J'apprends mon cours sur les ondes em dans le vide

Onde plane: l'amplitude de l'onde est constante dans tout plan perpendiculaire à la direction de propagation, l'onde ne dépend que de la variable spatiale x, y ou z.

Onde progressive: le temps et la (ou les) variable(s) d'espace sont dans le même terme appelé terme de phase. La phase est de la forme:

- $\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM}$: il y a toujours un signe $-$ lorsque l'on garde le vecteur $\overrightarrow{k}$
- $\omega t - kx$ ou $kx - \omega t$: lorsque les termes ωt et kx sont de signe contraire, l'onde se propage selon $+Ox$
- $\omega t + kx$: lorsque les termes ωt et kx sont de même signe, l'onde se propage selon $-Ox$

Onde stationnaire: le temps et la (ou les) variable(s) d'espace ne sont pas dans le même terme.

Utilisation des équations de Maxwell:

- Elles servent à trouver les équations de propagation de $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ en utilisant la relation $\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}}\overrightarrow{E}) = \overrightarrow{\text{grad}}(\text{div}\overrightarrow{E}) - \Delta\overrightarrow{E}$. Dans le vide, les champs électrique et magnétique vérifient une équation de d'Alembert de la forme: $\Delta\overrightarrow{E} - \dfrac{1}{c^2}\dfrac{\partial^2\overrightarrow{E}}{\partial t^2} = \overrightarrow{0}$ avec $c = \dfrac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$.

- L'équation de Maxwell Gauss et l'équation de Maxwell Thomson servent à montrer que les ondes électriques et magnétiques sont transverses

- l'équation de Maxwell Ampère: $\overrightarrow{\text{rot}}\overrightarrow{B} = \mu_0\epsilon_0\dfrac{\partial\overrightarrow{E}}{\partial t}$ sert à trouver $\overrightarrow{E}$ connaissant $\overrightarrow{B}$. Dans le cas particulier d'une OPPH, cela conduit à $\overrightarrow{E} = c\overrightarrow{B}\Lambda\overrightarrow{u}$.

- l'équation de Maxwell Faraday: $\overrightarrow{\text{rot}}\overrightarrow{E} = -\dfrac{\partial\overrightarrow{B}}{\partial t}$ sert à trouver $\overrightarrow{B}$ connaissant $\overrightarrow{E}$. Dans le cas particulier d'une OPPH, cela conduit à $\overrightarrow{B} = \dfrac{\overrightarrow{k}\Lambda\overrightarrow{E}}{\omega} = \dfrac{\overrightarrow{u}\Lambda\overrightarrow{E}}{c}$.

Cas particulier d'une OPPH: $(\overrightarrow{k}, \overrightarrow{E}, \overrightarrow{B})$ forme un trièdre direct ($\overrightarrow{k}$ est le pouce, $\overrightarrow{E}$ est l'index et $\overrightarrow{B}$ est le majeur de la main droite). Et on a $||\overrightarrow{E}|| = ||\overrightarrow{B}||c$.

La relation de dispersion dans le vide s'écrit $k = \dfrac{\omega}{c}$. La vitesse de phase est donc $v_\phi = \dfrac{\omega}{k} = c$. Les ondes de fréquences différentes ont donc toutes la même vitesse de phase, on dit qu'il n'y a pas dispersion.

Quand on utilise la notation complexe de la forme $e^{i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM})}$:

- Dériver par rapport au temps revient à multiplier par $i\omega$
- L'opérateur Nabla revient à multiplier par rapport à $-i\overrightarrow{k}$ (C'est comme dériver par rapport à $\overrightarrow{OM}$).

Attention: la notation complexe ne s'applique **jamais** pour trouver les valeurs instantanées de $u_{em}(M,t)$ et de $\overrightarrow{R}(M,t)$. La notation complexe peut s'utiliser pour calculer des valeurs moyennes de u_{em} et de $\overrightarrow{R}$, dans ce cas l'énoncé donne la formule à appliquer.

Parlons énergie:

La densité volumique d'énergie électromagnétique (en $J.m^{-3}$) s'écrit: $u_{em}(M,t) = \dfrac{\epsilon_0 E^2(M,t)}{2} + \dfrac{B^2(M,t)}{2\mu_0}$. Elle sert à calculer l'énergie présente dans un volume.

Le vecteur de Poynting s'écrit $\overrightarrow{R} = \dfrac{\overrightarrow{E}\Lambda\overrightarrow{B}}{\mu_0}$ (en $W.m^{-2}$). La valeur moyenne du vecteur de Poynting est dirigée dans le sens et la direction de propagation de l'onde, car il caractérise la puissance surfacique transportée par l'onde. Important: la valeur moyenne de la norme du vecteur de Poynting est l'intensité lumineuse.

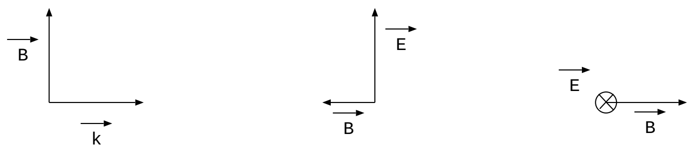
Pour le calcul de valeurs moyennes: on retient

$< \cos(..\omega t..) > = < \sin(..\omega t..) > = 0$

$< \cos(..\omega t..).\sin(..\omega t..) > = 0$

$< \cos^2(..\omega t..) > = < \sin^2(..\omega t..) > = \dfrac{1}{2}$

1. Compléter les schémas suivants par le vecteur manquant $\overrightarrow{k}$, $\overrightarrow{E}$ ou $\overrightarrow{B}$.



2. On donne le champ électrique d'ondes em. Préciser si l'onde est progressive ou stationnaire. Dans le cas où l'onde est progressive préciser le sens et la direction de propagation.

$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_0} \cos(\omega t - ky)$

$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_0} \cos(kz) \sin(\omega t)$

$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_0} \sin(\omega t + kx)$

$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_0} \cos(kz - \omega t)$

3. Soit une OPPH qui se propage dans le vide selon $-Oz$ et dont le champ électrique d'amplitude E_0 est polarisé selon Oy. Exprimer $\overrightarrow{E}$, $\overrightarrow{B}$ et $< \overrightarrow{R} >$.

4. On donne $\underline{\overrightarrow{E}} = E_0 e^{i(kz-\omega t)} \overrightarrow{e_x}$. Exprimer $\underline{\overrightarrow{B}}$ et en déduire la valeur moyenne du vecteur de Poynting. On donne $< \overrightarrow{f} \Lambda \overrightarrow{g} > = \dfrac{1}{2} \mathcal{R}e(\underline{\overrightarrow{f}} \Lambda \underline{\overrightarrow{g}}^*)$.

5. Soit le champ électrique $\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_0} \cos(\omega t - 2x + 3y)$. Exprimer les vecteurs $\overrightarrow{k}$ et $\overrightarrow{u}$.

6. On donne $\overrightarrow{B} = B_0 \sin(\omega t - kx)\overrightarrow{e_y}$. Ecrire la relation de dispersion.

7. On donne $\overrightarrow{E} = E_0 \cos(\omega t - kx)\sin(\beta y)\overrightarrow{e_z}$. Ecrire la relation de dispersion.

8. On donne le champ magnétique d'une onde $\overrightarrow{\underline{B}} = \overrightarrow{B_0} e^{i(\overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM} - \omega t)}$. Comment s'écrit $\overrightarrow{\nabla}$? $\dfrac{\partial}{\partial t}$? Montrer que le champ magnétique est transverse.

9. On donne le champ électrique d'une onde $\overrightarrow{\underline{E}} = \overrightarrow{E_0} e^{i(\omega t - \overrightarrow{k}.\overrightarrow{OM})}$. Comment s'écrit $\overrightarrow{\nabla}$? $\dfrac{\partial}{\partial t}$? Montrer que le champ électrique est transverse.

10. Soit les champs électriques $\overrightarrow{E} = (E_0\overrightarrow{e_x} + E_1\overrightarrow{e_y})\cos(\omega t - kx)$. Que dire de E_0?

11. On donne le champ électrique d'une onde $\overrightarrow{E} = E_0\cos(\omega t)\cos(kx)\overrightarrow{e_y}$. Etablir l'expression de $\overrightarrow{B}$.

12. Les ondes dont les champs électriques sont donnés ci-dessous sont-elles progressives? stationnaires? planes? Justifier. Donner la méthode pour trouver le champ magnétique. Prévoir le sens et la direction de la valeur moyenne du vecteur de Poynting.

$\overrightarrow{E} = E_0\cos(\omega t - ky)\overrightarrow{e_x}$

$\overrightarrow{E} = E_0\cos(\omega t)\sin(ky)\overrightarrow{e_z}$

$\overrightarrow{E} = E_0\cos(\omega t + kx)\sin(\beta z)\overrightarrow{e_y}$