

Méthodes expérimentales en physique des solides

PHY 760

(sujet à changement)

COURS
Titre : Méthodes expérimentales en physique des solides
Sigle : PHY 760
Crédits : 3
Session : Hiver 2022
Travaux dirigés : ~ 1 heure/semaine
Travail personnel : 5 heures/semaine
Cours en présentiel (sauf si pandémie oblige) Lundis – 13h30 à 15h20 au D3-2030 Jeudis – 13h30 à 15h20 au D3-2030

PROFESSEUR
Nom : Patrick Fournier
Bureau : D2-1073
Labos : D2-0042 ou D2-0040
Horaire de disponibilité : Lundis 15h30 -17h00; Mardis 10h30 – 12h00; Jeudis 15h30 – 17h00, Vendredis 13h30 - 15h30 (consulter mon horaire et me contacter par courriel ou Teams pour une rencontre)

Mise en contexte du cours

Pour un thème intégrateur comme la physique des solides qui fait intervenir des notions de mécanique quantique, de physique statistique, d'électricité et de magnétisme, d'optique et bien d'autres, l'étendue et la variété des méthodes expérimentales utilisées peuvent sembler infinies. Pour tout(e) physicien(ne) œuvrant dans ce domaine, il est impératif de bien comprendre les bases des aspects expérimentaux en faisant un lien clair avec les aspects théoriques, de corréler plusieurs expériences n'ayant pas de lien évident en apparence et d'en saisir aussi les limites. Le cours PHY 760 fait un survol d'une grande proportion de ces méthodes expérimentales et tente à l'occasion de montrer les liens entre les différentes approches. Dans un deuxième ordre d'idées, il est important pour la physicienne ou le physicien de transmettre les fruits de sa recherche. Pour initier les étudiants à cette réalité, le modèle d'évaluation du cours PHY 760 sera basé sur les formes habituelles de communication scientifique.

Objectifs généraux

Le cours PHY 760 vise à :

- initier l'étudiante ou l'étudiant aux divers outils expérimentaux utilisés couramment dans l'étude des propriétés physiques des matériaux;
- initier l'étudiante ou l'étudiant aux aspects de communication scientifique à travers des travaux de session représentatifs des activités habituellement rencontrées (rédaction d'articles, présentations orales et par affiche).

Objectifs spécifiques

Le cours vise à initier les étudiantes et étudiants aux divers outils expérimentaux utilisés couramment dans l'étude des propriétés physiques des matériaux. Les cours aborde les sujets suivants: croissance de monocristaux et couches minces; diffraction des rayons X, neutrons, et électrons; chaleur spécifique et transitions de phase; photoémission, effet de Haas-van Alphen, effet tunnel, et effet des corrélations; transport électrique et de chaleur: résistivité, effet Hall, magnétorésistance, effet Shubnikov-de Haas, pouvoir thermoélectrique et conductivité thermique, conductivité hyperfréquences; spectroscopie infrarouge, diffusion Raman, impulsions ultra-courtes, résonance cyclotron; magnétisme incluant résonance magnétique nucléaire et résonance paramagnétique électronique; supraconductivité, état mixte, jonctions Josephson et SQUID.

Plan de la matière

La matière est distribuée sur huit chapitres qui seront parcourus en environ 13 semaines effectives de cours. La répartition approximative ci-dessous doit être considérée comme un guide.

Introduction sur la recherche bibliographique et les revues principales (2 hres)

(Note: Cette section spéciale est aussi donnée dans le cadre du microprogramme de 2ième cycle en interactions scientifiques.)

1. Croissance des matériaux (2 hres)

- a- Monocristaux
- b- couches minces

2. Cristallographie (3 hres)

- a- Diffraction des rayons X
- b- Diffraction des neutrons
- c- Diffraction des électrons

3. Structures de bandes et surface de Fermi (6 hres)

- a- Photoémission
- b- Effet de Haas-van Alphen
- c- Effet tunnel
- d- Effet des corrélations sur la structure de bande

4. Transport électrique et de chaleur (8 hres)

- a- Résistivité, effet Hall, magnétorésistance (effet Shubnikov-de Haas)
- b- Effets thermoélectriques et thermomagnétiques
- c- Conductivité thermique
- d- Conductivité hyperfréquence

5. Spectroscopie optique (8 hres)

- a- Spectroscopie infrarouge
- b- Diffusion Raman
- c- Pont avec la diffusion des neutrons et la propagation ultrasonore
- d- Impulsions ultra-courtes
- e- Résonance cyclotron
- f- Conductivité optique et Kramers-Kronig

6. Thermodynamique (3 hres)

- a- Transitions de phases et leur signatures thermodynamiques
- b- Chaleur spécifique

7. Magnétisme (6 hres)

- a- Aimantation et susceptibilité magnétique
- b- Types de magnétisme et leurs signatures en susceptibilité et en aimantation
- c- Retour sur la propagation ultrasonore
- d- RMN, RPE et FMR
- e- Muons (résonance de spins)
- f- Spectroscopie Mössbauer

8. Supraconductivité (6 hres)

- a- Effet Little-Parks
- b- État de vortex
- c- Jonctions Josephson et SQUIDs

Méthodes d'évaluation

Date	Travail	Note	Dates <u>ciblées</u>
Durant la session	3 analyses de données (<i>devoirs</i>)	30 pts	À intervalle de ~ 1 mois
	4 présentations courtes du suivi de littérature (<i>slide shows</i>) avec 4 remises de fichier BibTeX	16 pts +4 pts	À intervalle de ~ 1 mois
Mi-session	Progression dans la rédaction du rapport (rapport partiel)	5 pts	7 mars
Fin de session			
	Rapport de fin de session en format article scientifique (double-colonne) – incluant la remise d'un dernier fichier BibTeX	45 pts	29 avril

Détails sur les travaux

Rapport de fin de session (45 pts) et rapport partiel (5 pts)

- Chaque étudiant(e) devra choisir une famille de matériaux, une expérience très à la mode sur plusieurs matériaux, ou un sujet "hot" pour laquelle il/elle accumulera les informations disponibles dans la littérature scientifique durant toute la session;
- Ces informations devront correspondre à une description des résultats expérimentaux les plus récents sur cette famille de matériaux. Les travaux devront donc décrire clairement:
 - 1) les **méthodes expérimentales utilisées**;
 - 2) les **données expérimentales**;
 - 3) l'**interprétation de ces données**;
- Chaque étudiant(e) produira **un rapport en format d'article scientifique** avec une cible de 6 pages (incluant les figures). Un canevas de rapport en format LaTeX est mis à la disposition des étudiants sur Moodle pour les assister dans la mise en page de ce rapport. Le contenu de ce rapport, le nombre de pages et la pondération seront les suivants :

<u>Maîtrise et Doctorat</u>	<u>Pondération</u>
Introduction (~ 1 page)	10%
4 pages ~1 expérience / page Chaque section décrit : La méthode + principe physique Les résultats L'interprétation	80%
Conclusion + Bibliographie (~ 1 page)	5%
Fichier BibTeX final	5%

- Le rapport final devra être accompagné d'un fichier BibTeX incluant tous les articles consultés dans le cadre de ce long travail (pas juste ceux utilisés dans le
- La progression de la rédaction du rapport sera vérifiée au milieu de la session (**dans la semaine du 6 mars**) par une remise d'un **rapport partiellement rédigé**. Les objectifs de cette remise à mi-chemin sont :
 - a- De s'assurer que la rédaction avec LaTeX ne représentera pas un obstacle majeur;
 - b- De démontrer un réel effort de lecture de la littérature;

Analyses de données (30 pts)

- 3 devoirs (10 pts chaque) consistant en l'analyse de données expérimentales seront soumis aux étudiant(e)s. Le devoir inclura une description de la méthode expérimentale et de la théorie reliée, une présentation des résultats demandés, et une interprétation sommaire répondant aux questions de l'énoncé du devoir;
- **Le traitement des données DEVRAIT être effectué avec MatLab** pour permettre une évaluation équitable pour tous les étudiant(e)s;

Présentations courtes (*slide shows*) (16 pts) et remises des fichiers BibTeX (4 pts)

- Pour assurer une lecture continue durant toute la session, la progression du travail de fin de session de chaque étudiant(e) sera vérifiée de façon périodique (environ toutes les 3-4 semaines) durant une rencontre en groupe avec le professeur. Cette progression sera évaluée par :
 - a – quatre (4) remises de fichiers BibTeX (1 pt chaque) - coïncidant avec les présentations décrites plus bas - maintenus par des outils de gestion de base de données bibliographiques tels JabRef (Windows, Linux, Apple), BibDesk (Apple) ou Mendeley (multi-plateforme);
 - b – une (1) courte présentation (*slide shows*) d'un maximum de 10 minutes décrivant en trois (3) pages projetées :
 - 1) Le matériau choisi,
 - 2) La structure cristalline et ses variantes possibles (dopage?),
 - 3) L'intérêt (technologique, avancement des connaissances,...);
 - c – trois (3) courtes présentations (*slide shows*) d'un maximum de 10 minutes décrivant en trois (3) pages projetées :
 - 1) La méthode,
 - 2) Les résultats
 - 3) l'interprétation;