



BLAISE PASCAL
PT 2024-2025

Programme des colles semaines 21 et 22 : du 3 au 14 mars

Ondes électromagnétiques

La colle commence par une application 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, les fiches de révision, ainsi que les corrigés des TD et des DM. N'hésitez surtout pas à me signaler s'il en manque !

Au programme

Chapitre 20 : Équations de Maxwell, énergie électromagnétique

Applications de cours et exercices.

Chapitre 21 : Ondes électromagnétiques dans le vide

Applications de cours et exercices.

Chapitre 22 : Ondes électromagnétiques et milieux conducteurs

Applications de cours et exercices.

Révisions de PTSI

Rien pour cette quinzaine !

Applications de cours

Ces applications de cours sont des « briques élémentaires » des raisonnements à mener dans les exercices. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours ou les fiches de révision.

Le travail demandé consiste à se les approprier, afin d'être capable de les réinvestir dans un sujet d'écrit ou d'oral. Je n'attends pas des étudiants une maîtrise parfaite, encore moins un apprentissage par cœur, mais j'attends qu'ils les aient travaillées suffisamment pour les mener à bien en autonomie, c'est-à-dire savoir refaire seul les raisonnements, en réfléchissant mais sans aide de l'interrogateur.

Seuls les étudiants du groupe PT* (trinômes 1 à 6) seront interrogés sur les applications marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

Une impasse notoire sur l'application de cours qui vous sera demandée mettra le colleur de mauvaise humeur et vous vaudra une note inférieure à la moyenne.

20.1 - Énoncer les équations de Maxwell sous forme locale et intégrale. Les simplifier en régime permanent et en régime d'ARQS magnétique.

(★) **20.2** - Énoncer le bilan d'énergie pour un volume de contrôle macroscopique en l'expliquant qualitativement. En déduire l'équation locale de Poynting.

20.3 - Considérons un conducteur ohmique de conductivité γ , longueur ℓ et rayon a . On impose un champ \vec{E} uniforme, ce qui crée un courant de densité \vec{j} uniforme, et par suite un champ magnétique

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{r}{a^2} I \vec{e}_\theta.$$

Calculer la puissance totale dissipée par effet Joule dans l'échantillon, le vecteur de Poynting, et la puissance rayonnée. Interpréter physiquement.

21.1 - Établir l'équation de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide pour le champ électrique ou magnétique, au choix de l'interrogateur. Identifier dimensionnellement la célérité c .

21.2 - Établir la relation de dispersion dans le vide en utilisant, au choix de l'interrogateur, les champs réels ou les champs complexes.

21.3 - Établir les écritures complexes des équations de Maxwell dans le cas particulier d'une OPPH de la forme

$$\vec{E} = E_0 e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{OM})} \vec{e}_y.$$

En déduire la relation de structure.

21.4 - Sur un exemple de champ électrique donné par l'interrogateur (coordonnées cartésiennes uniquement), identifier la direction et le sens de propagation, l'état de polarisation de l'onde, puis en déduire le champ magnétique et le vecteur de Poynting.

(★) **22.1** - Montrer qu'un conducteur ohmique excité en régime sinusoïdal à suffisamment basse fréquence pour que la loi d'Ohm s'applique 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 $f \lesssim 10^{13}$ Hz, et on donne $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

22.2 - 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.

22.3 - En partant de l'équation de propagation,

$$\Delta \vec{E} - \mu_0 \gamma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{0},$$

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 se propageant dans le demi-espace $x > 0$ et l'interpréter physiquement. On prendra comme condition limite $\vec{E}(x=0^+, t) = E_0 e^{i\omega t} \vec{e}_y$.

22.4 - 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 réfléchiée 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 réfléchiée a la même polarisation que l'onde incidente, ce qui permet de n'utiliser qu'une seule projection de la relation de passage.

22.5 - Considérons une cavité électromagnétique formée par deux plans parfaitement 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.

À quoi s'attendre pour le programme suivant ?

- ▷ Chapitre 23 : Modèle scalaire des ondes lumineuses ;
- ▷ Chapitre 24 : Interférences par division du front d'onde ;
- ▷ Chapitre 25 : Interférences par division d'amplitude ;
- ▷ Révisions R9 : Optique géométrique.