

**Association canadienne des physiciens  
Concours 2000**

**Partie A: Choix multiples**

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 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 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. 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	$c = 3,00 \times 10^8$ m/s
Constante de gravité	$G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.m <sup>2</sup> /kg <sup>2</sup>
Rayon de la Terre	$R_T = 6,38 \times 10^6$ m
Rayon de la Lune	$R_L = 1,70 \times 10^6$ m
Masse de la Terre	$M_T = 5,98 \times 10^{24}$ kg
Masse de la Lune	$M_L = 7,35 \times 10^{22}$ kg
Masse du Soleil	$M_S = 1,99 \times 10^{30}$ kg
Rayon de l'orbite lunaire	$R_{TL} = 3,84 \times 10^8$ m
Rayon de l'orbite terrestre	$R_{TS} = 1,50 \times 10^{11}$ m
Accélération gravitationnelle	$g = 9,81$ m/s <sup>2</sup>
Charge élémentaire	$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C
Masse de l'électron	$m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg
Masse du proton	$m_p = 1,673 \times 10^{-27}$ kg
Masse du neutron	$m_n = 1,675 \times 10^{-27}$ kg
Constante de Planck	$h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s
Constante de Coulomb	$1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9$ N.m <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>
Perméabilité du vide	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A <sup>2</sup>
Vitesse du son dans l'air	340 m/s
Densité de l'air	$\rho = 1,2$ kg/m <sup>3</sup>
Constante de Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K
Zéro absolu	0°K = -273° C
Conversion eV/joule	1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>

**Question 1**

Deux roues de bicyclette à haute performance ont la même masse, mais l'une est un disque solide, alors que l'autre est une jante munie de rayons très légers (par rapport à la jante). Laquelle des deux roues nécessite le plus d'énergie pour accélérer jusqu'à une vitesse  $v$ ? Négliguez la résistance de l'air et le frottement.

- (a) Le disque nécessite plus d'énergie.
- (b) La jante à rayons nécessite plus d'énergie.
- (c) Les deux nécessitent la même quantité d'énergie.
- (d) La réponse dépend du rayon de chaque roue.

**Question 2**

Un astronaute sur une planète éloignée trouve que l'accélération gravitationnelle est deux fois plus grande que sur la terre. Lequel des énoncés suivants pourrait être une explication?

- (a) La masse de la planète est la moitié de celle de la terre, mais son rayon est identique.
- (b) Le rayon de la planète est la moitié de celui de la terre, mais sa masse est identique.
- (c) La masse et le rayon de la planète sont le double des valeurs terrestres.
- (d) La masse et le rayon de la planète sont la moitié des valeurs terrestres.

**Question 3**

Une balle de 10 g est suspendue à l'extrémité d'un ressort vertical léger et oscille avec une amplitude de 10 cm et une période de 1 s. Si la balle est remplacée par une autre de 40 g, et que celle-ci est mise en oscillation avec la même amplitude, quelle sera sa période d'oscillation?

- (a) 1 s.
- (b) 2 s.
- (c) 4 s.
- (d) 8 s.

**Question 4**

Le canal de l'oreille humaine, qui s'ouvre sur l'atmosphère et se termine au tympan, est long de 3 cm. Laquelle des valeurs suivantes est la meilleure approximation de la fréquence de résonance fondamentale du canal?

- (a) 1 500 Hz
- (b) 3 000 Hz
- (c) 6 000 Hz
- (d) 11 000 Hz

**Question 5**

Une sphère métallique est reliée au sol par un fil muni d'un interrupteur. Celui-ci est initialement fermé (la sphère est alors mise à terre) et une charge  $+Q$  est amenée à proximité de la sphère, sans la toucher. Pendant que la charge est à proximité, l'interrupteur est ouvert et ensuite la charge est éloignée. La charge sur la sphère est alors

- (a) nulle.
- (b) positive.
- (c) négative.
- (d) inchangée par rapport à sa valeur initiale.

**Question 6**

Une raie spectrale particulière est observée dans le spectre d'une étoile lointaine. Sa longueur d'onde varie entre une valeur 2% inférieure et une valeur 2% supérieure à la même raie produite dans un laboratoire terrestre. Lequel des énoncés suivants décrit le mieux cette étoile?

- (a) L'étoile s'éloigne de la terre.
- (b) L'étoile se rapproche de la terre.
- (c) L'étoile est très massive en comparaison du soleil.
- (d) L'étoile est en orbite autour d'un objet invisible très massif.

**Question 7**

Une barre métallique est en rotation par rapport à un axe vertical passant par son centre et perpendiculaire à la longueur de la barre. La barre est soumise à un champ magnétique vertical uniforme. La force électromotrice induite entre les deux extrémités de la barre...

- (a) est nulle.
- (b) oscille en fonction du temps.
- (c) est positive.
- (d) est négative.

**Question 8**

L'image produite par un projecteur est bien focalisée, mais trop grande pour l'écran. Comme le projecteur et l'écran sont fixés sur place, le projectionniste doit...

- (a) ajuster la lentille du projecteur en la rapprochant de l'écran.
- (b) ajuster la lentille du projecteur en l'éloignant de l'écran.
- (c) remplacer la lentille du projecteur par une autre de longueur focale plus petite.
- (d) remplacer la lentille du projecteur par une autre de longueur focale plus grande.

**Question 9**

Dans une chambre noire, la seule source de lumière est habituellement une ampoule rouge. Après un certain temps dans la chambre noire, nos yeux sont habitués à cette lumière, mais tout nous semble en noir et blanc. Puisqu'une surface rouge réfléchit toute la lumière rouge, elle apparaîtra "blanche". Laquelle des couleurs suivantes semblerait la plus brillante?

- (a) Le vert
- (b) Le bleu
- (c) Le pourpre
- (d) Le noir

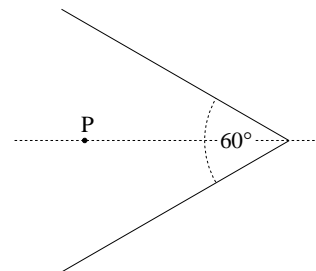
**Question 10**

L'expérience de la goutte d'huile de Millikan a comme objectif de mesurer la charge  $e$  d'un seul électron en mesurant la charge de minuscules gouttelettes d'huile suspendues dans un champ électrique. On suppose que la charge des gouttelettes est attribuée à un petit nombre d'électrons en excès. Les charges  $3,90 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $6,50 \times 10^{-19} \text{ C}$  et  $9,10 \times 10^{-19} \text{ C}$  sont mesurées sur trois gouttelettes. On en déduit que la charge de l'électron est

- (a)  $1,3 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- (b)  $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- (c)  $2,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
- (d)  $3,9 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

**Question 11**

Deux miroirs sont joints de manière à sous-tendre un angle de  $60^\circ$ , comme illustré.



Une personne se tient au point  $P$ , situé sur la bissectrice de l'angle. Combien d'images d'elle-même voit-elle?

- (a) 1
- (b) 2
- (c) 5
- (d) une infinité

**Question 12**

Considérons des montagnes russes avec une boucle verticale. La boucle n'est pas circulaire (ce serait trop dangereux) mais son rayon de courbure décroît avec la hauteur. Une voiture démarre du repos à partir d'une hauteur de 5 m au-dessus du sommet de la boucle. Elle passe ensuite à travers la boucle. Quel doit être le rayon de courbure au sommet de la boucle pour que les passagers, à ce point, sentent un poids apparent vers le plancher de la voiture égal à leur poids normal? Négligez tout frottement.

- (a) 5 m
- (b) 10 m
- (c) 15 m
- (d) 20 m

**Question 13**

Deux sphères conductrices identiques portent des charges positives différentes  $q_1$  et  $q_2$ . Les balles sont mises en contact brièvement et ensuite replacées à leurs positions originales. La force entre les deux balles est maintenant...

- (a) la même qu'avant.
- (b) plus grande qu'avant.
- (c) plus petite qu'avant.
- (d) nulle.

**Question 14**

L'hélium  ${}^4_2\text{He}$  devient suprafluide à une température  $T < 2,18$  K. Un suprafluide s'écoule sans aucune viscosité. Il s'agit d'un effet quantique qui ne peut se produire que si la longueur d'onde de de Broglie de l'atome d'hélium (de masse  $m$ ) est comparable à la distance inter-atomique dans le liquide. Laquelle des expressions suivantes pourrait être la longueur d'onde de de Broglie  $\lambda$ ?

- (a)  $\lambda = h/\sqrt{3mkT}$
- (b)  $\lambda = \sqrt{3mkT}/h$
- (c)  $\lambda = \sqrt{h}/3mkT$
- (d)  $\lambda = 3mkT/\sqrt{h}$

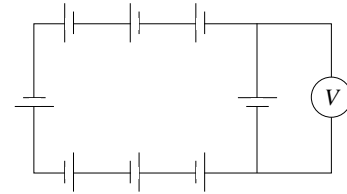
**Question 15**

Deux personnes jouent à se lancer mutuellement un oeuf, tout en s'éloignant progressivement l'une de l'autre. Le joueur qui brise l'oeuf en l'attrapant perd la partie. La force nécessaire pour briser une coquille d'oeuf est d'environ 5 N et la masse d'un oeuf moyen est de 50 g. Si les joueurs sont séparés de 10 m et que l'oeuf est lancé à un angle de  $45^\circ$ , quel est le plus petit temps qu'un joueur peut prendre pour freiner l'oeuf sans le briser?

- (a) 0,01 s
- (b) 0,10 s
- (c) 0,50 s
- (d) 1,00 s

**Question 16**

Un circuit compte 8 piles identiques reliées en série comme illustré :

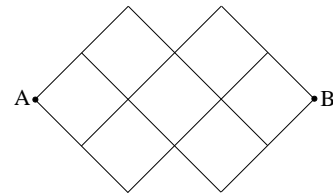


Chaque pile produit une f.é.m. de 1,5 V et a une résistance interne de  $0,2 \Omega$ . Qu'indiquerait un voltmètre relié aux bornes de n'importe laquelle des piles?

- (a) 0,0
- (b) 1,3 V
- (c) 1,5 V
- (d) 12 V

**Question 17**

Chaque branche du circuit suivant a une résistance  $R$ .



La résistance équivalente du circuit entre les points A et B est

- (a)  $R$
- (b)  $2R$
- (c)  $4R$
- (d)  $8R$

**Question 18**

Parmi les énoncés suivants sur la collision élastique de deux objets, lequel est vrai?

- (a) Puisqu'il n'y a pas de force externe agissant sur le système, aucun travail n'est produit sur aucun des deux objets.
- (b) Le travail produit sur le premier objet par le second est égal en grandeur et en signe au travail produit sur le deuxième objet par le premier.
- (c) Le travail produit sur le premier objet par le second est égal en grandeur et opposé en signe au travail produit sur le deuxième objet par le premier.
- (d) Le travail produit sur le système dépend de l'angle de collision.

**Question 19**

Lequel des énoncés suivants est faux?

- (a) La quantité de mouvement d'un objet lourd est plus grande que celle d'un objet léger se déplaçant à la même vitesse.
- (b) Lors d'une collision inélastique parfaite, toute l'énergie cinétique des objets est dissipée.
- (c) La quantité de mouvement d'un ensemble d'objets en collision peut être conservée lors de la collision même si l'énergie mécanique ne l'est pas.
- (d) La vitesse du centre de masse d'un système est la quantité de mouvement totale divisée par la masse totale.

**Question 20**

Lequel des énoncés suivants est vrai?

- (a) Le décalage Doppler des ondes sonores ne dépend que du mouvement relatif de la source et du récepteur.
- (b) Seules les ondes transversales peuvent être diffractées.
- (c) Deux sources d'ondes en opposition de phase ( $180^\circ$ ) sont incohérentes.
- (d) Les patrons d'interférence ne sont observés que pour des sources cohérentes.

**Question 21**

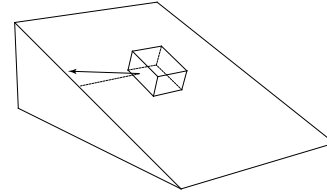
Un avion fait le tour de la terre en volant au-dessus de l'équateur à altitude constante. Si le même avion refait le trajet, mais à une altitude de 1 000 m plus grande, de combien plus long est son trajet dans l'atmosphère?

- (a) 6,283 km
- (b) 62,83 km
- (c) 628,3 km
- (d) 6 283 km

**Question 22**

Un bloc de masse  $m$  est au repos sur un plan incliné immobile. Les coefficients de frottement statique et cinétique

entre le bloc et le plan sont  $\mu_s$  et  $\mu_k < \mu_s$ . L'angle que fait le plan avec l'horizontale est tel que  $\tan \theta = \mu_s$ . Une ficelle est attachée latéralement au bloc. Est-il possible de tirer sur la ficelle de manière à ce que le bloc se déplace à vitesse constante et à une hauteur constante?



- (a) Oui, en toutes circonstances
- (b) Oui, mais seulement si  $\mu_k mg \cos \theta < mg \sin \theta$
- (c) Oui, mais seulement si  $\mu_k mg \cos \theta > mg \sin \theta$
- (d) Non

**Question 23**

Un proton (masse  $m_p$ ) se déplace à une vitesse  $u$  directement vers une particule alpha (un noyau d'hélium, masse  $4m_p$ ) initialement au repos. Quelle est la distance minimale séparant les deux particules?

- (a)  $r = e^2 / \pi \epsilon_0 m_p u^2$
- (b)  $r = e^2 / 4 \pi \epsilon_0 m_p u^2$
- (c)  $r = 5e^2 / 4 \pi \epsilon_0 m_p u^2$
- (d)  $r = 5e^2 / 8 \pi \epsilon_0 m_p u^2$

**Question 24**

La longueur d'onde d'une lumière rouge produite par un laser hélium-néon est de 630 nm. Si le faisceau tombe à incidence normale sur un réseau de diffraction comportant 2000 rayures par centimètre, combien de maximums (incluant le maximum central) peuvent être observés sur un écran assez éloigné du réseau?

- (a) 14
- (b) 15
- (c) 16
- (d) 17

**Question 25**

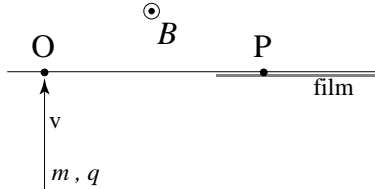
Lequel des énoncés suivants est vrai?

- (a) La capacité d'un condensateur est la quantité maximale de charge qu'il peut porter.
- (b) La capacité équivalente de deux condensateurs en série est la somme des deux capacités.
- (c) Insérer un matériau diélectrique entre les plaques d'un condensateur en augmente la capacité.
- (d) L'énergie électrostatique emmagasinée par un condensateur est le rapport de la charge emmagasinée sur la différence de potentiel entre les deux conducteurs.

**Partie B**

**Problème 1**

Un spectromètre de masse mesure la masse d'ions. Un ion est accéléré à une grande vitesse et pénètre ensuite dans une région où règne un champ magnétique uniforme perpendiculaire à la vitesse de l'ion. L'ion va suivre une trajectoire courbe et aboutir sur une plaque photographique à une certaine distance du point d'injection. En mesurant cette distance, on peut déduire la masse de l'ion.



Supposons que des ions  ${}^{39}_{19}\text{K}$  et  ${}^{41}_{19}\text{K}$ , de charge  $q = +e$ , sont accélérés jusqu'à une énergie de 500 eV et injectés dans un champ magnétique  $B = 0,7 \text{ T}$ . La vitesse des ions entrant dans l'appareil est perpendiculaire au segment OP.

- (a) Quelle est la vitesse de chacun des ions quand ils entrent en collision avec la plaque au point P?
- (b) Quelle est la forme de la trajectoire des ions? Trouvez la distance OP pour chacun des ions.
- (c) En pratique, les choses ne sont pas si simples. Des variations dans la vitesse des ions détériorent la résolution de l'appareil. Si l'énergie des ions n'est pas précisément de 500 eV, il y aura une légère variation de la distance OP. En supposant que l'énergie est de  $500 \pm 5 \text{ eV}$ , les deux espèces d'ions peuvent-elles être distinguées l'une de l'autre lorsqu'elles frappent l'écran?
- (d) Supposons que la vitesse des ions qui entrent dans l'appareil n'est pas parfaitement perpendiculaire au segment OP, et qu'il y a une petite variation d'angle  $\pm\alpha$  par rapport à la perpendiculaire. Trouvez la variation correspondante de la longueur OP. Les deux espèces d'ions peuvent-elles être distinguées si  $\alpha = 3^\circ$ ?

**Problème 2**

Une ville B est située directement à l'est d'une autre ville A. Les deux villes sont séparées par une distance  $L$ . En l'absence de vent, un avion va de A à B en un temps  $T$ . La vitesse de l'avion,  $v_o = L/T$ , est appelée la *vitesse aérienne* de l'avion. Supposons dans tout ce qui suit que la vitesse aérienne de l'avion est toujours la même. Si le vent souffle à une vitesse  $v_w$  dans la direction de l'avion, alors la vitesse de l'avion par rapport au sol, appelée *vitesse au sol*, est  $v_g = v_o + v_w$ .

- (a) Expliquez comment l'avion pourrait avoir une vitesse au sol nulle.

- (b) Si le vent souffle de l'ouest vers l'est, quel est le temps requis par l'avion pour parcourir l'aller-retour de A à B? Montrez que ce temps est plus long que  $T$ .
- (c) Le vent souffle maintenant du sud vers le nord. Faites un schéma montrant la direction que doit prendre l'avion de manière à voler en ligne droite de A à B. Trouvez de nouveau le temps requis pour faire l'aller-retour.
- (d) Montrez que, sans égard à la direction du vent, le temps d'aller-retour entre A et B est plus long que s'il n'y avait pas de vent du tout. Trouvez une expression du temps d'aller-retour pour un vent de vitesse  $v_w$  et de direction quelconque.

**Problème 3**

Léonard de Vinci fut chargé par le duc de Milan de construire une statue équestre en l'honneur du père de celui-ci. La statue devait faire 23 pieds de haut et peser 80 tonnes (73,000 kg). À cette fin, Léonard a conçu une nouvelle méthode de moulage. En 1499 les Français conquièrent Milan et le modèle en plâtre de 22 pieds servit de cible de pratique; le projet ne fut jamais complété.

Les statues très lourdes doivent reposer sur des bases en béton très fortes. La résistance en compression d'un béton de qualité va de 10 à 70 N/mm<sup>2</sup>. Considérons un béton typique ayant une densité  $\rho = 1250 \text{ kg/m}^3$  et une résistance en compression de  $s = 50 \text{ N/mm}^2$ . Le béton se désagrège si une pression plus grande est appliquée.

- (a) Supposez que la statue de Léonard (un cheval dont les quatre pieds touchent le sol) doit être placée sur un tel piédestal. Quelle doit être la surface minimale de chacun des pieds du cheval afin de ne pas endommager le piédestal?
- (b) Plus généralement, quelle est la hauteur maximale d'une montagne conique faite de ce béton?
- (c) On veut réaliser une structure en béton autoportante la plus haute possible. Quelle forme devrait-on lui donner? Élaborez.