

PHYSQ 124 LEC A1 : Particules et ondes
Examen final
Automne 2012

Nom _____ **SOLUTIONS** _____

Numéro de l'étudiant.e _____

Professeur Marc de Montigny

Horaire Lundi, 17 décembre 2012, de 9 h à midi

Lieu Gymnase de la Faculté Saint-Jean, rangées 2 et 4

Instructions

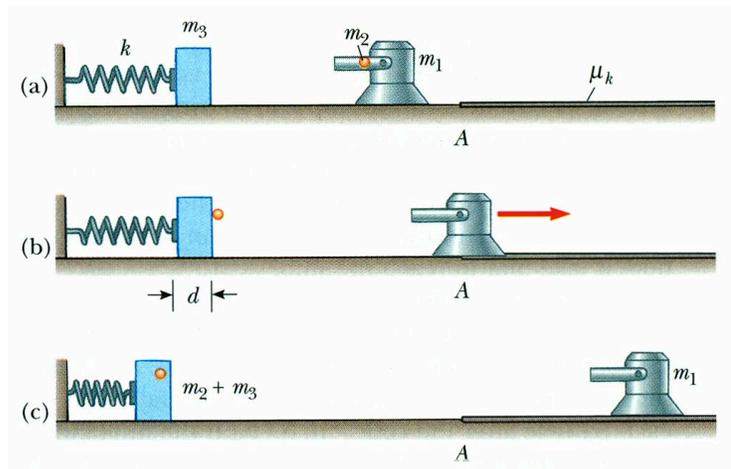
- Ce cahier contient **14 pages**. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez détacher la p. 14 pour vos calculs.
- L'examen contient **35 points** et vaut **35%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **17 questions** de difficulté variable. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée. Expliquez de façon claire et précise.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez complété avec d'autres formules. Vous perdrez 10/35 si vous ne retournez pas l'aide-mémoire avec l'examen, ou si vous y avez inclus des solutions.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables et graphiques permises). Tout autre appareil électronique ou système de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me demander !

Question 1. [4.0 points] Quantité de mouvement, énergie, force non-conservative

Un canon de masse $m_1 = 800$ kg *sans boulet* repose sur une surface horizontale sans friction. On le charge avec un boulet de masse $m_2 = 10.0$ kg. Le canon vise un bloc de masse $m_3 = 7990$ kg attaché à un ressort de constante $k = 4500$ N/m (figure (a)). Le canon tire le boulet, qui reste collé au bloc (figure (b)). Le système boulet-bloc (masse $m_2 + m_3$) comprime alors le ressort d'une distance $d = 0.500$ m (figure (c)).

- Quelle est la vitesse du système boulet-bloc juste après leur collision?
- Quelle était la vitesse du boulet m_2 juste avant de toucher le bloc m_3 ?
- Quelle est la vitesse de recul du canon m_1 ?
- Le canon m_1 se déplace vers la droite et passe le point A au-delà duquel il y a de la friction entre le canon et le sol ($\mu_k = 0.600$). Quelle distance le canon parcourt-il à droite du point A avant de s'arrêter?



Solution

A. $\frac{1}{2}(m_2 + m_3)v^2 = \frac{1}{2}kd^2$ donne $v = \sqrt{\frac{kd^2}{m_2 + m_3}} = 37.5$ cm/s

B. $(m_2 + m_3)v = m_2v_2, v_2 = \frac{(m_2 + m_3)v}{m_2} = 300$ m/s

C. $m_1v_1 = m_2v_2, v_1 = \frac{m_2v_2}{m_1} = 3.75$ m/s

D. $E_f = E_i + W_{NC}$ donne, pour le canon, $0 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 - \mu_k m_1 g x$ et $x = 1.19$ m

Question 2. [3.0 points] Centre de masse

Un homme (masse $m_h = 108$ kg) est debout, dos à la rive, au *centre* d'un canot uniforme (masse $m_c = 39.0$ kg) au repos. Le canot a une longueur de 4.40 m. Initialement, l'extrémité arrière du canot est à 22.0 m de la rive.

- A. À quelle distance de la rive se trouve le centre de masse du système canot-homme?
- B. Si l'homme marche en s'éloignant de la rive, et arrête à l'extrémité avant du canot, le centre du canot sera alors à quelle distance de la rive?



Solution

A. L'homme est au cm du canot, donc le cm total est à $22.0 + 2.20$ m = **24.2 m** de la rive

B. Le cm total de bouge pas ; il reste donc à 24.2 m.

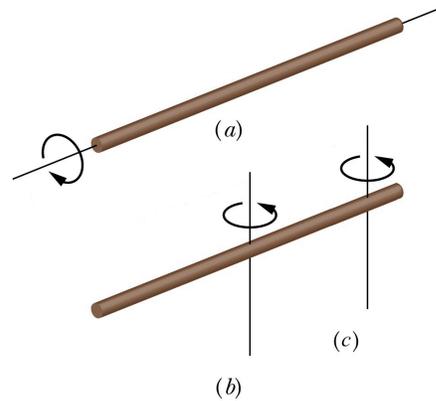
$$x_{cm} = \frac{m_h x_h + m_c x_c}{m_h + m_c} \text{ où } x_h = x_c + 2.20 \text{ puisque l'homme sera à } 2.20 \text{ m du cm du canot. On}$$

$$\text{a donc } x_{cm} = \frac{m_h (x_c + 2.20) + m_c x_c}{m_h + m_c}, \text{ ce qui donne } x_c = \frac{(m_h + m_c) x_{cm} - 2.20 m_c}{m_h + m_c} = \text{22.6 m}$$

Question 3. [1.0 point] Moment d'inertie

La figure ci-dessous illustre une tige et trois axes de rotation : (a), (b) et (c). Classez ces trois axes en ordre croissant du moment d'inertie correspondant.

$$I_a < I_b < I_c$$



Question 4. [1.0 point] Équilibre statique

Le 7 août 1974, le funambule français Philippe Petit a traversé un fil tendu entre les deux tours du World Trade Center, à New York. Pourquoi les funambules utilisent-ils une perche longue? (Indice : on désire une accélération angulaire presque nulle.)

Une perche plus longue a un plus grand moment d'inertie I . Vu que $\tau = I\alpha$, on a $\alpha = \tau/I$ qui est réduit pour une perche longue.



Question 5. [2.5 points] Énergie cinétique de rotation

Un cylindre plein (moment d'inertie $I = \frac{1}{2}MR^2$) dont le rayon vaut 10 cm et la masse vaut 12 kg, commence à rouler sans glisser sur une distance $L = 6.0$ m vers le bas d'un toit incliné d'un angle $\theta = 30^\circ$.

- A. Quelle est la vitesse angulaire du cylindre au moment de quitter le toit?
B. Combien de révolutions le cylindre va-t-il effectuer pendant 0.50 s après avoir quitté le toit? (Le cylindre touchera le sol plus tard, 0.74 s après avoir quitté le toit.)

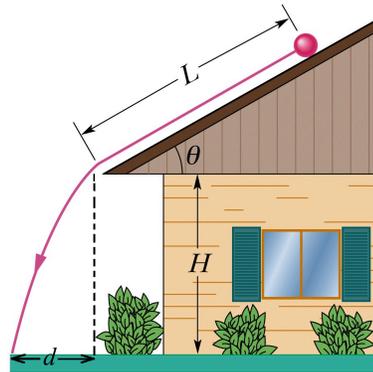
Solution

$$A. MgL \sin \theta = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2}MR^2 \right) \left(\frac{v}{R} \right)^2$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gL \sin \theta} = 6.26 \text{ m/s. Donc la vitesse}$$

$$\text{angulaire vaut } \omega = \frac{v}{R} = 62.6 \text{ rad/s}$$

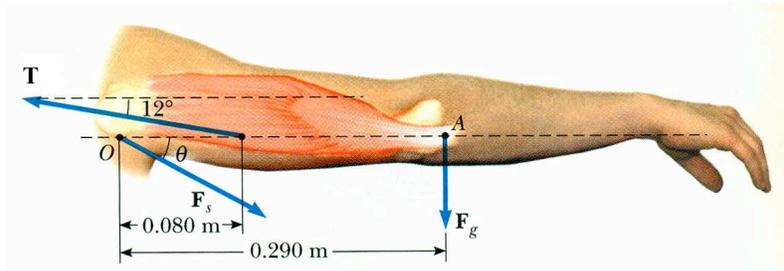
$$B. \theta = \omega t = (62.6 \text{ rad/s})(0.50 \text{ s}) / (2\pi \text{ rad}) = 4.98 \text{ tours}$$



Question 6. [3.0 points] Équilibre statique

Le poids total du bras ci-dessous vaut $F_g = 41.5 \text{ N}$. Cette force agit sur le centre de gravité, au point A , à 0.290 m de l'axe de rotation O . Le muscle du deltoïde exerce une force de tension T à 0.080 m du point O , à 12° par rapport à l'horizontale. L'épaule exerce une force F_S directement à l'axe de rotation O .

- A. Quelle est la grandeur de la tension T ?
- B. Quelle est la grandeur de la force par l'épaule F_S ?
- C. Quel est l'angle entre la force F_S et l'horizontale?



Solution

- A. $\sum \tau = 0.080T \sin 12 - 0.290F_g = 0$ donne $T = 724 \text{ N}$
- B. $\sum F_x = F_S \cos \theta - T \cos 12 = 0$ donne $F_S \cos \theta = 708 \text{ N}$
 $\sum F_y = -F_S \sin \theta + T \sin 12 - F_g = 0$ donne $F_S \sin \theta = 109 \text{ N}$
ce qui donne $F_S = 716 \text{ N}$
- C. $\theta = 8.75^\circ$

Question 7. [3.5 points] Dynamique de rotation

Une poulie de masse 5.00 kg et de rayon 0.600 m est utilisée pour faire descendre une chaudière de masse 3.00 kg dans un puits. La corde ne glisse pas sur la poulie. La chaudière part du repos et tombe pendant 4.00 secondes.

- A. Quelle est l'accélération linéaire de la chaudière?
- B. Quelle est l'accélération angulaire de la poulie?
- C. Après 4.00 s, de quelle distance la chaudière est tombée?
- D. Pendant ce temps, combien de tours la poulie a-t-elle effectué?

Solution

A. Loi de Newton - chaudière

$$mg - T = ma$$

Loi de Newton - poulie

$$TR = \frac{1}{2}MR^2\alpha = \frac{1}{2}MR^2 \frac{a}{R} \text{ donne } Ma = 2T \text{ que}$$

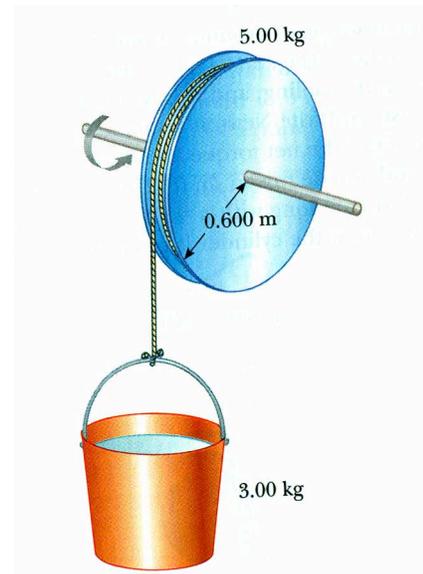
l'on remplace dans la première équation pour obtenir

$$mg - \frac{1}{2}Ma = ma \text{ et } a = \frac{2mg}{M + 2m} = 5.35 \text{ m/s}^2$$

$$B. \alpha = \frac{a}{R} = 8.92 \text{ rad/s}^2$$

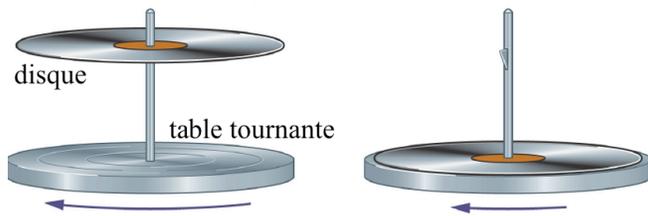
$$C. y = \frac{1}{2}at^2 = 42.8 \text{ m}$$

$$D. \theta = \frac{1}{2}\alpha t^2 = 71.36 \text{ rad}/2\pi = 11.4 \text{ tours}$$



Question 8. [1.0 point] Moment cinétique

Avant les années 1990, on écoutait de la musique au moyen de disques en vinyle sur des tables tournantes. La figure de gauche illustre une table tournante de moment d'inertie $3.00 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ qui tourne à vitesse angulaire de 3.46 rad/s , et au-dessus de laquelle repose un disque au repos de moment d'inertie $2.00 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Si le disque tombe sur la table tournante, et que l'ensemble tourne alors à la même vitesse angulaire ω , quelle est la valeur finale de ω ?

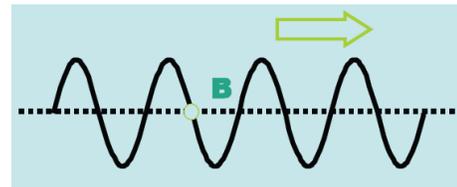


Solution $\omega = \frac{I_i \omega_i}{I_f} = \frac{3 \times 10^{-3} (3.46)}{5 \times 10^{-3}} = 2.08 \text{ rad/s}$

Question 9. [1.0 point] Ondes sur une corde

La figure ci-dessous illustre une onde se déplaçant vers la droite. Au moment où cette image a été prise, quelle est la direction de la vitesse du point **B** sur la corde?

Vers le haut



Question 10. [1.0 point] Vitesse d'une onde sur une corde

Une corde réelle (c.-à-d. de masse non négligeable) est suspendue verticalement au plafond. Si on agite le bas de cette corde, une onde se déplacera vers le haut. Au fur et à mesure que cette onde monte, est-ce que sa vitesse va diminuer, augmenter ou demeurer constante?

La tension augmente en montant, donc la vitesse va augmenter.

Question 11. [2.5 points] Oscillateur harmonique simple

Un bloc attaché à un ressort décrit un mouvement harmonique simple de période égale à 0.460 seconde avec une amplitude de 1.80 cm.

- A. Quelle est la vitesse maximale v_{\max} du bloc?
- B. Quelle est l'accélération maximale a_{\max} du bloc?
- C. Quelle est l'accélération du bloc quand sa position est $x = 1.20$ cm?
- D. Quelle est la vitesse de ce bloc à $x = 1.20$ cm?

Solution

A. $v_m = \omega A = \frac{2\pi}{T} A = 24.6 \text{ cm/s}$

B. $a_m = \omega^2 A = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 A = 3.36 \text{ m/s}^2$

C. $a = -\omega^2 x = -2.24 \text{ m/s}^2$

D. $A^2 = x^2 + \left(\frac{v}{\omega}\right)^2$ donne $v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2} = \pm 18.3 \text{ cm/s}$

Question 12. [2.0 points] Ondes stationnaires sur une corde

Une corde de longueur égale à 87 cm a une masse totale de 18 grammes. On lui applique une tension de 53 N, et elle vibre sur toute sa longueur.

- A. Quelle est la fréquence fondamentale?
- B. Quelle est la longueur d'onde du mode fondamental?
- C. Si on applique une fréquence de 87.3 Hz, est-ce qu'une onde stationnaire est générée? Si oui, avec combien de ventres?

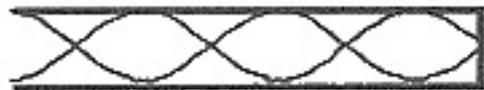
Solution

- A. $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ et $f_1 = \frac{v}{2L}$ donnent $f_1 = 29.1$ Hz
- B. $\lambda_1 = 2L = 1.74$ m
- C. Oui, car c'est 3 fois f_1 . Trois ventres.

Question 13. [2.0 points] Ondes stationnaires dans un tuyau

La figure ci-dessous illustre une onde stationnaire sonore dans un tuyau fermé à l'extrémité droite. La longueur du tuyau est 84.0 cm

- A. Est-ce que l'onde illustrée représente la variation de pression ou le déplacement des molécules?
- B. Si la vitesse du son dans le tuyau vaut 340 m/s, quelle est la fréquence de résonance du mode illustré ci-dessous?
- C. Quelle est la fréquence f_1 du mode fondamental?



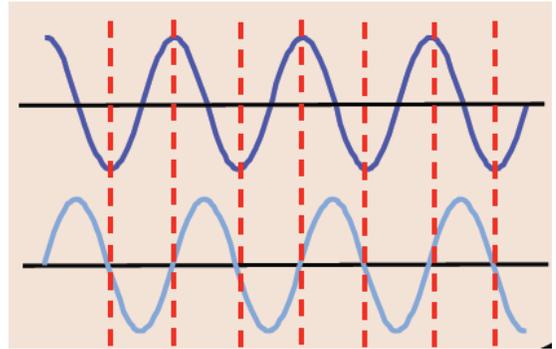
Solution

- A. Il y a un noeud à l'extrémité fermée ; il s'agit donc du déplacement
- B. $f_7 = 7f_1 = \frac{7v}{4L} = 708$ Hz
- C. $f_1 = \frac{1}{7}f_7 = 101$ Hz

Question 14. [1.0 point] Superposition d'ondes

Considérez l'image des deux ondes ci-dessous, à un instant donné.

- A. Sont-elles en phase? Si non, elles sont déphasées de combien, en radians?
- B. Leur somme conduirait à de l'interférence constructive, destructive ou une situation intermédiaire?



A. Non, déphasées de $\pi/2$ radians

B. Situation intermédiaire

Question 15. [1.0 point] Interférence de Young

De la lumière de longueur d'onde λ passe par deux fentes minces séparées d'une distance d . On observe un patron d'interférence sur un écran éloigné. Si on veut que les franges observées sur l'écran soient plus éloignées les unes des autres, de quelle façon faut-il modifier

- A. la distance d entre les fentes?
- B. la longueur d'onde λ ?

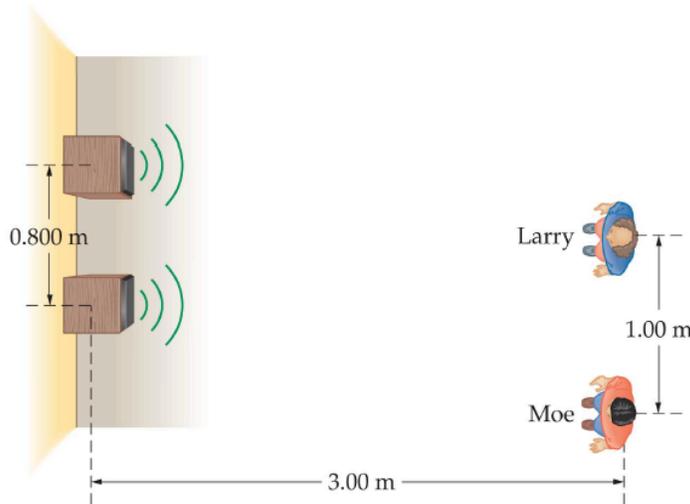
A. $d \sin \theta = m\lambda$, $\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}$ montre que pour accroître l'angle il faut réduire d .

B. La même relation montre qu'il faut augmenter λ .

Question 16. [3.5 points] Superposition et interférence

Deux haut-parleurs séparés de 0.800 m émettent à la même fréquence mais sont déphasés de 180° (c.-à-d. un demi-cycle). Larry se trouve sur une perpendiculaire qui passe par le milieu des haut-parleurs. Moe est à 1.00 m à la gauche de Larry. Le son a une vitesse de 343 m/s.

- A. Est-ce que Larry entendra un son fort ou un son faible?
B. Quelles sont les deux fréquences les plus basses telles que Moe n'entendra presque rien?



Solution

A. Un son faible, à cause du déphasage.

B. Les plus basses fréquences correspondent aux plus grandes longueurs d'onde, qui sont obtenues de $\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = m\lambda = \lambda, 2\lambda$ (à cause du déphasage)

De la figure, on voit que $\ell_1 = \sqrt{3^2 + 0.6^2}$, $\ell_2 = \sqrt{3^2 + 1.4^2}$ et donc, $\Delta\ell = 0.251177$ m

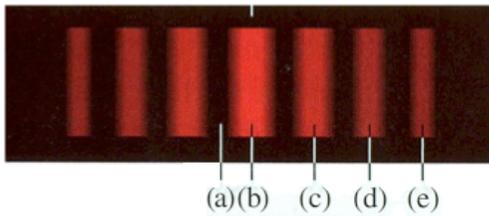
La plus basse fréquence est donc $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\Delta\ell} = 1370$ Hz. La fréquence suivante est

obtenue avec $\Delta\ell = 2\lambda$, ce qui donne $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2v}{\Delta\ell} = 2730$ Hz

Question 17. [2.0 points] Interférence de Young

La figure d'interférence ci-dessous résulte d'une expérience de Young pour laquelle un écran est à 3.00 m des deux fentes, avec de la lumière de longueur d'onde égale à 632.8 nm. La frange (b) est le maximum central. Si la distance entre les deux fentes est de 0.660 mm,

- A. Quelle est la distance entre les franges (a) et (b)?
- B. Quelle est la distance entre les franges (b) et (d)?
- C. Quelle est la distance entre les franges (b) et (e)?



Solution

$$d \sin \theta \cong d \frac{y}{L} = m\lambda \text{ (franges brillantes) ou } \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \text{ (franges sombres)}$$

A. 1^{ère} frange sombre : $d \frac{y}{L} = \frac{1}{2}\lambda$ donne $y = \frac{L\lambda}{2d} = 1.44 \text{ mm}$

B. 2^{ème} frange brillante : $d \frac{y}{L} = 2\lambda$ donne $y = \frac{2L\lambda}{d} = 5.75 \text{ mm}$

C. 3^{ème} frange brillante : $d \frac{y}{L} = 3\lambda$ donne $y = \frac{3L\lambda}{d} = 8.63 \text{ mm}$

Page pour vos calculs

**Joyeuses Fêtes !
Marc de Montigny**