BLAISE PASCAL
PT 2021-2022

Programme des colles semaine 24 : du 21 au 25 mars

Ondes électromagnétiques

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

Pas de question de cours et aucun exercice spécifique cette semaine, néanmoins maîtriser ce chapitre est incontournable pour traiter correctement les exercices portant sur le chapitre 19.

Chapitre 19 : Réflexion et absorption des ondes électromagnétiques

Questions de cours et exercices.

Chapitre 20 : Modèle scalaire de la lumière

Questions de cours et exercices.

Attention ! Ce chapitre est une introduction qui n'aborde aucun interféromètre en particulier. Tous les exercices nécessitant un calcul un peu technique de différence de marche (trous d'Young, miroir de Lloyd, etc.) ne sont donc pas au programme cette semaine, de même que les calculs « précis » pour une source étendue et/ou polychromatique.

Chapitre 21 : Interférences par division du front d'onde

Début des questions de cours uniquement. **Aucun exercice cette semaine.**

Révisions R9 : Optique géométrique et ondes mécaniques

Questions de cours uniquement. **Aucun exercice cette semaine.**

Questions et applications de cours

Seuls les étudiants du groupe PT⋆ (trinômes 1 à 8) 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 ($f \lesssim 10^{14}$ Hz) peut être considéré localement neutre. Montrer que le courant de déplacement peut y être négligé devant le courant de conduction.

19.2 - Écrire sans démonstration les équations de Maxwell simplifiées dans un conducteur ohmique excité en basse fréquence. 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

$$\underline{\overrightarrow{E_\mathrm{i}}} = \underline{E_0}\, \mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega t - kx)} \overrightarrow{e}_y \,.$$

Déterminer l'onde réfléchie en la cherchant sous la forme

$$\underline{\overrightarrow{E_\mathrm{r}}} = \underline{E_0'}\, \mathrm{e}^{\mathrm{i}(\omega t + kx)} \overrightarrow{e}_y \,.$$

En déduire le coefficient de réflexion en amplitude.

> *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 - Déterminer les solutions de l'équation de d'Alembert à variables séparées s'écrivant sous la forme

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

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

$$\vec{E}(x,t) = E_0 \sin(kx+\psi)\cos(\omega t+\varphi)\,\vec{e}_y\,.$$

Déterminer les valeurs possibles de k et ψ.

20.1 - La raie verte du mercure a une longueur d'onde $\lambda = 546\,\text{nm}$ et une largeur $\Delta\lambda = 2\cdot 10^{-2}\,\text{nm}$ dans une lampe haute pression. Déterminer son temps de cohérence. En déduire le nombre de périodes que compte un train d'onde.

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

20.2 - 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.

20.3 - Rappeler sans démonstration la formule de Fresnel pour deux sources de même éclairement $\mathcal{E}_0$. 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 « $\delta = HM$ ».*

(★) R9.1 - Rappeler les relations de Planck-Einstein, qui relient la quantité de mouvement et l'énergie d'un photon au vecteur d'onde et à la pulsation de l'onde lumineuse. Rappeler l'unité et l'ordre de grandeur de la constante de Planck.

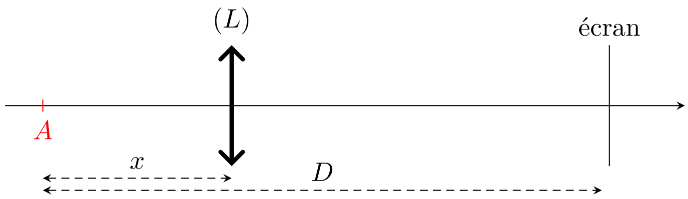
R9.2 - On considère un rayon lumineux se propageant d'un milieu ① vers un milieu ② tels que $n_1 < n_2$. On note i_1 l'angle d'incidence sur le dioptre plan séparant les deux milieux. Représenter la situation sur un schéma et établir l'expression de l'angle maximal de réfraction $i_{2,\max}$.

R9.3 - 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.

R9.4 - 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.

(★) R9.5 - Sur un exemple donné par l'interrogateur, construire l'image d'un objet réel par une lentille **divergente**.

R9.6 - 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 positions possibles pour la lentille. Parmi ces positions, laquelle choisir pour obtenir une image agrandie ?



> *La relation de conjugaison s'écrit*
>
> $$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \qquad \textit{soit} \qquad \frac{1}{D-x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{f'}$$

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 :

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

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

$$\gamma \underset{\text{déf}}{\underset{\uparrow}{=}} \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \underset{\text{rel}}{\underset{\uparrow}{=}} \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}\,.$$

Ainsi, une image agrandie signifie $|\gamma| > 1$, donc $\left|\overline{OA'}\right| > \left|\overline{OA}\right|$: 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 21 : Interférences par division du front d'onde ;
- ▷ Chapitre 22 : Interférences par division d'amplitude ;
- ▷ Révisions R10 : Oxydoréduction et diagrammes potentiel-pH.