

PHY6505: Physique de la matière condensée

Cours 8 Surface de Fermi

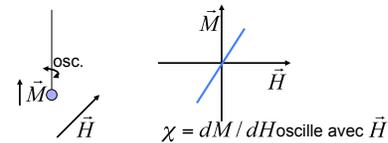
François Schiettekatte
Université de Montréal
Automne 2009

1

Déterminer la surface de Fermi

- Beaucoup de propriétés des métaux sont déterminées par les e^- près du niveau de Fermi et par la surface de Fermi
- Effet de *Haas-van Alphen*

- Oscillations dans $\chi = dM/dH$



Déterminer la surface de Fermi

- Autres phénomènes qui présentent des oscillations

- Conductivité électrique
- Magnétorésistance
- Atténuation du son
- Effet Peltier
- Thermoélectricité
- Conductivité thermique

Onsager:

$$\Delta\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c} \frac{1}{A_e}$$

Figures pp 266-268

3

Électrons libres dans $\vec{H} = H\hat{z}$

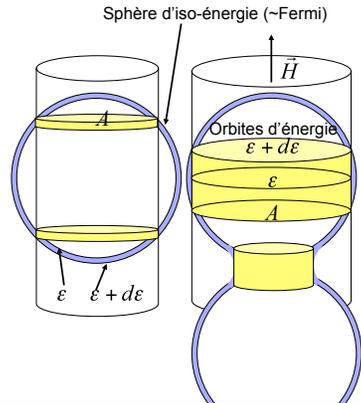
- Tableau...

- $\Delta A = \frac{2\pi e}{\hbar c} H, \quad A = (v + \lambda)\Delta A, \quad v \in \mathbb{N}$
- Donc aires quantifiées

4

Origine des oscillations

- La densité d'états diverge chaque fois que $\varepsilon(\vec{k})_{\text{orbite extrême}} = \varepsilon_v$
 - Grande densité de k_z donc beaucoup d'orbites possibles
- Survient pour les orbites extrêmes
 - Plusieurs extrema : combinaison de fréquences



Origine des oscillations

- Pic à chaque fois que

$$\underbrace{(v + \lambda)\Delta A}_{\text{produit-croisé}} = A_{\text{extrema}}(\varepsilon_F)$$

- si $v + \lambda$ passe de 10 à 11, ΔA doit passer de $A/10$ à $A/11$
- mais ΔA ne dépend que de constantes sauf H
- ainsi, pics à $H = 10/11, 11/12, \dots$
- donc à intervalle régulier de $\Delta\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c} \frac{1}{A_{\text{ext.}}(\varepsilon_F)}$
- Oscillations régulières en $1/H$ proportionnelles à l'inverse de la surface d'orbite extrême dans l'espace \vec{k} perpendiculaire à \vec{H}
 - Différentes orientations, différents extrema

6

Origine des oscillations

- Conditions d'observation

$$\square k_B T < \hbar \omega_c = \hbar \frac{eH}{mc} \Rightarrow \frac{T}{H} < \sim 1 \text{ Kelvin/Tesla}$$

- observables à quelques Kelvin si $H=1T$
- Orbites complètes
 - τ long
 - Échantillons purs, monocristallins, de grande taille

7

Autres mesures de la surface de Fermi

- Effets magnéto-acoustiques

- Champ électrique oscillant créé par la vibration des atomes
- Couplage lorsque $l_c = (n + \frac{1}{2})l$
 - l_c : diamètre de l'orbite d'un électron
 - l : longueur d'onde de l'oscillation

$$\Delta\left(\frac{1}{l}\right) = \frac{1}{l_c}$$

- Épaisseur de peau anormale (micro-ondes)

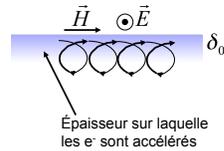
- Classique: $\delta_0 = \frac{c}{\sqrt{2\pi\sigma\omega}}, \delta_0 \gg \ell$
- Si $\delta_0 \ll \ell$ l'épaisseur de peau et la réflectivité sont déterminés par des détails de la surface de Fermi

8

Autres mesures de la surface de Fermi

□ Résonance cyclotronique

- Mesure de $\partial A / \partial \varepsilon$
- Si $T = nT_E$: résonance car \vec{E} a complété un nombre entier de périodes chaque fois que l'électron retourne dans δ_0



$$T = \frac{\hbar^2 c}{eH} \frac{\partial A}{\partial \varepsilon}$$

$$\omega_c = \frac{1}{2\pi T} = \frac{eH}{2\pi\hbar^2 c} \frac{\partial A}{\partial \varepsilon}, \quad \omega = n\omega_c$$

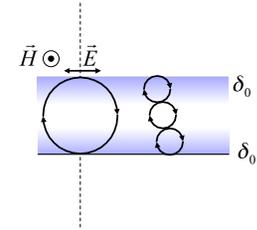
$$\frac{1}{H} = \frac{2\pi e H}{\hbar^2 c \omega} \frac{1}{\frac{\partial A}{\partial \varepsilon}} n \quad \dots \text{analyse compliquée}$$

9

Autres mesures de la surface de Fermi

□ Effet Gantmakher

- Échantillons minces
- Orbites qui "fittent" entre les deux surfaces
- Même si $\delta_0 \ll \ell$, les e^- reproduisent l'onde sur l'autre face
- Transmission résonnante



10

Surface de Fermi de certain métaux

- Monovalents (alcalins, nobles)
- Divalents (e^- en paire)
- Trivalentes (Al)

11

Monovalents

- Alcalins (Na, K, Rb mais pas Li)
 - gaz rare + $e^- s^1$
 - e^- de cœur avec ε très différente de l' $e^- s^1$
 - 1 e^- de valence

$$\square \frac{k_F^3}{3\pi^2} = \frac{N}{V} = \frac{2}{a^3} \Rightarrow$$

$$k_F = (3\pi^2)^{1/3} \left(\frac{2}{a^3}\right)^{1/3} = \frac{2\pi}{(8\pi^3)^{1/3}} = 0.62 \left(\frac{2\pi}{a}\right) < \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{2\pi}{a}\right)$$

facteur 0.877



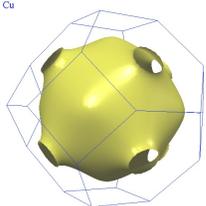
- Surface de Fermi ~ sphère à 0.1% près

12

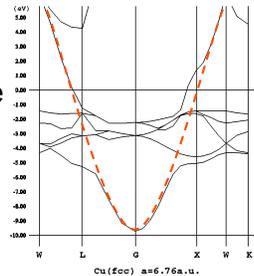
Monovalents

- Métaux nobles: Cu, Ag, Au

- e⁻ de valence quasi-libre
- bande d pas loin
- surface de Fermi distordue



Source: www.phys.ufl.edu/fermisurface/



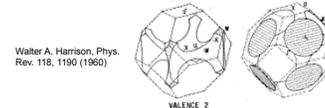
Source: www.bandstructure.jp/Table/simptab.html

13

Divalents

- Devraient être isolants puisque e⁻ s² pairés
- Mais la surface de Fermi touche au plan de Bragg

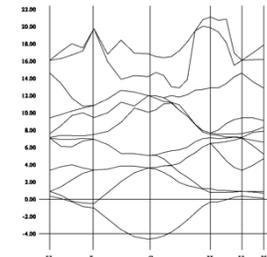
- Poches d'électrons



- Cubiques: Ca, Sr, Ba

- Hexagonaux: Be, Mg, Zn, Cd

- Surface très complexe
- Couplage spin-orbit qui bousille les mesures

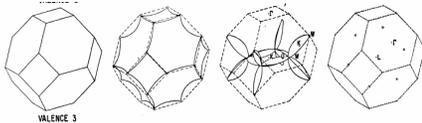


Source: www.bandstructure.jp/Table/simptab.html

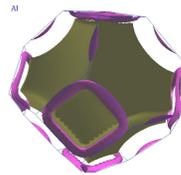
14

Trivalents: Al

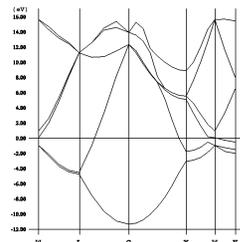
- 3 e⁻ de valence
- Surface de Fermi contenue dans les zone II,III,IV
- Le faible pot. périodique élimine la 4^e zone



Source: www.phys.ufl.edu/fermisurface/



Source: www.phys.ufl.edu/fermisurface/



Source: www.bandstructure.jp/Table/simptab.html

Trivalents: Al

- 2 des 3 e⁻ de valence remplissent la première zone
- 3^e e⁻ de valence réparti dans zone II et III

$$n_e^{II} + n_e^{III} = \frac{n}{3}$$

- Mais il y a de la place pour 2 e⁻ par zone

$$n_e^{II} + n_h^{II} = 2 \left(\frac{n}{3} \right)$$

$$\Rightarrow n_e^{III} - n_h^{II} = -\frac{n}{3}$$

- Donc concentration de trous = 1/3 de la densité d'e⁻ de valence: explique l'effet Hall

16

- Fin de la matière sur laquelle porte l'intra
 - Chapitres 8 à 15 de A&M
 - Vous avez droit au livre A&M pour l'examen

La suite

- Approximation du temps de relaxation
- Interaction d'échange
- Écrantage
- Liquide de Fermi

- Illustrations de la surface de Fermi
 - www.physik.tu-dresden.de/~fermisur/
 - www.phys.ufl.edu/fermisurface/

17