

Physique Mésoscopique

Cours

Sigle :	PHY 724
Crédits :	3
Préalables :	Physique du solide, mécanique quantique
Place au programme :	Au choix

Professeur

Nom :	Ion Garate
Bureau :	D2-1070
Courriel :	ion.garate@usherbrooke.ca
Tél. :	821-8000 (poste 66486)

1 Mise en contexte du cours

La physique mésoscopique étudie les propriétés physiques des dispositifs à l'état solide de dimensions spatiales intermédiaires (entre le microscopique et le macroscopique). Pour ces dispositifs, les théories classiques et semi-classiques du transport électrique ne sont plus valables et il devient essentiel de prendre en compte la cohérence de phase des électrons, la quantification de l'énergie et l'impact de la charge d'un seul électron. Ces concepts jouent un rôle important dans le développement des ordinateurs quantiques et des dispositifs quantiques à faible dissipation.

2 Objectifs

Comprendre les concepts du transport électronique dans les dispositifs quantiques.

3 Plan de la matière

1.- Concepts et outils de base

- (a) Échelles d'énergie et de longueur importantes.
- (b) Transport classique et semi-classique.
- (c) Gaz d'électrons bidimensionnel.
- (d) Matrice densité.
- (e) Règle d'or de Fermi.
- (f) Fonctions de corrélation et densité spectrale.

2.- Transport quantique I : formalisme de Landauer et Büttiker

- (a) Quantification de la conductance.
- (b) Formule de Landauer.
- (c) Matrice de diffusion.
- (d) Formule de Landauer-Büttiker.
- (e) Bruit du courant.

3.- Transport quantique II : phénomènes d'interférence quantique

- (a) Effet tunnel résonant.
- (b) Effet Aharonov-Bohm.
- (c) Localisation faible.

(d) Courants persistants dans des anneaux métalliques.

4.- Transport quantique III : phénomènes topologiques

- (a) Phase et courbure de Berry. Nombre de Chern.
- (b) Pompe de charge de Thouless.
- (c) Effet Hall quantique.

5.- Transport quantique IV : phénomènes d'interaction

- (a) Énergie de charge.
- (b) Boîte à un électron. Blocage de Coulomb.
- (c) Transistor à un électron. Diamants de Coulomb.
- (d) Équation maîtresse et les courbes courant-voltage.
- (e) Calcul microscopique des taux de tunneling.
- (f) Blocage de Coulomb dynamique.

6.- Circuits électriques supraconducteurs

- (a) Jonction de Josephson. Effet et relation de Josephson.
- (b) Modélisation hamiltonienne des circuits électriques.
- (c) Modèle de Caldeira-Leggett pour la dissipation dans les circuits électriques.
- (d) Qubits de charge : boîte de paires de Cooper, transmon.
- (e) Qubit de phase. Effet tunnel macroscopique.
- (f) Qubit de flux.

4 Méthode pédagogique

1. Exposés magistraux et questions par les étudiant(e)s. Ces exposés auront lieu
 - les **lundi** 10h30-12h30 au **D3-2036**, et
 - les **mercredi** 10h30-12h30 au **D4-2022**.

5 Évaluation

- **Devoirs : 40%**. Il y aura 4 devoirs en total, qui pourront être réalisés en équipes de deux.
- **Présentation orale (individuel) : 40%**. Cette présentation aura lieu au cours de la troisième ou quatrième semaine d'avril. Il s'agira d'un exposé de 20 à 25 minutes, plus 5-10 minutes de questions, sur un sujet de votre choix en lien avec la physique mésoscopique (le choix du thème doit être approuvé par le professeur). L'exposé pourra être basé sur un document de recherche particulier, sur plusieurs documents, sur une section d'un manuel, etc. Les principaux critères d'évaluation de la présentation finale seront les suivants :
 - (i) Valeur pédagogique de l'exposé. Les diapositives doivent être claires et lisibles. L'exposé doit être compréhensible pour vos collègues qui suivent le cours, tout en leur apprenant quelque chose de nouveau.
 - (ii) Réponse aux questions de l'auditoire. Il est tout à fait normal de ne pas avoir toutes les réponses, mais vous devez montrer une compréhension solide du contenu de vos diapositives.
- **Participation : 20 %**. La participation doit être assidue et active 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 plusieurs questions en classe ou hors classe, répondre aux questions du professeur, participer dans les discussions en classe, trouver des coquilles dans les notes de cours.

6 Bibliographie

Il y a beaucoup de manuels portant sur le contenu décrit dans notre plan de cours. Voici quelques références que je consulte souvent :

1. Y. V. Nazarov et Y. M. Blanter, *Quantum transport*, Cambridge University Press, (2009).
2. S. Datta, *Electron transport in mesoscopic systems*, Cambridge University Press (1997).
3. T. Heinzel, *Mesoscopic electronics in solid state nanostructures*, Wiley-Vch (2007).
4. C. W. J. Beenakker and H. van Houten, *Quantum transport in semiconductor nanostructures*, Solid State Physics **44**, 1-228 (1991). Disponible également sur <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0412664v1>.
5. U. Vool and M. H. Devoret, *Introduction to quantum electromagnetic circuits*, International Journal of Circuit Theory and Applications **45**, 897 (2017). Disponible également sur <https://arxiv.org/abs/1610.03438>.
6. H. Bruus et K. Flensberg, *Many-body quantum theory in condensed matter physics*, Oxford University Press (2004).