Faculté Saint-Jean **automne 2021**
PHYSQ 124 LEC A1 - Particules et ondes **examen final**

Nom SOLUTIONS

Numéro ______________________________

Professeur Marc de Montigny
Date jeudi 16 décembre 2021, de 14 h à 17 h
Local gymnase de la Faculté St Jean

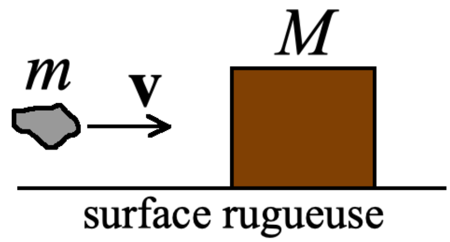
INSTRUCTIONS

- Cet examen compte **8 pages**. 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 vaut **35 points** et compte pour **35%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **16 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points pour 10 questions même si les réponses finales sont erronées. Pour les 6 autres questions ou sous-questions, il n'y a pas de points partiels.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez imprimé et 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: aide-mémoire, crayon ou stylo, calculatrice (programmable ou graphique aussi permise). 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. Collision et force non-conservative [2.5 points]

Une boule de pâte de masse $m = 70$ g frappe, à vitesse $v = 1.3$ m/s, un bloc de masse $M = 240$ g initialement au repos. Les deux restent collés après la collision et glissent ensemble sur une surface horizontale rugueuse avec un coefficient de friction cinétique $\mu_k = 0.12$.



(a) Quelle est la vitesse de l'ensemble boule-bloc immédiatement après la collision?
(b) Quelle distance l'ensemble boule-bloc va-t-il parcourir avant de s'arrêter?

Solutions

(a) De la conservation de quantité de mouvement, nous avons, juste après la collision,

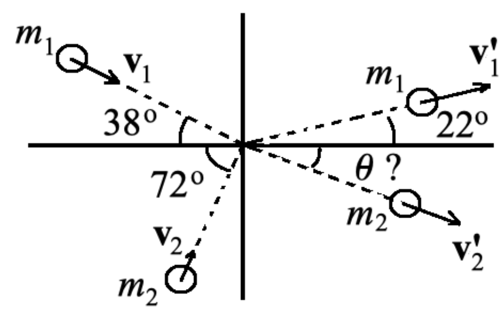
$$mv = (m+M)v_f \rightarrow v_f = \frac{m}{m+M}v = \frac{0.070}{(0.070+0.240)}1.3 = 0.2935 \text{ m/s} \approx \boxed{29 \text{ cm/s}}$$

(b) Entre la collision et l'arrêt, le théorème de l'énergie avec W_{NC} nous donne

$$E_f = E_i + W_{NC} \rightarrow 0 = \frac{1}{2}(m+M)v_f^2 - \mu_k(m+M)gd \rightarrow d = \frac{v_f^2}{2\mu_k g} = \frac{0.2935^2}{2(0.12)(9.81)} = 0.0366 \text{ m} \approx \boxed{3.7 \text{ cm}}$$

Question 2. Collision à deux dimensions [2.5 points]

La figure de droite montre une balle de masse $m_1 = 2.4$ kg et de vitesse $v_1 = 8.25$ m/s à 38° de l'axe x, qui frappe une autre balle de masse $m_2 = 6.7$ kg et de vitesse $v_2 = 5.30$ m/s à 72° de l'axe x. Si, après la collision, la balle m_1 se déplace à $v_1' = 7.25$ m/s à 22° de l'axe x, quelles sont *la grandeur* v_2' *et la direction* θ de la balle m_2 après la collision? (Indice: $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$)



Solutions

Composantes x : $m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = m_1v_{1x}' + m_2'v_{2x}$ devient

$$(2.4)(8.25)\cos(38°) + (6.7)(5.3)\cos(72°) = (2.4)(7.25)\cos(22°) + (6.7)v\cos\theta$$

Composantes y :

$$-(2.4)(8.25)\sin(38°) + (6.7)(5.3)\sin(72°) = (2.4)(7.25)\sin(22°) - (6.7)v\sin\theta$$

En calculant les valeurs numériques, isolant $v\cos\theta$ et $v\sin\theta$, prenant le carré de chacun et sommant, on trouve $\boxed{v = 2.74 \text{ m/s}}$ et en remplaçant cette valeur dans une des deux équations, on obtient $\boxed{\theta = -55.3°\text{, donc au-dessus de l'axe } x}$

[suite à la p. 3...]

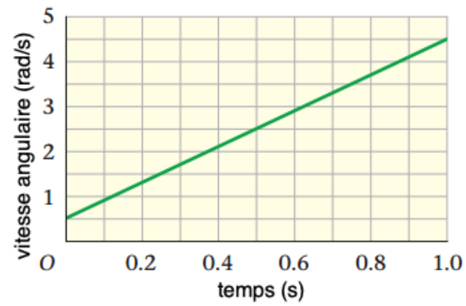
Question 3. Cinématique de rotation à accélération constante [2.5 points]

Le graphique ci-contre montre la vitesse angulaire ω (en rad/s) en fonction du temps d'un cylindre qui tourne sur lui-même. Déterminez

(a) la vitesse angulaire approximative du cylindre à $t = 0.5$ s,

(b) l'accélération angulaire α du cylindre à $t = 0.5$ s,

(c) combien de tours le cylindre a-t-il complété entre 0.0 et 1.0 s.



Solutions

(a) Directement du graphique, on voit que $\boxed{\omega = 2.5 \text{ rad/s}}$

(b) Tout le long de la droite, α est donnée par la pente:

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t_1 - t_0} = \frac{4.5 - 0.5}{1.0 - 0.0} = \boxed{4.0 \text{ rad/s}^2}$$

(c) On peut calculer l'aire sous la courbe: $1 \times 0.5 + \frac{1}{2}(1.0)(4) = 2.5$ rad, ou utiliser l'équation

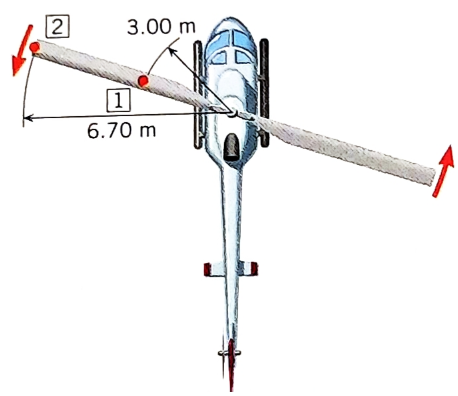
$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + (0.5)(1) + \frac{1}{2}(4.0)(1)^2 = 2.5 \text{ rad} \times \frac{1 \text{ tour}}{2\pi \text{ rad}} = \boxed{0.4 \text{ tour}}$$

Question 4. Variables angulaires et variables linéaires [2.0 points]

La figure ci-contre montre la pale (en anglais, blade) d'un hélicoptère qui tourne à une vitesse angulaire $\omega = 40.84$ rad/s et une accélération angulaire $\alpha = 8.168$ rad/s^2. Pour les points 1 et 2 de la figure, quelles sont

(a) les vitesses tangentielles (en m/s) aux points 1 et 2, et

(b) les accélérations tangentielles (en m/s^2) aux points 1 et 2 ?



Solutions

(a) On applique $v = \omega r$ pour chaque point:

$$v_1 = \omega r_1 = (40.84)(3) = \boxed{122 \text{ m/s}}, \quad v_2 = \omega r_2 = (40.84)(6.7) = \boxed{273 \text{ m/s}}$$

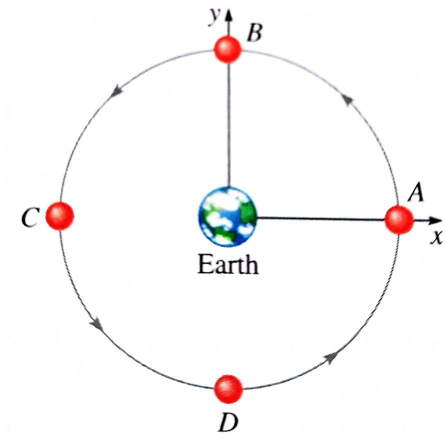
(b) On applique $a = \alpha r$ pour chaque point:

$$a_1 = \alpha r_1 = (8.168)(3) = \boxed{24.5 \text{ m/s}^2}, \quad a_2 = \alpha r_2 = (8.168)(6.7) = \boxed{54.7 \text{ m/s}^2}$$

[suite à la p. 4...]

Question 5. Cinématique de rotation [3.0 points]

Un satellite orbite autour de la Terre avec une vitesse angulaire constante. À la figure de droite, le satellite se déplace dans le sens antihoraire (ABCDA). Voici les choix de réponses pour les trois questions qui suivent:



1. direction $+x$
2. direction $+y$
3. direction $-x$
4. direction $-y$
5. à 45° au-dessus de $+x$
6. à 45° sous $+x$
7. à 45° au-dessus de $-x$
8. à 45° sous $-x$

(a) Quelle est la direction de la vitesse linéaire (en m/s) instantanée du satellite à D?
[1 point sans points partiels] Réponse: 1

(b) Quelle est la direction de l'accélération linéaire (en m/s^2) instantanée du satellite à A?
[1 point sans points partiels] Réponse: 3

(b) Quelle est la direction de l'accélération linéaire (en m/s^2) moyenne du satellite de A à B?
[1 point sans points partiels] Réponse: 8

Question 6. Énergie cinétique de rotation [1.5 point]

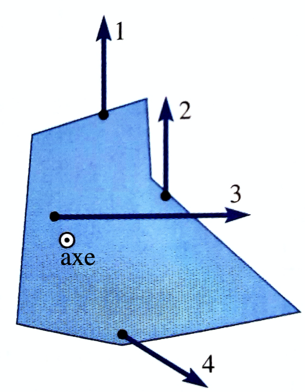
Un cylindre (masse M, rayon R et moment d'inertie $I = \frac{1}{2}MR^2$) roule sans glisser à vitesse v sur une piste horizontale. Quelle est l'expression de son énergie cinétique totale (possiblement en termes de M, v et R)? Simplifiez votre réponse.

Solution

$$K = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}Mv^2 = \boxed{\frac{3}{4}Mv^2}$$

Question 7. Moments de force [2.0 points]

Considérez la forme de droite, libre de pivoter dans le plan de la page autour de l'axe indiqué. Les flèches 1 à 4 sont des forces appliquées sur cette forme.



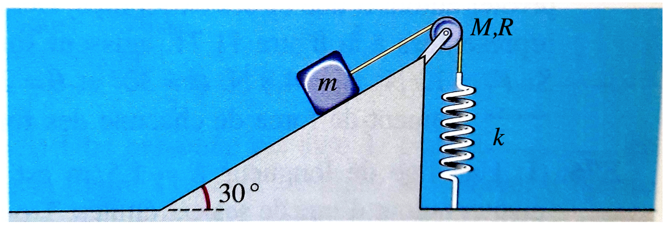
(a) Quelle(s) force(s) cause(nt) un mouvement horaire, c.-à-d. négatif?
[1 point sans points partiels] Réponse: 3

(b) Est-ce qu'une force a un moment de force nul? Si oui, laquelle?
[1 point sans points partiels] Réponse: Non

[suite à la p. 5...]

Question 8. Conservation de l'énergie [3.0 points]

Un bloc de masse $m = 1.43$ kg est sur un plan incliné de 30° avec un coefficient de friction cinétique $\mu_k = 0.140$. Le bloc est relié à un ressort de constante $k = 3.15$ N/m par une corde légère qui passe par une poulie sans glisser. La poulie a une masse $M = 0.815$ kg, un rayon $R = 15.2$ cm et un moment d'inertie $\frac{1}{2}MR^2$. Si ce système est initialement au repos et que le ressort a un allongement nul, quelle sera la vitesse du bloc lorsqu'il sera tombé de 35.0 cm vers le bas le long du plan incliné?



Solution

On applique $E_f - E_i = W_{NC}$ avec E qui contient l'énergie du ressort, l'énergie gravitationnelle du bloc, et les énergies cinétiques du bloc et de la poulie. Si x est l'étirement du ressort et la distance de chute du bloc le long du plan, on a

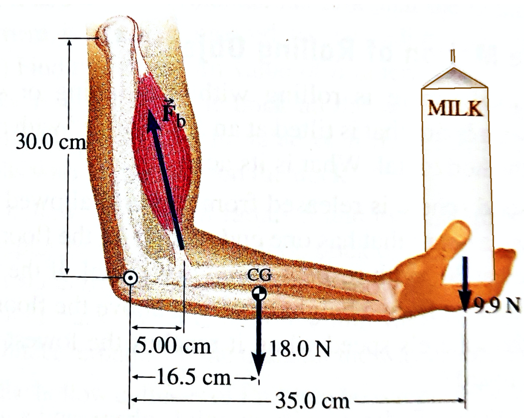
$$K_m + K_M + U_{ress} - U_g = -f_k x \to \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2 + \frac{1}{2}kx^2 - mgx\sin\theta = -\mu_k mgx\cos\theta$$

qui mène à

$$v^2 = \frac{mgx\,(\sin\theta - \mu_k\cos\theta) - \frac{1}{2}kx^2}{\frac{1}{2}m + \frac{1}{4}M} \to \boxed{v = 1.35 \text{ m/s}}$$

Question 9. Équilibre statique [2.5 points]

Quelle est la force $\mathbf{F}_b$ par le biceps lorsque l'avant-bras est en équilibre statique, en tenant un contenant de lait? Outre $\mathbf{F}_b$, les forces qui agissent sur l'avant-bras sont: le poids du contenant de lait (9.9 N), le poids de l'avant-bras (18.0 N), et la force (absente du schéma) par le coude sur l'avant-bras. Les distances où ces forces agissent sont indiquées à droite. Le biceps est attaché à 30.0 cm plus haut que le coude, ce qui fait que l'angle de $\mathbf{F}_b$ avec l'horizontale est donné par $\tan\theta = \frac{30}{5}$.



Solution

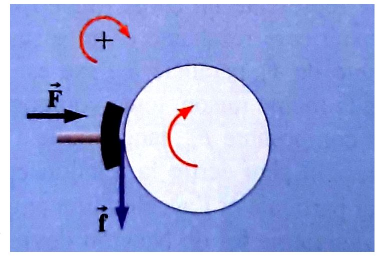
L'angle de $\mathbf{F}_b$ par rapport à l'horizontale est $\tan\theta = \frac{30}{5}$, d'où $\theta = 80.54°$. La somme des moments de force est

$$\sum \tau = +(0.05)F_b\sin(80.54) - (0.165)(18) - (0.35)(9.9) = 0 \to \boxed{F_b = 130 \text{ N}}$$

[suite à la p. 6...]

Question 10. Dynamique de rotation [3.0 points]

Une roue de masse $M = 2.00$ kg, rayon $R = 40.0$ cm et moment d'inertie $I = \frac{1}{2}MR^2$ tourne à 600 tours/min dans le sens horaire. À un certain moment, on applique un frein sur le bord de la roue avec un force $F = 10.0$ N radiale et orientée vers l'intérieur. Le coefficient de friction entre le frein et la roue vaut $\mu_k = 0.500$.



(a) Avec l'axe de rotation choisi au centre de la roue, quels sont les moments de force qui agissent sur celle-ci?
(b) Quelle forme prend la 2ème loi de Newton avec ces moments de forces et le I approprié?
(c) Que vaut l'accélération angulaire α (avec le signe)?
(d) Combien de tours va effectuer la roue avant de s'arrêter? (Attention aux signes!)

Solutions

(a) $\boxed{\tau_F = 0,\ \tau_f = +fR,\ \tau_{Mg} = 0}$
(b) $0 + fR = I\alpha$ ou $\boxed{\mu_k FR = I\alpha}$
(c) De (b), on a

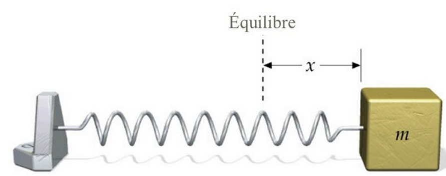
$$\mu_k FR = \left(\frac{1}{2}MR^2\right)\alpha \to \alpha = \frac{2\mu_k F}{MR} = \boxed{12.5 \text{ rad/s}^2}$$

(d) On utilise $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta\theta$, avec $\omega = 0$, $\omega_0 = -600 \times \frac{2\pi}{60} = -20\pi$ rad/s, ce qui donne

$$\Delta\theta = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\alpha} = -16\pi^2 \text{ rad} \times \frac{1 \text{ tr}}{2\pi \text{ rad}} = \boxed{-25.1 \text{ tours}}$$

Question 11. Système masse-ressort oscillant [1.5 point]

Un bloc de 45 grammes est attaché à un ressort de constante 16 N/m. On étire ce système d'une distance de 7.0 cm hors de sa position d'équilibre et on le laisse osciller. Négligez la friction. Pendant les oscillations qui suivent, quelle sera la grandeur de la vitesse du bloc quand il passera par la position d'équilibre?



Solutions

On cherche donc

$$v_{max} = \omega A = \sqrt{\frac{k}{m}}A = \sqrt{\frac{16}{0.045}}(0.07) = \boxed{1.32 \text{ m/s}}$$

Question 12. Mouvement harmonique simple [1.0 point sans points partiels]

Un bloc attaché à un ressort a une amplitude A et une période T. Quelle est la distance totale parcourue par ce bloc après un intervalle de temps $2T$?
[T corrigé à la main sur les copies.]

(a) 0
(b) $A/2$
(c) A
(d) $2A$
(e) $4A$

Réponse: (e)

[suite à la p. 7...]

Question 13. Mouvement harmonique simple [1.5 point sans points partiels]

Pour un système masse-ressort en oscillation, si sa vitesse maximale vaut $v_{max} = 75$ cm/s et son accélération maximale vaut $a_{max} = 2.4$ m/s^2, quelle est son amplitude d'oscillation A, en cm, avec 2 chiffres significatifs?

(a) 23 cm
(b) 31 cm
(c) 320 cm
(d) 430 cm
(e) 2300 cm

Réponse: (a) de $A = \frac{\omega^2 A^2}{\omega^2 A} = \frac{v_{max}^2}{a_{max}}$

Question 14. Système masse-ressort en oscillation [1.5 point sans points partiels]

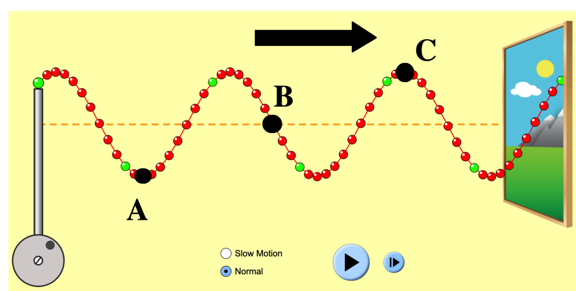
Considérez un système masse-ressort en oscillation. Si on double l'amplitude de cet oscillateur, laquelle des quantités ci-dessous changera le plus?

(a) fréquence
(b) période
(c) vitesse maximale
(d) accélération maximale
(e) énergie mécanique totale

Réponse: (e)

Question 15. Ondes [3.0 points]

La figure ci-contre montre une photo d'une onde qui se déplace vers la droite. Pour chaque question ci-dessous, indiquez la direction du vecteur instantané demandé ou s'il vaut zéro.



(a) l'accélération du point A?

[1 point sans points partiels] Réponse: vers le haut

(b) la vitesse du point B?

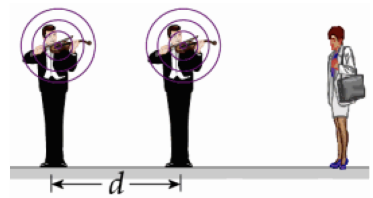
[1 point sans points partiels] Réponse: vers le haut

(c) la vitesse du point C?

[1 point sans points partiels] Réponse: zéro

[suite à la p. 8...]

Question 16. Ondes [2.0 points]



Deux violonistes, alignés avec une spectatrice, sont séparés d'une distance d, tel que montré à droite. La vitesse du son dans l'air vaut 342 m/s.

(a) Si les deux musiciens jouent un La de fréquence $f = 440$ Hz, quelle est la plus petite valeur de la séparation d pour laquelle la spectatrice percevra de l'interférence destructive, c.-à-d. un son faible?

(b) Avec cette même fréquence de $f = 440$ Hz, quelle est la plus petite valeur d *non-nulle* pour laquelle la spectatrice percevra de l'interférence constructive, c.-à-d. un son fort?

Solutions

(a) Les possibilités sont $d = \frac{\lambda}{2}, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda$, etc. dont on garde la première valeur:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2}\frac{v}{f} = \frac{1}{2} \times \frac{342}{440} = \boxed{38.9 \text{ cm}}$$

(a) Les possibilités sont $d = 0, \lambda, 2\lambda$, etc. dont on ne garde que la deuxième valeur:

$$d = \lambda = \frac{v}{f} = \frac{342}{440} = \boxed{77.7 \text{ cm}}$$

Bonnes vacances!