

## Programme de colle

*Semaine 12 (du 08/12 au 12/12)*

Les colles se déroulent en trois parties : une (au moins, il peut y en avoir plusieurs) 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 :

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

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  $\omega$ .

**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  $\vec{E}(M, t) = E_0 e^{i(\omega t - kx)} \vec{e}_y$ .

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

**Données numériques :**

Masse d'un électron :  $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$  kg

Charge élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C

Densité volumique d'électrons :  $n_1 = 1,00 \times 10^{11}$  m<sup>-3</sup>

**Exercice 3**    **Dispersion et absorption**

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