

Association canadienne des physiciens Concours de physique 2002

La durée de cet examen est de trois heures. Le rang d'un candidat et le prix accordé seront basés sur les réponses aux 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 varié de difficulté. Essayez d'accumuler 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 nécessaire 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 que tous les étudiants puissent terminer cet examen à temps. Chaque question à développement comporte une partie plus difficile.

Les calculatrices non programmables sont autorisées. Ayez 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	$c = 3,00 \times 10^8$ m/s
Constante de gravitation	$G = 6,67 \times 10^{-11}$ N·m ² /kg ²
Accélération gravitationnelle	$g = 9,80$ m/s ²
Charge élémentaire	$e = 1,60 \times 10^{-19}$ C
Masse de l'électron	$m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg
Masse du proton	$m_p = 1,673 \times 10^{-27}$ kg
Constante de Coulomb	$1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9$ J·m/C ²
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A ²
Vitesse du son dans l'air	$v_s = 343$ m/s
Indice de réfraction de l'eau	$n_w = 1,33$
Conversion eV/joule	$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J

Partie A: Choix multiples

Question 1

Une petite fille tient à la main un ballon gonflé à l'hélium, dans un ascenseur qui descend à vitesse constante. La cage d'ascenseur est maintenue sous vide. Soudain, le câble de l'ascenseur se sectionne et l'ascenseur tombe en chute libre. L'enfant, surprise, lâche le ballon. Sa surprise augmente quand elle constate que :

- le ballon s'élève;
- le ballon descend doucement;
- le ballon reste au même niveau;
- le ballon rebondit lentement entre le plancher et le plafond.

Question 2

Un appareil de démonstration est fait d'une rampe en métal (en trait gras sur la figure) sur laquelle une bille parfaitement sphérique roule sans glisser. L'appareil est au repos sur une table de laboratoire. La bille, initialement au repos, est lâchée d'une hauteur h au-dessus de la table, à gauche, dévale le côté gauche de la rampe et remonte à droite pour s'arrêter un moment à une hauteur h_1 , avant de redescendre. En supposant que la table est horizontale et en négligeant la résistance de l'air, ainsi que toute perte d'énergie attribuable au roulement, on conclut que



- $h_1 < h$, car le frottement qui permet le roulement de la bille dissipe de l'énergie;
- $h_1 = h$, car l'énergie mécanique totale est conservée;
- $h_1 = h$ seulement si les angles ϕ et θ sont égaux;
- $h_1 = h$ seulement si l'angle ϕ est plus grand que θ .

Question 3

Dans le film *le Parc Jurassique*, alors que la jeep est poursuivie par un dinosaure, on peut voir l'animal dans le rétroviseur de la jeep, sur lequel il est écrit: *Objects in mirror are closer than they appear* ("Les objets dans ce miroir sont plus proches qu'il ne paraît"). Donc,

- le miroir est plat;
- le miroir est concave;
- le miroir est convexe;
- le miroir peut être convexe ou concave.

Question 4

Un morceau de chewing-gum très collant de masse m se déplace à une vitesse v vers un autre morceau semblable de masse M au repos. Après la collision, les deux morceaux restent collés ensemble et se déplacent à une vitesse V . Rien d'autre n'est connu sur les conditions qui entourent la collision. Lequel des énoncés suivants décrit le mieux la situation?

- Ni l'énergie cinétique, ni la quantité de mouvement ne peuvent être conservées.
- Il s'agit d'une collision élastique, dans laquelle l'énergie cinétique et la quantité de mouvement sont conservées. La vitesse finale est $V = v/2$.
- Il s'agit d'une collision inélastique et, dans ce cas, la quantité de mouvement est toujours conservée; la vitesse finale est $V = v/4$.
- Il s'agit d'une collision inélastique dans laquelle la quantité de mouvement est conservée, à condition qu'aucune force externe ne s'exerce sur le système pendant la collision.

Question 5

Selon le principe d'Archimède,

- (a) un objet immergé dans un fluide subit une force vers le haut égale au poids du fluide qu'il déplace;
- (b) un objet immergé dans un fluide subit une force vers le haut égale au poids de l'objet;
- (c) un objet immergé dans un fluide déplace un volume de fluide égal au volume de l'objet;
- (d) un objet immergé dans un liquide flotte seulement si sa densité est inférieure à celle du liquide.

Question 6

Une corde de guitare de longueur L , fixée à ses deux extrémités, est en vibration et produit un son comportant une fréquence fondamentale et ses multiples entiers (les harmoniques). Pour accentuer les harmoniques paires par rapport aux harmoniques impaires, quelle est la plus grande distance (par rapport à l'une ou l'autre extrémité) à laquelle il faut appuyer sur la corde?

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

Question 7

Une onde sinusoïdale se propage le long d'une corde de densité uniforme. Si on double la fréquence de l'onde,

- (a) la longueur d'onde double;
- (b) la vitesse de l'onde double;
- (c) la vitesse de l'onde reste à peu près la même;
- (d) la période de l'onde double.

Question 8

Deux charges ponctuelles de $+1 \mu C$ sont à une certaine distance l'une de l'autre. Sur quel segment de la droite infinie passant par les deux charges se trouve un point où le potentiel électrique est nul, en supposant que le potentiel s'annule aussi à l'infini?

- (a) Entre les deux charges seulement.
- (b) D'un côté ou l'autre du système des deux charges.
- (c) Impossible à dire sans connaître la distance entre les deux charges.
- (d) Nulle part.

Question 9

Debout sur le sol, vous tenez dans votre main une corde à laquelle est suspendue une pierre. La force de réaction associée (au sens de la troisième loi de Newton) à la force de gravité agissant sur la pierre, est la force exercée par

- (a) la corde sur votre main; (b) la pierre sur la corde;
- (c) votre corps sur la Terre; (d) la pierre sur la Terre.

Question 10

Dans la partie peu profonde d'une piscine, il y a 70 cm d'eau. Une source lumineuse de 10 cm de diamètre est située au fond de la piscine. Quel est le diamètre du cône de lumière qui émerge de l'eau, tel qu'observé du bord de la piscine, à 2,50 m de là?

- (a) 1,60 m; (b) 1,70 m;
- (c) 1,75 m; (d) 1,80 m.

Question 11

De deux quantités d'eau et de vapeur, toutes les deux à $100^\circ C$ et de même masse, laquelle va causer la brûlure la plus grave si on la met en contact avec la peau?

- (a) La vapeur. (b) Cela ne fait aucune différence.
- (c) L'eau. (d) Cela dépend de la pression de la vapeur.

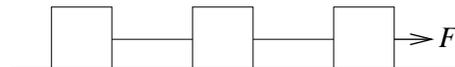
Question 12

Un courant électrique variable passant le long d'un solénoïde induit une force électromotrice (f.é.m.) aux bornes du solénoïde. La tension mesurée par un voltmètre aux bornes est...

- (a) inférieure ou supérieure à la f.é.m., selon le taux de variation du courant;
- (b) supérieure à la f.é.m.;
- (c) égale à la f.é.m. ;
- (d) inférieure à la f.é.m.

Question 13

Trois blocs de même masse sont reliés par des cordes tel qu'illustré. Le tout est accéléré vers la droite par une force F sur une surface horizontale sans frottement. La force nette agissant sur le bloc du milieu est



- (a) zéro; (b) F ;
- (c) $2F/3$; (d) $F/3$.

Question 14

Un vaisseau spatial se déplace vers la Terre avec ses moteurs arrêtés. Appelons M et m les masses respectives de la Terre et du vaisseau, et R la distance entre le vaisseau et le centre de la Terre. En raison de la force gravitationnelle exercée par la Terre, de combien augmente l'énergie cinétique du vaisseau quand il passe du point 1 au point 2?

- (a) $\frac{GMm(R_2 - R_1)}{R_1 R_2}$.
- (b) $\frac{GMm(R_1 - R_2)}{R_1 R_2}$.
- (c) $\frac{GMm(R_2 - R_1)}{R_1^2}$.
- (d) $\frac{GMm(R_1 - R_2)}{R_1^2 R_2^2}$.

Question 15

Deux masses, M_a et M_b , attachées aux extrémités des ressorts a et b, sont en mouvement harmonique sur une surface horizontale sans frottement. Si les périodes d'oscillation sont identiques, et si $M_b = 2M_a$, alors les amplitudes A des oscillations des deux masses sont reliées ainsi:

- (a) $A_b = A_a/\sqrt{2}$; (b) $A_a = A_b/4$;
- (c) $A_a = A_b$; (d) aucune de ces réponses.

Question 16

Considérez un circuit comportant une pile et une résistance R. Si une deuxième résistance est ajoutée, en parallèle avec R, alors

- (a) la tension aux bornes de R diminue;
- (b) le courant qui traverse R augmente;
- (c) le courant total fourni par la pile augmente;
- (d) la puissance dissipée par R diminue.

Question 17

La vaisseau spatial *Enterprise* est en orbite circulaire autour de la planète Erret, à une altitude de 1 000 km, et avec une période de 300 minutes. Un vaisseau Klingon adopte une autre orbite circulaire autour de Erret, à une altitude de 19 000 km. Le rayon de Erret est de 5 000 km. La période de l'orbite du vaisseau Klingon est donc de

- (a) 600 minutes; (b) 1 200 minutes;
- (c) 1 800 minutes; (d) 2 400 minutes.

Question 18

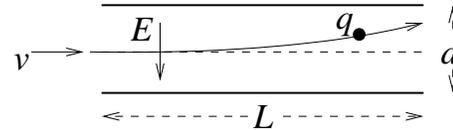
Une "bola" simplifiée consiste en deux (au lieu de trois) petites balles assez lourdes, reliées à un point central par des cordes de mêmes longueurs. Pour la lancer, on tient l'une des balles au-dessus de sa tête et on fait tourner l'autre balle en un cercle horizontal. Une fois lâchée, la bola tourne autour de son centre de masse, tel qu'illustré. Lequel des énoncés suivants est vrai quand l'axe de rotation change de (1) à (2)?



- (a) Le moment cinétique est inchangé, mais la vitesse angulaire augmente.
- (b) Le moment cinétique et la vitesse angulaire demeurent inchangés.
- (c) Le moment cinétique est inchangé, mais la vitesse angulaire diminue.
- (d) Le moment cinétique et la vitesse angulaire augmentent.

Question 19

Dans une imprimante à jet d'encre, une gouttelette d'encre de masse m reçoit une charge négative q d'un chargeur contrôlé par ordinateur, et ensuite pénètre avec une vitesse v dans une région située entre deux plaques parallèles déflectrices de longueur L , séparées par une distance d (voir le schéma ci-dessous). Un champ électrique vers le bas, qu'on peut supposer uniforme, remplit cette région. Si on néglige la force gravitationnelle sur la gouttelette, la charge maximale qu'on peut lui donner sans qu'elle percute l'une des plaques est approximativement



- (a) $\frac{mv^2 E}{dL^2}$; (b) $\frac{mv^2 d}{EL^2}$;
- (c) $\frac{md}{E(vL)^2}$; (d) $\frac{m(vL)^2}{Ed}$.

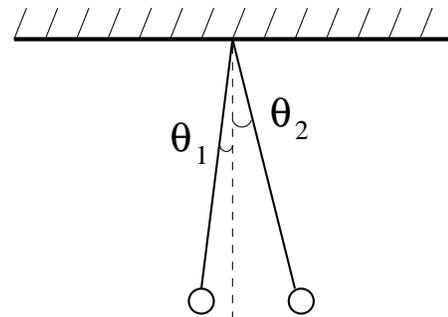
Question 20

Quatre fils rectilignes très longs portent des courants électriques égaux dans la direction $+z$, coupant le plan $x-y$ aux points $(x, y) = (-a, 0), (0, a), (a, 0)$ et $(0, -a)$. Dans quelle direction est la force magnétique exercée sur le fil situé à la position $(-a, 0)$?

- (a) $+y$. (b) $-y$.
- (c) $+x$. (d) $-x$.

Question 21

Deux masses de 100 g sont suspendues aux extrémités de deux légers fils identiques de longueur $\ell = 1,0$ m, attachés au même point du plafond (voir schéma). Au temps $t = 0$, elles sont lâchées simultanément, l'une d'un angle $\theta_1 = 10^\circ$, l'autre d'un angle $\theta_2 = 20^\circ$ par rapport à la verticale. Les masses vont entrer en collision...



- (a) à $\theta = 0, 0^\circ$, 0,50 s plus tard;
- (b) à $\theta = 5, 0^\circ$ à droite de la verticale, 0,16 s plus tard;
- (c) à $\theta = 0, 0^\circ$, 0,13 s plus tard;
- (d) à $\theta = 5, 0^\circ$ à la droite de la verticale, 0,10 s plus tard.

Question 22

Deux trains se dirigent l'un vers l'autre sur deux voies parallèles, à la même vitesse par rapport au sol. Quand l'un des trains siffle, la fréquence du son perçue par un passager de l'autre train est

- (a) maximale en l'absence de vent;
- (b) maximale si le vent souffle dans le même sens et à la même vitesse que l'autre train;
- (c) maximale si le vent souffle dans le sens opposé et à la même vitesse que l'autre train;
- (d) ne dépendra pas de la présence ou non de vent.

Question 23

Dans une réserve faunique africaine, votre jeep se déplace à une vitesse constante de 105 km/hr, à côté d'un guépard qui court à toute vitesse. L'animal, effrayé par le bruit de la jeep, reste constamment à 60 m du véhicule. N'ayant pas porté attention au paysage environnant, vous découvrez soudain que la jeep repasse par le même point où elle était 60 secondes auparavant. La vitesse du guépard est

- (a) 105 km/hr;
- (b) 94 km/hr;
- (c) 99 km/hr;
- (d) 82 km/hr.

Question 24

Un pilote d'avion de chasse, souhaitant ressentir l'apesanteur, met son appareil sur une trajectoire parabolique suivant d'assez près la trajectoire d'un projectile en chute libre. Son avion doit garder une vitesse minimale de 400 km/h, et le pilote ne doit pas non plus excéder 600 km/h s'il veut éviter de perdre connaissance lorsqu'il quittera cette trajectoire. Il n'y a pas de vent et la résistance de l'air est compensée par la force du moteur. S'il veut que la période d'apesanteur soit la plus longue possible, à quel angle (par rapport à l'horizontale) doit-il commencer sa trajectoire parabolique?

- (a) 33, 7°.
- (b) 41, 8°.
- (c) 56, 3°.
- (d) 48, 2°.

Question 25

Lequel des énoncés suivants est faux? La différence de phase entre deux ondes lumineuses peut être modifiée. . .

- (a) par réflexion;
- (b) si les ondes suivent des chemins de longueurs différentes;
- (c) si les ondes traversent des milieux ayant des indices de réfraction différents;
- (d) si elles sont transmises à l'interface de deux milieux ayant des indices de réfraction différents.

* * *

Partie B**Problème 1**

Dépasser une voiture sur une route ordinaire à deux voies demande plus de prudence à grande vitesse. En plus de garder ses distances avec les autres voitures dans la même voie, on doit garder une distance suffisante face aux voitures qui arrivent en sens inverse pendant la manœuvre.

On admettra que les deux voitures roulent initialement à la même vitesse et qu'elles ont une longueur de 4,2 m. On supposera en plus que le dépassement commence quand l'arrière de la voiture à dépasser est au moins à trois longueurs de voiture devant, et qu'il se termine lorsque celle-ci est au moins à trois longueurs de voiture derrière. La voiture qui dépasse prend 4,0 s en accélération constante pour atteindre la vitesse de dépassement, qu'elle garde par la suite, et qui est de 11 km/h supérieure à celle de la voiture dépassée.

- (a) Calculez le temps nécessaire à la manœuvre de dépassement.
- (b) Maintenant, supposons qu'à l'instant où le conducteur a atteint la vitesse de dépassement, il aperçoit un poids

lourd 500 m devant lui, roulant à contresens. La limite de vitesse pour les camions est de 90 km/h (on suppose qu'elle est respectée). La voiture qu'il dépasse roule à 100 km/h. Les mêmes conditions qu'en (a) s'appliquent, mais en plus, pour ne pas prendre trop de risque, le conducteur doit avoir complété sa manœuvre au moins 2,0 s avant de croiser le camion. Pour la même raison, s'il veut annuler sa manœuvre sans avoir à freiner, l'avant de sa voiture doit se trouver à au moins 2,0 m derrière l'autre voiture. D'ailleurs, il ne peut freiner sans danger car une troisième voiture le suit dans sa manœuvre de dépassement. Étant donné un temps de réaction de 1,6 s après avoir aperçu le camion, discutez de la question à savoir s'il doit continuer sa manœuvre, ou l'annuler en se rangeant derrière l'auto qu'il tentait de dépasser, s'il le peut. S'il se trouve que sa situation est critique, peut-il accélérer au même rythme jusqu'à une vitesse n'excédant pas 120 km/h et effectuer quand même son dépassement sans trop de danger en se rangeant au moins trois longueurs de voiture en avant de l'autre voiture?

Problème 2

Dans le célèbre conte d'horreur de Poe, *Le puits et le pendule*, le héros se retrouve attaché sur une surface horizontale et aperçoit un pendule presque immobile, suspendu au plafond 12 m au-dessus de lui. Quelque temps après, il remarque que le pendule descend lentement vers lui et que, selon l'histoire, l'amplitude de l'oscillation et la vitesse du pendule à son point le plus bas *augmentent toutes les deux inexorablement*. Le pendule est en fait une croissant d'acier très aiguisé qui finira par lui couper le cœur.

Analysons cette situation terrible d'un peu plus près et voyons si l'histoire tient debout. Nous devons faire quelques hypothèses qui n'affecteront pas la conclusion. La lame de masse m est suspendue à l'extrémité d'un câble de longueur l et suit un mouvement harmonique simple. Supposons aussi que la lame est descendue lentement par très petits coups, à chaque fois qu'elle passe par son point le plus bas, à l'angle $\theta = 0^\circ$, θ étant l'angle que fait le pendule avec la verticale.

- Expliquez en une phrase pourquoi le moment cinétique de la lame à $\theta = 0^\circ$ demeure le même tout au long de la descente.
- Soit l_0 la longueur initiale du pendule et v_0 la vitesse maximale initiale de la lame. Obtenez une expression de v en fonction de l .
- Exprimez l'énergie cinétique du pendule à $\theta = 0^\circ$ en fonction de l .
- Faites une hypothèse simplificatrice raisonnable sur l'énergie mécanique totale. Trouvez (en fonction de l) l'énergie potentielle gravitationnelle maximale du pendule au cours d'une oscillation.
- Trouvez le déplacement angulaire maximal de la lame en fonction de l .
- Discutez de la plausibilité de la description que donne Poe de la descente du pendule.

Problème 3

Un après-midi, alors que sa famille l'observe à distance, un homme marchant pieds nus sur un sol humide près d'un pylône électrique s'effondre. On appelle les services d'urgence, mais ceux-ci arrivent trop tard: l'homme est déjà décédé.

L'autopsie révèle que le cœur a subi des fibrillations ventriculaires, ce qui est fatal si on ne peut l'arrêter rapidement. Persuadée qu'il a été électrocuté par un courant électrique échappé de la ligne de transmission, la famille poursuit la compagnie d'électricité. Le tribunal ordonne une enquête visant à déterminer si la compagnie est responsable de la mort de la victime.

L'enquête démontre qu'il y avait effectivement eu un accident électrique à ce moment-là : pendant 1,0 s, un courant de 100 A avait fui dans le sol à partir d'une tige conductrice verticale dont l'extrémité arrondie était située juste au-dessous du sol, à 10 m de la victime. La résistivité du sol humide était d'environ $100 \Omega \cdot \text{m}$.

- En supposant que le courant s'est diffusé uniformément dans le sol autour de l'extrémité de la tige, trouvez la grandeur de la densité de courant J (en A/m^2) et du champ électrique E , en fonction de la distance r entre un point donné et l'extrémité de la tige. Si vous ne connaissez pas la relation entre J et E , vous pouvez l'obtenir de la loi d'Ohm avec un peu d'analyse dimensionnelle.
- Calculez E et J à la position de la victime.
- Obtenez une estimation raisonnable de la différence de potentiel entre les pieds de la victime, en posant toute hypothèse raisonnable.
- Il est raisonnable de supposer que le courant soit passé par une jambe, à travers le torse (et le cœur), et qu'il soit redescendu par l'autre jambe. La valeur acceptée de la résistance d'une jambe est de 300Ω , et celle du torse est de 1000Ω , dans ces conditions. À partir de ces données, donnez une estimation du courant qui est passé dans le torse de la victime.
- Partant de votre expression de $E(r)$, obtenez la différence de potentiel ΔV entre l'extrémité de la tige (qu'on suppose avoir un rayon a) et un point situé à une distance r . Si l'intégrale vous pose problème, vous pouvez quand même obtenir la réponse en notant la similitude entre $E(r)$ et le champ d'une configuration de charge bien connue.
- Un courant d'entre 0,10 A et 1,0 A passant dans le torse peut provoquer une fibrillation ventriculaire. Dans ces conditions, la mort de la victime a-t-elle pu être causée par la fuite de courant à travers la tige?