Programme de colles Physique PC* - Semaine 8

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 4, 5 et 6

Décomposition en série de Fourier d'un signal, action d'un filtre linéaire.
Résolution d'une équation différentielle du premier ordre par la méthode d'Euler explicite. Les schémas d'Heun, d'Euler implicite et de Crank-Nicholson ont été présentés mais ne sont pas exigibles.
Résolution d'une équation différentielle du deuxième ordre et de deux équations différentielles couplées par la méthode d'Euler explicite.

Optique 2

Optique physique

1 Généralités sur l'optique physique

1.1 Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique ?

Quelques résultats admis sur les ondes électromagnétiques : écriture d'une OPPM avec formulation intrinsèque en $\vec{k}.\vec{r}$, $k = nk_0$ dans un MLHTI, structure de l'onde électromagnétique, notion de vecteur de Poynting, intensité d'une onde lumineuse.

1.2 Approximation scalaire de l'optique

1.3 Notion de rayon lumineux

1.4 Chemin optique

1.5 Notion de différence de marche

1.6 Surface d'onde

1.7 Théorème de Malus

1.7.1 Énoncé

1.7.2 Onde sphérique dans un milieu homogène

1.7.3 Onde plane dans un milieu homogène

1.8 Condition de stigmatisme (hors-programme

2 Superposition de radiations monochromatiques cohérentes

2.1 Étude de la superposition de deux ondes monochromatiques

☞ Savoir redémontrer la formule de Fresnel en réels et en complexes (dans le cas où les deux ondes ont même fréquence pour la méthode complexe).

Notion de cohérence, premier critère de cohérence.

2.2 Étude du champ d'interférence - Notion de contraste

2.3 Ordre d'interférence

2.4 Construction de Fresnel

Cas d'une superposition de 2 ondes cohérentes, cas d'une superposition de N ondes cohérentes.

2.5 Superposition de N ondes cohérentes

Construction de Fresnel pour N ondes cohérentes. Critère pour obtenir l'intensité maximale, expression de cette intensité dans le cas de N ondes de même intensité.
Le calcul direct de la somme des amplitudes spatiales n'a pas été vu encore.

3 Cohérences

3.1 Caractérisation de l'émission lumineuse

Notion de train d'onde, longueur de cohérence.

3.2 Incohérence temporelle

3.3 Incohérence spatiale

3.4 Les deux types d'interféromètres

3.5 Critère de cohérence

Le critère $|\delta| \ll l_c$ de cohérence temporelle doit être su.
Les longueurs de cohérence des sources typiques doivent être connues (lumière blanche, lampe spectrale, laser).

4 Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : les trous/fentes d'Young

4.1 Description du montage

4.2 Observation expérimentale

4.3 Calcul de la différence de marche

☞ La différence de marche doit être connue ainsi que sa démonstration.

4.4 Position des franges sombres et brillantes

4.5 Interfrange

☞ L'interfrange doit être connue ainsi que sa démonstration.

4.6 Trous d'Young et fentes d'Young

4.7 Ajout d'une lame mince sur l'un des trajets

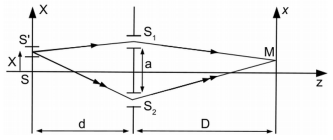
☞ Savoir calculer le surplus de chemin optique. Déterminer l'interfrange et la distance par laquelle les franges ont été translatées.

4.8 Déplacement transversale de la source

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

Exercice :

On reprend l'expérience des fentes d'Young mais la fente source est déplacée en S' repéré par l'abscisse X. Les rayons restent faiblement inclinés par rapport à l'axe Sz : $X, a \ll d$ et $x, a \ll D$.



1. Par analogie avec le cas où S' est en S, déterminer la différence de marche $\delta(M) = (S'M)_2 - (S'M)_1$.
2. Donner l'expression de l'interfrange i. Justifier qu'il se produit une translation du système des franges d'interférences. Que vaut le déplacement Δx du système des franges ?
3. On appelle frange centrale la frange associée à $\delta = 0$. Est-ce une frange sombre ou brillante ? Quelle est la position x_C de cette nouvelle frange centrale ?
4. Exprimer l'intensité (ou éclairement) I en x en fonction de l'intensité incidente I_0 et des autres grandeurs caractérisiques du problème. Donner l'expression de cette intensité en faisant intervenir l'interfrange.

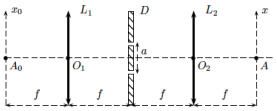
5. En prenant $a = 0{,}5$ mm , $D = d = 50$ cm, $\lambda_0 = 0{,}6\,\mu$m et $X = 5$ mm, calculer le nombre de franges brillantes ayant défilé devant le point O.

4.9 Fentes d'Young dans les conditions de Fraunhofer

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

Exercice :

Un système optique, composé de deux lentilles minces convergentes identiques L_1 et L_2, est éclairé par un faisceau de lumière monochromatique provenant d'un point source A_0 placé au foyer objet de L_1. On place entre les deux lentilles, à mi-distance, un écran opaque D percé de deux fentes rectangulaires orientées dans la direction perpendiculaire au plan de la feuille, de largeur e et de longueur $b \gg e$. Les deux fentes sont séparées par la distance a telle que $a \gg e$. On considère que les fentes sont infiniment minces et par conséquent qu'elles diffractent une amplitude identique dans toutes les directions de l'espace. L'ensemble du dispositif est représenté sur la figure ci-dessous.



1. Calculer l'éclairement obtenu sur l'écran en fonction de x et décrire le phénomène observé sur ce même écran situé dans le plan focal image de la lentille L_2.
2. Que se passe-t-il si l'on fait subir aux fentes d'Young :
   — une translation suivant la direction x ?
   — une rotation dans son propre plan ?
   — une dilatation, c'est-à-dire qu'on augmente la distance a qui sépare les fentes ?
3. Que pensez-vous de l'influence de la distance entre la lentille L_1 et la fente ? De même pour la distance entre L_2 et la fente.
4. Les fentes étant placées comme l'indique la figure précédente, que se passe-t-il lorsque l'on fait subir à la source A_0 un petit déplacement suivant l'axe des x_0 ?
5. On met maintenant au point A_0 une source lumineuse qui n'est plus monochromatique. Elle comporte en fait 3 longueurs d'ondes valant respectivement $0{,}5\ \mu$m, $0{,}6\ \mu$m et $0{,}7\ \mu$m. Expliquer rapidement mais soigneusement ce qui se produit. Que se passe-t-il si la source rayonne de la lumière blanche ?

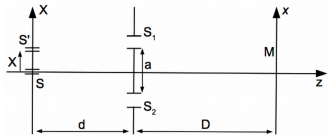
4.10 Étude des cohérences spatiale et temporelle

4.10.1 Cohérence spatiale : influence de la largeur d'une fente source

Cas d'une bi-source ☞ L'exercice suivant peut être considéré comme question de cours.

Exercice :

On reprend l'expérience des fentes d'Young en considérant cette fois la présence de deux fentes sources infiniment fines parallèles à l'axe z. La première est en $X = 0$ et la seconde en X.
Chaque source élémentaire produit un système d'interférences à deux ondes cohérentes (passant par S_1 et S_2 respectivement) au point M de l'écran. Les deux fentes sources sont indépendantes mais de même intensité I_0.



1. Donner l'intensité $I(x,y)$ au niveau de l'écran produite par la source élémentaire située en S. De même, donner l'intensité $I'(x,y)$ au niveau de l'écran produite par la source élémentaire située en S'.
2. Donner l'expression des ordres d'interférences correspondant aux deux signaux d'interférences sur l'écran en $M(x,y)$. Que peut-on dire de l'interfrange de ces deux signaux ?
3. On note $\Delta p(x,y)$ la différence entre les ordres d'interférences des deux signaux en $M(x,y)$. Donner l'expression de $\Delta p(x,y)$.
4. Représenter l'intensité totale observée sur l'écran $I(x)$ pour $|\Delta p| = 0$. Que vaut le contraste du signal ?
5. Représenter l'intensité totale observée sur l'écran $I(x)$ pour $|\Delta p| = 1/2$. Que vaut le contraste du signal ?
6. À quelle condition sur X la figure d'interférences présentera-t-elle un bon constraste ?

Fente de largeur réglable Le critère est semi-quantitatif : $|\Delta p_{1/2}| \ll 1/2$ pour observer des franges contrastées.

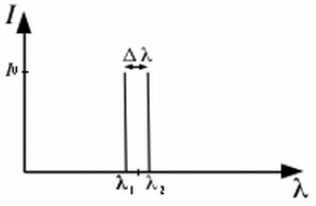
4.10.2 Cohérence temporelle : influence de la largeur spectrale de la source

Doublet de longueur d'onde

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

Exercice :

On considère l'expérience des fentes d'Young dans le cas d'une fente source infiniment fine située à égale distance des deux fentes d'Young (pas de problème de cohérence spatiale). Cette fente fine est éclairée par une lampe à vapeur de sodium. La source n'est pas monochromatique puisque le profil spectral du sodium fait apparaître deux raies d'émission à $\lambda_1 = 589$ nm et à $\lambda_2 = 589{,}59$ nm, l'intensité des deux raies étant la même (notée I_0).



1. Quelle est la couleur de la lumière émise ?
2. Que vaut la différence de fréquence $\Delta\nu$ entre les deux raies du sodium ?
3. Déterminer l'ordre d'interférence en un point x de l'écran pour λ_1 et pour λ_2.
4. En quelles positions x sur l'écran y a-t-il brouillage des franges ?
5. Application numérique : à quelle distance x_0 de la frange centrale observe-t-on le premier brouillage ? On prendra $a = 1$ mm, $D = 1$ m.
   Faire la même application numérique dans le cas du mercure, composé lui aussi de deux raies, à $\lambda_1 = 576{,}96$ nm et $\lambda_2 = 576{,}06$ nm . Conclusion ?
6. Interpréter ce phénomène en terme de battements.

Le calcul de l'intensité totale a été fait. On retrouve un phénomène de battements.

Cas d'une source polychromatique (de spectre peu étendu)

Le critère est semi-quantitatif : $|\Delta p_{1/2}| \ll 1/2$ pour observer des franges contrastées.
☞ Retrouver le critère de cohérence temporelle $|\delta| \ll l_c$ à partir du critère précédemment énoncé.

Cas de la lumière blanche

Irisation des franges, teintes de Newton, spectre cannelé.
☞ Savoir déterminer les longueurs d'ondes manquantes dans le blanc d'ordre supérieur.

Calcul exact dans le cas d'un spectre rectangulaire

Le calcul intégral a été traité en cours.

5 Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson

5.1 Lame d'air

5.1.1 Description de la lame d'air

5.1.2 Différence de marche

☞ Connaître l'expression de la différence de marche $2e\cos i$ et savoir la redémontrer.

5.1.3 Ordre d'interférence

☞ Relier la localisation des franges à l'extension spatiale de la source. Les franges sont des anneaux localisés à l'infini dans le cas d'une source étendue. Connaître les conditions d'observation.
☞ Déterminer le rayon du kième anneau en présence d'une lentille en sortie de lame.

5.2 Coin d'air

5.2.1 Description du coin d'air

5.2.2 Différence de marche

☞ La différence de marche $2e$ est admise mais doit être sue. Il faut connaître également les conditions d'observation des franges d'égale épaisseur

5.2.3 Ordre d'interférence

☞ Connaître l'allure du signal d'interférence et savoir déterminer l'expression de l'interfrange.

5.3 Interféromètre de Michelson

5.3.1 Description

☞ Connaître le schéma de l'interféromètre. Connaître les 3 caractéristiques de la compensatrice ainsi que son rôle.

5.3.2 Emploi de l'interféromètre en lame d'air

Schéma optique équivalent, figure d'interférence, localisation.

5.3.3 Emploi de l'interféromètre en coin d'air

Schéma optique équivalent, figure d'interférence, localisation.
Cas de la lumière blanche : irisation des franges (teintes de Newton), blanc d'ordre supérieur et spectre cannelé. Ces notions sont qualitatives mais doivent être sues.

6 Interférences à N ondes - Réseaux

6.1 Etude d'un réseau dans les conditions de Fraunhofer

☞ Connaître les conditions de Fraunhofer. Savoir démontrer la différence de marche entre 2 rayons voisins en passant par la méthode du retour inverse de la lumière. En déduire la formule des réseaux.

6.2 Influence de N sur la sélectivité des interférences

☞ Retrouver la condition d'interférences constructives dans une superposition de N ondes cohérentes grâce à la méthode de Fresnel.
☞ Déterminer la largeur des pics d'interférences à l'aide de la méthode de Fresnel.
☞ Retrouver les deux résultats précédents grâce au calcul direct de l'intensité résultant de la superposition cohérente des N ondes.

6.3 Interféromètre de Fabry-Pérot

☞ Savoir retrouver l'intensité totale à l'infini. L'énoncé doit cependant être guidé.