Programme de colle

Semaine 19 (du 03/03 au 07/03)

Les colles se déroulent en trois parties : une (au moins, il peut y en avoir plusieures) question de cours tirée de la liste ci–dessous, puis un exercice imposé parmi ceux listés et enfin, si le temps le permet, un exercice au choix du colleur.

Partie 1 – Questions de cours

Interférométrie par division du front d'onde : fentes d'Young

- Définir et identifier le champ d'interférences, ainsi que la localisation des interférences
- Établir la différence de marche, le déphasage et l'ordre d'interférence
- Décrire la figure d'interférence : forme, paramètres (interfrange à exprimer)
- Perte de contraste par élargissement spatial de la source : établir le critère portant sur l'ordre d'interférence permettant de conserver une bonne cohérence spatiale
- Perte de contraste par élargissement spectral de la source : établir le critère portant sur l'ordre d'interférence permettant de conserver une bonne cohérence temporelle
- Interférences à N ondes :
  - Établir la formule fondamentale des réseaux
  - Exprimer l'intensité résultante
  - Déterminer la largeur des pics en fonction du nombre N d'ondes mises en jeu

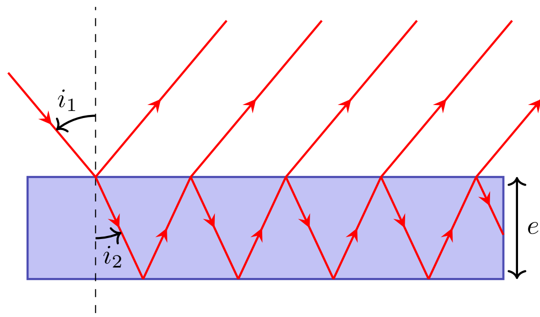
Interférométrie par division d'amplitude : Michelson

- Présenter le Michelson : rôle de la séparatrice-compensatrice, schémas, différentes configurations
- Présenter la configuration en lame d'air :
  - Conditions d'éclairage et d'observations
  - Calcul de la différence de marche
  - Intensité résultante, ordre d'interférence
  - Forme de la figure, rayon des anneaux
- Présenter la configuration en coin d'air :
  - Conditions d'éclairage et d'observations
  - Intensité résultante (différence de marche admise), ordre d'interférence
  - Forme de la figure, interfrange

Partie 2 – Exercices imposés

Exercice 1 Couleurs des ailes des papillons

Certains papillons exotiques ont des couleurs iridescentes, c'est-à-dire qu'elles changent avec l'angle sous lequel on les observe. Cela est dû à un phénomène d'interférences se produisant sur une couche mince à la surface de leurs ailes. On modélise la surface de l'aile du papillon par une lame transparente d'épaisseur $e = 190\,\text{nm}$ et d'indice de réfraction $n = 1{,}5$ (supposé indépendant de la longueur d'onde λ). Un rayon lumineux arrive avec un angle d'incidence i_1 sur l'aile du papillon. On observe un ensemble de rayons réfléchis par l'aile, parallèles entre eux, à cause des réflexions multiples dans la lame (voir ci–dessous). On note δ la différence de marche à l'infini entre deux rayons réfléchis successifs (par exemple les rayons 1 et 2).



1. Déterminer δ.
2. Rappeler la condition générale d'interférences constructives portant sur δ.
3. En incidence normale, quelle est la (ou les) longueur d'onde du domaine visible d'intensité non nulle après réflexions sur l'aile du papillon ?
4. Qu'en est-il sous l'incidence $i_1 = 60°$? Commenter.

Exercice 2 Anneaux d'égale inclinaison

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air, à une distance $e = 100\,\mu\text{m}$ du contact optique. La source lumineuse est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 550\,\text{nm}$ et éclaire l'interféromètre avec un angle d'ouverture $\theta_{max} = 10°$.

1. Faire un schéma du montage.
2. Où sont localisées les interférences ? Comment les observer ?
3. Exprimer le nombre N d'anneaux visibles dans ces conditions, en fonction de e, λ et θ_{max}.
4. Calculer la valeur numérique de N ainsi que la valeur des ordres d'interférences correspondant à chaque anneau visible.
5. Déterminer le rayon du plus grand anneau visible.

Exercice 3 Michelson en coin d'air

Considérons un interféromètre de Michelson réglé de telle sorte que l'on observe des franges rectilignes avec une source étendue monochromatique ($\lambda = 600\,\text{nm}$). On souhaite observer ces anneaux sur un écran placé à 1,80 m des miroirs en utilisant une lentille convergente placée à la sortie de l'interféromètre.

On rappelle qu'en configuration coin d'air, la différence de marche sur la surface de localisation est donnée par $\delta = 2\alpha x$ avec α l'angle entre les miroirs et x l'abscisse mesurée le long des miroirs à partir de l'arête du coin d'air.

1. Quelle est la valeur maximale de la focale utilisable ?
2. On désire que l'interfrange sur l'écran soit dix fois plus grand que celui obtenu sur le miroir. Déterminer la distance focale à utiliser.
3. On mesure sur l'écran un interfrange de 1 cm. En déduire la valeur de α.

Exercice 4 Doublet jaune du mercure

Le spectre d'émission du mercure contient de nombreuses raies, dont un doublet jaune de longueurs d'onde $\lambda_1 = 577{,}0\,\text{nm}$ et $\lambda_2 = 579{,}1\,\text{nm}$. On note $\lambda_m = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$ la longueur d'onde moyenne et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ l'écart spectral du doublet. Une lampe à vapeur de mercure suivie d'un filtre jaune approprié pour isoler le doublet jaune éclaire un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air d'épaisseur e.

1. Exprimer l'intensité lumineuse au centre des anneaux sous la forme :

$$I = I_{moy}\left[1 + C(e)\cos\left(\frac{4\pi e}{\lambda_m}\right)\right]$$

que représente $C(e)$?

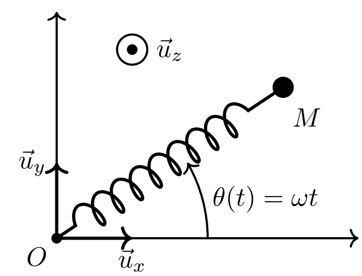
2. Déterminer les épaisseurs e de la lame d'air donnant des interférences constructives au centre de l'écran.

3. Déterminer les épaisseurs e de la lame d'air donnant lieu à des anticoïncidences ($C(e) = 0$) sur l'écran.

4. En déduire le nombre de fois où des interférences constructives sont observées au centre de l'écran entre deux anticoïncidences.

Exercice 5 Masse en rotation accrochée à un ressort

On considère un plan horizontal (xOy) sur lequelle peut se mouvoir, sans frottement, un mobile de masse m accroché à l'extrémité d'un ressort dont l'autre l'extrémité est située en O fixe. Le champ de pesanteur est noté $\vec{g} = -g\vec{u}_z$. Le ressort a pour constante de raideur k et une longueur à vide ℓ_0.



1. Faire un bilan des forces et montrer qu'il y a conservation du moment cinétique du point M par rapport à O.

On lance à présent le mobile autoporteur pour lui donner un mouvement de rotation autour de l'axe (Oz). Initialement, on note $\overrightarrow{OM}(t = 0) = \ell_1\vec{u}_x$ et $\vec{v}_0 = \ell_1\omega\vec{u}_y$. À un instant t quelconque, $\overrightarrow{OM}(t) = r\vec{u}_r$.

2. Exprimer le moment cinétique par rapport à O du mobile autoporteur : d'abord en fonction de r et θ, puis en fonction des conditions initiales.

3. Rappeler l'expression de l'énergie potentielle élastique puis donner l'expression de l'énergie mécanique en fonction de r, $\dot{r}$, $\dot{\theta}$, m, k et ℓ_0.

4. Montrer que cette énergie peut être écrite sous la forme $E_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + E_{p,eff}(r)$ où on donnera l'expression de $E_{p,eff}$.

5. Tracer l'allure de la fonction $E_{p,eff}(r)$ et en déduire pourquoi la masse ne peut pas s'éloigner du pôle d'attraction O.

Exercice 6 Satellite en orbite géostationnaire

Un satellite suit une orbite circulaire autour de la Terre, d'altitude h. On donne $R_T = 6370\,\text{km}$ pour le rayon terrestre, $\mathcal{G} = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ la constante universelle de gravitation et $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\,\text{kg}$ la masse de la Terre.

1. Montrer à l'aide du théorème du moment cinétique que le mouvement est uniforme. Déterminer la vitesse v_0 du satellite à partir du PFD et la calculer numériquement pour un satellite en orbite basse ($h \ll R$).

2. La terre accomplit une rotation sur son axe en une durée j_S nommée jour sidéral, avec $j_S = 8{,}61 \times 10^4\,\text{s}$. Dans quelle condition d'orbite aura-t-on un satellite géostationnaire ?

Exercice 7 Masses volumiques de la Terre et de Jupiter

Un des satellites de Jupiter effectue sa révolution en 7 jours, 3 heures et 40 minutes et se trouve à une distante du centre de Jupiter égale à 15 fois le rayon de la planète. La Lune effectue sa révolution en 27 jours, 7 heures et 40 minutes et se trouve à une distante du centre de la Terre égale à 60 fois le rayon de la Terre.

Déterminer le rapport des masses volumiques ρ_T de la Terre et ρ_J de Jupiter.

Exercice 8 Sonde spatiale

Une sonde spatiale de masse $m = 200\,\mathrm{kg}$ a été placée sur une orbite circulaire d'altitude $h = 300\,\mathrm{km}$.

1. Quelle est l'énergie supplémentaire ΔE à lui communiquer pour que cette sonde puisse explorer le système solaire, c'est à dire se libérer de l'attraction terrestre ? Quelle est alors sa vitesse v_1 dans le référentiel géocentrique ?
2. Cette vitesse a été communiquée dans une direction tangente à sa trajectoire circulaire autour de la Terre. Est-ce que cette sonde pourra quitter le système solaire ?

Données : On donne $\mathcal{G} = 6{,}67 \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$ la constante universelle de gravitation, $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}$ la masse de la Terre, $R_T = 6370\,\mathrm{km}$ le rayon terrestre, $a = 1{,}5 \times 10^{11}\,\mathrm{m}$ le rayon orbital de la Terre autour du Soleil et $M_S = 1{,}98 \times 10^{30}\,\mathrm{kg}$ la masse du soleil.

Partie 3 – Exercices supplémentaires

Interférométrie par division du front d'onde

- Interféromètres par division du front d'onde et applications
- Étude de réseaux optiques et applications

Interférométrie par division d'amplitude : Michelson

- Applications à la spectrométrie
- Applications à l'analyse d'objets (planéité d'un miroir, indice de lame, ...)