

# Programme de colle de la semaine du 24 mars 2025

## Physique des ondes - Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert

### 1 Différents phénomènes régis par la même équation

Onde dans une corde ; Ondes dans un câble coaxial ; Ondes sonores ; Ondes électromagnétiques dans le vide

### 2 Solutions de l'équation de d'Alembert

Ondes progressives ; Forme des surfaces d'onde ; Notion de polarisation ; Ondes progressives harmoniques ; Ondes stationnaires ; Quelle solution privilégiée ?

### 3 Conditions aux limites dans un milieu fini ou semi-infini

Condition fixe ; Condition imposée ; Deux conditions aux limites : quantification des modes propres

### 4 Relation entre grandeurs couplées

Impédance caractéristique d'un câble coaxial ; Impédance acoustique ; Relation de structure

### 5 Aspects énergétiques

Énergie acoustique ; Énergie électromagnétique

### Suggestion de questions de cours

- Établir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par une onde dans une corde en précisant les hypothèses et approximations effectuées.
- Établir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par une onde de tension dans un câble coaxial en précisant les hypothèses et approximations effectuées.
- Établir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par une onde sonore en précisant les hypothèses et approximations effectuées.
- Montrer que les ondes sonores sont longitudinales et établir la célérité d'une onde sonore dans un gaz.
- Établir l'équation aux dérivées partielles vérifiée par une onde électromagnétique en précisant les hypothèses faites.
- Définir une onde plane progressive harmonique. Établir l'expression de la dérivée temporelle, de la divergence, du gradient et du laplacien scalaire pour un OPPH.
- Établir la relation de dispersion. Définir la vitesse de phase en justifiant cette définition. Établir la vitesse de phase pour une OPH vérifiant l'équation de d'Alembert.
- Montrer que la réflexion d'une OPH incidente sur une condition aux limites fixe donne lieu à une onde stationnaire. Montrer qu'une OPH peut également s'écrire comme une superposition d'ondes stationnaires.
- Déterminer les modes propres pour une corde accrochée aux deux extrémités. Montrer qu'il y a résonance lorsqu'une corde est excitée à une fréquence proche d'un mode propre.
- Définir l'impédance caractéristique d'un câble coaxial. Établir le lien entre tension et courant pour des OPH se propageant dans le sens croissant et décroissant.
- Montrer que l'onde réfléchie est nulle lorsqu'un câble coaxial est fermé sur une résistance égale à l'impédance caractéristique. Citer une application de cette propriété.
- Définir l'impédance acoustique. Établir le lien entre surpression et vitesse pour une OPH dans le sens croissant.
- Démontrer la relation de structure pour une OPPH électromagnétique. En déduire que  $(\vec{k}, \vec{E}, \vec{B})$  est un trièdre direct.
- Établir l'expression du vecteur de Poynting acoustique. Définir l'intensité acoustique et le niveau sonore. Citer quelques ordres de grandeur de niveaux sonores.
- En utilisant des ordres de grandeur de niveaux sonores usuels, vérifier que les hypothèses de l'approximation acoustique sont bien vérifiées.

- En effectuant un bilan local d'énergie, établir par identification l'expression du vecteur de Poynting et de la densité volumique d'énergie électromagnétiques.

## Physique des ondes 2 - Phénomènes de propagation linéaires : absorption et dispersion

### 1 Ondes progressives en milieu linéaire

Milieu linéaire ; Onde progressive harmonique ; Paquet d'onde ; Vitesse de groupe

### 2 Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs

Dans un conducteur ohmique ; Dans un plasma

#### Suggestion de questions de cours

- Définir et représenter un paquet d'onde. Donner le lien entre étendue temporelle et largeur spectrale. Dans le cas simple d'un paquet d'onde constitué de seulement deux ondes sinusoïdales, montrer que l'enveloppe se propage à la vitesse de groupe.
- Donner l'expression d'une O(P)PH dans un milieu linéaire quelconque. Définir vitesse de phase, vitesse de groupe et profondeur de peau.
- Montrer qu'un conducteur ohmique est localement neutre. Établir l'équation de propagation du champ électrique.
- Pour une O(P)PH vérifiant une équation de d'Alembert, établir la relation de dispersion. En déduire la profondeur de peau. Donner sa valeur dans le cuivre à 50 Hz.
- Définir un plasma dilué. Établir la conductivité d'un plasma. En déduire que le champ électromagnétique ne cède pas de puissance aux porteurs de charge en moyenne.
- Établir la relation de dispersion pour une onde électromagnétique plane progressive harmonique dans un plasma dilué. Présenter les solutions pour  $\omega > \omega_p$  et déterminer leur vitesse de groupe et de phase.
- Établir la relation de dispersion pour une onde électromagnétique plane progressive harmonique dans un plasma dilué. Présenter les solutions pour  $\omega < \omega_p$  et montrer qu'elles ne transportent pas d'énergie en moyenne.

## Physique des ondes 3 - Interfaces entre deux milieux

### 1 Cas des ondes sonores

Conditions aux limites ; Réflexion et transmission sur une interface plane

### 2 Cas des ondes électromagnétiques

Courant surfacique ; Relations de passage ; Réflexion sur un métal parfait ; Coefficient de réflexion en puissance ; Pression de radiation

#### Suggestion de questions de cours

- Citer les conditions de passage pour une onde sonore à une interface. Établir les expressions des coefficients de réflexion et transmission en amplitude sur la surpression et la vitesse.
- Les coefficients de réflexion et de réflexion en amplitude sur la surpression et la vitesse étant fournis, établir l'expression des coefficients de réflexion et transmission en puissance. Discuter le cas où les impédance sont égales et celui où elles sont d'ordres de grandeurs différents. Montrer la conservation de l'énergie.
- Pour une OPPH en incidence normale sur un conducteur parfait, établir complètement le champ électrique et le champ magnétique incidents et réfléchis. En déduire que la réflexion est totale.