

LP23: MÉCANISMES DE LA CONDUCTION ÉLECTRIQUE DANS LES SOLIDES

Thibault Hiron–Bédiée

Niveau : Troisième année de Licence

Prérequis : Électrocinétique, Électromagnétisme, Mécanique quantique (puits, notion de fonction d'onde, Équation de Schrödinger), Physique statistique (Théorie cinétique des gaz, Théorème d'équipartition, statistiques quantiques)

Bibliographie : Dunod de PC, Ashcroft et Perez d'Emag

Extrait du programme de CPGE

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Sources du champ électromagnétique (PC)	
1.3 Conduction électrique dans un conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale dans un métal fixe, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau fixe étant décrite par une force phénoménologique de la forme $-mv/\tau$ Conductivité électrique. Résistance d'une portion de conducteur filiforme. Approche descriptive de l'effet Hall. Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale.	Déduire du modèle un ordre de grandeur de τ et en déduire un critère de validité du modèle en régime variable. Déduire du modèle un ordre de grandeur de v et en déduire un critère pour savoir s'il convient de prendre en compte un éventuel champ magnétique. Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie rectangulaire. Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.
1. Transport de charge (PSI)	
1.2. Conducteur ohmique	
Loi d'Ohm locale.	Relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer l'ordre de grandeur de la conductivité du cuivre.
Modèle de Drude.	En régime stationnaire, établir une expression de la conductivité électrique à l'aide d'un modèle microscopique.
Résistance d'un conducteur cylindrique.	Établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe.
Puissance électrique. Effet Joule.	Établir l'expression de la puissance volumique reçue par un conducteur ohmique. Interpréter l'effet Joule.
	Approche documentaire : décrire la conductivité des semi-conducteurs, les types de porteurs, l'influence du dopage.

Dans cette leçon, attention, selon les sources, la conductivité peut être notée σ ou γ , il faut choisir une lettre et s'y tenir sur l'ensemble de la présentation !

1 Modèle de Drude

Dans cette première section, on peut prendre appui sur le Dunod de prépa (en complément avec le Ashcroft)

1.1 Hypothèses

1.2 Loi d'Ohm locale

1.3 Résistance électrique

Manip : Mesure de la résistance avec le fil de cuivre long de la prépa de Rennes pour obtenir la proportionnalité de R avec l .

1.4 Théorème de l'équipartition de l'énergie

Chaque degré de liberté fournit $\frac{1}{2}k_B T$ à l'énergie cinétique (cf Ashcroft 1.5 p. 27). On a donc :

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{3}{2}k_B T \quad \text{et} \quad v_0 = \frac{l}{\tau}$$

On en déduit une expression pour τ en fonction de la température ($\tau \propto \frac{1}{\sqrt{T}}$).

Manip : on vérifie l'évolution de la conductivité du cuivre en fonction de la température avec un long fil (mais pas celui de la première manip) plongé dans un bain marie.

Spoiler alert : on voit que l'on n'a pas du tout une évolution en $T^{-1/2}$ mais en T^{-1} . Il y a donc un problème, on va corriger le modèle pour trouver quelque chose de correct.

Si le temps semble le permettre, on peut parler de la loi de Wiedemann–Franz (Ashcroft p. 23) mais ça semble peu probable.

2 Vision semi-quantique de la conduction électrique

2.1 Modèle de Sommerfeld

Chapitre 2 du Ashcroft : on passe d'une distribution de Boltzmann à une distribution de Fermi–Dirac (donner les expressions des deux) et mener le calcul, cf cours de l'EPFL.

2.2 Structure de bande

Ashcroft p. 173, mais surtout Kittel Chapitre 7
Aller à l'essentiel si le temps semble court !

2.3 Semi-conducteurs

Perez.