

LP15 : ETUDE STATISTIQUE D'UN SYSTÈME EN CONTACT AVEC UN THERMOSTAT : PROBABILITÉ CANONIQUE (L3)

Prérequis

- ensemble microcanonique et résultats associés
- thermodynamique élémentaire (fonction d'état, propriétés du GP...)
- passage somme intégrale à la limite continue
- potentiel thermodynamique

Idées directrices à faire passer

- l'ensemble microcanonique, bien que fondamental n'a pas d'usage pratique. Il faut donc développer des ensembles plus réalistes, dont l'ensemble canonique
- l'énergie libre, qui devient le potentiel adapté doit être discuté : compétition entropie/énergie

Commentaires du jury

- avant toute chose il faut définir le cadre statistique de l'étude ainsi que les variables pertinentes associées (paramètres extérieurs et variables internes)
- le modèle d'Ising n'est pas un passage obligé
- parler de la compétition énergie/entropie dans l'expression de F
- donner la valeur de k_B et son unité. méthode de mesure
- bien savoir ce que signifie "être en contact avec un thermostat"

Bibliographie

- [1] Physique statistique, Diu, Hermann (contient toute la leçon !)
- [2] La physique statistique en exercices, Krivine, Vuibert (bon exercice)
- [3] Physique statistique et illustration en physique du solide, Hermann, Editions Polytechnique (calcul du GP)

Introduction [1] S'inspirer de l'intro du chapitre 3 du Diu : dire que l'on connaît maintenant la statistique des systèmes isolés (ensemble microcanonique) et que l'on va étendre nos connaissances à un autre type de système : les systèmes en contact avec un thermostat, pour lesquels les transferts thermiques sont libres. Propriété fondamentale : l'énergie n'est alors plus constante. Elle passe donc de paramètre extérieur à variable interne.

I Système en contact avec un thermostat

1 Notion de thermostat [1]

p255

- préciser la notion
- en tirer les conséquences : écrire le DL1 de l'entropie du thermostat en fonction de l'énergie, utile pour la suite

2 Température canonique d'un système, comparaison avec la situation microcanonique [1]

p257

3 exemples de systèmes décrits dans l'ensemble canonique [pas de réf.]

- thermomètre mis au contact d'un système
- glaçon dans une piscine / glaçon dans un verre d'eau. La piscine est un bon thermostat mais pas le verre d'eau !

II Distribution canonique des états microscopiques

1 Loi de probabilité canonique [1]

p257

- faire la démonstration à partir de la loi de probabilité microcanonique appliquée au système $\{S + \textit{Thermostat}\}$
- le préfacteur de normalisation est la fonction de partition canonique Z
- les microétats ne sont plus équiprobables. Toutes les énergies sont a priori représentées mais avec une probabilité différente.
- noter que la probabilité que le système présente un état d'énergie dépend de la compétition entre la dégénérescence (qui croît avec l'énergie, on l'explicitera par la suite) et le facteur exponentiel qui privilégie les états de faible énergie
- préciser k_B (unité et valeur) et donner un ODG de kT à l'ambiante.

2 Distribution statistique de l'énergie [1]

p262

- donner la loi de probabilité en énergie en introduisant clairement le facteur de dégénérescence. On en donnera des expressions dans la partie III
- donner la définition de $\langle E \rangle$ et ΔE^2 (parler des fluctuations! c'est l'apport de la physique statistique à la thermodynamique) puis leur expression en fonction de Z (donné p269)
- passage à la limite continue (donner les conditions de passage, le Diu le fait clairement)

3 Théorème d'équipartition de l'énergie [1]

p305

- Donner l'énoncé précis sans démonstration
- Faire la discussion physique du Diu (énergie cinétique de translation, de rotation, énergie potentielle harmonique)

4 Mesure de k_B [2]

Exercice p35, correction p185. Exercice court et instructif. On utilise le théorème qu'on vient de citer sur un système classique (macroscopique), qui thermalise facilement avec son enceinte

III L'énergie libre

1 Définitions [1]

p268

- revenir sur Z (son unique dépendance en T) et définir alors F (donner l'unité de F)
- donner la relation $F = E - TS$ (sans démo)
- l'énergie libre, qui constitue le potentiel thermodynamique adapté à un système thermostaté, est minimale à l'équilibre. E et S étant des fonctions croissantes de l'énergie, on comprend qu'il existe une énergie pour laquelle F est minimale. Le transfert thermique avec le thermostat est alors nulle, l'équilibre thermodynamique est atteint. Cet équilibre naît donc de la compétition entre énergie et entropie : **le système cherche à maximiser son entropie tout en minimisant son énergie.** [pas de référence]
- définir P à partir de F .

2 Equation d'état des gaz parfait à partir de la physique statistique [3]

p293

- Calculer dans le cas du GP : $Z \rightarrow F \rightarrow P$. On retrouve alors la loi des GP. **Il est important de ne pas prendre le Diu qui fait un traitement quantique...**
- utiliser le théorème d'équipartition pour obtenir U et C_V

3 Etude d'un système à deux niveaux : fibre élastique sous tension [2]

exercice p40 et correction p197. Exercice simple et appliqué de systèmes à deux niveaux classiques. Modèle simple de physique statistique d'élasticité des fibres (selon le temps restant, on pourra développer plus ou moins l'exercice)

Conclusion

- Faire le bilan des points clés
- ouvrir sur l'équivalence des ensembles statistiques à la limite thermodynamique (lorsque les fluctuations deviennent négligeables)

Q/R

1. $S = k \ln \Omega$ est elle vérifiée en canonique ?
2. Quelles conditions faut-il vérifier pour passer de sommes discrètes à intégrations continue ?
3. Quand la description canonique et microcanonique est-elle équivalente ?
4. Définition et condition de validité de l'approximation de Maxwell-Boltzmann
5. Quand peut-on traiter un système quantique de manière classique ?
6. Donner une interprétation statistique du travail et de la chaleur