

Symétries brisées et états cohérents

PHY 740, 3 crédits

(3 – 0 – 8)

Ce document contient :

/ Mise en contexte / Objectifs / Plan de la matière / Méthode pédagogique
/ Bibliographie

COURS	
Titre :	Symétrie brisée et états cohérents
Sigle :	PHY 740
Crédits :	3
Travaux dirigés :	
Travail personnel :	8 heures/semaine
Session :	MSc

ENSEIGNANTS
Professeur : André-Marie Tremblay
Bureau : D2-1072
Tél: 821-8000 poste 6-2058
Internet: tremblay@physique.usherbrooke.ca
Disponibilité : Au besoin. Envoyer un courriel.
Correcteur : Giovanni Sordi
Bureau :
Tél: 819-821-8000 p63016
Internet: gsordi@physique.usherbrooke.ca
Disponibilité: Envoyer un courriel

PLACE DU COURS DANS LE PROGRAMME	
Type de cours :	optionnel
Cours préalables :	
Cours concomitants :	
Cours antérieurs :	BSc physique

<http://www.physique.usherbrooke.ca/tremblay/cours/PHY-740>

Cette adresse contient ce plan de cours ainsi que les liens vers les notes de cours.

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.

OBJECTIF GÉNÉRAL

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.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

À la fin du cours PHY 740, et pour atteindre les objectifs généraux, l'étudiant devra être capable de (les chiffres entre parenthèse indiquent le principal chapitre grâce auquel l'étudiant pourra atteindre ces objectifs):

- Utiliser le concept de symétrie brisée et les formalismes mentionnés pour résoudre des problèmes complexes impliquant les propriétés émergentes et les effets quantiques collectifs dans les systèmes magnétiques, les supraconducteurs, les états cohérents et les états à symétrie brisée en général
- (2) Comprendre l'origine microscopique des moments magnétiques atomiques et comment ceux-ci sont modifiés dans l'état condensé.
- (3) Comprendre que la théorie des groupes permet de classer élégamment les propriétés de symétrie et aussi de déduire des conséquences générales de l'existence de symétrie.
- (3) Utiliser la notion de représentation irréductible et d'invariant en théorie des groupes.
- (4) Décrire une transition de phase grâce à la théorie de champ moyen et à la description phénoménologique de Ginzburg-Landau.
- (4) Comprendre les limitations de la théorie de champ moyen, la notion d'exposants critiques, de classe d'universalité.
- (5) Maîtriser et appliquer le formalisme de la seconde quantification au point de pouvoir faire des calculs dans des états de symétrie brisée comme les antiferroaimants et les supraconducteurs dans le cadre de la théorie de champ moyen.
- (5) Dériver un hamiltonien effectif à l'aide de la théorie des perturbations dégénérées.

- (6) Appliquer la théorie de champ moyen pour un hamiltonien donné en seconde quantification.
- (6) Trouver les modes collectifs d'un système à symétrie brisée, en particulier les aimants et les ferroaimants. Savoir reconnaître un mode de Goldstone.
- (7) Comprendre la notion d'état cohérent et comment ceux-ci se manifestent dans un antiferroaimant, un superfluide, un supraconducteur, une jonction Josephson.
- (8) Appliquer la théorie Ginzburg-Landau à la phénoménologie des supraconducteurs.
- (8) Faire des calculs dans le cadre de la théorie BCS de la supraconductivité.
- Connaître quelques problèmes de recherche posés par les supraconducteurs à haute température, les supraconducteurs organiques etc...

MÉTHODE PÉDAGOGIQUE

La méthode pédagogique utilisée sera principalement un exposé magistral théorique parsemé d'exercices ou de discussions.

ÉVALUATION

1. Moyens d'évaluation: Un intra, un final et quelques devoirs

2. Types de questions: Surtout des problèmes. Parfois quelques questions sur la théorie présentée en cours.

3. Pondération:

Examen partiel, deux heures :	35 %
Examen final, trois heures :	45 %
Devoirs:	20 %

- Les devoirs sont en fait plus importants que leur pondération ne le suggère car ils permettent d'assimiler la matière. **Cependant, les devoirs ne remplacent pas une relecture soignée (d'environ une heure par heure de cours) du matériel présenté en classe.** Cette relecture doit être faite *avant* le cours suivant.

4. Moments prévus pour l'évaluation intra: Vers la fin février, peut-être pendant la relâche.

5. Critères d'évaluation:

Façon de poser le problème (Reformulation, choix des équations).

Exactitude de l'algèbre de la solution. (Validité du raisonnement)

Validité des interprétations physiques.

Unités et résultats numériques.

Une présentation et un français de qualité influencent toujours favorablement le correcteur.

BIBLIOGRAPHIE

Tous ces documents sont optionnels.

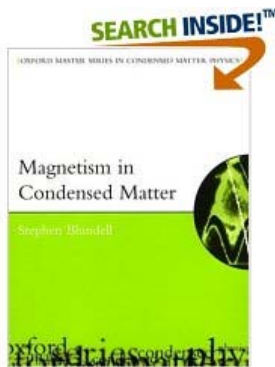
Voir <http://www.physique.usherbrooke.ca/tremblay/cours/PHY-740/> pour des notes de cours.

RÉFÉRENCES PRINCIPALES**Sur les aspects quantiques du magnétisme,**

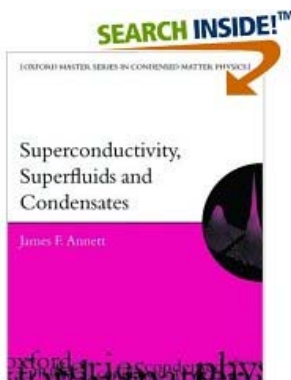
Notes de cours de David Sénéchal ou de A.-M. Tremblay
<http://www.physique.usherbrooke.ca/%7Edsenech/MQ/MQ.pdf>

Sur les transitions de phase et la supraconductivité,

Notes de cours de Claude Bourbonnais
<http://www.physique.usherbrooke.ca/tremblay/cours/PHY-740/STAT.pdf>

Sur le magnétisme

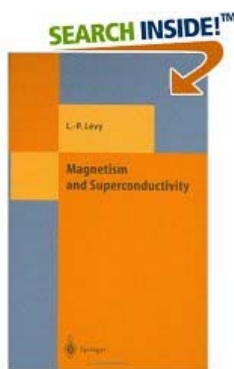
[Magnetism in Condensed Matter](#) by Stephen Blundell
(2001)
QC 173.458 M33B58 2001

Sur la condensation de Bose-Einstein, la suprafluidité et la supraconductivité

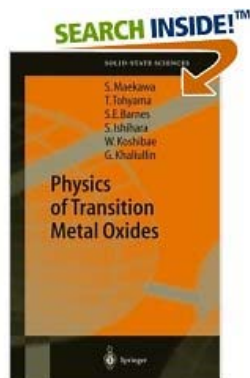
[Superconductivity, superfluids and condensates](#) by James F. Annett
(2004)
QC 175.47 B65A55 2004

Sur le magnétisme et la supraconductivité en français

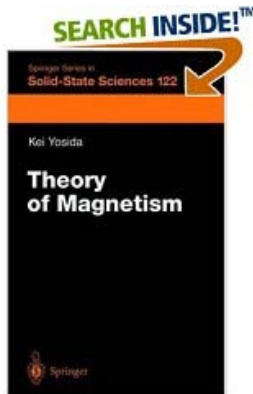
[Magnétisme et supraconductivité](#) par Lp Levy
(1997)
QC 753.2 L48 1997



[Magnetism and Superconductivity](#) par Laurent-Patrick Levy et S. Lyle
(2000)

RÉFÉRENCES COMPLÉMENTAIRES**Sur le magnétisme**

[Physics of Transition Metal Oxides](#) par S. Maekawa, T. Tohyama, S.E. Barnes, et S. Ishihara (2004)



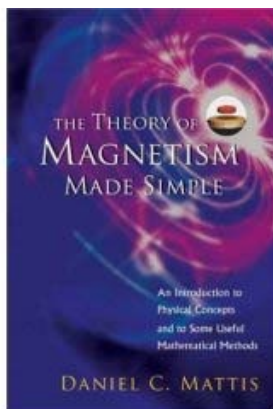
[Theory of Magnetism](#) par Kei Yosida (2001)

QC 753.2 Y6713 1998

McGraw
Hill

[Quantum Theory Of Magnetism](#) par Robert M. White (1983)

QC 753.2 W48Q 1970



[The Theory of Magnetism Made Simple: An Introduction to Physical Concepts and to Some Useful Mathematical Methods](#) par Daniel Charles Mattis (2006)

QC753.2 .M38 2006

Aspects « mécanique quantique, spin 1/2:

Lectures on quantum mechanics

G. Baym

(Benjamin, Reading, 1969) QC 174.125 B35 1973

En français.

Seconde quantification

Problème à N-corps et champs quantiques

Philippe A. Martin et François Rothen

(Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1990)

QC 174.17 P7M367 1990

Sujets classiques (Cohen-Tannoudji)+intégrale de chemin et théorie de la mesure

Mécanique quantique, Marchildon, Louis

(DeBoek Université, Bruxelles, 2000)

QC 174.12 M36 2000

Référence complète de mécanique quantique élémentaire, plus référence que nous utilisons pour la phase de Berry, l'effet Hall quantique. Discussion aussi des intégrales de chemin.

Principles of quantum mechanics

R. Shankar

(Plenum, New York, 1994)

QC 174.12 S52 1994

PLAN DE LA MATIÈRE

Chapitre	Heures	Total
1. Introduction, plan de cours etc.	2 hrs	2
2. Magnétisme atomique	4.5 hrs	6.5
• 2.1 Généralités		
• 2.2 Magnétisme classique	1	3
• 2.3 Magnétisme quantique, Matrices de rotation, spin $\frac{1}{2}$	1	4
• 2.4 Magnétisme dans les atomes		
• Équation de Dirac, hamiltonien de Pauli	1	5
• Couplage spin-orbite		
• 2.5 Paramagnétisme (Van Vleck), diamagnétisme	1	6
• 2.6 Structure fine (règles de Hund) hyperfine et effets électrodynamique Quantique	1	7
• 2.7 Environnements : champs cristallins, effet Jahn-Teller.	0.5	7.5
• Exercices : Singulet, triplet pour 2 spins (Phase géométrique, horloge atomique)	1	
3. Théorie des groupes et symétries	4 hrs	10.5
• 3.1 Définitions,	0.5	8
• 3.2 Exemples		
• 3.3 Représentation, exemple du groupe D_3	1	9
• Représentations irréductibles	2	11
• Tables de caractères, théorèmes d'orthogonalité		
• Exercices : Harmoniques sphériques et D_3		
4. Phénoménologie des transitions de phase, symétrie brisée	7 hrs	17.5
• 4.1 Phases, états de la matière, symétrie brisée	2	13
• 4.2 Thermodynamique, transitions de phase (premier ordre)	1	14
• 4.3 Théorie de champ moyen		
• Approche de Weiss	1	15
• Approche variationnelle	1	16
• Fonctionnelle de Landau et transformation de Legendre		
• Dépendance spatiale, longueur de corrélation	1	17
• 4.4 Symétrie et ordre de la transition dans la théorie de Landau	1	18
• 4.5 Effet des fluctuations : approximation gaussienne		
• Approximation du col		
• Transformation de Hubbard-Stratonovich	1	19
• Théorie de champ moyen comme approximation du col		
• Fluctuations gaussiennes		
• 4.6 Critère de Ginzburg.		
• 4.7 Lois d'échelle, groupe de renormalisation	1	20

• 4.8 Groupe de renormalisation	1	21
• Exercices : Exposants critiques, théorie de Weiss	1	
• Exercices : Théorie de Landau avec M^3 , Exposants vs y_t et y_h	1	
5. Magnétisme dans les solides, modèles effectifs	9 hrs	
• 5.1 Théorie des perturbations dégénérées		
• Brillouin-Wigner, Rayleigh-Schrödinger	1	22
• 5.2 Oscillateur harmonique et opérateurs d'échelle.	1	
• 5.3 Seconde quantification		23
• Bosons	1	24
• Fermions	1	25
• Changement de base, Fonctions d'onde fermions et bosons	1	26
• 5.4 Opérateurs à un corps	1	27
• 5.5 Opérateurs à deux corps	1	28
• Opérateurs à deux corps + exemples		
• 5.6 Approximation de Hartree-Fock	1	29
• 5.7 Origine des hamiltoniens effectifs ferro- et antiferromagnétiques		
• États de Wannier et Modèle de Hubbard	1	30
• Modèles de Heisenberg ferro- et antiferromagnétique	2	32
• Exercices : Énergie cinétique en deuxième quantification	1	
•		
6. Transition de phase et modes collectifs quantiques	3 hrs	
• Transformation de Holstein-Primakov		
• Ondes de spin et symétrie brisée pour les cas ferro et antiferro.	2	34
• Transformation de Bogoliubov	1	35
7. États cohérents macroscopiques	4 hrs	
• États cohérents.	1	36
• Condensation de Bose Einstein dans les gaz atomiques et He superfluide	2.5	38.5
• Exercices : États cohérents et antiferromagnétisme		
8. Supraconductivité	6 hrs	
• 8.1 Phénoménologie	0.5	39
• 8.2 Théorie de Ginzburg Landau		
• Sans champ externe appliqué	1	40
• Avec champ externe	1	41
• Vortex et quantification du flux	1	42
• 8.3 Théorie microscopique (BCS)		
• Origine microscopique de l'attraction entre électrons	1	43
• Diagonalisation de l'hamiltonien BCS	1	44
• Solutions de l'équation du gap, cas supra hauts T_c	1	45
• 8.4 Jonctions Josephson et états cohérents	1	46
• Supraconductivité à haute température et supraconductivité organique		
9. Résumé		