

Programme des colles de physique

Semaine 22 : du 07 au 11 mars.

EM8 - Aspects énergétiques du champ électromagnétique

EM9 - Approximation des régimes quasi-stationnaires et milieux conducteurs

O6 - Ondes électromagnétiques dans le vide

- **démontrer l'équation de propagation des champs $\vec{E}$ et $\vec{B}$ dans le vide ;**
- connaître et utiliser la notation complexe d'une OPPH électromagnétique ;
- **savoir écrire les équations de Maxwell pour une OPPH en notation complexe ;**
- **obtenir la structure de l'OPPH électromagnétique : aspect transverse électrique, transverse magnétique, $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$ forment un trièdre direct, $\|\vec{B}\| = \|\vec{E}\|/c$ et $\vec{E}$ et $\vec{B}$ sont en phase ;**
- **calculer la densité volumique d'énergie électrique et la densité volumique d'énergie magnétique pour l'onde $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - k z) \vec{e}_x$, ainsi que leurs valeurs moyennes ;**
- **calculer le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne pour l'onde $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - k z) \vec{e}_x$;**
- connaître l'ordre de grandeur de la puissance électromagnétique surfacique pour le rayonnement solaire au niveau de la Terre, pour un laser de TP, et pour un téléphone portable en communication ; savoir en déduire l'ordre de grandeur du champ électrique associé ;
- connaître les formules pour calculer $\langle u \rangle$ et $\langle \vec{\pi} \rangle$ en notation complexe, savoir qu'elles sont valables seulement pour une OPPH ;
- **savoir qu'une onde électromagnétique peut être décrite comme un faisceau de photons, obtenir le flux surfacique de photons en fonction du vecteur de Poynting.**

O7 - Ondes électromagnétiques dans un plasma

- **savoir décrire le modèle d'un plasma peu dense, non relativiste et localement neutre, et l'utiliser pour obtenir la conductivité complexe du plasma ;**
- **savoir obtenir l'équation de propagation dans un plasma à partir de la conductivité complexe ;**
- **savoir établir la relation de dispersion d'une OPPH dans un plasma à partir de l'équation de propagation, et à partir de la formule du double produit vectoriel ;**
- **savoir décrire le comportement d'une OPPH dans un plasma, dans la zone de transparence ($\omega > \omega_p$) et dans la zone réactive ($\omega < \omega_p$) ; reconnaître une onde évanescence (onde stationnaire atténuée).**

Tous les points en gras peuvent constituer une question de cours, à savoir restituer en autonomie au tableau. Les autres points ont été abordés en cours et peuvent être utilisés dans les exercices.

Applications directes du cours

À préparer pour la colle. Le travail ne sera pas vérifié, mais vous êtes fortement encouragés à le faire avec sérieux, pour améliorer votre apprentissage du cours. Vous pouvez bien sûr me poser des questions si vous bloquez.

O6 - Ondes électromagnétiques dans le vide

- 1) Montrer, à partir des équations de Maxwell, que le champ magnétique vérifie aussi une équation de d'Alembert.
- 2) Obtenir la relation de dispersion de l'équation de d'Alembert à partir de la formule du double produit vectoriel (donnée dans le chapitre O7).
- 3) On considère le champ électrique $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - k z) \vec{e}_y$. Dans quelle direction se propage-t-il ? Quelle est sa polarisation ?
- 4) Quel est le champ magnétique associé au champ électrique précédent ? On le calculera de deux manières différentes :
 - à partir de l'équation de Maxwell-Faraday (c'est l'occasion de réviser l'expression du rotationnel en cartésien) ;
 - en passant en complexe et en utilisant l'équation de Maxwell-Faraday en complexe.
- 5) Le champ $\vec{E}$ précédent a une amplitude $E_0 = 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$. Quelle est l'amplitude de $\vec{B}$? Que vaut la valeur moyenne du vecteur de Poynting ?

O7 - Ondes électromagnétiques dans un plasma

- 1) Montrer que le champ $\vec{B}$ vérifie lui aussi une équation de Klein-Gordon.
- 2) Exprimer la conductivité complexe du plasma en fonction de la pulsation plasma ω_p , de la permittivité diélectrique du vide ε_0 et de la masse d'un électron m_e .
- 3) On considère un plasma dont la densité volumique d'électron est $n \approx 10^{12} \text{ m}^{-3}$. Que vaut la pulsation plasma ? Une onde radio FM de 100 MHz peut-elle se propager dans ce plasma ?
- 4) Toujours dans le même plasma, pour une onde telle que $\omega < \omega_p$, que vaut numériquement la distance typique d'absorption ?