

Thermostatistique de la matière condensée – Examen de MAI 2025

Question 1 (9 pts)

Un petit ensemble de $N=15$ molécules dipolaires est adsorbé sur la surface d'un nanocristal. Le taux de recouvrement de la surface par les molécules est suffisamment faible pour que l'on puisse négliger en première approximation les interactions électrostatiques entre les molécules. La surface est à 300 K. Le moment dipolaire d'une molécule est noté μ et sa norme est μ .

On observe qu'à cette température, le moment dipolaire de chaque molécule n'existe que dans deux orientations possibles : $\mu^+ = \mu \mathbf{e}_y$ et $\mu^- = -\mu \mathbf{e}_y$ avec probabilité $p=0.6$ et $q=0.4$, respectivement. Le vecteur $\mathbf{e}_y$ est un vecteur unitaire selon l'axe cartésien Y choisi dans la direction préférentielle des moments dipolaires, perpendiculaire à la surface du nanocristal.

- Quelle est la probabilité $P(n^+)$ de trouver 3 molécules avec un moment dipolaire μ^+ ?
- La norme du moment dipolaire totale de l'ensemble des N molécules est noté $m\mu$ où m est évidemment un nombre entier. Quel est la probabilité que m soit égal à 3 ?
- Que signifie une valeur de m positive ? Pourquoi les valeurs calculées en a) et b) sont-elles si différentes ?
- Calculez la valeur moyenne de m et de n^+ (nombre de molécules dans la direction $\mathbf{e}_y$).
- La susceptibilité diélectrique de l'ensemble des molécules est proportionnelle à la variance de m . Démontrez les formules donnant les variances de m et de n^+ et calculez leurs valeurs.

Question 2 (8 pts)

Données du problème : la masse de l'électron $m=9.1 \cdot 10^{-31}$ kg, $1 \text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19}$ J, la constante de Planck $h=6.62 \cdot 10^{-34}$ Js.

- Démontrez la condition de diffraction de Laue.
- Démontrez l'équivalence entre la condition de diffraction de Laue et la loi de Bragg.
- Un faisceau d'électrons d'énergie cinétique de 1 keV est diffracté par un cristal monoatomique de réseau de Bravais cubique simple. Le faisceau est incident sur une famille de plans d'atomes dont la distance entre plans est de 0.1 nm. Calculez la longueur d'onde des électrons et l'angle dans la condition de Bragg le plus petit possible pour observer une diffraction.

Question 3 (3 pts)

- Donnez l'ordre de grandeur de l'énergie de cohésion par atome dans des cristaux à liaisons fortes (covalentes, ioniques) et faibles (van der Waals).
- Sur quelle hypothèse se base l'approximation de Born-Oppenheimer ?
- Donnez un exemple de potentiel interatomique et son domaine d'application. Expliquez l'origine physique des différents termes.