

MASTER PHYSIQUE APPLIQUEE ET INGENIERIE PHYSIQUE  
Module : Magnétisme dans les solides / Nanomatériaux  
Epreuve du magnétisme dans les solides  
Session ordinaire : 16 juillet 2020

I- Milieu paramagnétique en présence d'un champ magnétique uniforme

1. Donner une interprétation qualitative du paramagnétisme au niveau microscopique dans le cas d'un système de moments magnétiques localisés.
2. On considère un milieu paramagnétique constitué d'atomes dont le moment cinétique se réduit à un spin simple  $S = 1/2$  sans moment cinétique orbital.  
Dans ces conditions, chaque atome possède un moment magnétique :  $\vec{\mu} = -g\mu_B \vec{S}$  où  $\mu_B$  est le magnéton de Bohr et  $g$  le facteur de décomposition spectrale égal ici à 2.

2.1 Le milieu est placé dans un champ d'induction magnétique uniforme  $\vec{B}_0$  parallèle à la direction Oz d'un repère cartésien  $\mathcal{R}(O; x, y, z)$ .  
Donner les valeurs possibles de l'énergie d'interaction magnétique d'un atome dans ce champ appliqué.

2.2 On désigne par  $T$  la température du milieu et par  $N^*$  le nombre d'atomes par unité de volume du milieu. On néglige les interactions entre les atomes.  
Calculer les populations atomiques correspondant à chaque état d'énergie, en supposant qu'elles obéissent à la statistique de Maxwell-Boltzmann. On posera

$$x = \frac{\mu_B B_0}{kT}.$$

2.3 Déterminer l'expression de l'aimantation  $M$  du milieu dans les deux cas suivants :

a- champ faible, énergie thermique importante.

b- champ fort, énergie thermique faible. Que représente la grandeur  $M_0 = N^* \mu_B$  ?

2.4 Calculer la susceptibilité magnétique  $\chi_m$  du milieu, dans le cas a).

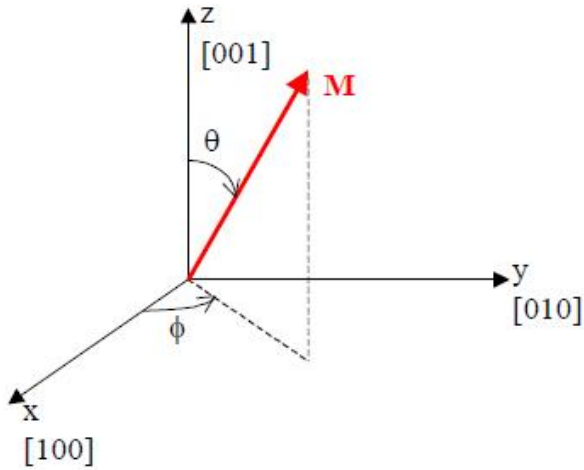
Vérifier que  $\chi_m = \frac{C}{T}$  et exprimer la constante de Curie  $C$  en fonction de  $N^*$ ,  $\mu_B$  et  $k$ .

Rappel :  $th(x) \approx x$ , si  $x \ll 1$  ;  $th(x) \approx 1$ , si  $x \gg 1$

II- Anisotropie magnéto-cristalline

1. Donner l'expression de la densité volumique d'énergie d'anisotropie magnéto-cristalline dans le cas d'une structure cubique, en fonction des cosinus directeurs et des coefficients d'anisotropie  $K_1$  et  $K_2$ .

2. On rappelle que le nickel est un matériau ferromagnétique à structure cristalline cubique de paramètre cristallin  $a$ , ses constantes d'anisotropie sont :  $K_1 = -0.55 \cdot 10^4 \text{ J/m}^3$  et  $K_2 = -0.24 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3$ . La direction de l'aimantation est repérée par rapport à ses cosinus directeurs  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$  selon le schéma suivant :



avec 
$$\begin{cases} \Gamma_1 = \sin \theta \cos \phi \\ \Gamma_2 = \sin \theta \sin \phi \\ \Gamma_3 = \cos \theta \end{cases}$$

Montrer que l'axe de facile aimantation est suivant la direction [111] de la grande diagonale de la maille cubique, et que les axes de difficile aimantation sont suivant les arêtes [100], [010] et [001] de la maille cristalline.

Rappel : dans un cube de coté  $a$ , la grande diagonale est égale à  $d = a \cdot \sqrt{3}$

La diagonale de la face (ou petite diagonale) est égale à  $d_{\text{face}} = a \cdot \sqrt{2}$

