Programme de colles Physique PC* - Semaine 17

Une colle comportera :
- une question de cours à traiter en moins de 15 minutes,
- un exercice.

Une question de cours non sue entrainera une note inférieure à la moyenne.

Les démonstrations à savoir (questions de cours - non exhaustives - typiques pouvant être posées par l'examinateur) sont marquées en rouge et introduites par le symbole ☞.

Capacités numériques

Capacités numériques 8, 9, 10 et 11

Résolution de l'équation de diffusion par une méthode d'Euler explicite (la seule au programme).
Utilisation de Numpy.

Étude d'un mouvement dans une force centrale
Étude de la déviation vers l'Est.

Ondes 3

Ondes acoustiques dans les fluides

1 Équation de propagation d'une onde acoustique dans un fluide

1.1 Hypothèses d'étude - approximation acoustique

☞ Les 5 hypothèses d'étude doivent être connues, en particulier l'approximation acoustique

1.2 Obtention de l'équation de d'Alembert pour la surpression

☞ Savoir linéariser l'équation d'Euler, l'équation de conservation de la masse et savoir utiliser le coefficient de compressibilité isentropique (dont la définition doit être connue) afin d'obtenir l'équation de d'Alembert pour la surpression.

L'établissement de l'équation de d'Alembert pour la vitesse a été vu mais est à la limite du programme.

Connaître l'expression de la célérité d'une onde acoustique dans un fluide et discuter son expression (compressibilité du fluide, influence de l'inertie).

1.3 Célérité dans le cas d'un gaz parfait

☞ Savoir redémontrer l'expression de la célérité dans le cas du gaz parfait.

Connaître les ordres de grandeurs de la célérité dans un gaz et dans un fluide.

1.4 Solution de l'équation de d'Alembert

Rappels de début d'année sur la solution sous forme d'une superposition de deux OPP. Forme de l'OPPM.

1.5 Impédance acoustique

☞ Savoir retrouver l'expression de l'impédance acoustique dans le cas d'une OPPM.

1.6 Cas de l'onde sphérique

☞ Champ proche, champ lointain, expression de v obtenue à partir de l'expression de p donnée, impédance de l'onde.

2 Aspects énergétiques

2.1 Vecteur densité de flux de puissance acoustique

☞ Connaître l'expression de ce vecteur $\overrightarrow{\Pi} = p\,\overrightarrow{v}$ et sa signification physique.

2.2 Équation locale de conservation de l'énergie acoustique

La démonstration de cette équation est hors-programme mais il faut connaître l'expression de la densité volumique d'énergie e acoustique.

2.3 Cas d'une OPPM

Savoir retrouver les expressions de $\left\langle \overrightarrow{\Pi} \right\rangle$ et de $\langle e \rangle$ dans le cas d'une OPPM. Le lien entre ces deux expressions sera détaillé ultérieurement dans le cours sur les ondes électromagnétiques.

2.4 Intensité d'une onde acoustique, niveau sonore

☞ Connaître la définition de l'intensité d'une onde acoustique ainsi que du niveau sonore.

☞ Établir le lien entre l'intensité d'une OPPM et son amplitude (en vitesse ou surpression)

2.5 Retour sur l'approximation acoustique

☞ À partir des valeurs extrêmales du niveau sonore, savoir vérifier numériquement après-coup que l'approximation acoustique est vérifiée.

2.6 Application à l'onde sphérique

☞ Savoir retrouver l'intensité de l'onde dans le cas d'une onde sphérique dans les deux zones. Puissance totale traversant une sphère de rayon r. Application à la sphère oscillante.

3 Réflexion et transmission d'une onde acoustique à un changement de milieu

3.1 Cas d'un milieu unidimensionnel à section constante

☞ Savoir retrouver les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude au passage entre deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 respectivement.

☞ Savoir retrouver les coefficients de réflexion et de transmission en puissance au passage entre deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 respectivement.

3.2 Cas d'une paroi massique entre deux fluides

☞ L'exercice suivant peut être considéré comme exercice de cours.

Exercice :

On considère une paroi séparant un milieu intérieur (air) d'un milieu extérieur (air également) située initialement dans le plan $x = 0$. Une onde acoustique se propage dans le sens des x croissants depuis le milieu intérieur vers le milieu extérieur.
On modélise la paroi par une tranche infiniment fine de section S.

1. Donner la relation entre S, la masse volumique ρ de la tranche et sa masse surfacique σ.
2. Quelle doit être la relation entre l'épaisseur L de la paroi et la longueur d'onde λ pour pouvoir considérer que tout "vibre en bloc". Quelle relation vérifient donc les vitesses de part et d'autre de la paroi ?
3. Trouver l'expression du coefficient de transmission en amplitude associé à la surpression, puis l'expression du coefficient de transmission énergétique T après avoir rappelé sa définition.
4. Tracer $T_{dB} = 10\log_{10}(T)$. De quel type de filtre s'agit-il ?

4 Ondes sonores planes stationnaires - Application aux instruments de musique

4.1 Onde stationnaire dans un tuyau
4.2 Modes propres d'une cavité
Cas ouvert-ouvert, fermé-fermé et ouvert-fermé.

Ondes 3

Ondes électromagnétiques dans le vide

1 Équation d'onde des champs E et B
☞ Savoir redémontrer l'équation de d'Alembert pour les champs électrique et magnétique dans le vide.

2 Ondes planes progressives monochromatiques
2.1 Définitions
2.2 Vecteur d'onde
Formulation intrinsèque d'une OPPM en faisant intervenir $\overrightarrow{k}.\overrightarrow{r}$.

2.3 OPPM solution de l'équation d'onde dans le vide
Savoir utiliser les notations complexes pour calculer les actions des opérateurs courants appliqués à une OPPM.
☞ Savoir remontrer le caractère transverse électrique et magnétique de l'onde, connaître et savoir retrouver la structure locale de l'onde, savoir retrouver la relation de dispersion. Comparer les expressions des forces électrique et magnétique subies par une charge présente dans un champ ém.

2.4 Les divers domaines des ondes ém
2.5 Description corpusculaire d'une OPPM
Relations de Planck-Einstein et relation de de Broglie.

3 Polarisation des OPPM
3.1 Polarisation elliptique
Savoir retrouver le caractère gauche ou droite d'une polarisation elliptique **n'est pas au programme**.

3.2 Polarisation linéaire
3.3 Polarisation circulaire
Savoir retrouver le caractère gauche ou droite d'une polarisation circulaire.

3.4 Décomposition d'une OPPM en ondes polarisées circulairement
(Vu en exercice)
Pas de questions expérimentales sur la polarisation encore (lames quart et demi-ondes)

4 Propagation de l'énergie des OPPM
4.1 Grandeurs instantanées
☞ Retrouver l'expression de la densité volumique d'énergie ém instantanée d'une OPPM. Savoir retrouver l'expression du vecteur de Poynting moyen d'une OPPM.

4.2 Grandeurs moyennes
☞ Retrouver les moyennes des deux expressions précédentes.

4.3 Puissance rayonnée et intensité
Définition de l'intensité, expression pour une OPPM, lien entre intensité et amplitude du champ électrique. Ordres de grandeurs pour un laser courant, la lumière du Soleil et un téléphone portable.

4.4 Interprétation physique
☞ Comprendre le lien entre l'expression de la densité volumique d'énergie ém et l'expression du vecteur de Poynting en considérant le volume traversant la section entre t et $t+dt$.

4.5 Flux du vecteur de Poynting et flux de photons
☞ Cet exercice peut être considéré comme un exercice de cours.

Exercice :

Un laser Helium-Neon émet un faisceau lumineux cylindrique de rayon $R = 1{,}0$ mm d'une OPPM de longueur d'onde $\lambda = 632{,}8\,\text{nm}$. La puissance moyenne émise est $P_e = 1{,}0\,\text{mW}$. On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}\,\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$ et $h = 6{,}62.10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$

1. Calculer les amplitudes E_{max} du champ électrique et B_{max} du champ magnétique.
2. Déterminer le nombre de photons n par unité de volume dans le faisceau.
3. Déterminer le nombre ϕ_N de photons émis par seconde par le laser.

5 Onde électromagnétique stationnaire dans le vide
☞ L'exercice suivant peut faire l'objet de questions de cours.

Exercice

1. Considérons deux demi-espaces $z < 0$ et $z > 0$, le premier étant du vide et le second un métal. On considère que le métal est un conducteur parfait ($\sigma \to \infty$). Montrer que le champ électrique est nul dans le métal.

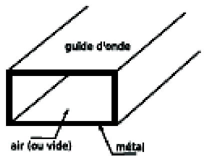
   On considère une onde incidente du type : $\underline{\overrightarrow{E_i}} = E_0 e^{i(\omega t - kz)}\overrightarrow{u}_x$.
2. On cherche l'onde réfléchie sous la forme $\underline{\overrightarrow{E_r}} = \underline{r}E_0 e^{i(\omega t + kz)}\overrightarrow{u}_x$ avec $\underline{r}$ un nombre complexe traduisant le déphasage et l'absorption de l'onde réfléchie par rapport à l'onde incidente. On admettra que la composante du champ électrique parallèle à l'interface vide-métal est continue. Déterminer l'expression de $\underline{r}$.
3. En déduire le champ magnétique $\underline{\overrightarrow{B_r}}$ réfléchi.
4. Écrire alors les champs électrique et magnétique réels résultants de la superposition des champs incidents et réfléchis. Où sont situés les noeuds de l'onde stationnaire pour le champ électrique ? Quelle est la distance entre deux noeuds successifs ? Faire l'application numérique pour une fréquence de 900 MHz. Quel problème cela peut-il poser pour les télécommunications par téléphonie mobile en milieu urbain ?
5. Déterminer les moyennes temporelles de l'énergie électromagnétique et du vecteur de Poynting dans l'espace $z < 0$.

6 Guide d'onde
☞ L'exercice suivant peut faire l'objet de questions de cours mais il faudra guider la démarche.

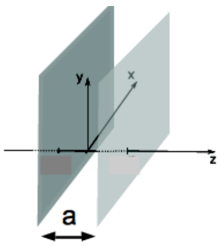
Exercice :

Une antenne ou une source lumineuse émet une onde électromagnétique qui finit toujours par diverger empêchant ainsi la transmission d'informations sur une longue distance. Pour pallier ce problème, il est nécessaire de faire appel à une propagation guidée (fibre

optique pour la lumière, guide d'onde pour les ondes centimétriques).
Nous allons nous intéresser à la propagation dans un guide d'onde, couramment utilisé en télécommunication ou dans les fours à micro-ondes (pour acheminer les ondes micrométriques jusqu'à la cavité de cuisson).
La propagation s'effectue dans le vide mais en milieu limité (présence de parois métalliques visibles sur le schéma ci-contre). Ceci aura pour effet de modifier la structure de l'onde électromagnétique qui sera différente de l'OPPM bien connue.



Pour simplifier le problème, on étudie le cas d'un guide constitué de deux plaques métalliques comme indiqué sur la figure ci-dessous. Cette simplification nous permettra néanmoins d'appréhender la physique particulière du guide.



Une onde électromagnétique se propage dans la direction Ox entre deux plans parfaitement conducteurs, parallèles et d'ordonnées $z = 0$ et $z = a$. Le vide règne entre ces plans. On rappelle que les champs électrique et magnétique dans un tel conducteur sont nuls.
On cherche des solutions de la forme : $\underline{\overrightarrow{E}} = E(y,z)e^{i(\omega t - kx)}\overrightarrow{u}_y$.

1. En utilisant l'équation de Maxwell-Gauss, montrer que $E(y,z)$ ne dépend pas de y. On notera cette amplitude $E(z)$ par la suite. A-t-on une onde plane ?
2. Montrer que la présence du métal impose $E(0) = E(a) = 0$.
3. Démontrer que $E(z)$ vérifie l'équation suivante :
$$\frac{d^2E(z)}{dz^2} + \left(\frac{\omega^2}{c^2} - k^2\right)E(z) = 0$$
4. Discuter de la forme des solutions de cette équation différentielle en fonction du signe de $\frac{\omega^2}{c^2} - k^2$. Montrer que les conditions imposées en 2 ne sont possibles que si $\frac{\omega^2}{c^2} - k^2 > 0$. On posera alors $K^2 = \frac{\omega^2}{c^2} - k^2$.
5. En déduire l'expression de $E(z)$ et montrer que les conditions limites imposent $K = n\frac{\pi}{a}$ avec n entier positif non nul. A chaque valeur de n est associé un mode.
6. Montrer que le guide d'onde se comporte comme un filtre passe-haut de pulsation de coupure ω_c à déterminer. Que se passe-t-il pour $\omega < \omega_c$?
7. Pour $n = 1$, exprimer le champ magnétique dans le guide d'onde. A-t-on une onde TM (transverse magnétique) ?