1. Questions

$\boxed{1.}$ O_2 : tous les électrons sont appariés ⇒ diamagnétique

He : gaz rare / toutes les couches électroniques sont remplies ⇒ diamagnétique

Li : alcalin / 1 électron célibataire ⇒ paramagnétique

Co : ferromagnétique

HCl : tous les électrons sont appariés ⇒ diamagnétique

$\boxed{2.}$ O_2 molécule diatomique homonucléaire ⇒ non polaire

He, Li, Co atomes non polaires

HCl molécule diatomique hétéronucléaire ⇒ polaire

$\boxed{3.}$ Quand on chauffe un aimant au delà de sa température de Curie, il perd son caractère ferromagnétique (aimantation rémanente en l'absence de champ magnétique)

Il devient paramagnétique et ~~pers~~ n'est plus aimanté.

2. Polarisation d'orientation

$\boxed{1.}$ les molécules polaires ont un moment dipolaire électrique permanent. En l'absence de champ électrique appliqué, les moments des molécules sont orientés aléatoirement. Il n'y a pas de polarisation dans le milieu. En présence d'un champ appliqué, les moments électriques ont tendance à s'orienter selon le champ, d'où l'apparition d'une polarisation $\vec{P}$ dans le milieu.

Retard dû à l'inertie lors de la rotation des molécules (rotations perturbées par les chocs intermoléculaires)

$\boxed{2a}$ $$\tau \frac{\partial \underline{\vec{P}}}{\partial t} + \underline{\vec{P}} = \varepsilon_0 \chi_0 \underline{\vec{E}}$$ On peut passer en notation complexe car l'équation est linéaire

$$\underline{\vec{E}}(\vec{r},t) = \underline{\vec{E}_0}\, e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$$

$$\underline{\vec{P}}(\vec{r},t) = \underline{\vec{P}_0}(\vec{r})\, e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$$

$$(-i\omega\tau + 1)\, \underline{\vec{P}} = \varepsilon_0 \chi_0 \underline{\vec{E}} \quad \text{donc} \quad \underline{\vec{P}} = \frac{\varepsilon_0 \chi_0}{1 - i\omega\tau} \underline{\vec{E}}$$

$$\underline{\vec{P}} = \varepsilon_0 \underline{\chi} \underline{\vec{E}} \quad \text{avec} \quad \underline{\chi} = \frac{\chi_0}{1 - i\omega\tau}$$

$$\underline{\varepsilon_r} = 1 + \underline{\chi}$$

$$= 1 + \frac{\chi_0}{1 - i\omega\tau}$$

$\boxed{2b}$ $\tau \to 0$ $\underline{\chi} \to \chi_0$ et $\underline{\varepsilon_r} \to 1+\chi_0$

$\underline{\chi}$ et $\underline{\varepsilon_r}$ tendent vers leurs valeurs (réelles) en régime statique

Si la relaxation du milieu n'existait pas ($\tau \to 0$), le milieu se polariserait instantanément sous l'effet du champ électrique.

Pas de retard $\Rightarrow$ $\underline{\chi}$ et $\underline{\varepsilon_r}$ sont réels

$\boxed{3a}$ $\underline{\varepsilon_r} = \varepsilon_{r,1} + i\varepsilon_{r,2} = 1 + \dfrac{\chi_0}{1-i\omega\tau}$

$$\underline{\varepsilon_r} = 1 + \frac{\chi_0}{1+(\omega\tau)^2} + \frac{i\chi_0\omega\tau}{1+(\omega\tau)^2}$$

$\varepsilon_{r,1} = 1 + \chi_0/(1+(\omega\tau)^2)$

$\varepsilon_{r,2} = \chi_0\omega\tau/(1+(\omega\tau)^2)$

$\boxed{3b}$ 1 milieu dont la permittivité dépend de ω = milieu dispersif

1 milieu dont la permittivité est complexe = milieu absorbant | non transparent

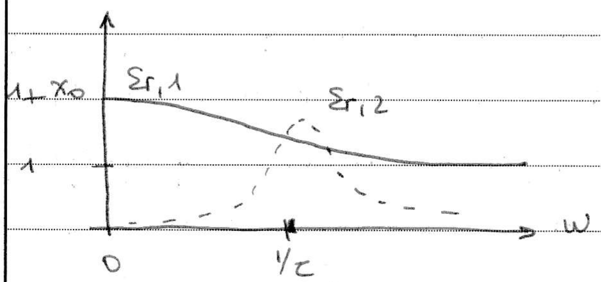
$\boxed{3c}$ $\varepsilon_{r,2} \geq 0$ car $\chi_0 \geq 0$, $\omega \geq 0$, $\tau \geq 0$

$\varepsilon_{r,2}$ est associé aux phénomènes d'absorption / dissipation

$\boxed{3d}$ $\omega = 0$ $\varepsilon_{r,1} = 1+\chi_0$ $\varepsilon_{r,2} = 0$

$\omega = 1/\tau$ $\varepsilon_{r,1} = 1 + \dfrac{\chi_0}{2}$ $\varepsilon_{r,2} = \chi_0/2$

$\omega \to +\infty$ $\varepsilon_{r,1} \to 1$ $\varepsilon_{r,2} \sim \chi_0/\omega\tau \to 0$



$\boxed{3e}$ * $\omega \ll 1/\tau$ $\varepsilon_{r,1} \to 1+\chi_0$ $\chi \to \chi_0$ $\varepsilon_{r,2} \to 0$

le milieu réagit instantanément ($\vec{P}$ et $\vec{E}$ en phase, $\vec{D}$ et $\vec{E}$ en phase, χ, ε_r tendent vers leurs valeurs en régime statique)

les dipôles suivent les variations du champ électrique

* $\omega \gg 1/\tau$ $\varepsilon_{r,1} \to 1$ $\varepsilon_{r,2} \to 0$

les variations du champ sont trop rapides : les dipôles ne peuvent pas suivre les variations du champ. le milieu ne réagit pas.

$\boxed{3f}$ $\omega_a = 1/\tau$ semble la + efficace pour chauffer le milieu car $Im(\underline{\varepsilon_r}) = Im(\underline{\chi})$ présentent un maximum autour de $1/\tau$

A cette pulsation, le milieu absorbe beaucoup d'énergie, qui se transforme en chaleur

3 Milieu diélectrique et magnétique

[1] $\operatorname{div}\vec{D} = 0$ (milieu non chargé) $\qquad \operatorname{div}\vec{B} = 0$

$\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \vec{\operatorname{rot}}\,\vec{H} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (pas de courant libre)

[2.] relations constitutives du matériau

$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}$ $\qquad$ ε_r, μ_r indépendants des coordonnées

$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$ $\qquad$ d'espace et du temps

$\operatorname{div}\vec{D} = 0 \Rightarrow \operatorname{div}\vec{E} = 0$

$\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

$\operatorname{div}\vec{B} = 0$

$\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{B} = \mu_0\mu_r\,\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{H} = \mu_0\mu_r\varepsilon_0\varepsilon_r \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t} \Rightarrow \vec{\operatorname{rot}}\,\vec{B} = \dfrac{\varepsilon_r\mu_r}{c^2}\dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

[3.] $\vec{E} = \vec{E_0}\, e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}$

$\operatorname{div}\vec{E} = 0 \qquad i\vec{k}.\vec{E} = 0$

$\operatorname{div}\vec{B} = 0 \qquad i\vec{k}.\vec{B} = 0$

$\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad i\vec{k}\wedge\vec{E} = -(-i\omega)\vec{B} \Rightarrow \vec{k}\wedge\vec{E} = \omega\vec{B}$

$\vec{\operatorname{rot}}\,\vec{B} = [\varepsilon_r\mu_r/c^2](-i\omega)\vec{E} = i\vec{k}\wedge\vec{B} \Rightarrow \vec{k}\wedge\vec{B} = -\dfrac{\omega\mu_r\varepsilon_r}{c^2}\vec{E}$

[4a)] $\vec{k}\wedge(\vec{k}\wedge\vec{E}) = \underbrace{(\vec{k}.\vec{E})}_{=0}\vec{k} - (\vec{k}.\vec{k})\vec{E}$

$= 0$ car l'onde est transverse

$\vec{k}\wedge(\vec{k}\wedge\vec{E}) = \omega\,\vec{k}\wedge\vec{B} = -\omega^2\mu_r\varepsilon_r\dfrac{1}{c^2}\vec{E}$

donc $(\vec{k}.\vec{k})\vec{E} = \dfrac{\omega^2}{c^2}\varepsilon_r\mu_r\vec{E}$ $(*)$

[4b)] l'équation précédente $(*)$ doit être vraie à tout instant en tout point $\vec{r}$

$(*)$ est vérifiée si $(\vec{k}.\vec{k}) = \dfrac{\omega^2}{c^2}\varepsilon_r\mu_r$

[5a] $n_1 = \operatorname{Re}(\underline{n})$ = indice de réfraction ou indice optique

$n_2 = \operatorname{Im}(\underline{n})$ = indice d'absorption ou d'extinction

[5b] $n_2 \geq 0$

$\vec{E} = \vec{E_0}\, e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} \qquad \vec{k} = k\,\vec{e_z} = \underline{n}\,k_0\,\vec{e_z}$

$= (n_1 + i n_2)\,k_0\,\vec{e_z}$

$\vec{E} = \vec{E_0}\, e^{i(k_0 n_1 z - \omega t)}\, e^{-n_2 k_0 z}$

$\vec{E} = \operatorname{Re}(\vec{E}) = \vec{E_0}\,\underbrace{e^{-n_2 k_0 z}}_{\text{terme d'atténuation}}\cos(n_1 k_0 z - \omega t) \Rightarrow n_2 \geq 0$

[5c] $\underline{n}^2 = \varepsilon_r\mu_r$