

**Association canadienne des physiciens  
Concours 2001**

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 les étudiants puissent terminer cet examen à temps, et il est normal de trouver très difficile telle ou telle partie des questions à développement.

Les calculatrices non programmables sont autorisées. Veuillez à bien indiquer les réponses aux questions à choix multiples **sur la carte-réponse** qui vous est fournie et, surtout, écrivez vos solutions 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	$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$
Accélération due à la gravité	$g = 9,80 \text{ m/s}^2$
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	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Constante de Planck	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Constante de Coulomb	$1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$
Vitesse du son dans l'air	$343 \text{ m/s}$
Densité de l'air	$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$
Constante de Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Conversion eV/joule	$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

**Partie A : Choix multiples**

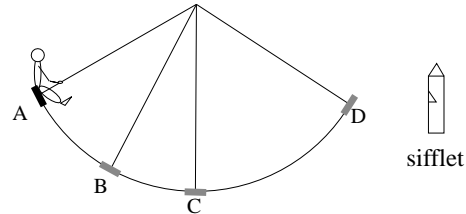
**Question 1**

Trois résistances identiques sont reliées à une source de tension  $V$ , de telle sorte que l'une d'entre elles est en parallèle avec deux autres raccordées en série. La puissance dissipée dans la première, en comparaison de celle dissipée dans chacune des deux autres, est environ

- (a) La même.
- (b) La moitié.
- (c) Le double.
- (d) Le quadruple.

**Question 2**

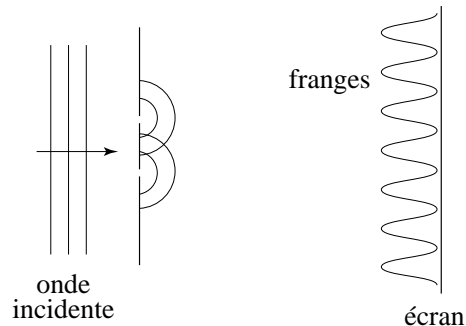
Le diagramme ci-dessous illustre quatre positions successives d'un enfant sur une balançoire. Un sifflet au repos quelque part en avant émet un son. À laquelle des quatre positions la fréquence du son reçu par l'enfant sera-t-elle la plus grande ?



- (a) À B en se déplaçant vers A.
- (b) À B en se déplaçant vers C.
- (c) À C en se déplaçant vers B.
- (d) À C en se déplaçant vers D.

**Question 3**

Dans une expérience d'interférence, de la lumière verte est incidente sur deux fentes et le patron d'interférence est observé sur un écran. Parmi les changements suivants, lequel causerait un resserrement des franges d'interférence ?



- (a) Réduire la distance entre les fentes.
- (b) Remplacer la lumière verte par de la lumière bleue.
- (c) Remplacer la lumière verte par de la lumière rouge.
- (d) Éloigner encore plus des fentes la source de lumière.

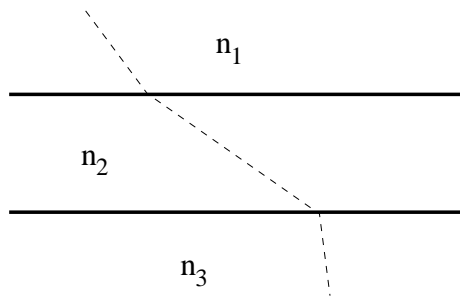
**Question 4**

Une lentille mince de longueur focale  $f$  est utilisée comme loupe. Lequel des énoncés suivants est vrai ?

- (a) Une lentille convergente est nécessaire et la distance objet-lentille doit être supérieure à  $2f$ .
- (b) Une lentille divergente est nécessaire et la distance objet-lentille doit être comprise entre  $f$  et  $2f$ .
- (c) Une lentille convergente est nécessaire et la distance objet-lentille doit être inférieure à  $f$ .
- (d) Une lentille divergente est nécessaire et l'objet peut être placé en tout point sauf au foyer.

**Question 5**

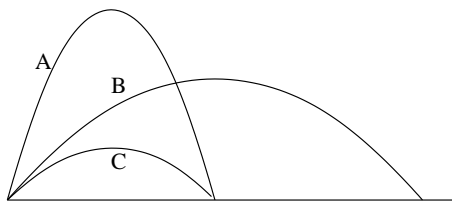
La figure ci-dessous illustre la trajectoire d'un rayon lumineux traversant successivement trois milieux d'indices de réfraction  $n_1, n_2$  et  $n_3$ . Elle est dessinée à l'échelle. Que doit-on conclure à propos des indices de réfraction ?



- (a)  $n_3 < n_2 < n_1$
- (b)  $n_3 < n_1 < n_2$
- (c)  $n_2 < n_1 < n_3$
- (d)  $n_1 < n_3 < n_2$

**Question 6**

Le diagramme ci-dessous illustre les trajectoires de trois obus. Les trois ont été projetés avec la même vitesse initiale. Lequel des trois obus est resté le plus longtemps dans les airs (on néglige la résistance de l'air) ?



- (a) L'obus A.
- (b) L'obus B.
- (c) L'obus C.
- (d) La durée de vol des obus A et C est la même, et plus longue que celle de B.

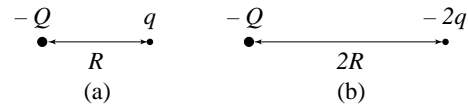
**Question 7**

Soit  $V$  le potentiel électrique et  $E$  la grandeur du champ électrique. À une position donnée, lequel des énoncés suivants est vrai ?

- (a)  $E$  est toujours nul si  $V$  est nul.
- (b)  $V$  est toujours nul si  $E$  est nul.
- (c)  $E$  peut être nul là où  $V$  est non nul.
- (d)  $E$  est toujours non nul là où  $V$  est non nul.

**Question 8**

Deux charges-test sont amenées à une certaine distance d'une charge  $-Q$ . Tout d'abord, une charge  $q$  est placée à une distance  $R$  de la charge  $-Q$ . Cette charge est ensuite enlevée, et remplacée par une charge  $-2q$  à une distance  $2R$  de la charge  $-Q$ . Le signe de  $q$  est inconnu. En comparaison du potentiel électrique à la position de la première charge-test, celui à la position de la deuxième charge-test est...



- (a) Le même.
- (b) Le double.
- (c) La moitié.
- (d) Impossible à déterminer à moins de connaître le signe de  $q$ .

**Question 9**

Un pendule simple, fait d'une masse  $m$  suspendue à l'extrémité d'une corde inextensible de longueur  $L$ , pivote de sa position verticale vers le haut jusqu'à un angle  $\theta$ . Le travail accompli par la tension de la corde est...

- (a) zéro
- (b)  $mgL$
- (c)  $mgL \cos \theta$
- (d)  $-mgL \sin \theta$

**Question 10**

En électromagnétisme, il est souvent pratique d'exprimer un résultat en fonction d'une constante  $\alpha$ , qui est une combinaison de la constante de Coulomb  $k_e = 1/4\pi\epsilon_0$ , de la charge de l'électron  $e$ , et de  $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  étant la constante de Planck. Par exemple, l'énergie de l'état fondamental de l'atome d'hydrogène est  $E = -\frac{1}{2}\alpha^2 mc^2$ , où  $m$  est la masse de l'électron et  $c$  la vitesse de la lumière. Laquelle des expressions suivantes de  $\alpha$  est correcte ? (Indice : l'énergie cinétique non relativiste est  $\frac{1}{2}mv^2$ , où  $v$  est une vitesse.)

- (a)  $k_e e^2 / (\hbar c)$
- (b)  $\hbar / (k_e e^2 c)$
- (c)  $k_e e^2 \hbar / c$
- (d)  $k_e e^2 c / \hbar$

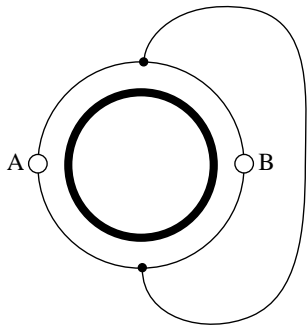
**Question 11**

Une masse suspendue à un ressort est en oscillation verticale. Considérez les deux énoncés suivants :

- (1) À un moment donné pendant l'oscillation, la masse a une vitesse nulle et une accélération non nulle.
  - (2) À un moment donné pendant l'oscillation, la masse a une vitesse nulle et une accélération nulle.
- (a) Les deux sont vrais.
  - (b) Les deux sont faux.
  - (c) Seul (1) est vrai.
  - (d) Seul (2) est vrai.

**Question 12**

Un solénoïde très long, perpendiculaire à la page, génère un champ magnétique rentrant dans la page dont l'intensité augmente avec le temps. Cette variation induit une force électromotrice dans une boucle conductrice qui alimente deux ampoules A et B identiques. On relie ensuite deux points opposés sur la boucle par un fil qui contourne le solénoïde à la droite de l'ampoule B, tel qu'illustré. Après l'introduction de ce fil,



- (a) L'ampoule A s'éteint et B pâlit.
- (b) L'ampoule A s'éteint et B brille plus intensément.
- (c) L'ampoule B s'éteint et A pâlit.
- (d) L'ampoule B s'éteint et A brille plus intensément.

**Question 13**

Une charge  $Q$  est répartie uniformément dans une sphère de rayon  $R$ . Une sphère plus petite, de rayon  $d$  et concentrique à la première, est ensuite prélevée de la première, laissant une cavité sans charge. La densité de charge dans le reste de la sphère n'a pas changé. Le potentiel électrostatique à une distance  $r > R$  du centre de la sphère est

- (a)  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \frac{r^3}{d^3}$
- (b)  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \frac{R^3 - d^3}{R^3}$
- (c)  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \frac{R^3}{d^3}$
- (d)  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} \frac{d^3}{R^3}$

**Question 14**

Un ressort vertical de constante 250 N/m et de masse négligeable est attaché à une plaque horizontale. Un bloc de masse 0,255 kg tombe sur le ressort, qui se comprime de 0,12 m avant de se trouver momentanément au repos. Les deux quantités suivantes sont le travail  $W_g$  accompli par la force de gravité et celui ( $W_r$ ) accompli par le ressort, tous deux sur la distance de compression du ressort :

- (a)  $W_g = 0,30 \text{ J}$ ,  $W_r = -1,8 \text{ J}$ .
- (b)  $W_g = 0,30 \text{ J}$ ,  $W_r = 1,8 \text{ J}$ .
- (c)  $W_g = -0,30 \text{ J}$ ,  $W_r = 1,8 \text{ J}$ .
- (d)  $W_g = -0,30 \text{ J}$ ,  $W_r = -1,8 \text{ J}$ .

**Question 15**

Une pierre de masse  $m$  est attachée à une corde légère et mise en mouvement circulaire *vertical* de rayon  $r$ . À son point le plus bas, la tension de la corde est trois fois le poids de la pierre. La vitesse de la pierre à ce point est donc

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

**Question 16**

Vous pompez rapidement de l'air dans un pneu à l'aide d'une pompe à bicyclette. En même temps, de l'hélium s'échappe rapidement d'un ballon. Lequel des énoncés suivants est vrai ?

- (a) La pompe se refroidit alors que l'hélium éjecté se réchauffe.
- (b) La pompe se réchauffe alors que l'hélium éjecté se refroidit.
- (c) La pompe et l'hélium se réchauffent.
- (d) La pompe et l'hélium se refroidissent.

**Question 17**

Une particule se déplaçant dans une région de l'espace ressent une force magnétique non nulle. Laquelle des explications suivantes est possible ?

- (a) Un champ magnétique non nul existe dans cette région et change la grandeur de la vitesse de la particule.
- (b) Un champ magnétique non nul existe dans cette région et le vecteur-vitesse de la particule est parallèle au champ magnétique.
- (c) Un champ magnétique non nul existe dans cette région et le vecteur-vitesse de la particule est perpendiculaire au champ magnétique.
- (d) Un champ magnétique non nul existe dans cette région et la particule se déplace dans la direction opposée au champ magnétique.

**Question 18**

Les astronautes de la navette spatiale, en orbite circulaire autour de la Terre, désirent transférer la navette sur une orbite circulaire de plus haute altitude. Dans cette nouvelle orbite, la navette aura...

- (a) une vitesse orbitale plus petite mais une énergie totale plus grande.
- (b) une vitesse orbitale plus petite et une énergie totale plus petite.
- (c) une vitesse orbitale plus grande et une énergie totale plus grande.
- (d) une vitesse orbitale plus grande mais une énergie totale plus petite.

**Question 19**

Une voiture pousse un camion en panne vers le haut d'une côte. La voiture exerce une force de grandeur  $F_1$  sur le camion. Le camion exerce une force de grandeur  $F_2$  sur la voiture. Alors,

- (a)  $F_1 = F_2$ , en vertu du principe d'action-réaction.
- (b)  $F_1 = F_2$  seulement si la voiture et le camion n'accélèrent pas.
- (c)  $F_1 > F_2$ , sinon la voiture et le camion ne bougeraient pas.
- (d)  $F_1 < F_2$  car le camion est plus lourd.

**Question 20**

Le centre de courbure d'un miroir convexe est situé derrière le miroir. L'image formée par ce miroir est...

- (a) inversée, agrandie et virtuelle.
- (b) inversée, réduite et virtuelle.
- (c) à l'endroit, réduite et réelle.
- (d) à l'endroit, réduite et virtuelle.

**Question 21**

Un avion-jouet se déplace le long d'un cercle horizontal, à vitesse constante, attaché à l'extrémité d'un fil. La tension du fil est  $F$ . Si la longueur du fil est doublée et que l'avion se déplace alors au double de sa vitesse originale, alors la tension du fil est

- (a)  $\frac{1}{4}F$
- (b)  $\frac{1}{2}F$
- (c)  $F$
- (d)  $2F$

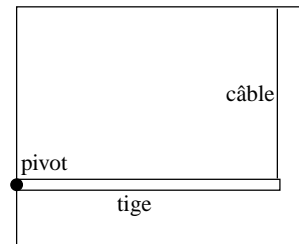
**Question 22**

Un diélectrique est inséré entre les plaques d'un condensateur à plaques parallèles. Ce condensateur est relié en série à une résistance et à une pile. On tire alors sur les plaques, de manière à augmenter légèrement leur séparation. Une fois le circuit rééquilibré,

- (a) La différence de potentiel entre les plaques a augmenté.
- (b) L'énergie emmagasinée dans le condensateur a augmenté.
- (c) La capacité du condensateur a augmenté.
- (d) La charge emmagasinée sur les plaques a diminué.

**Question 23**

Une tige uniforme est attachée à un mur vertical par un pivot sans frottement. La tige est maintenue horizontale par un câble attaché au plafond comme illustré. En considérant les moments de force (couples) par rapport à l'axe du pivot, lequel des énoncés suivants est correct ?



- (a) La grandeur du couple exercé par la tension du câble est égale à celle du couple exercé par la gravité.
- (b) La grandeur du couple exercé par la tension du câble est supérieure à celle du couple exercé par la gravité.
- (c) La grandeur du couple exercé par la tension du câble est inférieure à celle du couple exercé par la gravité.
- (d) La tension du câble est égale au poids de la tige.

**Question 24**

La vitesse minimale par rapport à l'air qu'un avion à réaction donné doit maintenir pour rester en vol est de 300 km/h. Supposons qu'au moment où le pilote se prépare à décoller, le vent souffle vers l'est à une vitesse variant de 0 à 30 km/h. En évitant de gaspiller le carburant et ignorant toute considération, quelle est la procédure prudente à suivre ?

- (a) Décoller vers l'est avec une vitesse *au sol* de 320 km/h.
- (b) Décoller vers l'ouest avec une vitesse *au sol* de 320 km/h.
- (c) Décoller vers l'ouest avec une vitesse *au sol* de 300 km/h.
- (d) Décoller vers l'ouest avec une vitesse *au sol* de 280 km/h.

**Question 25**

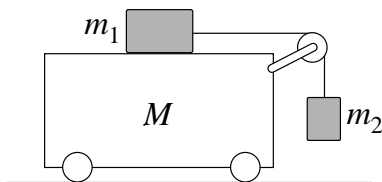
Une masse  $m$  se déplace à une vitesse  $v$ , perpendiculairement à une tige de longueur  $d$  et de masse  $M = 6m$ , qui peut pivoter autour d'un essieu sans frottement passant par son centre. La masse frappe l'extrémité de la tige et y reste collée. Le moment d'inertie de la tige par rapport à son centre est  $Md^2/12$ . La vitesse angulaire du système immédiatement après la collision est alors...

- (a)  $2v/3d$ .
- (b)  $2v/d$ .
- (c)  $v/d$ .
- (d)  $3v/2d$ .

**Partie B**

**Problème 1**

Le système de masses illustré ci-dessous est initialement maintenu au repos. Toutes les surfaces sont sans frottement et la poulie est fixée à la masse  $M$ . Le fil est inextensible. On s'intéresse à l'accélération de chaque masse immédiatement après que le système soit relâché. À noter qu'à ce moment, le fil qui tient  $m_2$  est encore vertical.



- (a) Dessinez un diagramme montrant et nommant toutes les forces qui agissent sur les trois masses immédiatement après que le système soit relâché.
- (b) Écrivez la deuxième loi de Newton pour chacune des masses. Expliquez brièvement pourquoi la masse  $M$  accélère.
- (c) Soit  $A$  l'accélération de la masse  $M$ ,  $a_1$  celle de la masse  $m_1$  et  $a_2$  celle de la masse  $m_2$ . Trouvez une relation entre ces trois accélérations.
- (d) Calculez la tension  $T$  de la corde et les trois accélérations en fonction des masses et de l'accélération gravitationnelle  $g$ .
- (e) Prenez les limites de vos résultats de la partie (d) quand  $M \rightarrow \infty$ . Qu'arrive-t-il si vous prenez plutôt la limite  $m_1 \rightarrow 0$  ou  $m_2 \rightarrow 0$  (mais pas les deux en même temps)? Ces limites sont-elles raisonnables?

**Problème 2**

Une bouteille de gaz cylindrique (100 kg à vide), contenant 100 l d'air à une pression de 100 atmosphères, tombe sur le sol et la valve se brise. Ceci laisse un trou circulaire de 2,0 cm de rayon à l'extrémité de la bouteille, par lequel l'air s'échappe dans une direction parallèle à l'axe de la bouteille.

- (a) Soit  $u$  la vitesse d'échappement du gaz par rapport au sol, qu'on suppose constante. Soit  $M_i$  et  $M_f$  les masses initiale et finale de la bouteille. Le coefficient de frottement entre le sol et la bouteille est  $\mu = 0,15$ .

Calculez  $\Delta M/\Delta t$ , le taux maximum de variation de masse de la bouteille, si  $u$  est limité par la vitesse du son (343 m/s). Indice : selon nos hypothèses,  $\Delta M/\Delta t$  est constant, et l'air qui s'échappe (contrairement à celui encore dans la bouteille) a une densité de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

Écrivez la loi fondamentale de conservation qui gouverne le mouvement de la bouteille. Calculez son accélération au moment où l'air commence à s'échapper.

- (b) Supposons que l'accélération donnée à la bouteille par le gaz qui s'échappe, que vous avez calculée en (a),

demeure constante jusqu'à ce que le gaz cesse de s'échapper, correspondant au taux de variation  $\Delta M/\Delta t$ . Quelle sera la distance totale parcourue par la bouteille quand elle s'arrêtera finalement?

- (c) Des points supplémentaires (bonus) seront accordés si vous pouvez démontrer l'expression suivante de la vitesse maximale de la bouteille après éjection complète de l'air, qui *ne suppose pas* que l'accélération est constante :

$$v_f = \frac{m}{M_f} u - \frac{\mu g / 2 M_f}{(\Delta M / \Delta t)} (M_f^2 - M_i^2)$$

où  $m$  est la masse de l'air éjecté, en négligeant l'air qui reste dans la bouteille à la fin.

**Problème 3**

Considérez un long tuyau cylindrique, de longueur  $l$  et rayon  $R$ , pouvant tourner librement autour de son axe longitudinal avec un moment d'inertie  $I$ . Le matériau du tuyau est un isolant électrique non magnétique. Un fil sans masse attaché à une masse  $m$  suspendue verticalement est enroulé autour du tuyau. La masse est relâchée au temps  $t = 0$ .

- (a) Calculez l'accélération angulaire et l'énergie cinétique du système quand la petite masse est descendue d'une distance  $h$ .
- (b) Une charge positive  $Q$ , de masse négligeable, est déposée uniformément sur la surface extérieure du tuyau avant que la masse soit relâchée. Refaites la partie (a) dans ces nouvelles conditions. Calculez la différence d'énergie cinétique entre les cas  $Q = 0$  et  $Q \neq 0$ . Où est passée l'énergie cinétique manquante?

Indice : le champ magnétique causé par un très long solénoïde, de longueur  $l$  et avec  $N$  tours de fil portant un courant  $I$ , est nul à l'extérieur du solénoïde et donné par  $\mu_o N I / l$  à l'intérieur, dirigé dans l'axe du solénoïde.