

**Association canadienne des physiciens
Concours 1995**

La durée de cet examen est de trois heures. Le rang d'un candidat et le prix accordé seront basés sur les réponses données dans les parties A et B. Les résultats de la partie A seront utilisés pour déterminer les candidats dont les réponses écrites à la partie B seront corrigées.

Les questions de la partie B présentent un spectre variable de difficulté. Essayez de récolter le plus de points possible dans les problèmes plus faciles avant de vous attaquer aux plus difficiles. Dans certains cas, par exemple, la réponse à la partie (a) est prérequis à la solution de la partie (b); si vous ne pouvez répondre rigoureusement à la partie (a), vous pouvez tout de même passer à la partie (b) en admettant une solution hypothétique à la partie (a). On ne s'attend pas à ce qu'aucun étudiant puisse terminer cet examen à temps. La partie (d) de chaque question à développement est particulièrement difficile. Les calculatrices non programmables sont autorisées. Prenez soin de bien indiquer les réponses aux questions à choix multiples sur la carte-réponse qui vous est fournie et, surtout, écrivez vos solutions écrites aux différents problèmes à développement sur des feuilles différentes, puisque ces questions seront corrigées par des personnes différentes en des endroits différents. Bonne chance!

Données

Vitesse de la lumière	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$
Constante de gravité	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$
Rayon de la Terre	$R_{\oplus} = 6380 \text{ km}$
Masse de la Terre	$M_{\oplus} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
Masse du Soleil	$M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$
Rayon de l'orbite terrestre	$R_{orb} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$
Accélération gravitationnelle	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Charge élémentaire	$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
Masse de l'électron	$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Masse du proton	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Masse du neutron	$m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Constante de Planck	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
Constante de Coulomb	$1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$
Perméabilité magnétique	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
Vitesse du son dans l'air	340 m/s
Constante de Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Zéro absolu	$0^\circ\text{K} = -273^\circ\text{C}$

Partie A: Choix multiples

Question 1

L'équipage d'un bateau tente de faire émerger un sous-marin miniature reposant au fond du lac Supérieur. Le sous-marin et son contenu ont une masse de 72 000 kg

et un volume de $18,9 \text{ m}^3$. Quelle force doit-on appliquer pour soulever le sous-marin? La densité de l'eau est de $1\,000 \text{ kg/m}^3$.

- (a) $1,8 \times 10^5 \text{ N}$
- (b) $2,0 \times 10^5 \text{ N}$
- (c) $4,8 \times 10^5 \text{ N}$
- (d) $5,2 \times 10^5 \text{ N}$

Question 2

Un enfant s'amuse avec un pendule jouet dans un ascenseur en marche. Il note que la période du pendule est $T = 0,5 \text{ s}$. Soudain, les câbles de l'ascenseur cèdent et l'ascenseur plonge en chute libre. À son grand étonnement, l'enfant s'aperçoit que le pendule...

- (a) poursuit ses oscillations avec une période de 0,5 s.
- (b) n'oscille plus du tout.
- (c) oscille avec une période plus longue.
- (d) oscille avec une période plus courte.

Question 3

Deux carabines à ressort identiques tirent des projectiles vers le haut. Le projectile de la carabine B a deux fois la masse de celui de la carabine A. Ce dernier atteint une hauteur H . En négligeant la résistance de l'air, le projectile de la carabine B devrait atteindre une hauteur...

- (a) $H/4$
- (b) $H/2$
- (c) $H/\sqrt{2}$
- (d) H

Question 4

Un athlète de 75 kg court à une vitesse de 10 m/s. Quelle est son énergie cinétique?

- (a) 3 750 J
- (b) 7 500 J
- (c) 375 J
- (d) 750 J

Question 5

La Lune se situe à 60 rayons terrestres du centre de la Terre et effectue une orbite autour de la Terre en 28 jours. En supposant que cette orbite est circulaire autour du centre de la Terre, l'accélération de la Lune autour de la Terre, en unités de g (l'accélération gravitationnelle à la surface de la Terre) est

- (a) $g/30$
- (b) $g/60$
- (c) $g/3600$
- (d) g

Question 6

Des arpenteurs observent le sommet d'une antenne de transmission radio à l'aide d'un petit télescope. L'angle entre le télescope et l'horizontale est de 53° . Les arpenteurs déplacent le télescope 25 m plus proche de la base de l'antenne et répètent leur mesure, obtenant cette fois un angle de 60° . Quelle est la hauteur de l'antenne, en supposant que la base de l'antenne est située au même niveau que les endroits où les mesures ont été prises?

- (a) 33 m
- (b) 43 m
- (c) 142 m
- (d) 286 m

Question 7

Lequel des énoncés suivants est **faux** concernant les ondes électromagnétiques?

- (a) Elles sont constituées de champs électrique et magnétique oscillants.
- (b) Elles se déplacent à différentes vitesses dans l'air selon leur fréquence.
- (c) Elles transportent de l'énergie.
- (d) Elles ne possèdent pas de quantité de mouvement.

Question 8

Deux longs fils parallèles sont placés côte-à-côte sur une table. Les deux fils portent des courants électriques égaux, dans la même direction. Lequel des énoncés suivants est vrai concernant les forces magnétiques exercées mutuellement par les deux fils?

- (a) L'un des fils ressent une force vers le haut et l'autre vers le bas.
- (b) Les deux fils ressentent une force vers le haut.
- (c) Les deux fils s'attirent l'un l'autre.
- (d) Les deux fils se repoussent l'un l'autre.

Question 9

Un accordeur de piano se sert d'un diapason oscillant à une fréquence de 440 Hz (le La médian). Cette note est fautive sur le piano et produit une fréquence f . On entend des battements entre la note et le diapason, à une fréquence de 3 Hz. Quand la tension de la corde correspondante est diminuée, la fréquence de battement diminue aussi. La fréquence f doit avoir été de

- (a) 446 Hz
- (b) 443 Hz
- (c) 437 Hz
- (d) 434 Hz

Question 10

La mine Creighton de Sudbury est l'une des plus profondes au monde (2,07 km). En comparaison de la surface, les conditions au fond de cette mine sont les suivantes:

- (a) pression de l'air plus petite, accélération gravitationnelle plus grande.
- (b) pression de l'air plus grande, accélération gravitationnelle plus petite.
- (c) pression de l'air plus grande, accélération gravitationnelle plus grande.
- (d) pression de l'air plus petite, accélération gravitationnelle plus petite.

Question 11

Un réseau de résistances est constitué d'une résistance de 1Ω en parallèle avec une résistance de 2Ω , elle-même en parallèle avec une résistance de 4Ω , elle-même en parallèle avec une résistance de 8Ω , etc. (on double la résistance ajoutée à chaque étape). Vers quelle valeur converge la résistance équivalente du réseau?

- (a) $0,5 \Omega$
- (b) $2,0 \Omega$
- (c) $0,0 \Omega$
- (d) La résistance ne converge pas vers une valeur finie.

Question 12

Un pendule simple est fait d'une masse de 2 kg suspendue à un fil de 1 m de long. Supposez que la masse est soulevée jusqu'à ce que le pendule soit à l'horizontale et qu'on la relâche ensuite. Quelle est la vitesse de la masse quand le pendule est en position verticale?

- (a) 9,91 m/s
- (b) 19,6 m/s
- (c) 3,13 m/s
- (d) 4,43 m/s

Question 13

Un tuyau d'orgue de longueur L est ouvert à une extrémité et fermé à l'autre. Quelles sont les longueurs d'onde associées aux trois plus basses fréquences produites par ce tuyau?

- (a) $4L, 2L, L$
- (b) $2L, L, L/2$
- (c) $2L, L, 2L/3$
- (d) $4L, 4L/3, 4L/5$

Question 14

Un satellite est en orbite à une altitude de 1 rayon terrestre. Quelle est sa vitesse orbitale?

- (a) $1,56 \times 10^7$ m/s
- (b) $3,95 \times 10^3$ m/s
- (c) $7,91 \times 10^3$ m/s
- (d) $5,59 \times 10^3$ m/s

Question 15

Un écoulement d'eau stationnaire et non turbulent sort d'un robinet et tombe verticalement. En tombant, le diamètre de l'écoulement paraît s'amincir. Quelle est la principale raison de ce phénomène?

- (a) La tension de surface de l'eau resserre l'écoulement.
- (b) La pression de l'air, qui décroît avec l'altitude, compresse l'écoulement.
- (c) L'eau accélère sous l'influence de la gravité et donc l'écoulement doit s'amincir car le taux d'écoulement (section fois vitesse) reste constant.
- (d) L'écoulement ne s'amincit pas: il s'agit d'une illusion d'optique.

Question 16

Une portion d'un circuit de montagnes russes forme une boucle verticale de rayon R . Quelle doit être la vitesse minimum d'une voiture au bas de la boucle pour que la voiture garde contact avec la piste au sommet de la boucle? Négligez la résistance de l'air et le frottement.

- (a) $\sqrt{2gR}$
- (b) $\sqrt{3gR}$
- (c) $\sqrt{4gR}$
- (d) $\sqrt{5gR}$

Question 17

Un objet est placé à 30 cm devant une lentille sphérique mince. L'image formée par la lentille est à l'endroit et deux fois la taille de l'objet. Laquelle parmi les caractéristiques suivantes décrit le mieux la lentille?

- (a) divergente, longueur focale de 20 cm
- (b) convergente, longueur focale de 20 cm
- (c) divergente, longueur focale de 60 cm
- (d) convergente, longueur focale de 60 cm

Question 18

Une charge ponctuelle $+Q$ est placée au centre géométrique d'un triangle équilatéral. Quand une deuxième charge $+Q$ est placée à l'un des sommets du triangle, la grandeur de la force électrique sur la charge du centre est de 4 N. Quelle est la grandeur de la force totale sur la charge centrale quand une troisième charge $+Q$ est placée à un autre sommet du triangle?

- (a) zéro
- (b) 4 N
- (c) $4\sqrt{2}$ N
- (d) 8 N

Question 19

L'effet de serre est causé par une atmosphère. . .

- (a) transparente à la lumière visible mais opaque à l'infrarouge.
- (b) transparente à la lumière visible et à l'infrarouge.
- (c) opaque à la lumière visible et à l'infrarouge.
- (d) réchauffée par la population grandissante du globe.

Question 20

Une particule de masse m et de charge q est accélérée par une différence de potentiel V jusqu'à une vitesse v vers le sud. La particule entre alors dans une région comportant un champ magnétique \vec{B} pointant vers l'est et un champ électrique \vec{E} pointant vers le bas. La particule se déplace cependant à une vitesse constante dans cette région. La différence de potentiel V doit satisfaire à la relation suivante:

- (a) $V = mE^2/2qB^2$
- (b) $V = 2mE/qB$
- (c) $V = E/qB$
- (d) Il est impossible que la particule ne soit pas déviée par ces champs.

Question 21

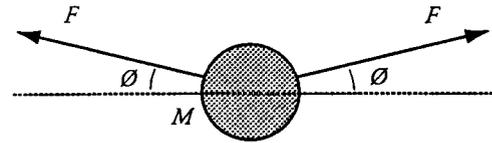
Un vaisseau spatial est en orbite circulaire autour de la Lune, avec un rayon orbital de 10^6 m et une période de 45 minutes. Si il s'abaisse à une orbite plus basse de rayon 10^5 m, sa période est devenue. . .

- (a) 36 minutes
- (b) 85 secondes
- (c) 54 minutes
- (d) On doit connaître la masse de la Lune pour résoudre ce problème.

Question 22

Un pendule simple est composé d'un bloc de bois de 2 kg suspendu à une corde légère de 1 m de long. Lorsque le pendule est au repos dans sa position verticale, une balle de fusil est tirée horizontalement et vient se loger dans le bloc de bois. La balle a une masse de 10^{-2} kg et avait une vitesse de 500 m/s tout juste avant sa collision avec le bloc. Après la collision, le pendule dévient de sa position verticale jusqu'à un angle maximum de

- (a) $71,3^\circ$
- (b) $23,4^\circ$
- (c) $35,7^\circ$
- (d) $46,8^\circ$



À l'équilibre, l'angle θ entre la corde et l'horizontale est

- (a) 56°
- (b) $5,6^\circ$
- (c) $0,56^\circ$
- (d) 0° ; la corde sera évidemment horizontale.

Question 23

La durabilité des composantes électroniques est testée en les soumettant à de grandes accélérations. Ceci est fait en les fixant sur un plateau attaché à un ressort vertical. Le plateau et son contenu oscillent verticalement à une fréquence de 10 Hz quand le ressort est étiré de 10 cm et puis relâché. Quelle est l'accélération maximale subie par les composantes électroniques?

- (a) $10,0 \text{ m/s}^2$
- (b) $2,00 \text{ m/s}^2$
- (c) 395 m/s^2
- (d) 158 m/s^2

Question 24

Une pile électrique réelle peut être considérée comme une pile idéale de force électromotrice ϵ en série avec une résistance interne r . Supposez que la pile n'est reliée en plus qu'à une résistance de charge R . Pour quelle valeur de R la puissance dissipée dans cette résistance de charge est-elle maximale?

- (a) r
- (b) $r/2$
- (c) $2r$
- (d) $10r$

Question 25

Deux tracteurs tirent chacun sur une corde avec une force de 10 000 N. Au centre de cette corde, une masse de 20 kg est suspendue.

Partie B

Question 1

Des physiciens mènent des expériences de micro-gravité à bord d'un avion KC-135 (Boeing 707) de la NASA. Pendant quelques secondes, le KC-135 suit une trajectoire parabolique pour simuler le mieux possible la trajectoire et la vitesse d'un objet en chute libre. Une fois que l'avion a commencé sa trajectoire parabolique (ascendante, puis descendante) les moteurs de l'avion ne sont utilisés que pour compenser la résistance de l'air. Le KC-135 ne peut voler à une vitesse plus petite que 300 km/h (dans le but de conserver le contrôle de l'appareil) et plus grande que 500 km/h (sinon l'accélération nécessaire pour redresser l'appareil à la fin de l'expérience serait trop grande).

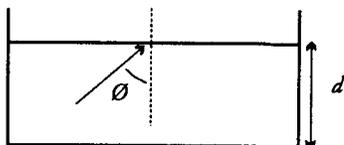
- (a) Quand l'avion est en trajectoire parabolique à une altitude de 10 000 m, une personne de masse $m = 65$ kg démontre son "apesanteur" en flottant librement dans la soute de l'avion. Dessinez un diagramme illustrant toutes les forces agissant sur cette personne. Quelle est la force de gravité agissant sur cette personne et quelle est son accélération nette? Expliquez en quelques mots, en vous référant au calcul précédent, pourquoi on parle ici d'"apesanteur".
- (b) À quel angle par rapport à l'horizontale l'avion devrait-il amorcer sa trajectoire parabolique?
- (c) Combien de temps les passagers sont-ils en état d'apesanteur?
- (d) Dans un avion en trajectoire horizontale se déplaçant à vitesse constante, on dit que les passagers ressentent une "force" de $1 g$ vers le bas et ils peuvent se déplacer dans l'avion normalement. Dessinez la trajectoire qu'un avion devrait suivre pour effectuer une boucle verticale avec accélération de $1 g$ pour ses passagers. Dans cette situation, l'avion doit exécuter une

boucle verticale complète alors qu'à chaque instant les passagers doivent ressentir une force de $1g$ vers le plancher de l'habitacle. Les passagers devraient être capables de se déplacer normalement en tout temps. Quelle est l'accélération de l'avion, en multiples de g , quand il est au sommet, et ensuite au bas, de la boucle? Quelle est l'accélération de l'avion, en multiples de g , quand il se dirige exactement vers le haut et vers le bas?

Question 2

Un réservoir d'eau salée est laissé à lui-même très longtemps sans agitation, de sorte que la concentration de sel dans l'eau n'est plus uniforme, mais augmente avec la profondeur, en raison de la gravité. Le réservoir a la forme d'un carré de 3 m par 3 m et contient 1 m d'eau ($d = 1\text{ m}$). L'indice de réfraction de la solution augmente avec la profondeur parce que l'eau salée est plus dense que l'eau pure. Supposez que l'indice de réfraction à la surface est $n_o = 1,3$ et qu'il augmente proportionnellement à la profondeur à un taux $\alpha = 0,05\text{ m}^{-1}$. Les murs et le plancher du réservoir sont faits de verre transparent et on suppose que l'indice de réfraction de l'air entourant le réservoir est $n = 1$. Ce réservoir peut servir à simuler de nombreuses situations où l'indice de réfraction varie avec l'altitude.

- (a) Supposez, pour les parties (a) et (b), que l'indice de réfraction est uniforme partout dans le réservoir et égal à $n_o = 1,3$. Un faisceau laser traverse le plancher du réservoir et se dirige vers la surface comme illustré. Quand le faisceau est dirigé verticalement, il passe au travers de l'eau et parvient dans l'air au-dessus du réservoir. Quand l'angle entre le faisceau et la verticale augmente, on arrive à un point où le faisceau ne s'échappe plus dans l'air mais est réfléchi complètement vers le bas. Calculez l'angle auquel se produit cette réflexion totale interne.



- (b) Une petite ampoule lumineuse, émettant dans toutes les directions, est placée immédiatement sous le milieu du réservoir. Si on regarde le réservoir d'en haut, quelle aire de la surface apparaît illuminée par l'ampoule?
- (c) Considérons maintenant le cas moins simple où l'indice de réfraction varie avec la profondeur. Considérez la masse d'eau salée comme un empilement de couches

minces, chacune avec un indice de réfraction distinct et illustrez la trajectoire du faisceau laser de la partie (a). À quel angle d'entrée à la base du réservoir (angle mesuré par rapport à la verticale) le faisceau est-il complètement réfléchi vers le bas lorsqu'il atteint la surface de l'eau en haut du réservoir? Tracez la trajectoire d'un faisceau qui entre dans le réservoir à un angle plus grand que celui-là.

- (d) Maintenant, considérez l'air au-dessus d'une route chauffée par le Soleil. À la surface de la route la température de l'air est $T_r = 60^\circ\text{C}$ alors qu'à une hauteur $l = 1\text{ m}$ et au-dessus, l'air est plus frais à $T_a = 30^\circ\text{C}$. L'indice de réfraction $n(T)$ de l'air en fonction de la température est relié à la densité $\rho(T)$ de l'air par l'expression

$$n(T) - 1 \propto \rho(T),$$

où T est la température absolue de l'air (en degrés Kelvin). Vous pouvez supposer que la densité de l'air est inversement proportionnelle à la température. L'indice de réfraction de l'air à 15°C et pression normale est $1,000276$. Supposons maintenant que vous êtes assis dans une voiture, vos yeux à $1,5\text{ m}$ au-dessus de la route. À quelle distance la route commence-t-elle à s'embrouiller? Il s'agit, bien entendu, d'un mirage.

Question 3

Estimez, à partir des dimensions de votre corps, votre vitesse naturelle de marche. Expliquez clairement, à l'aide de quelques phrases ou diagrammes, les raisonnements physiques que vous utilisez dans ce calcul. Si le temps le permet, allez au-delà de votre premier calcul et discutez les raffinements et améliorations possibles à votre modèle de la marche. Faites preuve de créativité.

Les Solutions