

Programme de colle MP semaine 13

du 05/01 au 09/01 2026

Cours 16 : Introduction à la physique des ondes

Équations de d'Alembert : corde vibrante ; ondes le long d'une ligne bifilaire ; ondes électromagnétiques dans le vide.

Solutions de l'équation de D'Alembert unidimensionnelle : notion d'onde et de surface d'onde ; ondes progressives, interprétation physique ; ondes progressives harmoniques (OPPH) ; ondes stationnaires. Modes propres : oscillations libres, cas d'une corde fixée à ses 2 extrémités; oscillations forcées, corde de Melde.

Cours 17 : Ondes électromagnétiques dans le vide

Réduction de la solution de l'équation de d'Alembert 3D en OPPH : l'OPPH n'a pas de réalité physique, notation complexe et opérateurs vectoriels, les différents domaines des ondes électromagnétiques.

Structure des OPPH dans le vide : équation de Maxwell et conséquences, relation de dispersion, relations de structure.

Polarisation des OPPH : reconnaître une polarisation rectiligne, elliptique ou circulaire (droite ou gauche) ; lumière naturelle et phénomènes de polarisation, polariseurs, loi de Malus.

Propagation de l'énergie des OPPH : densité d'énergie électromagnétique d'une OPPH, vecteur de Poynting, vitesse de propagation de l'énergie.

Cours 18 : Ondes électromagnétiques dans les milieux matériels – Application à la propagation dans les plasmas

Généralités sur la propagation d'ondes dans un milieu matériel : milieu non absorbant et non dispersif ; milieu absorbant, milieu dispersif.

Exemple générique – Propagation d'une OPPH dans un câble coaxial avec pertes : équation de propagation ; relation de dispersion ; interprétation physique : milieu dispersif relié à $\text{Re}(k)$ ou à la vitesse de phase et milieu absorbant relié à $\text{Im}(k)$.

Ondes électromagnétiques dans un plasma : définition d'un plasma ; conductivité complexe d'un plasma ; relation de dispersion ; pulsation de coupure et vitesse de phase ; notion de vitesse de groupe, propagation d'un paquet d'onde ; application à la transmission des ondes radio.

Programme prévisionnel de la semaine suivante :

Interaction d'une onde électromagnétique avec un conducteur ohmique

Questions de cours :

1. Retrouver l'équation de d'Alembert pour la corde vibrante. La corde est supposée inélastique, sans raideur et on néglige la dissipation.
2. Retrouver l'équation de d'Alembert pour le champ électromagnétique.
3. Retrouver par la méthode de séparation des variables, la forme générale d'une onde

- stationnaire. Indiquer la position des nœuds et des ventres.
4. Trouver les modes propres d'une corde fixée à ses 2 extrémités. Représenter le mode fondamental ainsi que les 3 premiers harmoniques. En déduire les fréquences propres.
 5. Retrouver la forme de la corde de Melde (dont les conditions aux limites sont : $y(0;t)=\text{acos}\omega t$ et $y(L;t) = 0$). Quand peut-il y avoir résonance ?
 6. Structure des OPPH dans le vide : équations de Maxwell et conséquences, relation de dispersion, relations de structure.
 7. Calculer la moyenne temporelle de la densité d'énergie électromagnétique et du vecteur de Poynting d'une OEPH. Démontrer que l'énergie d'une OPP se propage à la vitesse de la lumière.
 8. Signification de k complexe pour une OPPH.
 9. Redémontrer l'expression de la conductivité complexe d'un plasma.
 10. Enoncer et démontrer la relation de dispersion dans un plasma. Expliquer les propriétés de l'onde suivant les valeurs de la pulsation.

Eléments du programme en rapport avec la colle :

4.5. Propagation et rayonnement	
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant ; onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique. Relation de dispersion.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Déterminer la relation de dispersion. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications. Exprimer le vecteur de Poynting et l'énergie électromagnétique volumique associés à une onde plane progressive monochromatique. Effectuer une étude énergétique dans le cas d'une onde plane progressive monochromatique.
Onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement ou circulairement.	Reconnaître une onde polarisée rectilignement ou circulairement. Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.
Onde plane transverse électrique monochromatique dans un plasma dilué. Conductivité complexe du milieu. Pulsion de coupure. Ondes évanescentes.	Exprimer la conductivité complexe du milieu et établir la relation de dispersion. Décrire le phénomène de dispersion. Relier la fréquence de coupure aux caractéristiques du plasma et citer son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère. Distinguer qualitativement les ondes évanescentes et les ondes progressives du point de vue du transport de l'énergie.
Vitesse de phase, vitesse de groupe. Propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu linéaire faiblement dispersif.	Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes.