

Correcteurs : Alexandre Poyé & Benjamin Besga
(benjamin.besga@ens-lyon.fr)

A. MISSIAN

Extraits des commentaires du jury

2016 : *La contextualisation est primordiale dans cette leçon.*

2015 : Étude statistique d'un système en contact avec un thermostat. Probabilité canonique. *Développer une théorie sans illustrations n'est pas acceptable. D'ailleurs, l'application de la probabilité canonique à des situations concrètes et classiques, lors de l'entretien, révèle parfois une culture assez limitée en physique.*

2012 : Introduction au facteur de Boltzmann à partir d'un exemple au choix *Le jury invite les candidats à définir proprement le cadre statistique dans lequel ils se placent, et les variables pertinentes associées.*

2010 : *On peut introduire les statistiques quantiques à l'occasion de cette leçon, et s'intéresser à la limite classique.*

2008 : *Les conditions d'utilisation du facteur de Boltzmann doivent être précisées. L'atmosphère en équilibre isotherme n'est qu'un exemple parmi d'autres permettant d'introduire le facteur de Boltzmann.*

Points importants

La leçon a changé plusieurs fois de dénomination, et bien que l'étude de l'ensemble canonique reste au cœur de la leçon, l'énoncé « Facteur de Boltzmann », doit orienter la leçon vers des exemples variés de la physique où ce facteur intervient. Une progression envisagée consiste à illustrer la présence de ce facteur avec un ou deux exemples d'introduction (atmosphère isotherme + longueur de Debye par exemple) en concluant sur l'importance de ce facteur et son omniprésence en physique. On va ensuite chercher à comprendre d'où vient ce facteur en présentant la distribution canonique. Il faut ensuite présenter quelques applications au choix (le paramagnétisme, le théorème d'équipartition, le gaz parfait di-atomique, le modèle d'Einstein de la capacité calorifique des solides...).

Remarques sur la leçon présentée

La leçon était très bien présentée et le choix des sujets abordés cohérents. Le rythme était agréable, le tableau bien tenu et les différentes parties bien équilibrées.

1. Équation de l'atmosphère isotherme (mise en équation, interprétation statistique)
2. Distribution canonique et facteur de Boltzmann (thermostat, distribution canonique, application : le paramagnétisme)
3. Théorème d'équipartition de l'énergie (hypothèse, démonstration, conséquences)

Le fil conducteur *exemple introductif* → *explication du facteur de Boltzmann* → *Applications* est lisible tout au long de la leçon.

Introduction

Le rappel des pré-requis est essentiel, il faut bien motiver la première partie : apparition du facteur de Boltzmann à partir d'un exemple simple.

Première partie

Une fois la formule pour la densité de particule obtenue, il faut tracer la courbe $N^*(z)$ pour différentes températures, ce qui permet de bien commenter l'apparition du facteur de Boltzmann, la longueur caractéristique du problème et la compétition énergie potentielle vs énergie thermique.

Il est aussi possible d'insérer rapidement un exemple supplémentaire (Debye, diffusion), pour montrer que peut importe l'énergie potentielle en jeu la compétition avec l'énergie thermique est essentielle.

La transition vers la deuxième partie est naturelle : pourquoi ce facteur ?

Deuxième partie

Dans la définition du thermostat, il faut préciser directement que l'énergie du thermostat est grande devant celle du système (utilisé dans la suite). Attention, le thermostat est un réservoir d'énergie (grandeur extensive) !

Pour le calcul de la distribution canonique, préciser que l'on se place dans le cas d'un système quantique (sommes discrètes) et que ce calcul se généralise au cas classique sans difficultés. Il est très important de faire apparaître les variables des fonctions thermodynamiques $S(E, V, N)$.

Pour le paramagnétisme, il est aussi possible de traiter la limite basse température.

Troisième partie

Le théorème d'équipartition est une conséquence importante pour les systèmes classiques. Il est judicieux de préciser (comme dans la leçon présentée) que sur un système donné certains degrés de libertés peuvent être décrits classiquement et d'autre quantiquement. Il ne faut pas cependant chercher à faire une définition générale d'un système classique/quantique ici.

L'application au gaz parfait diatomique est pertinente et a été bien traitée.

Questions complémentaires

- Quelle système peut-on décrire si l'on remplace l'énergie potentielle de pesanteur par une énergie potentielle électrique ? (physique des plasmas, électrolytes) Quelle longueur caractéristique apparaît dans ce cas ? (Longueur de Debye)
- Quelles sont les variables des fonctions thermodynamiques considérées ?
- Nous avons abordé la possibilité de traiter le modèle d'Einstein dans cette leçon. Il peut être intéressant de détailler la limite haute température comme illustration du théorème d'équipartition (attention les résultats expérimentaux peuvent différer du modèle, le potentiel vu par les atomes n'étant plus quadratique). La limite basse température permet d'aller au delà du théorème d'équipartition même si la dépendance en température n'est pas la bonne.
- Une question que nous n'avons pas posée et qui peut revenir dans cette leçon concerne le lien entre la théorie de l'information et la thermo-statistique.