

PHYSQ 124 LEC A1
Examen final
Automne 2006

Nom _____ **SOLUTIONS** _____

Numéro d'identité _____

Instructeur Marc de Montigny
Date Lundi, 11 décembre 2006
9 h à midi
Lieu Gymnase du Campus Saint-Jean

Instructions

- Ce cahier contient 16 pages.
- Matériel permis: crayon ou stylo, calculatrice (programmable, graphique, etc.). Les *Personal Digital Assistants* (PDA) sont interdits. Fermez vos téléphones cellulaires.
- C'est un examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez complété. Vous perdrez 10/40 si : (1) vous ne retournez pas l'aide-mémoire avec l'examen, ou si (2) vous y avez inclus des solutions.
- Vous pouvez obtenir **180 points au maximum, sur les 227 points disponibles. Cette note sur 180 sera ramenée à 40% de la note finale du cours.**
- L'examen contient deux parties : choix multiples et problèmes.
 - **10 questions à choix multiples.** Elles n'ont pas toutes la même valeur, et cumulent un **total de 27 points**. Il n'y a pas de points partiels pour cette partie. Choisissez la meilleure réponse.
 - **14 problèmes.** Ils cumulent un **total de 200 points**. Vous pourrez obtenir des points partiels pour cette partie. Soyez clairs et précis.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs; je ne les corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.

Choix multiples (Total : 27 points). Encerclez la meilleure réponse.

CM-1. (3 points) Une masse attachée à un ressort horizontal complète une oscillation à chaque 3.15 s. À $t = 0$, si la masse est lâchée du repos d'une distance de 4.40 cm de sa position d'équilibre, quelle sera sa position à $t = 6.37$ s ?

- A. 4.03 cm
- B. 4.29 cm
- C. 4.36 cm
- D. 8.06 cm

CM-2. (3 points) Une masse de 1.53 kg est attachée à un ressort et oscille en mouvement harmonique simple à une fréquence de 1.95 Hz, avec une amplitude de 7.50 cm. Quelle est l'énergie mécanique totale du système ?

- A. 0 J
- B. 0.633 J
- C. 0.646 J
- D. 0.844 J

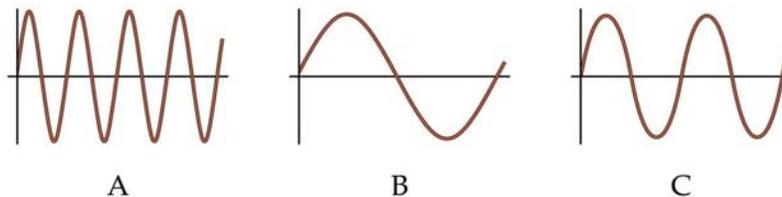
CM-3. (3 points) La vitesse d'un objet en mouvement harmonique simple est décrite par $v = -a \sin(bt)$. Que valent, respectivement, l'amplitude A et la période T du mouvement de cet objet, en termes de a et b ?

- A. a/b , b
- B. a/b , $2\pi/b$
- C. b , a
- D. a , $2\pi/b$

CM-4. (3 points) Pour doubler la vitesse de l'onde sur une corde, par quel facteur faut-il modifier sa tension, si sa densité est constante ?

- A. Il faut diviser la tension par quatre.
- B. Il faut diviser la tension par deux.
- C. Il faut multiplier la tension par deux.
- D. Il faut multiplier la tension par quatre.

CM-5. (2 points) Les trois ondes, A, B, C, ci-dessous, se propagent sur des cordes qui ont la même tension et la même masse par unité de longueur.



Rangez les ondes par ordre de fréquence croissante :

- A. $f_B < f_C < f_A$
- B. $f_A < f_B < f_C$
- C. $f_A < f_C < f_B$
- D. $f_C < f_A < f_B$

CM-6. (2 points) Si la distance entre une source sonore ponctuelle et un microphone est doublée, de combien l'intensité sonore (en W/m^2) perçue par le microphone changera-t-elle ?

- A. L'intensité sera quatre fois plus élevée.
- B. L'intensité sera deux fois plus élevée.
- C. L'intensité sera réduite de moitié.
- D. L'intensité sera réduite au quart.

CM-7. (3 points) Une expérience de Young contient deux fentes séparées de 3.00×10^{-5} m, sur lesquelles tombe de la lumière monochromatique. Sur un écran situé à 1.20 m derrière les fentes, on observe la première ($m = 1$) frange brillante à 2.15 cm de la frange brillante centrale ($m = 0$). À quelle distance de la frange brillante centrale se trouve la frange brillante de troisième ordre ($m = 3$) ?

- A. 2.15 cm
- B. 4.30 cm
- C. 6.45 cm
- D. 8.60 cm

CM-8. (2 points) On éclaire une fente avec de la lumière de longueur d'onde 630 nm pour observer une figure de diffraction sur un écran situé derrière la fente. Si on éclaire la même fente avec de la lumière de longueur d'onde 690 nm, qu'arrivera-t-il à la figure de diffraction ?

- A. Elle ne subira aucun changement.
- B. Elle sera plus comprimée vers le centre.
- C. Elle sera plus étendue.
- D. Informations insuffisantes pour répondre à la question.

CM-9. (3 points) Selon la relation de Planck, quelle est l'énergie d'un quantum appartenant à une onde radio de longueur d'onde égale à 100 m ?

- A. 6.63×10^{-32} J
- B. 1.99×10^{-27} J
- C. 6.63×10^{-36} J
- D. 3.04×10^{-30} J

CM-10. (3 points) Dans l'expérience de l'effet photoélectrique, si vous réduisez la longueur d'onde de la lumière incidente sur un métal donné, vous observerez :

- A. que les photoélectrons sortants iront plus vite ;
- B. que les photoélectrons sortants iront plus lentement ;
- C. que le potentiel d'extraction du métal augmentera ;
- D. aucun changement.

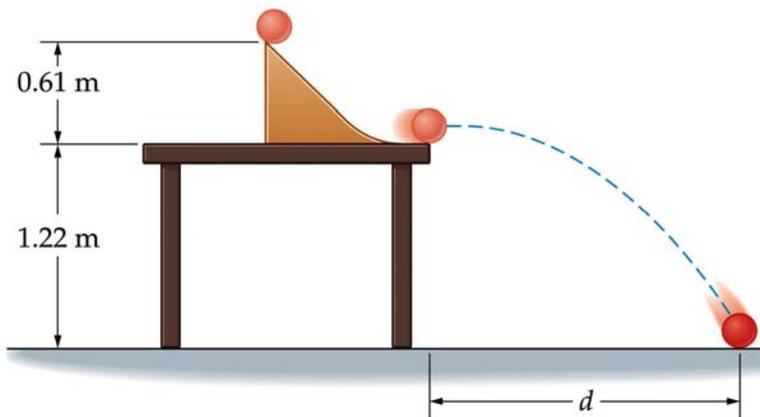
(Les problèmes débutent à la page suivante)

Problèmes (Total : 200 points). Expliquez clairement votre raisonnement et vos calculs.

P-1. (20 points) Dynamique de rotation.

Une boule sphérique pleine (moment d'inertie $I = \frac{2}{5}MR^2$) de diamètre 17 cm est lâchée du repos et roule, sans glisser, vers le bas d'une piste, de sorte que sa chute verticale soit de 61 cm. Au point où la boule quitte la piste, elle se trouve à 1.22 m du sol et se déplace (temporairement) dans la direction horizontale.

- A. De quelle distance d la boule se déplace-t-elle avant de toucher le sol ? **[11 points]**
- B. Une fois qu'elle ne touche plus à la piste, la boule continue de tourner sur elle-même à vitesse angulaire constante. Combien de tours sur elle-même complète-t-elle, dans l'air, avant de toucher le sol ? **[6 points]**
- C. Si la piste était sans friction, de sorte que la sphère pourrait glisser sans rouler, est-ce que la valeur de d augmenterait, diminuerait ou resterait la même ? **[3 points]**



A. $E_i = E_f$ prend la forme :

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}mr^2\right)\left(\frac{v}{r}\right)^2 \quad \text{donne } v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}, \text{ qui, avec les équations}$$

$$x = d = vt \text{ et } y = \frac{1}{2}gt^2 \text{ mène à } d = v\sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{20}{7}}yh = \underline{1.46 \text{ m.}}$$

$$B. \theta = \omega t = \frac{v}{r}\sqrt{\frac{2y}{g}} = \sqrt{\frac{20hy}{7r^2}} = 17.155 \text{ rad ou } \underline{2.73 \text{ tours.}}$$

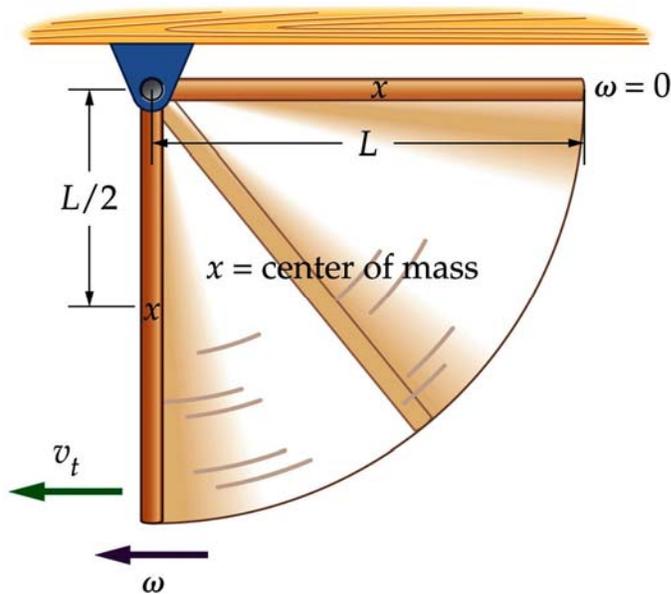
C. Glissement = absence de rotation, donc $E_{\text{rot}} = 0$, et toute l'énergie initiale devient de l'énergie de translation, $\frac{1}{2}mv^2$. On en conclut que v augmente, et d augmente.

P-2. (14 points) Dynamique de rotation.

Une tige mince uniforme, de longueur L et de masse M , pivote vers le bas autour d'une de ses extrémités, tel qu'illustré ci-dessous. Son moment d'inertie autour de ce point vaut $I = \frac{1}{3}ML^2$. Négligez la friction de l'air ou au pivot. La tige tombe du repos, à

partir de la position horizontale. Une fois la tige à la position verticale, calculez :

- A. sa vitesse angulaire, en utilisant le principe de conservation de l'énergie mécanique totale (indice : pour calculer l'énergie potentielle gravitationnelle, considérez toute la masse de la tige concentrée en son centre de masse) ; **[10 points]**
 B. la vitesse tangentielle de son extrémité libre. **[4 points]**



A. $\Delta E = 0$

$$\underbrace{\frac{1}{2}I\omega^2}_{\Delta E_k} - \underbrace{Mg\left(\frac{L}{2}\right)}_{\Delta E_p} = 0 \text{ où } I = \frac{1}{3}ML^2, \text{ donne } \omega = \sqrt{3g/L}$$

B. $v_t = \omega L = \sqrt{3gL}$

P-3. (18 points) Équilibre statique.

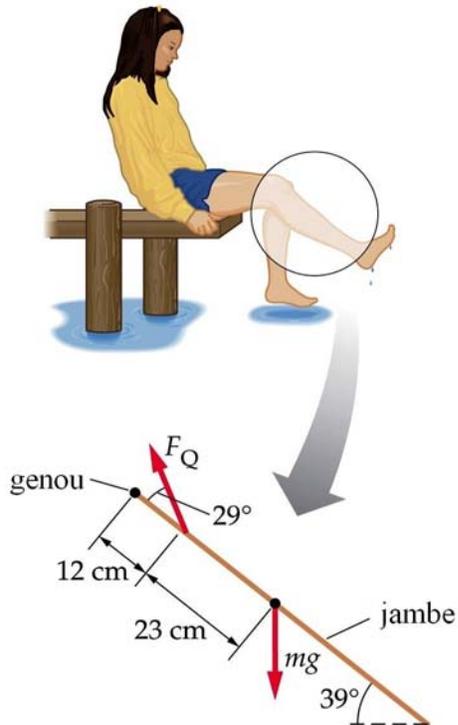
La fillette illustrée ci-dessous est assise au bout d'un quai, tenant sa jambe à 39° de l'horizontale, avec le muscle du quadriceps effectuant une force F_Q à 29° au-dessus de la jambe, tel qu'illustré ci-dessous. Si la partie suspendue de la jambe a une masse de 3.4 kg, calculez :

- A. la force F_Q effectuée par le quadriceps sur la jambe,
- B. la force horizontale f_x exercée par le genou sur la jambe,
- C. la force verticale f_y exercée par le genou sur la jambe.

[9 points]

[4 points]

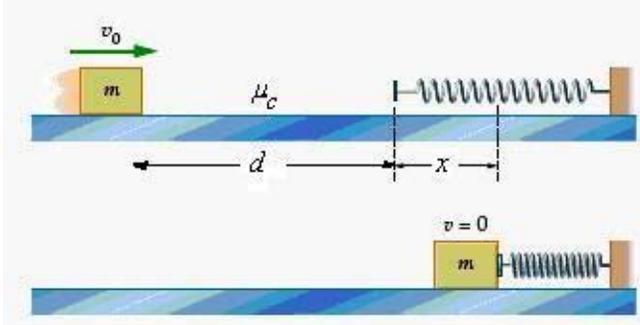
[5 points]



- A. $F_Q(12)\sin 29 - mg(35)\cos 39 = 0$ donne $F_Q = 156$ N
- B. $f_x - F_Q \cos 68 = 0$ donne $f_x = 58.4$ N (vers la droite)
- C. $f_y + F_Q \sin 68 - mg = 0$ donne $f_y = -111$ N (vers le bas)

P-4. (19 points) Énergie dans un système masse-ressort.

Un bloc de masse $m = 0.323$ kg se trouve à une distance $d = 5$ cm d'un ressort à l'équilibre et, tel qu'illustré ci-dessous, il se déplace alors à vitesse $v_0 = 1.04$ m/s. Sachant le coefficient de friction cinétique entre le sol et le bloc est $\mu_c = 0.21$ et que la constante de rappel du ressort vaut 44.5 N/m, utilisez le principe de conservation de l'énergie pour trouver la compression maximale x du ressort.



$$\Delta E = W_{NC}$$

$$\frac{1}{2}kx^2 - \frac{1}{2}mv^2 = -\mu_c mg(d + x) \text{ quadratique en } x$$

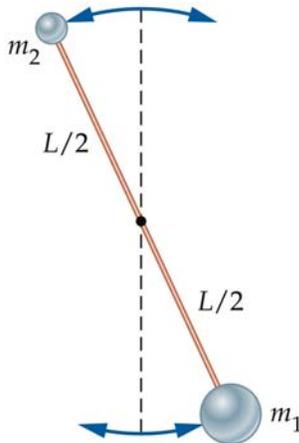
$$x = \frac{1}{k} \left(-\mu_c mg \pm \sqrt{(\mu_c mg)^2 + kmv^2 - 2k\mu_c mgd} \right) = -9.61, +6.62 \text{ cm}$$

Réponse : 6.62 cm

P-5. (18 points) Pendule composé.

Le pendule composé ci-dessous consiste en une tige légère de longueur L qui pivote autour de son centre. Le plan de rotation est vertical. Une masse ponctuelle m_1 est attachée à l'extrémité supérieure de la tige, et une seconde masse ponctuelle, $m_2 < m_1$, est attachée au bas de la tige.

- A. Calculez la période de ce pendule, en termes de m_1 , m_2 et L . **[15 points]**
 B. Que devient la période si $m_2 = 0$? Expliquez brièvement. **[3 points]**



- A. $\omega = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$ où $m = m_1 + m_2$, $I = (m_1 + m_2)\frac{L^2}{4}$, et $d = \frac{L}{2} - \frac{m_2 L}{m_1 + m_2}$. Le second terme de l'expression de d vient, par exemple, du centre de masse à partir de m_1 : $\frac{m_2 L + m_1(0)}{m_1 + m_2}$. La définition $T = \frac{2\pi}{\omega}$ donne la réponse:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)L}{2g(m_1 - m_2)}}$$

- B. Avec $m_2 \rightarrow 0$, nous trouvons $T = 2\pi \sqrt{\frac{L/2}{g}}$, ce qui est la période d'un pendule simple de longueur $L/2$, comme on s'y attendait.

P-6. (12 points) Oscillateur harmonique simple.

Une masse de 2 kg est attachée à un ressort de constante 40 N/m. Si, à $t = 0$, vous lâchez la masse de la position +12 cm à partir du repos, quelles sont les deux premiers temps t auxquels la masse se trouvera en position +8 cm, en se déplaçant vers la direction positive ?

$$x = A \cos \omega t \text{ et } v = -\omega A \sin \omega t$$

$$\omega = \sqrt{k/m} \text{ donne } \omega = 2\sqrt{5} \text{ rad/s}$$

On cherche ωt tel que $\cos \omega t$ est positif et $\sin \omega t$ est négatif. L'équation

$8 = 12 \cos \omega t$ conduit à $\cos \theta = \frac{2}{3}$, d'où $\theta = 0.84106867$ rad. Pour avoir $\cos \omega t$ positif et $\sin \omega t$ négatif, on garde donc $\omega t = -0.84106867$ auquel on ajoute 2π , 4π , etc.

Réponses : 1.22 s, 2.62 s.

P-7. (12 points) Intensité sonore.

Deux sirènes identiques produisent un niveau sonore total de 80 décibels (dB). Quelle est le niveau sonore (en dB) d'une seule sirène ? (Rappel : $\log(ab) = \log a + \log b$, $\log a^N = N \log a$)

Avec deux fusils, $\beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 80$ dB. Pour un fusil $\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$. Comme

$$I_1 = \frac{I_2}{2}, \text{ on calcule } \beta_1 = 10 \log \frac{I_1/2}{I_0} = 10 \log \frac{1}{2} + \overbrace{10 \log \frac{I_2}{I_0}}^{\beta_2} = 77.0 \text{ dB.}$$

P-8. (12 points) Ondes stationnaires dans un tuyau.

Un tuyau, ouvert seulement à une extrémité, est coupé en deux tuyaux de longueurs différentes. Le morceau qui est ouvert aux deux extrémités a une fréquence fondamentale de 425 Hz, alors que le morceau qui n'a qu'une extrémité ouverte a une fréquence fondamentale de 675 Hz. Quelle était la fréquence fondamentale du tuyau initial ?

L : tuyau initial

F : tuyau final fermé

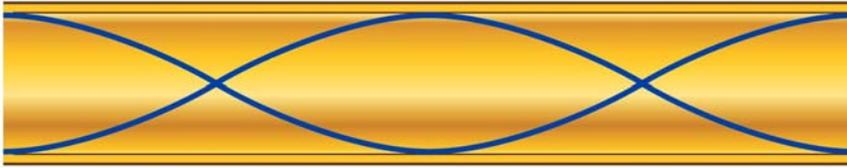
O : tuyau final ouvert

On a $f_1^L = \frac{v}{4L}$, $f_1^F = \frac{v}{4L_F}$, $f_1^O = \frac{v}{4L_O}$ où $L = L_O + L_F$

$$f_1^L = \frac{v}{4(L_O + L_F)} = \frac{v}{4\left(\frac{v}{2f_1^O} + \frac{v}{4f_1^F}\right)} = \frac{f_1^O f_1^F}{2f_1^F + f_1^O} = 162 \text{ Hz}$$

P-9. (16 points) Ondes stationnaires dans un tuyau.

A. Sachant que la fréquence de l'onde stationnaire ci-dessous est 202 Hz, quelle est la longueur du tuyau ? Prenez $v = 343$ m/s. **[8 points]**



La figure montre que $n = 2$, donc $L = \frac{v}{f_2} = 1.70$ m

B. Considérez un autre tuyau, dont deux harmoniques successives valent 440 Hz et 528 Hz. Est-il ouvert ou fermé ? Quelle est sa longueur ? **[8 points]**

Le rapport des fréquences donne $\frac{528}{440} = \frac{6}{5} = \frac{f_6}{f_5}$, donc le tuyau est ouvert

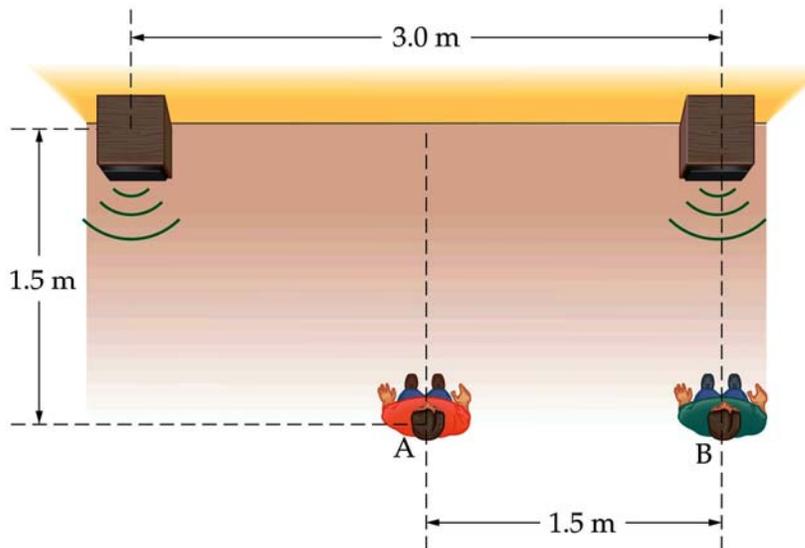
On trouve $f_1 = \frac{f_5}{5} = 88$ Hz, d'où $L = \frac{v}{2f_1} = 1.95$ m

P-10. (18 points) Interférence.

Deux étudiantes A et B écoutent un son produit par deux haut-parleurs en phase. Prenez la vitesse du son égale à 343 m/s.

A. Si les deux étudiantes entendent un maximum d'interférence, quelle est la fréquence la plus basse possible émise par les haut-parleurs? **[12 points]**

B. Si les haut-parleurs sont déphasés d'une demi-période à la source, est-ce qu'un son de fréquence 185 Hz sera perçu au point B comme étant un maximum ou un minimum? **[6 points]**



A. Pour étudiant A, $\Delta d = 0$ alors il y a un max pour tout f .

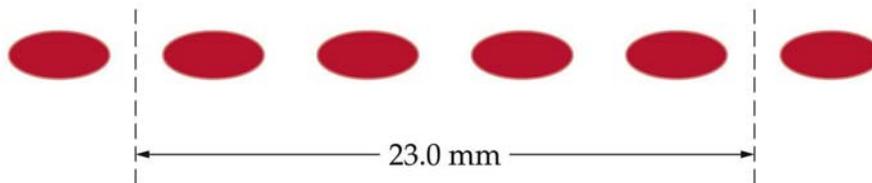
Pour l'étudiant B $\Delta d = \sqrt{1.5^2 + 3^2} - 1.5 = 1.854101966 = \lambda$, d'où $f = \frac{v}{\lambda} = 185$ Hz.

B. Si $f = 185$ Hz, alors $\lambda = \frac{v}{f} = 1.854$ m. Comme $\lambda \cong \Delta d$ ceci correspondrait à un maximum si les sources étaient en phase. Mais à cause du décalage temporel de 180° , l'étudiant B perçoit donc un minimum.

P-11. (14 points) Interférence de Young.

La figure d'interférence de Young ci-dessous est produite par de la lumière monochromatique qui traverse deux fentes séparées de 0.135 mm, et frappe un écran, 1.20 m plus loin. (Utilisez $\sin\theta \cong \theta$ et $\tan\theta \cong \theta$ (θ en radians) pour de petits angles.)

- A. Quelle est la longueur d'onde de la lumière incidente ? **[11 points]**
B. Si on augmente la fréquence de la lumière incidente, les franges brillantes du patron d'interférence vont-elles s'approcher ou s'éloigner les unes des autres ? Expliquez brièvement. **[3 points]**



A. $\theta \cong \frac{y}{L} = \frac{m\lambda}{d}$ donne $y_m = \frac{m\lambda L}{d}$ et $y_4 - y_0 = \frac{4\lambda L}{d}$, d'où $\lambda = 646$ nm.

B. Comme $\theta \propto \lambda \propto \frac{1}{f}$, si f augmente, θ diminue: les franges se rapprochent

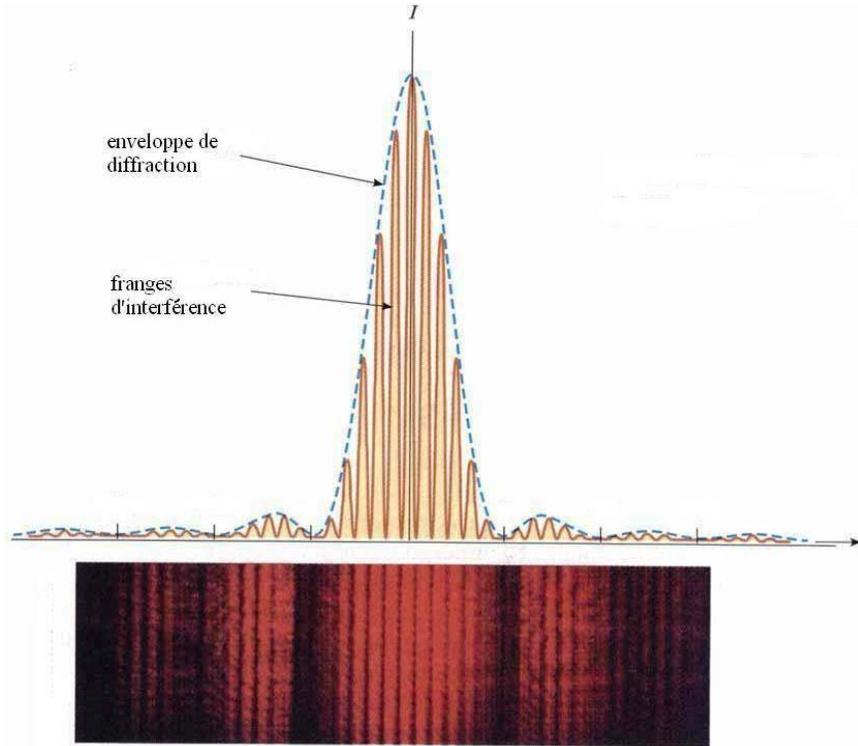
P-12. (10 points) Interférence et diffraction.

La partie supérieure de la figure ci-dessous illustre l'intensité d'une figure d'interférence de Young (partie inférieure de la figure), combinée à l'effet de diffraction due à la largeur finie de chacune des deux fentes.

- A. En général, s'il y a $2k+1$ pics d'interférence (où k est un nombre entier) dans le maximum central de diffraction, combien trouvera-t-on de pics d'interférence dans le deuxième maximum de diffraction ? **[5 points]**

B. D'après le nombre de pics d'interférence de la figure supérieure, quelle est la largeur de chaque fente, si la séparation entre les deux fentes qui produisent la figure est de 0.90 mm ?

[5 points]



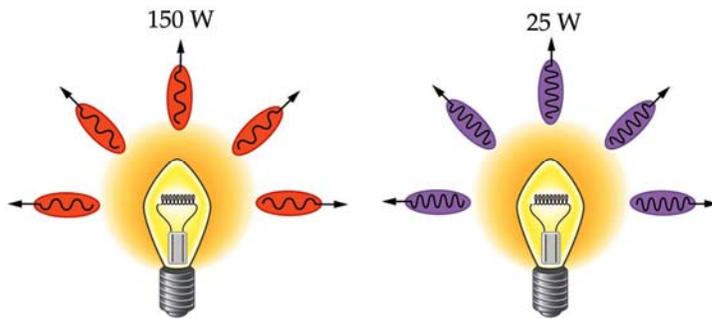
A. Au premier min de diffraction, $m_I = k + 1$. Au deuxième, $m_I = 2k + 2$. Le deuxième max de diffraction contient donc $(2k + 2) - (k + 1) = k$ pics.

B. On compte $k = 5$ de sorte qu'au premier min de diff, $m_I = 6$. Comme $\frac{m_i}{m_d} = \frac{d}{W}$,
on trouve $W = \frac{d}{6} = 0.15$ mm.

P-13. (8 points) Lumière et photons.

La figure ci-dessous illustre deux ampoules de puissances différentes. L'ampoule de gauche est rouge et sa puissance est 150 W, et celle de droite est bleue avec une puissance de 25 W.

- A. Calculez le nombre de photons émis par seconde par l'ampoule rouge, si sa longueur d'onde est de 650 nm. **[3 points]**
- B. Calculez le nombre de photons émis par seconde par l'ampoule bleue, si sa longueur d'onde est de 460 nm. **[3 points]**
- C. Quelle ampoule émet des photons qui, individuellement, ont une plus grande énergie ? **[2 points]**



A.
$$\frac{P}{E} = \frac{P}{hc/\lambda} = 4.9 \times 10^{20} \text{ photons par seconde}$$

B.
$$\frac{P}{E} = \frac{P}{hc/\lambda} = 5.8 \times 10^{19} \text{ photons par seconde}$$

C. L'ampoule bleue

P-14. (9 points) Effet photoélectrique.

De la lumière de longueur d'onde 545 nm frappe un métal, de sorte que des électrons en sont éjectés à des vitesses d'au plus 3.1×10^5 m/s. La masse d'un électron est de 9.11×10^{-31} kg.

- A. Quelle est l'énergie cinétique maximale des électrons ? **[2 points]**
B. Quel est le travail d'extraction du métal, en Joules ? **[4 points]**
C. Quelle est la plus petite fréquence que la lumière doit avoir pour que des photoélectrons soient éjectés de ce métal ? **[3 points]**

A.
$$K_{\max} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = 4.38 \times 10^{-20} \text{ J}$$

B.
$$W_0 = \frac{hc}{\lambda} - K_{\max} = 3.21 \times 10^{-19} \text{ J}$$

C.
$$f_0 = \frac{W_0}{h} = 4.84 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Bonnes vacances de Noël !

