UNIVERSITE PAUL SABATIER **LICENCE DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES**

CONTRÖLE TERMINAL « PROPRIETES ELECTROMAGNETIQUES DE LA MATIERE »

I. Polarisation d'orientation :

Pour un milieu contenant n molécules par unité de volume et pour lequel le mécanisme de polarisation prépondérant est la polarisation d'orientation, Debye a montré que les variations en fonction du temps de la polarisation dans un champ $\mathbf{E_l}$ sont données par l'équation différentielle suivante:

$$\mathbf{P} + \tau\, d\mathbf{P}/dt = n\, \alpha(0)\, \varepsilon_0\, \mathbf{E_l}$$

a) A t=0, un champ $\mathbf{E_l} = \mathbf{E_0}$, constant est établi ; donner la valeur atteinte par la polarisation en régime permanent, sachant qu'elle était nulle au départ.

b) Donner la signification physique de $\alpha(0)$ et de τ. Quelle est leur unité ?

c) Dans le cas où le champ est sinusoïdal, $\mathbf{E_l} = \mathbf{E_0} \exp -i\omega t$, calculer la polarisabilité complexe $\underline{\alpha}(\omega)$.

d) Dans l'hypothèse où l' on peut confondre , champ local et champ macroscopique, calculer la permittivité relative complexe $\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_r'(\omega) + i\, \varepsilon''_r(\omega)$. Représenter sur un même graphe les variations de $\varepsilon_r'(\omega)$ et de $\varepsilon''_r(\omega)$. Commenter

II. Propagation dans un milieu diélectrique :

On s'intéresse à la propagation d'un champ électromagnétique (**E**, **B**) dans le domaine du visible (hautes fréquences) dans un milieu non magnétique caractérisé par une polarisation $\mathbf{P}(\mathbf{r},t)$.

a) Rappeler les équations de Maxwell vérifiées par les champs (**E**, **B**) et (**D**, **H**) à l'intérieur du milieu qui ne contient pas de charges ni de courants extérieurs. En utilisant les définitions de H et de D et éliminant B, en déduire l'équation d'onde vérifiée par le champ électrique **E** en fonction de **P**.

b) On recherche les conditions de propagation d'ondes planes monochromatiques transverses électriques ($\mathbf{E}\perp\mathbf{k}$). Montrer en utilisant la notation complexe $\underline{\mathbf{E}} = \underline{\mathbf{E_0}}\, \exp i(\mathbf{kr}-\omega t)$ et $\underline{\mathbf{P}} = \underline{\mathbf{P_0}}\, \exp i(\mathbf{kr}-\omega t)$ que pour de telles ondes $\mathrm{div}\mathbf{E} = 0$. Montrer alors que l'équation d'onde se réduit à $(k^2 - \omega^2/c^2)\, \mathbf{E_0} - \omega^2/c^2\, \underline{\mathbf{P_0}}/\varepsilon_0 = \mathbf{0}$.

c) Pour les fréquences du domaine visible, la polarisation du milieu est d'origine électronique. La susceptibilité électronique χ_e est alors réelle et positive. Que devient dans ce cas l'équation d'onde (b) ? En déduire que la propagation d'ondes planes transverses électriques est possible et donner la relation de dispersion $\omega(k)$?

III. Champ créé par une sphère uniformément aimantée :

On se propose de calculer le champ magnétique **B** à l'extérieur d'une sphère de rayon R, aimantée uniformément d'aimantation **M**=M$\mathbf{e_z}$.

a) Ecrire l'intégrale donnant le potentiel vecteur **A** créé par un milieu aimanté.

b) Montrer que si l'aimantation est uniforme, on peut écrire le potentiel vecteur en fonction d'une intégrale homogène à un champ électrique (champ auxiliaire)

c) A l'aide du théorème de Gauss dans le vide, calculer ce champ électrique à l'extérieur de la sphère.

d) Calculer le potentiel vecteur **A** à l'extérieur de la sphère.

e) En déduire **B** créé à l'extérieur de la sphère par le milieu aimanté, sachant que $\mathbf{rot} A_\varphi \mathbf{e_\varphi} = (1/r\sin\theta)\, \partial(A_\varphi \sin\theta)/\partial\theta\ \mathbf{e_r} - 1/r\ \partial(r A_\varphi)/\partial r\ \mathbf{e_\theta}$.