\alpha(z) = \frac{e\Delta n}{\sqrt{4Dt}} e^{-z^2/4Dt}$. C'est une gaussienne de paramètre $\sigma = Dt$. On en tire une nouvelle estimation de D et un ordre de grandeur de la zone de diffusion. On établi aussi une limitation du modèle, qui n'est applicable que lorsque la largeur de la zone de diffusion est petite devant la hauteur de la cuve.

On constate que le processus de diffusion est de façon général plus lent que la convection. Dans les métaux, la diffusion thermique est étroitement liée à la conduction électrique.

4 Conduction électrique[quaranta]

La diffusion thermique dans les métaux et la conduction électrique sont étroitement lié. C'est lié au fait que les électrons assurent à la fois l'existence du courant électrique, et du flux thermique. La loi phénoménologique qui en rend compte est la loi de Wiedemann Franz.

On fait une mesure 4 fils de la résistivité du cuivre. On en déduit la conductivité σ.

On calcule le rapport $\frac{\lambda}{\sigma T}$

Conclusion

On a mis en évidence différents phénomènes de transport, en mettant en évidence la vitesse caractéristique associée. On n'a pas parlé de diffusion de la quantité de mouvement.