UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté des sciences
Département de physique

Plan de cours
Hiver 2023

Physique de l'état solide

Professeur

Nom :	Ion Garate
Bureau :	D9-2018
Tél. :	821-8000 (poste 66486)
Courriel :	ion.garate@usherbrooke.ca

Cours

Sigle : PHQ 585
Crédits : 3
Type de cours : option
Préalables : PHQ 224, 434, 444

1 Mise en contexte

Cette section est tirée de Wikipedia et du livre de S. Simon (voir la bibliographie à la fin du plan de cours.)

La physique de la matière condensée est le domaine de la physique qui traite des propriétés physiques macroscopiques et microscopiques de la matière. En particulier, elle s'intéresse aux phases "condensées" qui apparaissent lorsque le nombre de constituants d'un système est extrêmement élevé et que les interactions entre les constituants sont fortes. Les exemples les plus connus de phases condensées sont les solides et les liquides, qui résultent des forces électromagnétiques entre les atomes.

La physique de la matière condensée est le plus grand sous-domaine de la physique. Les sujets inclus dans ce domaine vont du très pratique (génie de matériaux) au très abstrait (théorie de cordes). Le point commun est que tous ces sujets ont trait aux propriétés fondamentales de la matière.

La physique de la matière condensée étant si vaste, il est impossible de l'étudier dans son intégralité dans un cours. Nous allons plutôt nous concentrer sur un sous-domaine particulier, appelé "physique de l'état solide". Comme son nom l'indique, il s'agit de l'étude de la matière à l'état solide. Il y a plusieurs raisons pour lesquelles nous choisissons de nous concentrer sur l'état solide. Tout d'abord, la physique de l'état solide est de loin le plus grand sous-domaine de la physique de la matière condensée. Ensuite, la physique de l'état solide est le sous-domaine de la physique de la matière condensée qui connaît le plus de succès et qui est le plus utile sur le plan technologique. Parmi ces matériaux, les solides connus sous le nom de semi-conducteurs constituent la base de toute l'industrie électronique. Plus important encore, la physique des solides fournit un paradigme pour l'apprentissage d'autres sujets en physique. Ce que nous apprenons dans notre étude des solides constituera une base pour l'étude d'autres sujets, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du domaine de la matière condensée.

2 Objectifs

1. Comprendre des concepts fondamentaux de la physique du solide ;
2. Apprendre à appliquer les méthodes de l'électromagnétisme, de la physique statistique et de la mécanique quantique à l'étude et l'analyse des propriétés des solides ;
3. Résoudre des problèmes en physique du solide.

3 Plan de cours

0.- Introduction
La "théorie du tout" dans la matière.

1.- Métaux : théorie de Drude
1.a) Hypothèses fondamentales.
1.b) Conductivité électrique DC.
1.c) Effet Hall et magnétorésistance.
1.d) Conductivité électrique AC.
1.e) Plasmons.
1.f) Conductivité thermique.
1.g) Effets thermoélectriques.
N.B. ce chapitre fera appel à des notions vues en PHQ 444 (Phys. Stat. II).

2.- Métaux : théorie de Sommerfeld
2.a) Gaz quantique d'électrons libres.
2.b) Propriétés de l'état fondamental.
2.c) Propriétés thermiques. Développement de Sommerfeld.
2.d) Théorie de la conduction.
2.e) Défauts du modèle d'électrons libres.
N.B. ce chapitre sera couvert assez rapidement, car le sujet a été abordé en PHQ 444 (Phys. Stat. II).

3.- Réseaux cristallins
3.a) Réseaux de Bravais.
3.b) Maille primitive.
3.c) Structures cristallines et réseaux à motifs.

4.- Réseau réciproque
4.a) Définitions et exemples.
4.b) Première zone de Brillouin.
4.c) Plans réticulaires et les indices de Miller.

5.- Diffraction des rayons X
5.a) Formulations de Bragg et de von Laue.
5.b) Méthodes expérimentales.
5.c) Facteur de structure géométrique.

6.- Électrons dans un potentiel périodique
6.a) Théorème de Bloch.
6.b) Électrons quasi-libres.
6.c) Modèle de liaisons fortes.
6.d) Transport semi-classique.
6.e) Limitations de l'approximation des électrons indépendants.

7.- Semi-conducteurs
7.a) Propriété générales.
7.b) Masse effective et équations de mouvement classiques des électrons et des trous.
7.c) Dopage.
7.d) Physique statistique des semi-conducteurs.
7.e) Dispositifs semi-conducteurs.

8.- Cohésion des solides
8.a) Liaison ionique.
8.b) Liaison covalente.

8.c) Liaison moléculaire ou de van der Waals.
8.d) Liaison métallique.
8.e) Liaison d'hydrogène.

9.- Phonons dans les cristaux
9.a) Défauts du modèle du réseau statique.
9.b) Approximation harmonique.
9.c) Modes normaux d'un réseau de Bravais.
9.d) Modes normaux et phonons.
9.e) Limitations de l'approximation harmonique.
N.B. ce chapitre fera appel à des notions vues en PHQ 444 (Phys. Stat. II).

10.- Invitation à d'autres sujets (magnétisme, supraconductivité)
Si le temps le permet.

4 Méthode pédagogique

1. Exposés magistraux et questions par les étudiants. Ces exposés auront lieu les **mardis de 8h30 à 10h20** et les **jeudis de 10h30 à 12h30**, au **D3-2036**.
2. Exercices (5 devoirs). Les devoirs peuvent être remis de façon individuelle ou en équipes de deux étudiants. Une présentation de qualité est requise. Le processus associé à la résolution des exercises (lecture, réflexion, calcul, vérification, discussion) est essentiel pour apprendre la physique du solide. Les exercices du devoir sont nécessaires mais pas suffisants pour maîtriser le sujet. D'autres exercices optionnels seront proposés au cours de la session.
3. En tant qu'enseignant, j'ai la responsabilité de faire tout ce qui est raisonnablement possible pour inclure et favoriser tous les profils d'apprenants au sein de mon cours. Je vous invite à me consulter au besoin pour discuter de tout aspect lié au cours, à votre cheminement ou à votre réussite.

5 Évaluation

1. Un examen partiel, comptant pour 30% de la note finale.
2. Un examen final, comptant pour 30% de la note finale.
3. Les devoirs, comptant pour 30% de la note finale.
4. La participation en classe (ou hors classe), comptant pour 10% de la note finale. La participation doit être assidue afin d'obtenir la note maximale. Le fait d'être présent(e) dans les cours n'est pas considéré comme "participation". Voici des exemples de "participation" : poser des questions en classe ou hors classe, répondre aux questions de l'enseignant, discuter sur la physique du solide avec l'enseignant.

6 Bibliographie

Il y a beaucoup de manuels portant sur la physique de l'état solide. Voici les trois que je vais surtout utiliser :

1. N. W. Ashcroft et N. D. Mermin, *Solid State Physics* (Harcourt College Publishers, 1976). Un classique de la physique de l'état solide. Les aspects fondamentaux sont expliqués en détails. L'original en anglais est très bien écrit. Disponible également en français à la bibliothèque de l'UdeS.
2. S. Simon, *The Oxford Solid State Basics* (Oxford University Press, Oxford, 2013). Un livre plus moderne et peut-être plus facile à lire que celui d'Ashcroft et Mermin. Livre numérique disponible sur le site web de la bibliothèque de l'UdeS. Les leçons du Pr Simon on été également enregistrées et elles sont disponibles sur https://podcasts.ox.ac.uk/series/oxford-solid-state-basics
3. C. Kittel, *Physique de l'état solide*, 8e éd. (Dunod, Paris, 2007). Un autre livre populaire de la physique de l'état solide. Disponible à la bibliothèque de l'UdeS.

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

L'intégrité intellectuelle passe, notamment, par la reconnaissance des sources utilisées.

À l'Université de Sherbrooke, on y veille!

Extrait du Règlement des études

8.1.2 Relativement aux activités pédagogiques

L'expression délit désigne d'abord tout acte ou toute manœuvre visant à tromper quant au rendement scolaire ou quant à la réussite d'une exigence relative à une activité pédagogique.

Sans restreindre la portée générale de ce qui précède, est considéré comme un délit :

a) la substitution de personnes ou l'usurpation d'identité lors d'une activité évaluée ou obligatoire;
b) le plagiat, soit le fait, dans une activité évaluée, de faire passer indûment pour siens des passages ou des idées tirés de l'œuvre d'autrui;
c) l'obtention par vol ou par toute autre manœuvre frauduleuse de document ou de matériel, la possession ou l'utilisation de tout matériel non autorisé avant ou pendant un examen ou un travail faisant l'objet d'une évaluation;
d) le fait de fournir ou d'obtenir toute aide non autorisée, qu'elle soit collective ou individuelle, pour un examen ou un travail faisant l'objet d'une évaluation;
e) le fait de soumettre, sans autorisation préalable, une même production comme travail à une deuxième activité pédagogique;
f) la falsification d'un document aux fins d'obtenir une évaluation supérieure dans une activité ou pour l'admission à un programme.

Par plagiat, on entend notamment :

- Copier intégralement une phrase ou un passage d'un livre, d'un article de journal ou de revue, d'une page Web ou de tout autre document en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets
- Reproduire des présentations, des dessins, des photographies, des graphiques, des données… sans en préciser la provenance et, dans certains cas, sans en avoir obtenu la permission de reproduire
- Utiliser, en tout ou en partie, du matériel sonore, graphique ou visuel, des pages Internet, du code de programme informatique ou des éléments de logiciel, des données ou résultats d'expérimentation ou toute autre information en provenance d'autrui en le faisant passer pour sien ou sans en citer les sources
- Résumer ou paraphraser l'idée d'un auteur sans en indiquer la source
- Traduire en partie ou en totalité un texte en omettant d'en mentionner la source ou de le mettre entre guillemets
- Utiliser le travail d'un autre et le présenter comme sien (et ce, même si cette personne a donné son accord)
- Acheter un travail sur le Web ou ailleurs et le faire passer pour sien
- Utiliser sans autorisation le même travail pour deux activités différentes (autoplagiat)

Autrement dit : mentionnez vos sources.