

MASTER PHYSIQUE APPLIQUEE ET INGENIERIE PHYSIQUE

**Module : Magnétisme dans les solides
Série N° 1**

Exercice 1

Un électron de masse m_e , de charge $(-e)$ décrit, avec la vitesse angulaire ω , une orbite circulaire de rayon r autour du noyau.

- 1) Exprimer le moment magnétique orbital \vec{m} correspondant, ainsi que le moment cinétique \vec{L} de cet électron et donner l'expression du rapport gyromagnétique χ_e .
- 2) Ce système est placé dans un champ magnétique uniforme \vec{B}_0 parallèle à l'axe Oz d'un repère cartésien, et faisant un angle θ avec la direction du moment cinétique \vec{L} . Montrer en utilisant le théorème du moment cinétique que le système va suivre un mouvement de précession par rapport à la direction du champ appliqué avec une vitesse angulaire \check{S}_p que l'on déterminera.

Exercice 2

Un atome à Z électrons est placé dans un champ uniforme \vec{B}_0 parallèle à l'axe Oz

- 1) Expliquer le phénomène du diamagnétisme à partir du théorème de Larmor.
- 2) Déterminer le moment magnétique moyen de l'atome induit par le champ appliqué (soit $\langle r^2 \rangle$ la distance quadratique moyenne des électrons au noyau de l'atome).
- 3) Soit n le nombre d'atomes par unité de volume du matériau.
 - Exprimer l'aimantation \vec{M} du milieu.
 - En déduire l'expression de la susceptibilité diamagnétique χ_m . Interpréter le résultat.

Exercice 3

Un matériau paramagnétique contenant n dipôles magnétiques identiques, de moment \vec{m} , par unité de volume, est placé dans un champ uniforme \vec{B}_0 . Les dipôles ne peuvent s'orienter que parallèlement ou antiparallèlement à ce champ. L'énergie d'interaction dipolaire est supposée négligeable.

- 1) Donner l'énergie magnétique des dipôles.
- 2) Donner, à l'équilibre thermodynamique pour une température T , la densité des populations des deux niveaux d'énergie magnétique susceptibles d'être occupés par ces dipôles en supposant qu'ils obéissent à la statistique de Maxwell-Boltzmann.
- 3) En déduire l'aimantation \vec{M} du matériau paramagnétique, aux haute et basse températures, et sa variation en fonction de \vec{B}_0 .
- 4) Déterminer l'expression de la susceptibilité paramagnétique χ_m dans le domaine de validité de la loi de Curie.

Exercice 4 : Théorie de Langevin

On suppose que les atomes d'une substance paramagnétique possèdent un moment magnétique \vec{m} qui peut être considéré comme un vecteur classique. Toutes les orientations sont possibles en présence d'un champ magnétique uniforme $\vec{B}_0 = B_0 \vec{e}_z$. On admet de plus que le système est décrit par la statistique de Maxwell-Boltzmann.

- 1) Donner la probabilité pour que le moment magnétique d'un atome soit dirigé dans l'angle solide $d\Omega$.
- 2) Donner la valeur moyenne de la composante selon Oz du moment magnétique d'un système comprenant N atomes en fonction de la fonction de Langevin définie par:
$$L(x) = \coth(x) - 1/x$$
- 3) Montrer que pour une induction magnétique assez faible ou pour une température assez élevée l'aimantation vérifie la loi de Curie.
- 4) Que devient la composante M_z de l'aimantation selon la direction Oz lorsque l'induction est très intense ou la température est très basse?
