Programme de colle

Semaine 12 (du 07/12 au 11/12)

Les colles se déroulent en trois parties : une (au moins, il peut y en avoir plusieures) question de cours tirée de la liste ci–dessous, puis un exercice imposé parmi ceux listés et enfin, si le temps le permet, un exercice au choix du colleur.

Partie 1 – Questions de cours

Ondes électromagnétiques dans le vide

- Établir l'équation de d'Alembert pour les champs électrique et magnétique, donner la forme des solutions en 1D
- Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans le vide
- Donner la forme des ondes planes progressives harmoniques (monochromatiques), définir la pulsation/fréquence/période spatiale ou temporelle d'une telle onde et son vecteur d'onde
- Spectre électromagnétique, donner des ordres de grandeur et citer des applications
- Polarisation rectiligne des OPPH électromagnétiques : principe de l'étude, représentation ou identification de polarisations

Ondes électromagnétiques dans les milieux dispersifs (type plasma)

- Donner les hypothèses du modèle du plasma peu dense, en déduire l'expression de la densité volumique de courant et de la conductivité
- Propagation d'une OPPH dans un plasma peu dense : établir l'équation d'onde puis la relation de dispersion
- Définir la vitesse de phase, la vitesse de groupe, les calculer pour une OPPH dans un plasma peu dense, faire les commentaires qui s'imposent

Partie 2 – Exercices imposés

Exercice 1 Relation de dispersion de Klein–Gordon

On considère une onde électromagnétique vérifiant la relation de dispersion de Klein-Gordon, de la forme :

$$k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_p^2}{c^2}$$

avec ω_p la pulsation plasma.

1. Donner la forme du champ électrique réel pour $\omega < \omega_p$. Caractériser l'onde électromagnétique correspondante.
2. Donner la forme du champ électrique réel pour $\omega > \omega_p$. Caractériser l'onde électromagnétique correspondante.
3. Déterminer la vitesse de phase de l'onde dans le cas où $\omega > \omega_p$.
4. Ce résultat est-il en désaccord avec la théorie de la relativité restreinte selon laquelle l'information ne peut se propager plus vite que la vitesse c de la lumière dans le vide ?
5. Quelle est la vitesse de groupe associée à cette relation de dispersion ? Conclure.
6. Tracer la vitesse de phase et la vitesse de groupe de l'onde en fonction de ω.

Lycée Jean Bart Physique-Chimie Colle

Exercice 2 Communication satellitaire

Un satellite d'observation de la Terre situé en limite de l'ionosphère envoie des ondes radar à travers l'ionosphère. L'ionosphère, couche de l'atmosphère située à plus de 60 km d'altitude, peut être considérée comme un plasma : c'est un milieu ionisé globalement neutre, caractérisé par une densité volumique d'électrons libres n_1 supposée constante.

On se propose d'étudier dans ce milieu la propagation d'ondes du type $\underline{\vec{E}}(M,t) = E_0 e^{i(\omega t - kx)} \vec{e}_y$.

1. Établir la relation de dispersion entre ω et k. Mettre en évidence une pulsation caractéristique ω_p dite pulsation plasma.
2. Le satellite émet des ondes de fréquence $f = 13{,}6\,\text{GHz}$. Ce choix de fréquence vous semble-t-il judicieux ?

Données numériques :

Masse d'un électron :	$m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}\,\text{kg}$
Charge élémentaire :	$e = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\text{C}$
Densité volumique d'électrons :	$n_1 = 1{,}00 \times 10^{11}\,\text{m}^{-3}$

Exercice 3 Dispersion et absorption

Soit $\Psi(x,t)$ une onde solution d'une équation d'onde linéaire. On cherche une solution complexe : $\underline{\Psi}(x,t) = \underline{A} e^{i(\omega t - kx)}$ avec $k = k(\omega) = k_1 + ik_2$.

1. Déterminer la solution réelle.
2. Donner la signification de k_1. Interpréter son signe et définir la vitesse de phase.
3. Donner la signification de k_2. Interpréter son signe et introduire une distance caractéristique.

Partie 3 – Exercices supplémentaires

Ondes électromagnétiques dans le vide

- Étude d'une onde dont le champ électrique et/ou magnétique associé est donné
- Utilisation de polariseurs
- Bilans énergétiques

Ondes électromagnétiques dans les milieux dispersifs (type plasma)

- Manipulation des équations de Maxwell et de la conservation de la charge
- Détermination d'une densité volumique de courant, d'une conductivité
- Obtention de relations de dispersion, calcul des vitesses de phase et de groupe
- Bilans énergétiques