

# SYMÉTRIES BRISÉES ET ÉTATS COHÉRENTS DE LA MATIÈRE (PHY 740, H2020)

## COURS

Titre: Symétries brisées  
Sigle: PHY 740  
Crédits: 3

## PROFESSEUR

Nom: Claude Bourbonnais  
Bureau: D2-1071  
Courriel: [claudе.bourbonnais@usherbrooke.ca](mailto:claudе.bourbonnais@usherbrooke.ca)

## PLACE DU COURS DANS LE PROGRAMME

Type de cours: optionnel

Cours préalables: Mécanique quantique III (PHQ 635 ou équivalent), Physique statistique II (PHQ 440 ou équivalent)

## MISE EN CONTEXTE DU COURS

La description des solides à l'aide de la théorie des bandes, ou celle des liquides simples à l'aide de l'hydrodynamique, ne s'applique qu'à une petite partie de la réalité. Le magnétisme, la supraconductivité et la superfluidité sont des exemples de domaines de recherches contemporaines où ces approches ne suffisent pas. En fait, la notion de symétrie brisée est fondamentale pour la compréhension de tous les états condensés. Les états cohérents, comme ceux qu'on retrouve dans les antiferroaimants et les supraconducteurs, sont aussi des états à symétrie brisée. Lorsqu'une symétrie est brisée, de nouvelles propriétés « émergentes » apparaissent. Le plus souvent, ces propriétés sont la conséquence de l'existence de nouveaux modes collectifs ou la conséquence de la physique des défauts dans les états à symétrie brisée. L'origine microscopique de la symétrie brisée va bien au-delà de la théorie des bandes. La seconde quantification est le formalisme le plus naturel pour décrire l'origine des interactions qui sont la source des symétries brisées.

## OBJECTIFS

### *Objectifs généraux:*

- Le cours PHY 740 vise à : Faire comprendre et appliquer le concept fondamental de symétrie brisée et les formalismes théoriques s'y rapportant, incluant la seconde quantification, les hamiltoniens effectifs, les théories Ginzburg-Landau et BCS.

## Programme

### Semaines 1-7

- Magnétisme orbital et intrinsèque pour les particules de matière et les matériaux: limitation de l'approche classique, équation de Dirac, paramagnétisme et diamagnétisme atomique, règles de Hund, champ cristallin, mécanisme d'échange. [**Devoir #1, remise semaine #3**]
- Revue des ensembles en mécanique statistique. Méthode des variations. Mécanismes et propriétés des transitions de phase magnétiques simples. Formalisme de la mécanique statistique en théorie de champ moyen (phénoménologique et microscopique), de Ginzburg-Landau et gaussienne. Fluctuations, dimension spatiale, critère de Ginzburg et hypothèse d'échelle.[**Devoir #2, remise semaine #6**]
- Origine des exposants critiques pour les transitions du second ordre, concept d'universalité et lois d'échelle pour les exposants critiques. [**Examen intrasemestriel, semaine # 7**]

### Semaines 7-13

- Introduction à la seconde quantification. Applications simples. États cohérents.
- *Cours en ligne:* Condensation de Bose-Einstein. Atomes froids. Transition superfluide pour les bosons ( $^4\text{He}$ , ..) ainsi que sa description microscopique par l'approche de Bogoliubov. Modes de Goldstone dans les symétries brisées, ondes de spins, ...
- *Cours en ligne:* Introduction à la supraconductivité, aspects phénoménologiques. Approche Ginzburg-Landau et la théorie microscopique de Bardeen, Cooper et Schrieffer (BCS). [**Devoir #3, remise semaine #13**].

## MÉTHODES PEDAGOGIQUES

- Exposé magistral et cours en ligne (semaines 8-13)
- Questions durant l'exposé et résolutions de problèmes sous forme de devoirs.

## ÉVALUATION

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1. Moyens d'évaluation:              | Devoirs et deux examens de type <i>take home</i> .                               |
| 2. Type de questions:                | Problèmes à résoudre,<br>questions à développement.                              |
| 3. Pondération:                      | 35/100: devoirs<br>40/100: intra<br>25/100: final.                               |
| 4. Moments prévus pour l'évaluation: | (Intra: mars; final: avril).   |
| 5. Critères d'évaluation:            | Vérification des connaissances,<br>de leur compréhension et leur<br>application. |

## BIBLIOGRAPHIE

- Notes de cours
- *Du microscopique au macroscopique*, R. Balian, Ellipses, 1982.
- *Magnetism in condensed matter*, S. Blundell, Oxford University Press (2001).
- *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*, H. E. Stanley, Oxford University Press, New York, 1971.
- *Modern Theory of Critical Phenomena*, S. K. Ma, Frontiers in Physics, Benjamin, 1976.
- *Quantum Theory of Magnetism*, R. M. White, Springer Series in Solid-State Sciences, Vol. 32, 1982.
- *Quantum liquids* A. J. Leggett, Cambridge (2006)
- *Notes de cours sur les liquides quantiques*, Phillipe Nozières, Collège de France (1983)
- *Superconductivity, superfluidity and condensates*, James F. Annett, Oxford University Press (2004).
- *Magnétisme et supraconductivité*, L. Lévy, Ed. CNRS, (1997).
- *50 years of BCS*, Edited by L. N. Cooper and D. Feldman, World Scientific (2008)
- *Problème à N-corps et champs quantiques*, Philippe A. Martin et François Rothen (1990).
- *Principles of quantum mechanics*, R. Shankar, Plenum (1994).
- *Theory of quantum liquids Vol. I & II*, P. Nozières and Pines, Academic (1966 & 1990)
- *Mécanique Quantique I et II*, Claude Aslangul, Editions De Boeck, Bruxelles, 2007.
- *Mécanique Quantique (Tomes I,II)*, Cohen-Tannoudji, Diu et Laloe, Ed. Hermann (1973).
- *Classical Electrodynamics, Second edition*, J. D. Jackson, Wiley (1975).