

Ondes électromagnétiques

Interférences

La colle commence par une question de cours extraite de la liste ci-dessous et se poursuit par un exercice.
Je rappelle que vous trouverez sur mon site la version complétée du poly de cours,
ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque!

Au programme

Chapitre 18 : Ondes électromagnétiques dans le vide

Ce cours interviendra forcément en lien avec le reste, mais ne fera plus l'objet d'exercices spécifiques.

Chapitre 19 : Réflexion et absorption des ondes électromagnétiques

Questions de cours et exercices.

- ▷ Privilégier autant que possible l'utilisation du formalisme complexe.
- ▷ La résolution d'une équation aux dérivées partielles par séparation des variables n'est plus à connaître (solution cherchée sous la forme $f(x) \times g(t)$ qui donne l'identité $c^2 f''/f = g''/g = \text{cte}$ d'où on déduit deux équations différentielles ordinaires sur f et g). Les étudiants doivent être guidés pour l'appliquer si nécessaire (je ne l'ai fait ni en cours ni en TD), et les formes de solutions cherchées toujours données.
- ▷ À ce titre, j'ai cherché les modes propres d'une cavité directement sous la forme $f(x) e^{i\omega t}$ (cavité traitée en cours + guide d'ondes plan en TD PT*, ne pas hésiter à redonner des exercices équivalents).

Chapitre 20 : Modèle scalaire des ondes lumineuses

Questions de cours et exercices.

Chapitre 21 : Interférences par division du front d'onde

Questions de cours et exercices sur les trous/fentes d'Young; **réseaux en question de cours uniquement.**

- ▷ Les problématiques liées à la cohérence spatiale ont été discutées de manière approfondie, en revanche j'aborde la cohérence temporelle (battements de contraste, estimation d'une longueur de cohérence, etc.) principalement en lien avec le Michelson. On se limitera donc pour cette semaine à des exercices en **lumière monochromatique uniquement.**
- ▷ Le TP sur les réseaux n'a pas encore été fait, merci d'être indulgent sur les questions expérimentales.

Révisions R10 : Optique géométrique

Questions de cours, aucun exercice spécifique, mais des questions sur le programme de PTSI pourront intervenir en lien avec des exercices portant sur le programme de PT.

Questions et applications de cours

Seuls les étudiants du groupe PT* (trinômes 1 à 7) seront interrogés sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler!

(★) **19.1** - Montrer qu'un conducteur ohmique excité à basse fréquence peut être considéré localement neutre et que le courant de déplacement peut y être négligé devant le courant de conduction. On rappelle que pour un métal $\gamma \sim 10^7 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ tant que $f \lesssim 10^{13} \text{ Hz}$, et on donne $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

19.2 - Écrire les équations de Maxwell simplifiées dans un conducteur ohmique excité en basse fréquence et en déduire l'équation de propagation pour le champ électrique ou magnétique, au choix de l'interrogateur.

19.3 - En partant de l'équation de propagation (rappelée par l'interrogateur), établir la relation de dispersion complexe dans un conducteur ohmique. Définir l'épaisseur de peau. En déduire l'expression du champ électrique d'une pseudo-OPPH et l'interpréter physiquement.

19.4 - Considérons un conducteur parfait occupant le demi-espace $x > 0$, sur lequel est envoyé une onde incidente

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

On cherche l'onde réfléchie en la cherchant sous la forme

$$\vec{E}_r = r E_0 e^{i(\omega t + kx)} \vec{e}_y.$$

Déterminer le coefficient de réflexion en amplitude r .

Le calcul est légèrement différent de celui du cours, car un peu moins général : pour alléger le calcul, on admet ici directement que l'onde réfléchie a la même polarisation que l'onde incidente, ce qui permet de n'utiliser qu'une seule projection de la relation de passage.

19.5 - Considérons une cavité électromagnétique formée par deux plans conducteurs situés en $x = 0$ et $x = L$. On cherche ses modes propres sous la forme

$$\vec{E}(x, t) = f(x) e^{i\omega t} \vec{e}_y.$$

Déterminer les fonctions f qui conviennent.

20.1 - Présenter le modèle des trains d'ondes. Quel type d'ondes permet-il de décrire ? Comment les caractéristiques des trains d'ondes (période, durée) sont-elles reliées aux caractéristiques spectrales (= en fréquence) de la source qui les émet ?

Rappelons que le modèle des trains d'onde permet de décrire des ondes quasi-monochromatiques, c'est-à-dire dont les propriétés changent lentement comparativement à la période de l'onde.

20.2 - La raie verte du mercure a une longueur d'onde $\lambda = 546$ nm et une largeur $\Delta\lambda = 2 \cdot 10^{-2}$ nm dans une lampe haute pression. Déterminer son temps de cohérence.

On admettra, comme point de départ de la démonstration, la relation $\Delta\nu = \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| \Delta\lambda$.

(★) **20.3** - Rappeler sous quelles conditions deux ondes sont cohérentes. Établir la formule de Fresnel dans ces hypothèses en utilisant, au choix de l'interrogateur, la représentation réelle ou complexe.

20.4 - Rappeler sans démonstration la formule de Fresnel pour deux sources de même éclairement \mathcal{E}_0 et ses conditions d'applications (= critères de cohérence). En déduire les conditions d'interférences constructives et destructives en termes de déphasage, d'ordre d'interférence et de différence de marche.

21.1 - Établir l'expression de la différence de marche dans le cas de trous d'Young éclairés par une source ponctuelle monochromatique placée sur l'axe des trous et pour un écran placé à grande distance.

21.2 - Établir l'expression de la différence de marche dans le cas de trous d'Young éclairés par une source ponctuelle monochromatique placée sur l'axe des trous et pour l'observation dans le plan focal image d'une lentille convergente.

L'interrogateur sera particulièrement vigilant à la rigueur de vos explications d'une part pour la construction des rayons qui interfèrent, et d'autre part pour la simplification du calcul de la différence de marche sous la forme « $\delta = HM$ ».

21.3 - Dans le cas de trous d'Young éclairés par une source étendue centrée sur l'axe optique, appliquer le critère de brouillage pour établir l'expression de la largeur de cohérence spatiale de la source. L'expression de la différence de marche sera rappelée sans démonstration par l'étudiant.

21.4 - Établir la formule des réseaux.

La différence de marche entre deux motifs consécutifs doit être redémontrée, et il est attendu que l'étudiant explique pourquoi il suffit de considérer des interférences constructives entre deux motifs pour déterminer les directions d'interférences constructives entre tous les motifs.

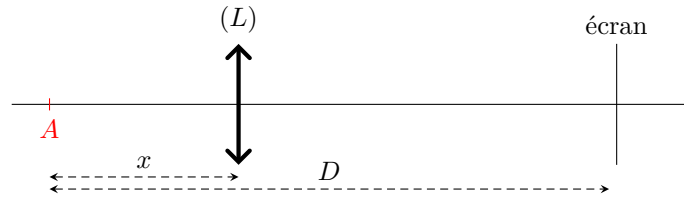
R10.1 - On considère un rayon lumineux se propageant d'un milieu ① vers un milieu ② tels que $n_1 < n_2$. On note i_1 l'angle d'incidence sur le dioptré plan séparant les deux milieux. Représenter la situation sur un schéma et établir l'expression de l'angle maximal de réfraction $i_{2,\max}$.

R10.2 - On considère la même situation avec désormais $n_1 > n_2$. Montrer que, si l'angle d'incidence est supérieur à une valeur maximale $i_{1,\max}$ à déterminer, alors le rayon lumineux est totalement réfléchi et ne pénètre pas dans le milieu ②.

R10.3 - Sur un exemple donné par l'interrogateur, construire l'image d'un objet réel par une lentille **convergente**. On s'attachera en particulier aux cas « moins simples » : image virtuelle ou à l'infini.

(★) **R10.4** - Sur un exemple donné par l'interrogateur, construire l'image d'un objet réel par une lentille **divergente**.

R10.5 - Considérons un objet A et un écran séparés d'une distance D . On souhaite former l'image de l'objet sur l'écran avec une lentille de distance focale f' . Établir une condition sur D et f' pour que cela soit possible, et déterminer les deux positions possibles pour la lentille. Parmi ces positions, laquelle choisir pour obtenir une image agrandie ?



La relation de conjugaison s'écrit

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{D-x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{f'}$$

que l'on transforme en une équation polynômiale

$$x^2 - Dx + Df' = 0.$$

Il n'est possible de former l'image que si cette équation admet des racines réelles, c'est-à-dire si son discriminant est positif :

$$D^2 - 4Df' \geq 0 \quad \text{soit} \quad \boxed{f' \leq \frac{D}{4}}.$$

Les deux positions possibles sont alors symétriques par rapport au milieu du segment objet-lentille, données par

$$x_{\pm} = \frac{D}{2} \pm \frac{\sqrt{D(D-4f')}}{2}.$$

La relation de grandissement s'écrit

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

Ainsi, une image agrandie signifie $|\gamma| > 1$, donc $|\overline{OA'}| > |\overline{OA}|$: il faut donc choisir la position x_- où la lentille est plus proche de l'objet que de l'écran. Attention aux valeurs absolues : comme on le constate sur le schéma, $\overline{OA} < 0$ donc $\gamma < 0$.

Et après ?

- ▷ Chapitre 22 : Interférences par division d'amplitude ;
- ▷ Chapitre 23 : Cinétique électrochimique ;
- ▷ Révisions R11 : Oxydoréduction et diagrammes potentiel-pH.