

LP45 : Paramagnétisme, Ferromagnétisme, Approximation de Champ Moyen

Oliver Harper, Allen Lim 15/02/2016

Correctrice : Emmanuelle Deleporte

Messages à faire passer :

Partir d'un point de vue microscopique et des modèles de ce qui se passe au niveau de l'atome pour remonter à des effets macroscopiques.

Les moments magnétiques atomiques sont proportionnels aux moments cinétiques (orbital + spin).

La prise en compte de tous ces moments magnétiques atomiques donne lieu à l'aimantation macroscopique. Sans interaction entre eux, l'aimantation est très faible, même nulle en champ nul ; il s'agit de paramagnétisme. Avec interaction, c'est plus compliqué donc on fait l'approximation de champ moyen. L'aimantation est alors importante même en champ nul. C'est du ferromagnétisme.

Plan :

Niveau L3

Prérequis : Magnétostat, ensemble grand canonique, opérateurs quantiques, approche macro du magnétisme

- I. Moments magnétiques atomiques
 1. Modèle semi-classique (de Bohr)
 2. Modèle quantique (par déduction, on obtient le même lien de proportionnalité)
- II. Paramagnétisme
 1. Le système et son Hamiltonien
 2. Fonction de partition et Energie libre
 3. Aimantation
 4. Susceptibilité
- III. Ferromagnétisme
 1. Origine de l'interaction entre moments magnétiques (dipolaire ?(non). Intégrale d'échange)
 2. Le système et son Hamiltonien
 3. Aimantation

Ce plan est plutôt incontournable. Il n'y a pas beaucoup d'applications mais j'ai mis des ordres de grandeur où possible : susceptibilité, énergie d'interaction dipolaire entre deux moments (bien trop faible donc l'interaction est d'origine quantique)

Expériences présentées (en intro) :

Aimant sur réseau de "boussoles" qui s'alignent suivant les lignes de champ. Ceci illustre l'effet macroscopique important des ferro, que $T_c > T_{amb}$ et l'aspect un peu mystérieux a priori des ferro qu'on cherchera à expliquer au cours de la leçon.

Expériences possibles :

Mesure de $T_c(\text{Fe})$ en chauffant au bec Bunsen un bout de fer attaché à un thermocouple. C'est pas évident car il faut beaucoup chauffer ($>1000^\circ\text{C}$) pour voir la transition ce qui n'arrive donc pas toujours si on place mal le bec. C'est pour cette raison que je ne l'ai pas présentée.

Biblio :

- Bouquins de prépa pour avoir les idées claires sur la magnétostat, notamment les dipôles magnétiques.
- Diu de Phy Stat. La leçon y est quasiment entièrement traitée mais peut être assez lourde à lire. Il faut prendre le temps de digérer, comprendre et reformuler selon son point de vue donc.

Questions :

- Comment vous interprétez la susceptibilité ? (réponse du matériau)
- Est-ce que ça a un sens d'en définir pour un ferro ? (non, c'est non linéaire et même)
- Pour un para, $M = M_{\text{sat}} \text{th}(\dots)$. C'est quoi l'interprétation de M_{sat} ?
- Questions sur l'intégrale d'échange (à quoi c'est dû ? On la trouve ailleurs ?)
- D'où vient la formule pour calculer l'aimantation (depuis l'énergie libre) ?
- Les calculs de para étaient menés pour $L=0$ et $S=1/2$ (c'est bien, ça allège les calculs). Pouvez-vous donner un exemple concret de ce cas ? (les alcalins)
- D'où vient le signe "-" dans l'expression de l'énergie d'interaction entre un dipôle et un champ B ?
- Pourquoi on parle H plutôt que B ?
- Quel est l'ordre de grandeur de l'interaction d'échange ? (1eV, se déduit de $T_c = 1000^\circ\text{C}$)

Commentaires :

- Il faut mettre des courbes expérimentales (dans la base de données il y a une diapo sur la loi de Curie qu'on pourrait utiliser et qui présente des mesures).
- Il faut tracer $M(T)$, ce qui remet en cause l'approx de champ moyen autour de T_c où les coefficients critiques ne correspondent pas à ceux de l'expérience.
- Il ne faut pas faire trop de calculs au tableau (de dérivation de phy stat notamment). Plutôt privilégier les interprétations et explications physiques.
- Ne pas hésiter à faire des allures de courbe ($\text{th}(\dots)$) au tableau et les exploiter