

LP 15 : Transitions de phase

Présentée par Louis Villa, corrigée par Alain Villaume et Géraldine Davis (geraldine.davis@ens-lyon.fr)

9 février 2017

Remarques générales

Bonne leçon, mais qui manquait d'ordres de grandeur, et aussi parfois de rigueur. On aurait aussi pu s'appuyer plus sur des courbes de potentiels thermodynamique, 'à la Laudau' (comme c'est fait dans le DGLR de thermodynamique par exemple).

Plan présenté, avec des remarques

1 Pourquoi les transitions de phases

1.1 Motivations

Expérience de pensée du gaz dans un piston qu'on comprime.

1.2 Systèmes étudiés définitions

Définitions de phase, transition de phase, diagrammes des phases.

1.3 Compétition énergie entropie

Après relecture, je me rends compte que cette partie me semble assez maladroite (je reste bien sûre à votre disposition si vous voulez en discuter). En effet, je ne suis pas sûre que le calcul présenté soit bien interprété. En effet, on aboutit -attention à l'erreur de signe dans le poly- à $\Delta F \sim -2J\sqrt{N} - kT \ln(N) \sim$

$-J\sqrt{N} > 0$ à la limite thermo pour $J < 0$. On en conclut que le système ne "préfère pas" l'état 2 par rapport à l'état 1, quelque soit la température.

Si le but de cette partie est de montrer la compétition entropie/énergie, il suffit d'écrire que à V, T fixé le potentiel à minimiser est l'énergie libre $F = U - TS$ dans l'expression de laquelle les rôles de l'énergie et de l'entropie apparaissent clairement. On peut très qualitativement illustrer cette relation en parlant de la transition liquide/gaz : dans un liquide F est minimisée par U qui est très petite (car beaucoup d'interactions attractives), alors que dans un gaz c'est le terme entropique qui domine.

Ce genre de petit calcul présenté dans la leçon sert en fait à tester la possibilité d'une transition de phase : on part de la phase ordonnée où tous les spins sont alignés et on se demande si il existe un autre macro-état plus favorable, ie pour lequel F est plus petite. Dans l'exemple présenté, on a montré que le nouveau macro-état n'était pas favorable, mais on ne peut pas en conclure qu'il en est de même pour n'importe quel autre état. Ce calcul donne néanmoins des informations intéressantes à 1 dimension (comme abordé rapidement en question). On part d'une chaîne de spins tous alignés. On considère le nouveau macro-état constitué de tous les micro-états où tous les spins sont + jusqu'à un spin particulier puis tout les autres -. On a alors $\Delta F = -2J - Tk \ln N \sim -Tk \ln N < 0$ à la limite thermo, donc ce macro-état est favorable, et ce quelque soit la température $T \neq 0$. Le macro-état parfaitement ordonné n'est donc jamais stable. Or, on sait qu'à haute température l'état stable est l'état désordonné, sans magnétisation.¹ La transition de

¹En effet dans un système de spins U est bornée (car elle ne contient pas de terme d'énergie cinétique) donc $F = U - TS$ est

phase d'un état para vers un état ferro n'existe donc pas, sauf à $T = 0$ où on a alors $\Delta F = \Delta E$ qui est toujours positive quelque soit le macro-état proposé (différent du macro-état initial) et où l'état parfaitement 'ordonné' est donc stable.

2 Etude d'une transition d'ordre 2

2.1 Importance des interactions

Equation d'état de Van der Waals

2.2 Un problème de concavité. Construction de Maxwell

On construit le plateau.

2.3 Caractérisation de la transition

3 Transition d'ordre 2 ferro/para

3.1 Modèle d'Ising

3.2 Le champ moyen

On néglige $(s_i - m)(s_j - m)$ devant $m(s_j - m)$. Je trouve que l'on aurait pu présenter l'approximation du champ moléculaire de Weiss, qui est aussi une approximation de champ moyen, et qui est beaucoup plus facile à interpréter. Cf réponse aux questions.

dominée à haute température par $-TS$ et donc minimiser F à T fixée revient à maximiser S donc a prendre un macro-état 'désordonné', sans magnétisation.

3.3 Caractéristiques, analogie avec liq/vap

Questions

Pourquoi la pression P est toujours bien définie dans l'expérience de pensée du 1.1

Car quasi-statique (rien à voir avec la paroi diatherme).

Revenir sur le calcul de ΔF dans le paragraphe "competition energie entropie"

Voir les commentaires fait dans le corps de ce corrigé.

Pourquoi appelle t-on l'approximation du champ moyen "champ moyen" ?

Il faut avoir conscience qu'il existe plusieurs "approximation de champ moyen". On pourra par exemple jeter un oeil à ² pour s'en convaincre. Mais dans tous les cas, l'approximation revient à négliger des fluctuations en réduisant l'interaction de chaque degré de liberté avec les autres par une interaction "moyenne", d'où son nom. Elle permet de passer d'un système de plusieurs éléments couplés à une réunion d'éléments découplés (on peut alors factoriser la fonction de partition).

Je trouve que l'approximation de champ moyen la plus simple à exposer est celle du champ moléculaire de Weiss (DGLR Physique Statistique Complément III.J II.1.a). L'Hamiltonien obtenu diffère alors d'une constante de l'Hamiltonien présenté dans cette leçon (qui correspond au paragraphe c. du même chapitre) mais cela n'affecte pas le résultat pour l'aimantation alors que les calculs sont beaucoup plus 'limpides'.

²https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/sose_14/asp/lectures/ASP_Chapter5.pdf

Peut on faire un calcul en physique statistique permettant de retrouver les même termes du développement du viriel qu'ici ? Si oui, quelles en sont les hypothèses ?

Oui : Cf DGLR de Physique statistique (Complément III.G, II).