

LP46 : Mécanismes de conduction électrique dans les solides

Kevin CAIVEAU

13 octobre 2014

Niveau

L2 - PC - PC*

Prérequis

- Thermodynamique : température cinétique d'un GP monoatomique (1ère année)
- Expression de la densité de courant électrique \vec{j} en fonction de la vitesse d'ensemble des porteurs de charge, de leurs charges et de leur densité volumique.
- Relier l'intensité du courant électrique I au flux de la densité de courant \vec{j} .

Objectifs

- Établir la loi d'Ohm locale à partir d'un modèle de conduction classique : le modèle de DRUDE.
- Donner une interprétation physique et un ordre de grandeur (ODG) du temps de relaxation τ du système dans le cadre du modèle classique.
- Estimer, en ODG, la vitesse de dérive des électrons dans un métal soumis à un champ électrique \vec{E} . La comparer à leur vitesse individuelle due à l'agitation thermique.
- Exploiter les paramètres (mobilité, densité volumique de porteurs de charge) pour justifier les différences de conductivité entre les solides.
- Connaître les limites de validité de la loi d'OHM.

Plan

Introduction

On sait que certains solides ont la propriété de laisser circuler les charges électriques sur des distances macroscopiques : on parle alors de conducteurs. Ces déplacements de charges forment les courants électriques et on parle de conduction électrique lorsqu'un champ électrique est à l'origine du courant.

Expérimentalement, une des premières découverte expérimentale sur l'intensité de ces courants électriques est la loi d'OHM (1827) : $I=U/R$. Elle lie l'intensité des courants qui apparaissent dans un conducteur à la cause qui les a produit : la tension électrique. Ce qui est remarquable dans cette loi c'est qu'elle reste valable dans un grand nombre de cas bien qu'elle ne soit pas une loi fondamentale (toujours valable) mais une loi constitutive de la matière (elle marche pour les conducteurs dits « ohmique »). On se demande donc :

- Comment expliquer la loi d'Ohm à partir d'un modèle de conduction électrique ?

On va voir dans cette leçon que la grandeur physique quantifiant l'aptitude d'un matériaux à conduire le courant est la conductivité (déjà vue en chimie). On va essayer de comprendre :

- Comment les mécanismes de conduction permettent-ils de rendre compte des différences de conductivité entre les solides ?

Enfin, on se demandera :

- Quelles sont les limites de la loi d'Ohm ?

A Un modèle classique de conduction électrique.

A.1 Modèle phénoménologique de Drude.

A.1.1 Hypothèses de Drude.

A.1.2 Mise en équation.

A.2 Loi d'Ohm.

A.2.1 Loi d'Ohm locale et conductivité.

A.2.2 Loi d'Ohm intégrale et résistance.

A.3 Approche microscopique : modèle collisionnel.

B Conductivité des solides.

B.1 Les métaux

Quelques valeurs de conductivité.

Prendre l'exemple du cuivre. Estimer la densité volumique de porteurs de charge ($1/\text{Å}^3$). Montrer que la vitesse de dérive est une très faible perturbation devant la vitesse moyenne thermique des électrons. Estimer la durée moyenne entre deux collisions.

B.2 Les semiconducteurs et isolants.

Montrer que la mobilité des porteurs de charge est plus importante dans les semiconducteurs que dans les métaux. La différence importante de densité volumique de porteurs de charge explique que les métaux restent des meilleurs conducteurs.

B.3 Limites de validité de la loi d'Ohm.

B.3.1 Intensité du champ électrique.

1. Écarts liés à τ .
2. Écarts liés à la densité volumique de porteurs de charge.

B.3.2 Régime variable.

Conclusion

Pour conclure, le phénomène de conduction peut être décrit comme une dérive lente et continue des porteurs de charges qui se superposent à leur mouvement aléatoire plus rapide. C'est alors les collisions des électrons avec le réseau qui rend la vitesse proportionnelle au champ électrique, ce qui fait obéir le courant à la loi d'Ohm.

Ensuite, on a vu que deux paramètres essentiels caractérisent les différentes charges mobiles dans un solide : leur mobilité et leur densité volumique. Ces paramètres permettent d'expliquer les différences de conductivité entre les solides, notamment entre conducteur et semiconducteur. Par ailleurs, nous avons montré que ces derniers suivent la loi d'Ohm tant que le champ électrique n'est pas trop intense, y compris en régime variable si la période reste grande devant la durée moyenne entre deux collisions.

Enfin, des expériences sur des métaux très purs montrent que le libre parcours moyen peut atteindre plusieurs centimètres. Cela met ainsi en défaut l'hypothèse du modèle classique selon laquelle les électrons entreraient en collision avec le réseau. Pour mieux comprendre les mécanismes de conduction, il faut alors se placer dans le cadre de la théorie quantique.

Bibliographie

- [1] Electromagnétisme, vide et milieux matériels, J. Ph. PEREZ et Al, Masson.
- [2] Berkeley Cours de Physique, Tome 2 : électricité et magnétisme, E. PURCELL, Tec et Doc.
- [3] Physique une approche moderne, PCSI MPSI PTSI 1re année, J. Ph. PEREZ et Al., De Boeck.
- [4] 1re année PCSI, GRECIA ET MIGEON, Tec et Doc.