

## Programme de colle

Semaine 20 (du 09/03 au 13/03)

Les colles se déroulent en trois parties : une (au moins, il peut y en avoir plusieurs) 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 coller.

### Partie 1 – Questions de cours

#### 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, interfange

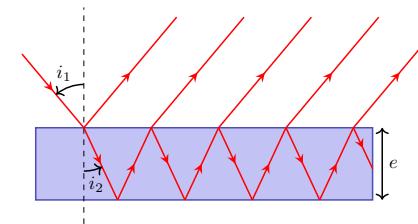
#### Lois du frottement solide (glissement pour un solide en translation)

- Énoncer les lois de Coulomb du frottement
- Présenter les aspects énergétique du frottement : travail et puissance des forces de frottements, commentaires

### 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  $\lambda$ ). 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  $\delta$  la différence de marche à l'infini entre deux rayons réfléchis successifs (par exemple les rayons 1 et 2).



- Déterminer  $\delta$ .
- Rappeler la condition générale d'interférences constructives portant sur  $\delta$ .
- 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 ?
- Qu'en est-il sous l'incidence  $i_1 = 60^\circ$  ? Commenter.

#### Exercice 2 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  $e$ .

- 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  $C(e)$  ?

- Déterminer les épaisseurs  $e$  de la lame d'air donnant des interférences constructives au centre de l'écran.
- Déterminer les épaisseurs  $e$  de la lame d'air donnant lieu à des anticoïncidences ( $C(e) = 0$ ) sur l'écran.
- En déduire le nombre de fois où des interférences constructives sont observées au centre de l'écran entre deux anticoïncidences.

**Exercice 3** Anneaux d'égale inclinaison

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air, à une distance  $e = 100\text{ }\mu\text{m}$  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  $\theta_{max} = 10^\circ$ .

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  $e$ ,  $\lambda$  et  $\theta_{max}$ .
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.

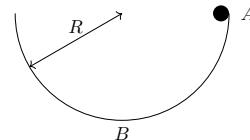
**Exercice 4** Entraînement par frottement

Un solide de masse  $m_1$  est placée sur une planche de masse  $m_2$  et l'ensemble repose sans frottement sur un plan horizontal en glace. Le coefficient de frottement entre le solide et la planche est noté  $\mu$  (on confond les coefficients de frottement statique et dynamique). On exerce sur la planche une force horizontale  $F$  dont l'intensité croît linéairement avec le temps :  $F = at$ ,  $a$  étant une constante.

1. Écrire les équations différentielles du mouvement du solide et de la planche.
2. Quelles sont les accélérations du solide et de la planche dans la phase de non-glissement ? Déterminer l'instant  $t_0$  à partir duquel la planche glisse sous le solide.
3. Quelles sont les accélérations du solide et de la planche dans la phase de glissement ?

**Exercice 5** Travail des forces de frottement

Un objet ponctuel de masse  $m = 10\text{ g}$  est lâché du point  $A$  sans vitesse initiale. Le guide, hémicylindrique de rayon  $R$ , est immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen et son axe est horizontal.



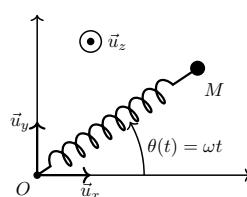
Lorsque l'objet passe pour la première fois par le point  $B$  le plus bas du guide, sa vitesse est  $v_B = 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

1. Déterminer le travail de la force de frottement.
2. Déterminer la valeur, supposée constante, de cette force.

**Exercice 6** Masse en rotation accrochée à un ressort

On considère un plan horizontal ( $xOy$ ) sur lequel peut se mouvoir, sans frottement, un mobile de masse  $m$  accroché à l'extrémité d'un ressort dont l'autre 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  $\ell_0$ .

1. Faire un bilan des forces et montrer qu'il y a conservation du moment cinétique du point  $M$  par rapport à  $O$ .
2. Exprimer le moment cinétique par rapport à  $O$  du mobile autoporteur : d'abord en fonction de  $r$  et  $\theta$ , 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  $r$ ,  $\dot{r}$ ,  $\theta$ ,  $m$ ,  $k$  et  $\ell_0$ .
4. Montrer que cette énergie peut être écrite sous la forme  $E_m = \frac{1}{2}mr^2 + E_{p,eff}(r)$  où on donnera l'expression de  $E_{p,eff}$ .
5. Tracer l'allure de la fonction  $E_{p,eff}(r)$  et en déduire la nature de la trajectoire.

**Exercice 7** 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,  $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  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 ?

**Partie 3 – Exercices supplémentaires**

## Interférométrie par division d'amplitude : Michelson

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

## Mécanique

- Tout exercice de rappel de MPSI (dynamique, énergétique, forces centrales, solides en rotation, particules chargées)
- Tout exercice portant sur les frottements de glissement dans le cas d'un solide en translation