

ONDES

OD1 : Phénomènes de propagation, Équation de d'Alembert, COURS et EXERCICES

Chaîne d'oscillateurs couplés

1. Chaîne discrète d'oscillateurs couplés :
 - ✓ Oscillateur unique, pulsation propre, pulsation de résonance.
 - ✓ Système de deux oscillateurs couplés, modes propres, pulsations propres, pulsations de résonance.
 - ✓ Système de N oscillateurs couplés.
2. Chaîne d'oscillateurs couplés dans l'approximation des milieux continus :
 - ✓ **Démonstration de l'équation de propagation** (Équation de d'Alembert), célérité.
 - ✓ Application aux ondes élastiques dans les solides.
 - ✓ Relation entre la raideur équivalente des ressorts et l'énergie potentielle d'interaction.
3. Modèle mésoscopique du solide, module de Young :
 - ✓ Loi de Hooke, module de Young.
 - ✓ **Démonstration de l'équation de propagation** (Équation de d'Alembert), célérité.

Autres exemples

1. Équation de propagation des ondes de courant et de tension dans un câble coaxial ou une ligne bifilaire à partir du modèle des constantes réparties.
2. Équation de Propagation des ondes électromagnétiques dans le vide.

Solutions de l'équation de d'Alembert

1. Solutions à une dimension :
 - ✓ Forme générale des solutions.
 - ✓ Interprétation physique : OPP(+), OPP(-), surface d'onde.
 - ✓ Grandeurs couplées, notion d'impédance caractéristique.
2. Solutions à 3 dimensions : Exemple des ondes sphériques, passage en O , onde localement plane.
3. Ondes planes progressives monochromatiques OPPM.
 - ✓ Vecteur d'onde, phase, lieux équiphases, période temporelle T , période spatiale λ , pulsation ω , vecteur d'onde.
 - ✓ Vitesse de phase, vitesse de groupe, relation de dispersion.
 - ✓ Notation complexe.
4. Solutions à variables séparées : Ondes stationnaires.
 - ✓ **Recherche de solutions à variables séparées.**
 - ✓ Propriétés des ondes stationnaires, nœuds, ventres.
 - ✓ Les ondes stationnaires, comme les OPPM(\pm), constituent une base à partir de laquelle on peut construire une réponse quelconque.

OD2 : Cordes vibrantes, COURS et EXERCICES

Équation de propagation, solutions

- ✓ **Démonstration de l'équation de propagation.**
- ✓ Ondes planes progressives : OPP(+), OPP(-), grandeurs couplées, impédance d'une corde ; OPPM.
- ✓ Ondes stationnaires, taux d'onde stationnaire
- ✓ Aspect énergétique : puissance transmise dans la corde, énergie cinétique linéique, énergie potentielle linéique, applications aux OPP.

Corde de Melde

1. Solutions de l'équation d'onde : Modes propres, solution générale.
2. Régime libre : Détermination des coefficients de Fourier à partir des conditions initiales, utilisation des fonctions $f(x) = y(x, 0)$ et $g(x) = \left. \frac{\partial y}{\partial t} \right|_{(x,0)}$ et de leurs transformées $\tilde{f}(x)$ et $\tilde{g}(x)$ fonctions périodiques ($2L$), impaires coïncidant avec $f(x)$ et $g(x)$ sur $[0, L]$.
3. Régime forcé, résonance.

OD3 : Ondes électromagnétiques dans le vide illimité, COURS et EXERCICES

Structure d'une onde électromagnétique dans le vide illimité (OPP)

- ✓ Transversalité et orthogonalité des champs
- ✓ Relation de structure
- ✓ OPPM, relation de dispersion

Polarisation

- ✓ Définition, polarisation elliptique, rectiligne, circulaire gauche et droite.
- ✓ **Lames retard : Propagation dans les milieux LHI d'indice n (résultat admis) : on remplace c par c/n et donc k_0 par nk_0 , lames $\lambda/2$ et $\lambda/4$. Effets sur les différentes polarisations.**

Représentation complexe

- ✓ Nouvelle écriture des opérateurs différentiels, nouvelle écriture des équations de Maxwell,
- ✓ polarisation

Approche énergétique

- ✓ Densité d'énergie électromagnétique u_{em} , vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ dans le cas d'une OPP(\pm), relation $\vec{\Pi} = u_{em} c \vec{u}$.
- ✓ Densité d'énergie électromagnétique, vecteur de Poynting dans le cas d'une OPPM(\pm), valeurs moyennes (temporelles).
Utilisation des grandeurs complexes $\underline{\vec{\Pi}} = \frac{\underline{\vec{E}} \wedge \underline{\vec{B}}^*}{2\mu_0}$ et $\underline{u}_{em} = \frac{\varepsilon_0 \underline{\vec{E}} \cdot \underline{\vec{E}}^*}{4} + \frac{\underline{\vec{B}} \cdot \underline{\vec{B}}^*}{4\mu_0}$ pour accéder directement aux valeurs moyennes.
- ✓ Vitesse de propagation de l'énergie électromagnétique.
- ✓ Approche corpusculaire : $\langle u_{em} \rangle = n(h\nu)$ et $\langle P \rangle = \langle \Pi \rangle S = D_\gamma \times (h\nu)$ où D_γ est le débit de photons à travers S .

OD4 : Absorption - Dispersion, COURS et EXERCICES

1. Exemple : ligne bifilaire avec pertes.
2. Recherche d'onde pseudo-progressive (vecteur d'onde complexe), relation de dispersion, notion d'absorption et de dispersion.
3. Rappels sur la décomposition en série de Fourier d'une fonction périodique, transformée de Fourier d'une fonction non périodique.
4. Paquet d'onde :
 - √ Extension temporelle et spatiale limitée d'une onde réelle.
 - √ Construction d'un paquet d'onde connaissant le signal à $t=0$ ou connaissant le signal en $x=0$ (Transformées de Fourier)
 - √ Exemples de paquet d'onde (et représentation des spectres) : signal rectangulaire en $x=0$; Train d'onde à $t=0$, gaussienne.
5. Évolution d'un paquet d'onde :
 - √ Étude d'un cas simple : Signal comportant deux fréquences voisines, vitesse de phase, vitesse de groupe.
 - √ Évolution d'un paquet d'onde dans un milieu peu dispersif et dans un milieu dispersif, vitesse de phase, vitesse de groupe.