

Titre : LP8 Phénomènes de transfert

Présentée par : Timothé Poulain

Rapport écrit par : Quentin Berrahal

Correcteur : Stéphane Fauve

Date : 04/02/2020

Bibliographie de la leçon :			
Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Tout en un Physique PC/PC*		Dunod	
Thermodynamique	Diu	Hermann	

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : Thermodynamique à l'équilibre, mécanique de fluides, théorie cinétique des gaz

Intro : Le suivi temporel des échanges de grandeurs. Système défini par des grandeurs thermo intensives à l'équilibre. Inhomogénéité -> transport de grandeurs extensive pour ramener l'homogénéité. Sauf que pour un cas hors équilibre, l'entropie and co ne sont pas définies.

I – Etude d'un système hors équilibre 13'

Importance de l'échelle. Par ailleurs, on peut mesure T, P, etc même hors équilibre.

1) équilibre thermo local (ETL) 12'

Def : on dira que l'ETL est réalisé si le système macro à l'étude peut se décomposer en plusieurs sous-systèmes mésoscopiques que l'on peut considérer à l'équilibre thermo.

T, P -> T(r,t), P(r,t)

Echelle mésoscopique : ΔV tel que $\Delta N \gg 1$ et $T_{\text{micro}} \ll T_{\text{macro}}$

Trois échelles de travail possibles selon le caractère hors équilibre du système.

Ex : un gaz hors équilibre. Un flacon de parfum cassé dans le coin d'une pièce. L'homogénéité est assurée par les collisions entre les molécules de gaz. 10 collisions/molécules sont suffisantes et $\lambda_{\text{pm}} \approx 100 \text{ nm}$ nous donne $(\Delta V)^{1/3} \rightarrow \Delta V$ contient 10^7 particules -> système thermo.

Par ailleurs on aura $T_{\text{micro}} = 1 \text{ ns}$ et $T_{\text{macro}} = 10 \text{ h}$

2) Différents modes de transport 1'

Diffusion, convection, rayonnement thermique

II – Transport de particules

1) Bilan de matière et loi de conservation 5'

Schéma d'un volume V de gaz délimité par une surface S

$$dN = -\phi_{\text{in}} dt \rightarrow dN/dt + \phi_{\text{in}} = 0$$

On définit j_s tel que ϕ_{in} soit son intégrale sur la surface

Après Green Ostrogradskii, on obtient pour un volume infinitésimal l'équation

$$dn/dt + \text{div}(j_s) = 0$$

2) Approche phénoménologique de Fick 2'30"

Approximation linéaire. $j_n = -D \text{grad}(n)$ pour T,P uniforme et milieu isotrope

3) Equation de diffusion 7'

$$dn/dt = -D \text{laplacien}(n)$$

ODG de D qui dépend du type de particule et de la température.

Différences et similitudes avec l'équation de d'Alembert. Linéaires toutes deux mais la dérivée simple fait que la diffusion n'est pas invariante par renversement du temps -> irréversibilité

En adimensionnant, L proportionnel à \sqrt{Dt} . Phénomène lent.

III – Caractéristiques du phénomène de diffusion

Comparaison avec la viscosité (diffusion de qte de mouvement), la diffusion thermique.

On s'attarde sur la conductivité thermique.

Présentation de l'expérience. Schéma.

Puissance par effet joule = U^2/R . En régime stationnaire permanent, on n'a pas d'équilibre mais $dT/dt = 0 \rightarrow \text{laplacien}(T) = 0$ et conditions aux limites $\rightarrow T(x) = -(\Delta T \cdot x/l) + T_c$

Par ailleurs, $j_{th} = -\lambda \cdot dT/dx = \lambda \cdot \Delta T/l$

Et, par effet joule, $j_{th} = U^2/R$

On obtient une valeur assez différente de celle tabulée.

CCL : Phénomène très lent par rapport à la convection. Mais il est très important pour la diffusion des impuretés dans les solides et au niveau biologique.

Questions posées par l'enseignant

La définition de l'ETL avec les hypothèses c'est bien.

On ne peut pas justifier mieux le j propto $\text{grad}(n)$?

Sort du dvpt limité.

Quelle est l'équation de Schroedinger pour une particule libre ?

Ca ressemble à une équation de diffusion, non ? Elle est invariante par renversement du temps ?

Qu'arrive-t-il à un paquet d'onde ?

Il s'étale.

Il est obligé de s'étaler ?

Pas tout le temps. Certains se contractent avant de s'étaler (avec un gradient de phase).

Un exemple d'équation de diffusion simple en EM ?

Equation de diffusion de B dans un métal dans l'ARQS.

D'où vient la dissipation ?

Courant de foucault et effet joule.

Pour les fluides, il s'agit d'une diffusion de la vorticité, ça ne marche pas.

Quelles sont les sources d'erreurs dans le dispositif ?

]Commentaires donnés par l'enseignant

Il manquait le fait que ces processus créent de l'entropie. Aucune justification de l'équation de diffusion. Utiliser une marche au hasard.

Partie réservée au correcteur

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Les conditions de validité de l'équilibre thermodynamique local ont été bien présentées et discutées à l'aide d'ordre de grandeur.

La conservation de la masse a été bien présentée, la loi de Fick aurait mérité une discussion supplémentaire (développement en gradient à l'ordre le plus bas prenant en compte les symétries). Il manquait une discussion voire un calcul simple sur la création d'entropie qui accompagne les phénomènes de transport ainsi qu'une présentation d'un modèle microscopique simple du phénomène de diffusion.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Equilibre thermodynamique local ; conditions de validité

Equations de conservation (avec ou sans terme source)

Loi de Fick ou Fourier : développement en gradient, contraintes de symétrie

Les termes sources dans la loi d'évolution de l'entropie ; création d'entropie accompagnant un phénomène de transport.

Moins fondamental mais important : une description microscopique simple du phénomène de diffusion.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Visualisation du phénomène de diffusion : étalement d'une tache d'encre sur un buvard. Utilisation d'une caméra IR si disponible ? Mise en évidence du comportement du rayon de la tache en racine du temps.

Mesure de conductivité thermique.

Utilisation d'un thermocouple si l'on souhaite discuter rapidement les effets croisés.

Bibliographie conseillée

En plus de ce qui a été mentionné : Callen, Thermodynamics, Wiley