

Denis Morency

De: no-reply@www.usherbrooke.ca
Envoyé: 14 avril 2015 17:42
À: Sciences-CentreImpression@USherbrooke.ca
Objet: COMMANDE EXAMENS
Pièces jointes: Final-2015-17avril.pdf

TYPE-EXAMEN	FINAL
SIGLE-COURS	PHQ 585
TITRE-COURS	Physique du solide
PROFESSEUR	Patrick Fournier
DATE-HEURE	Vendredi, 17 avril 2015, 9h00
AUTORISE-PAR	
NOMBRE-PAGES	4
NOMBRE-COPIE-PROF	12
IMPRESSION-QUESTIONNAIRE	Recto-verso broché
NOMBRE-FEUILLES-BLANCHES	
NOMBRE-PAPIER-GRAPHIQUE	
NOMBRE-CAHIERS	11
CONSETEMENT-AGES	1
REMARQUES	
E-MAIL	
FIRST-NAME	
LAST-NAME	
NICK-NAME	
SPAMSHIELD	true

EXAMEN FINAL - 2015

Chapitres 1 à 10

Note importante : Vous avez le droit d'utiliser une feuille synthèse de 8.5" × 11" (format lettre) écrite **recto/verso** de tout ce que vous voulez de la matière incluant les chapitres 1 à 10. La calculatrice est requise.

1 - La transition de Peierls

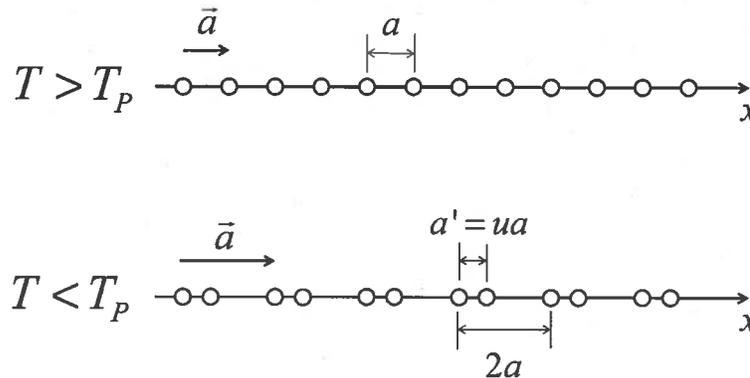
40

Certains réseaux cristallins possèdent des chaînes d'atomes (1D) où les électrons de conduction se concentrent. Ces systèmes unidimensionnels montrent des propriétés intéressantes en fonction de la température dues aux fortes interactions électron-électron qui s'amplifient dans des systèmes à dimensionalité réduite. Dans ces chaînes d'atomes, **chaque atome libère un électron**. Lorsque la température passe de l'ambiante aux basses températures, le cristal (chaque chaîne d'atomes) traverse une transition structurale menant à une dimérisation des liaisons cristallines sur chaque chaîne comme illustré plus bas. On donne le nom de transition de Peierls à ce changement structural à $T = T_P$. À température ambiante pour $T > T_P$, les atomes sont donc espacés de a sur chaque chaîne. Pour $T < T_P$, la dimérisation mène à un réseau 1D modulé avec les atomes du dimère espacés de $a' = ua$ (où $u < 1$) et les centres des dimères sont espacés de $2a$ comme illustré plus bas.

Dans ce qui suit, nous explorons l'impact de cette transition en parcourant les différents sujets traités dans les chapitres 1 à 7.

(a) [2.5 pts] **Structure cristalline** : En se basant sur la figure plus bas et en ne considérant que le problème en 1D, définissez le paramètre du réseau pour $T > T_P$ et $T < T_P$. Pour $T < T_P$, donnez aussi les vecteurs de la base à deux atomes.

(b) [2.5 pts] **Réseau réciproque** : Définissez les vecteurs fondamentaux \vec{a}^* des réseaux réciproques correspondants pour $T > T_P$ et $T < T_P$.



(c) [5 pts] **Cristallographie** : Évaluez les facteurs géométriques de ces mailles F_h pour $T > T_P$ et $T < T_P$. Considérons maintenant une mesure de diffraction des rayons X se concentrant sur la mesure du paramètre de réseau en x^1 . Quelles sont les observations attendues pour les pics de diffraction ($h00$) en terme de leur angle de Bragg et de leur intensité? Comparez surtout les différences attendues dans les spectres de diffraction.

(d) [5 pts] **Modes de vibration** : Y aura-t-il des changements attendus dans la relation de dispersion des phonons en passant de $T > T_P$ à $T < T_P$? Expliquez votre réponse en dessinant ces relations de dispersion pour $T > T_P$ et $T < T_P$.

(e) [10 pts] **Électrons libres** : Supposons que les N_x atomes d'une chaîne libèrent chacun 1 électron. Montrez dans un modèle des électrons libres dans un système 1D (où le réseau n'affecte pas les propriétés électroniques) que le vecteur d'onde de Fermi est donné par $k_F = \frac{\pi}{2a}$. Note : en principe, si le réseau n'affecte pas les états électroniques, ces chaînes d'atomes devraient demeurer métalliques pour toute température.

(f) [15 pts] **Structures de bande** : Expliquez comment la présence du réseau cristallin et l'impact d'un faible potentiel périodique modifiera la structure de bande pour $T > T_P$ et $T < T_P$ pour cette chaîne de N_x atomes. Expliquez ainsi pourquoi ce matériau deviendra soudainement **isolant** pour $T < T_P$.

1. Ne pas perdre de vue que le cristal est tridimensionnel dans la réalité, mais inclut ces chaînes d'atomes sur lesquelles on focalise notre analyse.

2 - Chapitre 7 - Structure de bandes

20

- (a) [5 pts] **Conductivité d'un semi-métal** : Un semi-métal est un matériau dont le niveau de Fermi coupe plusieurs bandes avec des relations de dispersion différentes. Faites un schéma approximatif de la structure de bandes d'un tel matériau et expliquez brièvement pourquoi le tenseur de conductivité peut présenter à la fois des signatures provenant de trous et d'électrons dans ce type de matériau. Quel est le facteur le plus important qui contrôlera la dominance d'un porteur sur un autre ?
- (b) [5 pts] **Symétrie de $E(\vec{k})$** : Énumérez deux propriétés de symétrie de la relation de dispersion pour des électrons soumis au potentiel périodique des atomes.
- (c) [5 pts] **Nombre d'états dans une bande** : Pour un cristal constitué de N mailles élémentaires, combien d'états électroniques sont inclus dans une bande? Expliquez votre réponse.
- (d) [5 pts] **Bande pleine vs conductivité** : Pourquoi les bandes pleines ne contribuent pas à la conductivité ?

3 - Chapitre 8 - Les semiconducteurs

25

- (a) [5 pts] **Gap direct vs indirect** : Décrivez schématiquement les relations de dispersion approximatives pour des semiconducteurs à gap direct et à gap indirect. Expliquez quelles sont les conditions requises pour qu'un électron puisse effectuer une transition grâce à un photon du sommet de la bande de valence au bas de la bande de conduction.
- (b) [5 pts] **$n(T)$ et $p(T)$ pour semiconducteur de type-p** : Décrivez schématiquement et avec des explications brèves la dépendance en température attendue des densités d'électrons $n(T)$ dans la bande de conduction et de trous $p(T)$ dans la bande de valence pour un semiconducteur de type-p avec N_a accepteurs par unité de volume.
- (c) [5 pts] **Énergie de liaison des accepteurs et des donneurs** : Quelle est la raison principale pour laquelle les énergies de liaison pour les donneurs et les accepteurs sont différentes dans un semiconducteur ?
- (d) [5 pts] **Mobilité des porteurs** : Quels sont les trois facteurs contrôlant la grandeur et la dépendance en température de la mobilité des porteurs dans un semiconducteur? D'où vient la dépendance en température de la mobilité allant comme $\mu \propto T^{-3/2}$ pour les électrons (ou les trous) soumis à des collisions avec les phonons ?

(e) [5 pts] **Effet Hall dans les semiconducteurs extrinsèques (dopés)** : Pourquoi peut-on observer des changements de signe du coefficient de Hall R_H en fonction de la température dans les semiconducteurs extrinsèques (dopés) ?

4 - Chapitre 10 - Supraconductivité

15

(a) [5 pts] **Origine physique de H_c ou I_c** : L'état supraconducteur est caractérisé par une résistivité nulle et l'écrantage parfait d'un champ magnétique (diamagnétisme parfait). Expliquez brièvement pourquoi cet état disparaît lorsque le champ magnétique appliqué ou le courant circulant dans son volume dépassent le champ critique H_c ou le courant critique I_c .

(b) [5 pts] **Effet isotopique** : Expliquez l'effet isotopique et pourquoi il a été crucial dans l'établissement d'une théorie microscopique de la supraconductivité.

(c) [5 pts] **Longueurs caractéristiques** : Décrivez la signification physique de la longueur de pénétration λ et de la longueur de cohérence ξ . Quelle est leur dépendance en température sous T_c (qualitativement) ?

Bon été!!!
