Faculté Saint-Jean | **automne 2022**
PHYSQ 124 LEC A1 - Particules et ondes | **examen final**

Nom $\boxed{\text{SOLUTIONS}}$

Numéro ______________________________

Professeur Marc de Montigny
Date jeudi 15 décembre 2022, de 14 h à 17 h
Lieu gymnase de la FSJ, rangée 3

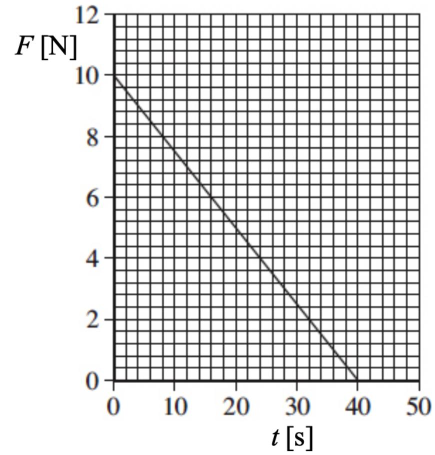
INSTRUCTIONS

- Ce cahier contient **10 pages**, incluant celle-ci et la page vide à la fin. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs; je ne le corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- L'examen contient **17 questions**, dont 10 problèmes et 7 questions à choix multiple. Vous pouvez obtenir une fraction des points pour les problèmes, même si des réponses finales sont erronées, mais pas de fraction de point pour les questions à choix multiple.
- L'examen contient **35 points** et vaut **35%** de la note finale du cours.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété. Vous perdrez 7/35 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas votre aide-mémoire avec l'examen.
- Matériel permis: crayon ou stylo, aide-mémoire, calculatrice (programmable ou graphique permise aussi). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

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

Question 1. Théorème de l'impulsion [1.5 point]

Le graphique montre la force nette positive (vers la droite) agissant sur un bloc en fonction du temps. Le bloc a une masse de 300 g et, à $t = 0$ s, il se déplace à -200 m/s (vers la gauche). Quelle est la vitesse du bloc après 32 secondes?



Solutions

On applique $mv_f = mv_i + I$ avec $v_i = -200$ m/s et $I = \frac{1}{2}(40)(10) - \frac{1}{2}(8)(2) = 192$, on calcule

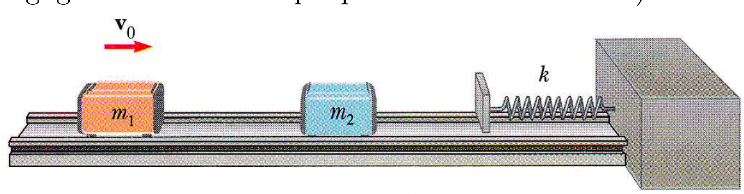
$$v_f = v_i + \frac{I}{m} = -200 + \frac{192}{0.300} = \boxed{440 \text{ m/s}}$$

Question 2. Collisions et ressort [2.5 points]

Deux chariots, de masses $m_1 = 250$ g (à gauche) et $m_2 = 150$ g (à droite), sont placés sur une piste horizontale sans friction. Un ressort léger de constante $k = 50.0$ N/m est attaché à l'extrémité droite, tel qu'illustré. Le chariot m_1 a une vitesse initiale $v_0 = 3.00$ m/s vers la droite, et le chariot m_2 est initialement au repos. Si, après la collision, le bloc m_1 a une vitesse $v = -1.00$ m/s *vers la gauche*, trouvez

(a) la vitesse du chariot m_2 juste après la première collision, et

(b) la compression maximale du ressort. (Négligez la masse de la plaque attachée au ressort.)



Solutions

(a) On résout $m_1 v_0 = m_1(3.00) = m_1(-1) + m_2 v$, qui donne $\boxed{v = 6.67 \text{ m/s}}$

(b) De la conservation d'énergie entre le contact avec le ressort et la compression maximale, on calcule

$$\frac{1}{2}m_2 v^2 = \frac{1}{2}kx^2 \to x = \sqrt{\frac{m_2}{k}}v = \sqrt{\frac{0.15}{50}}(6.6666667) = \boxed{36.5 \text{ cm}}$$

... suite p. 3

Question 3. Cinématique de rotation [1.5 point. Pas de fraction de point.]

À $t = 0$ s, un objet au repos commence à tourner avec une accélération angulaire α constante. Si cet objet tourne d'un angle θ pendant le temps t, de quel angle aura-t-il tourné pendant le temps $\frac{1}{4}t$? (Encerclez la bonne réponse.)

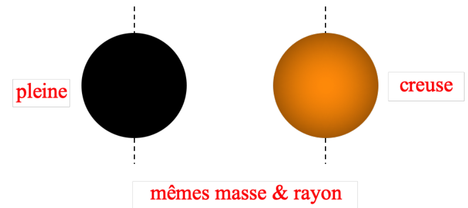
A. $\frac{1}{16}\theta$ B. $\frac{1}{4}\theta$ C. $\frac{1}{2}\theta$ D. 4θ E. 16θ

Réponse: A car $\theta = \frac{1}{2}\alpha t^2$, dépendance quadratique du temps.

Question 4. Moment d'inertie [1.5 point. Pas de fraction de point.]

Deux sphères ont le même rayon et des masses égales. L'une est faite d'aluminium, pleine et uniforme, et l'autre est une coquille creuse en or. Quelle sphère a le plus grand moment d'inertie I autour d'un axe passant par son centre? (Encerclez la bonne réponse.)

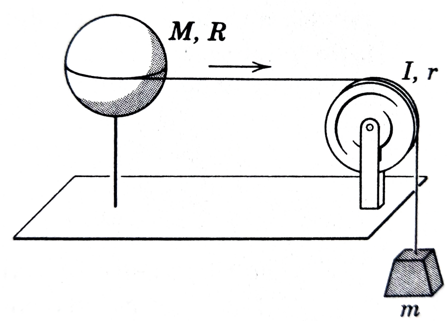
A. sphère pleine B. sphère creuse C. égales
D. manque d'information



Réponse: B car la même masse est distribuée plus loin de l'axe de rotation.

Question 5. Énergie de rotation [3.0 points]

Une sphère solide homogène de $M = 300$ g et de rayon $R = 4.50$ cm tourne autour d'un axe vertical sans friction. Autour de l'équateur de la sphère, on enroule un fil léger, qui ne glisse pas sur la sphère, et qu'on relie à un bloc de $m = 460$ g suspendu par l'intermédiaire d'une poulie de rayon $r = 2.00$ cm et $I = 10^{-5}$ kg$\cdot$ m^2. Quelle vitesse aura la masse ayant tombé d'une hauteur $h = 28.0$ cm à partir du repos? (Pour la sphère, $I_S = \frac{2}{5}MR^2$)



Solution

Par conservation de l'énergie, $\Delta K_t + \Delta K_r + \Delta U_g = 0$

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega_p^2 + \frac{1}{2}I_S\omega_S^2 - mgh = 0 \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\frac{v^2}{r^2} + \frac{1}{2}\frac{2}{5}MR^2\frac{v^2}{R^2} = \left(\frac{m}{2} + \frac{I}{2r^2} + \frac{M}{5}\right)v^2$$

et en isolant v

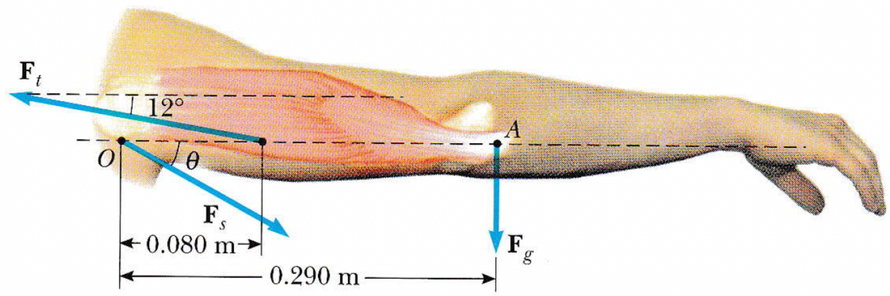
$$v = \sqrt{\frac{mgh}{\frac{m}{2} + \frac{I}{2r^2} + \frac{M}{5}}} = \sqrt{\frac{10mghr^2}{2Mr^2 + 5I + 5mr^2}} = \sqrt{\frac{10(0.46)(9.81)(0.28)(0.02)^2}{2(0.3)(0.02)^2 + 5(10^{-5}) + 5(0.46)(0.02)^2}} = \boxed{2.04 \text{ m/s}}$$

... suite p. 4

Question 6. Équilibre statique [3.0 points]

Le bras ci-dessous a un poids de 41.5 N exercé au point A. D'autres informations sont à la figure. Afin de tenir le bras dans la position illustrée,

(a) quelle est la grandeur de la tension $\mathbf{F}_t$ par le muscle du deltoïde sur le bras?
(b) Quelle est la grandeur de la force $\mathbf{F}_s$ de l'épaule sur l'humérus (l'os du haut du bras)?
(c) Quel est l'angle θ entre l'horizontale et la force $\mathbf{F}_s$ de l'épaule sur l'humérus?



Solutions

(a) Le moment de force net et les forces nettes horizontale et verticale sont égales à zéro. Avec le pivot à O, on a

$$\sum \tau = F_t(0.08)\sin(12°) - F_g(0.29) = 0 \rightarrow F_t = \frac{(41.5)(0.29)}{(0.08)\sin(12°)} = 723.5644 \approx \boxed{724 \text{ N}}$$

(b) F_s est obtenu des équations

$$\sum F_x = F_s\cos\theta - F_t\cos(12°) = 0 \rightarrow F_s\cos\theta = F_t\cos(12°),$$
$$\sum F_y = F_t\sin(12°) - F_s\sin\theta - F_g = 0 \rightarrow F_s\sin\theta = F_t\sin(12°) - F_g,$$

d'où

$$F_s = \sqrt{(F_t\cos(12°))^2 + (F_t\sin(12°) - F_g)^2} = \sqrt{((723.56)\cos(12°))^2 + ((723.56)\sin(12°) - 41.5)^2} \approx \boxed{716 \text{ N}}$$

(c) Les deux équations précédentes donnent

$$\tan\theta = \frac{F_s\sin\theta}{F_s\cos\theta} = \frac{(723.56)\sin(12°) - 41.5}{(723.56)\cos(12°)} \rightarrow \boxed{\theta = 8.75°}$$

... suite p. 5

Question 7. Dynamique de rotation [3.0 points]

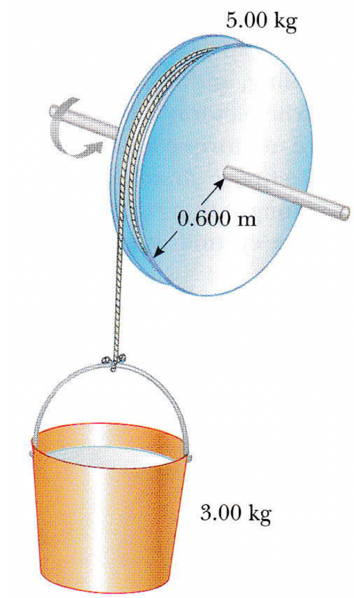
La figure de droite montre une poulie de 5.00 kg qui a un rayon de 0.600 m, utilisée pour baisser une chaudière de 3.00 kg dans un puits. Pour la poulie, prenez $I = \frac{1}{2}MR^2$. La chaudière part du repos et tombe pendant 4.00 s.

(a) Quelle est l'accélération a de la chaudière?

(b) Quelle est l'accélération angulaire α de la poulie?

(c) Quelle est la tension dans la corde?

(d) Sur quelle distance la chaudière chute-t-elle pendant ces 4.00 s?



Solutions

(a) Avec $a = \alpha R$, on applique les équations de Newton à la poulie,

$$\sum \tau = TR = I\alpha = \frac{1}{2}MR^2\frac{a}{R} \rightarrow T = \frac{1}{2}Ma$$

et à la chaudière,

$$mg - T = ma \rightarrow mg - \frac{1}{2}Ma = ma \rightarrow a = \frac{mg}{m + M/2} = \frac{(3.00)(9.81)}{3.00 + 5.00/2} = \boxed{5.35 \text{ m/s}^2}$$

(b) $\alpha = \frac{a}{R} = \frac{5.35}{0.6} = \boxed{8.92 \text{ rad/s}^2}$

(c) $T = \frac{1}{2}Ma = \frac{1}{2}(5.00)(5.35) = \boxed{13.4 \text{ N}}$

(d) $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(5.35)(4)^2 = \boxed{42.8 \text{ m}}$

... suite p. 6

Question 8. Conservation du moment cinétique [2.5 points]

Un manège, vu comme un cylindre de masse $M = 25.0$ kg, de rayon $R = 2.00$ m et de moment d'inertie $I = \frac{1}{2}MR^2$, tourne à un taux de 0.200 tour/s, initialement, avec une personne de 80.0 kg debout à un point à 2.00 m de l'axe de rotation. La personne se met à marcher vers l'axe.

(a) Quelle est la nouvelle vitesse angulaire, une fois la personne rendue à 80.0 cm de l'axe?
(b) Quel est le changement de l'énergie cinétique dû au déplacement de la personne?

Solutions

(a) Le moment d'inertie total initial du manège M et de la personne P vaut

$$I_i = I_M + I_P = \frac{1}{2}MR^2 + mr^2 = \frac{1}{2}(25)(2)^2 + (80)(2)^2 = 370 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

et le moment d'inertie final est

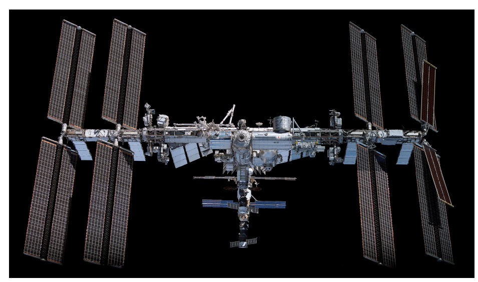
$$I_f = \frac{1}{2}(25)(2)^2 + (80)(0.8)^2 = 101.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

La conservation du moment cinétique, $I_i\omega_i = I_f\omega_f$ donne $\omega_f = \frac{I_i}{I_f}\omega_i = \frac{370}{101.2}(0.2) = \boxed{0.731 \text{ tour/s}}$
(b) Le changement d'énergie cinétique est donné par (avec ω en rad/s)

$$\Delta K = K_f - K_i = \frac{1}{2}I_f\omega_f^2 - \frac{1}{2}I_i\omega_i^2 = \frac{1}{2}(101.2)(2\pi(0.731))^2 - \frac{1}{2}(370)(2\pi(0.200))^2 = \boxed{775 \text{ joules}}$$

Question 9. Loi de gravitation universelle [2.0 points]

La Station spatiale internationale vole à une altitude d'environ 418 km au dessus de la surface terrestre.



(a) En utilisant la loi de la gravitation universelle, et supposant une trajectoire circulaire, quelle est la vitesse (en m/s) de la Station spatiale sur son orbite?
(b) Quelle est la période de la Station spatiale autour de son orbite, en minutes?

Solutions

(a) De $\frac{GMm}{r^2} = ma_{cp} = \frac{mv^2}{r}$, on calcule

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.97 \times 10^{24})}{(6370 + 418) \times 10^3}} = \boxed{7660 \text{ m/s}}$$

(b) Comme la vitesse est donnée par $v = \frac{2\pi r}{T}$, on trouve la période

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(6370 + 418) \times 10^3}{7660} = 5569 \text{ s} \approx \boxed{93 \text{ min}}$$

... suite p. 7

Question 10. Oscillateur harmonique [1.5 point. Pas de fraction de point.]

Une masse de 400 g, suspendue à un ressort de constante $k = 80$ N/m, effectue un mouvement harmonique simple. Quelle est la *grandeur de la vitesse* de cette masse à l'instant où elle passe par sa position d'équilibre, sachant que son déplacement maximal vaut 10 cm? (Encerclez la réponse la plus proche de la valeur correcte.)

A. zéro   B. 0.10 m/s   C. 1.4 m/s   D. 3.4 m/s   E. 20 m/s

$\boxed{\text{Réponse: C}}$ car $v_{max} = \omega A = \sqrt{\frac{k}{m}}A = \sqrt{\frac{80}{0.4}}(0.1) = 1.4$ m/s

Question 11. Énergie dans un oscillateur [3.0 points]

Un oscillateur harmonique simple d'amplitude A a une énergie totale E.

(a) Lorsque la position est $A/4$, quelle fraction de E est de l'énergie cinétique?
(b) Lorsque la position est $A/4$, quelle fraction de E est de l'énergie potentielle?
(c) À quelle(s) position(s) –en termes de A– l'énergie cinétique vaut-elle la moitié de l'énergie potentielle?
(d) Y a-t-il des positions où l'énergie cinétique est supérieure à $U_{\max} = \frac{1}{2}kA^2$?

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) À $x = \frac{A}{4}$, et comme $E = \frac{1}{2}kA^2$, on a

$$K = E - \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 - \frac{1}{2}k\frac{A^2}{4^2} = \frac{1}{2}kA^2\left(1 - \frac{1}{16}\right) = \frac{15}{16}\frac{1}{2}kA^2 = \boxed{\frac{15}{16}E}$$

(b) Comme $E = K + U$, on obient

$$U = E - K = E - \frac{15}{16}E = \boxed{\frac{1}{16}E}$$

(c) De $E = K + U$ et $E = \frac{1}{2}kA^2$, avec $U = \frac{1}{2}kx^2$, on calcule

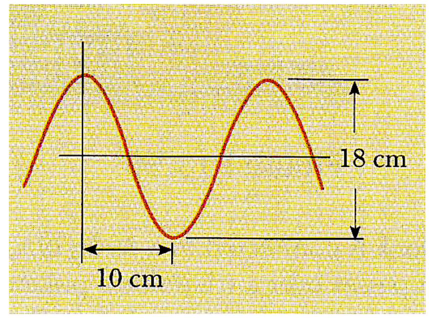
$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}U + U = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}kx^2\right) + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{3}{4}kx^2 \to \boxed{x = \pm\sqrt{\frac{2}{3}}A = \pm 0.816A}$$

(d) $\boxed{\text{Non}}$ car K ne peut pas dépasser $U_{\max} = E$.

... suite p. 8

Question 12. Ondes [2.0 points]

La figure montre une onde qui se déplace horizontalement. Elle a une fréquence de 25.0 Hz. Calculez



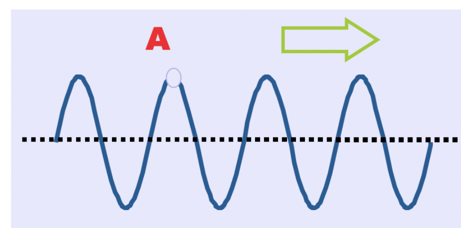
(a) son amplitude,
(b) sa longueur d'onde,
(c) sa période, et
(d) sa vitesse.

$\boxed{\text{Réponses}}$

(a) Du graphique, on voit que $\boxed{A = 9.0 \text{ cm}}$
(b) Du graphique, la longueur d'onde est le double de la distance (10 cm) entre un creux et une crête, donc $\boxed{\lambda = 20 \text{ cm}}$
(c) $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{25} \rightarrow \boxed{T = 0.04 \text{ s}}$
(d) $\boxed{v = \lambda f = (0.20)(25) = 5.0 \text{ m/s}}$

Question 13. Ondes sur une corde [1.5 point. Pas de fraction de point.]

Une onde sur une corde se déplace vers la droite, comme ci-contre. Quelle est la direction du vecteur *accélération* du point A? (Encerclez la bonne réponse.)



A. 

B. 

C. 

D. 

E. aucune des ces réponses

$\boxed{\text{Réponse: C}}$ car $ma = -kx$, donc **a** est opposé à **x**.

Question 14. Ondes sonores [2.0 points]

Quand on inspire de l'hélium, notre voix devient plus aigüe, à la *Donald Duck*. Expliquez ce phénomène, en considérant que la longueur d'onde λ est fixée par la longueur de vos cordes vocales.

$\boxed{\text{Réponse: Dans l'hélium, } v \text{ croît, de sorte que } f = \frac{v}{\lambda} \text{ croît aussi.}}$

... suite p. 9

Question 15. Intensité sonore [1.5 point. Pas de fraction de point.]

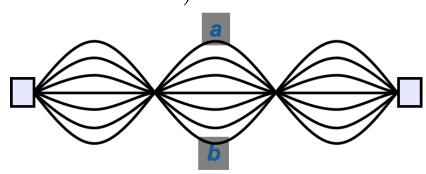
Une radio a un niveau d'intensité sonore $\beta_R = 40$ dB. Un trafic routier très fréquenté a un niveau d'intensité $\beta_T = 70$ dB. Quel est le rapport $\frac{I_T}{I_R}$ de l'intensité du trafic routier sur l'intensité de la radio? (Encerclez la meilleure réponse.)

A. le même
B. 1.75
C. 30
D. 100
E. 1000

$\boxed{\text{Réponse: E}}$ car $\frac{I_T}{I_R} = \frac{I_0 10^{\beta_T/10}}{I_0 10^{\beta_R/10}} = 10^{\beta_T/10 - \beta_R/10} = 10^{7-4} = 10^3$

Question 16. Ondes stationnaires [1.5 point. Pas de fraction de point.]

Une corde est serrée à ses deux extrémités et pincée de sorte qu'elle vibre dans le mode montré ci-dessous. Sa longueur est 3.0 m et sa masse, 2.5 g. Si la tension vaut 0.50 N, quelle est la fréquence qui va générer ce mode? (Encerclez la réponse la plus proche de la valeur correcte.)



A. 0.13 Hz
B. 0.39 Hz
C. 4.0 Hz
D. 8.0 Hz
E. 12 Hz

$\boxed{\text{Réponse: E}}$ car

$$f_3 = \frac{3v}{2L} = \frac{3}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{3}{2L}\sqrt{\frac{F}{m/L}} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{F}{mL}} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{(0.50)}{(0.0025)(3)}} = 12.2 \text{ Hz}$$

Question 17. Interférence à deux fentes de Young [1.5 point. Pas de fraction de point.]

Si, dans une expérience d'interférence à deux fentes de Young, on double la distance entre les deux fentes, alors la largeur des franges (Encerclez la bonne réponse)

A. doublera
B. sera réduite de moitié
C. sera quatre fois plus grande
D. sera divisée par quatre
E. restera la même.

$\boxed{\text{Réponse: B}}$ car $d\sin\theta = d\tan\theta = d\frac{y}{L} = m\lambda \rightarrow y \propto \frac{1}{d}$

... p. 10 pour vos calculs

page vide pour calculs

Bonne chance et passez d'excellentes vacances!