

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 prérequise 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 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
Constante de Boltzmann	$k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K
Zéro absolu	0°K = -273° C
Conversion calorie/joule	1 cal = 4,184 J
Nombre d'Avogadro	$N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>
La combustion du sucre donne	15 MJ/kg

Relation utile: si  $x \ll 1$ ,  $(1 + x)^{-n} \approx (1 - nx)$ .

**Question 1**

Quelle puissance mécanique est requise pour déplacer à une vitesse constante  $v$  un objet de masse  $m$  contre une force  $F$  qui s'oppose à son mouvement?

- (a)  $P = Fv$
- (b)  $P = mv^2/2$
- (c)  $P = mv/F$
- (d)  $P = F^2/mv$

**Question 2**

Un moteur de fusée génère une force de poussée en éjectant des gaz chauds. Si 1 kg de carburant est brûlé par milliseconde et que le produit est éjecté à une vitesse de 1000 m/s quelle est la poussée produite?

- (a) 1000 N
- (b) 10 000 N
- (c) 100 000 N
- (d) 1 000 000 N

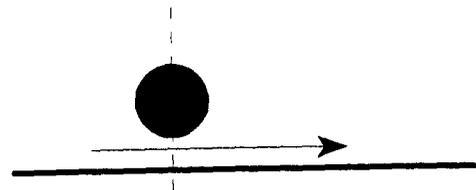
**Question 3**

Une boucle élastique possède une constante de ressort de 10 N/m. Si la boucle est sectionnée à un endroit de sorte qu'elle forme maintenant un seul brin ouvert et deux fois plus long, quelle est la nouvelle constante de ressort?

- (a) 20 N/m
- (b) 40 N/m
- (c) 5 N/m
- (d) 2,5 N/m

**Question 4**

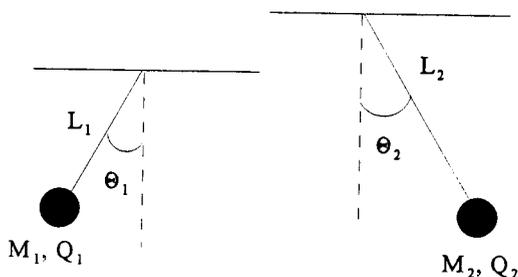
Une balle repose sur une feuille de papier, sur une table. La feuille est tirée subitement et horizontalement vers la droite comme illustré. En comparaison avec sa position initiale par rapport à la table, la balle commence par...



- (a) se déplacer vers la droite.
- (b) se déplacer vers la gauche.
- (c) rester stationnaire.
- (d) son mouvement dépend de la vitesse à laquelle la feuille est tirée.

**Question 5**

Deux petites sphères de masses  $m_1$  et  $m_2$  sont suspendues par des fils isolants, sans masse, de longueurs  $\ell_1$  and  $\ell_2$ . Les deux sphères portent respectivement des charges  $q_1$  et  $q_2$ . Les sphères sont suspendues de telle sorte qu'elles sont au même niveau et les fils sont inclinés respectivement à des angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$  par rapport à la verticale. Laquelle des conditions suivantes est requise pour que  $\theta_1 = \theta_2$ ?



- (a)  $m_1 = m_2$
- (b)  $|q_1| = |q_2|$
- (c)  $\ell_1 = \ell_2$
- (d) aucune de ces réponses

**Question 6**

On dit qu'une astronaute à bord de la navette spatiale en orbite autour de la Terre est en état d'*apesanteur* parce que...

- (a) Aucune force de gravité ne s'exerce sur elle.
- (b) Une force dirigée vers l'extérieur compense la force de gravité.
- (c) Elle est en chute libre dans le champ gravitationnel terrestre.
- (d) Elle est à une position telle entre la Terre et la Lune que les forces gravitationnelles exercées par ces deux astres se compensent.

**Question 7**

Des battements se font entendre quand les cordes de *la* de deux violons sont excitées. La fréquence de battement diminue lorsque la tension de la corde du violon 1 est lentement augmentée. Laquelle des affirmations suivantes est correcte?

- (a) La fréquence fondamentale de la corde de *la* du violon 1 est inférieure à celle du violon 2.
- (b) La fréquence fondamentale de la corde de *la* du violon 1 est supérieure à celle du violon 2.
- (c) La fréquence fondamentale de la corde de *la* du violon 1 est inférieure ou supérieure à celle du violon 2 cela dépend des masses par unité de longueur des deux cordes.
- (d) La fréquence fondamentale de la corde de *la* du violon 1 est inférieure ou supérieure à celle du violon 2; cela dépend de la température.

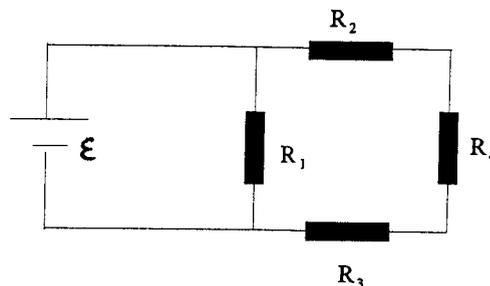
**Question 8**

Un proton (masse  $m_p$ , charge  $+e$ ) et un deuteron (masse  $2m_p$ , charge  $+e$ ) sont initialement au repos et sont accélérés sur la même différence de potentiel  $\Delta V$ . Lequel des énoncés suivants sur les propriétés finales des deux particules est correct?

- (a) Elles ont la même vitesse.
- (b) Elles ont la même quantité de mouvement.
- (c) Elles ont la même énergie cinétique.
- (d) Elles ont reçu la même impulsion.

**Question 9**

Une pile idéale est reliée à un circuit de quatre résistances comme illustré. Si la résistance  $R_4$  est augmentée, alors:



- (a) Le courant passant dans  $R_1$  diminue.
- (b) La différence de potentiel à travers  $R_1$  augmente.
- (c) La différence de potentiel à travers  $R_4$  augmente.
- (d) La différence de potentiel à travers  $R_2$  diminue.

**Question 10**

Un rayon lumineux est incident sur un interface air/ea (de l'air vers l'eau) à un angle de  $45^\circ$ . Parmi les quantités suivantes,

- (1) longueur d'onde
- (2) fréquence
- (3) vitesse de propagation
- (4) direction de propagation ,

lesquelles changent au passage?

- (a) 1 et 3 seulement
- (b) 3 et 4 seulement
- (c) 1,2 et 4 seulement
- (d) 1,3 et 4 seulement

#### Question 11

Trois wagons, chacun de masse  $m$ , sont tirés par une locomotive exerçant une force  $F$  sur le premier wagon. Quelle est la force exercée sur le dernier wagon par le deuxième?

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

#### Question 12

La plus petite fréquence de résonance d'un tuyau fermé à une extrémité et ouvert à l'autre est de 300 Hz. Laquelle des fréquences suivantes n'est pas une fréquence de résonance possible pour ce tuyau?

- (a) 900 Hz
- (b) 2 100 Hz
- (c) 3 300 Hz
- (d) 3 600 Hz

#### Question 13

Une longue barre métallique de 30,0 cm de long, alignée sur l'axe nord-sud, se déplace vers l'est à 10,0 m/s. Un champ magnétique uniforme de 4,00 T pointe vers le bas. Si l'extrémité sud de la barre a un potentiel de 0 V, le potentiel induit à l'extrémité nord de la barre est

- (a) +12 V
- (b) -12 V
- (c) 0 V
- (d) ne peut être déterminé car il n'y a pas de circuit fermé.

#### Question 14

Un proton se déplace dans un champ électrique uniforme  $E$ , de grandeur et de direction inconnues. Un champ magnétique de 0,01 T pointe dans la direction  $y$ . Le proton se déplace selon l'axe des  $x$  à une vitesse constante de 10 km/s. On suppose que le trièdre  $xyz$  est orientée comme d'habitude. Lequel des énoncés suivants est correct?

- (a)  $E = 100$  V/m, dans la direction  $+z$ .
- (b)  $E = 100$  V/m, dans la direction  $-z$ .
- (c)  $E = 100$  V/m, dans la direction  $+x$ .
- (d)  $E = 100$  V/m, dans la direction  $-x$ .

#### Question 15

Un bloc d'aluminium comporte, à l'intérieur, une cavité complètement close. Le bloc est placé dans une région où règne un champ électrique dirigé vers le haut. Lequel des énoncés suivants décrit bien les conditions à l'intérieur de la cavité?

- (a) Le champ électrique dans la cavité est dirigé vers le haut.
- (b) Le champ électrique dans la cavité est dirigé vers le bas.
- (c) Le champ électrique dans la cavité est nul.
- (d) Le champ électrique dans la cavité est de grandeur variable, mais nul exactement au centre.

#### Question 16

Deux sphères de cuivre,  $A$  et  $B$ , sont identiques en tout point, sauf que  $A$  porte une charge de  $-3 \mu\text{C}$ , alors que  $B$  porte une charge de  $+1 \mu\text{C}$ . Les deux sphères sont amenées en contact l'une avec l'autre et ensuite séparées légèrement de façon à être isolées l'une de l'autre. Lequel des énoncés suivants sur la force électrostatique entre les deux sphères est vrai?

- (a)  $F = 0$  car l'une des deux sphères est déchargée.
- (b)  $F = 0$  car les deux sphères sont déchargées.
- (c)  $F$  est attractive.
- (d)  $F$  est repulsive.

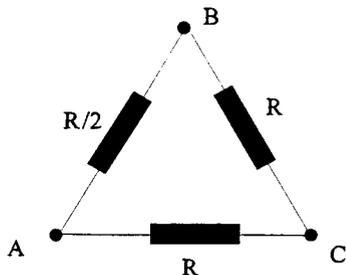
#### Question 17

Une pile réelle possède une f.é.m.  $\epsilon$  et une résistance interne  $r$ . Une résistance variable  $R$  est reliée aux bornes de la pile. Un courant  $I$  est tiré de la pile et la différence de potentiel entre les deux bornes de la pile est  $V$ . Si  $R$  est lentement diminué jusqu'à zéro, lequel des énoncés suivants décrit le mieux  $I$  et  $V$ ?

- (a)  $I$  tend vers zéro;  $V$  tend vers  $\epsilon$ .
- (b)  $I$  tend vers l'infini;  $V$  tend vers zéro.
- (c)  $I$  tend vers  $\epsilon/r$ ;  $V$  tend vers  $\epsilon$ .
- (d)  $I$  tend vers  $\epsilon/r$ ;  $V$  tend vers zéro.

#### Question 18

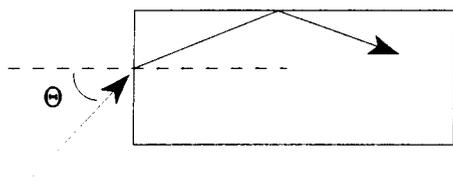
Trois résistances sont reliées comme illustré. Un courant  $I$  entre dans  $A$  et sort de  $B$ . Quelle est la puissance dissipée dans la résistance  $R/2$ ?



- (a)  $8I^2R/25$
- (b)  $I^2R$
- (c)  $16I^2R/5$
- (d)  $25I^2R/32$

**Question 19**

La lumière pénètre à l'extrémité d'une fibre optique cylindrique, comme illustré. L'indice de réfraction (uniforme) de la fibre est  $n = 1,4$ . Quelle est l'angle d'entrée  $\theta$  maximum tel que le rayon incident subit une réflexion totale interne dans la fibre? Supposez que l'indice de réfraction de l'air est 1; tous les résultats sont indiqués à deux chiffres significatifs.



- (a)  $78^\circ$
- (b)  $46^\circ$
- (c)  $44^\circ$
- (d)  $12^\circ$

**Question 20**

Deux balles de même masse sont relâchées d'une même hauteur au-dessus du sol. La première balle rebondit de manière élastique mais la deuxième balle reste collée au sol. Les deux balles (1 et 2) donnent respectivement des impulsions  $I_1$  et  $I_2$  au sol. Les deux impulsions doivent satisfaire...

- (a)  $I_2 = 2I_1$ .
- (b)  $I_2 = I_1/2$ .
- (c)  $I_2 = 4I_1$ .
- (d)  $I_2 = I_1/4$ .

**Question 21**

Un cube de glace flotte dans un verre d'eau. Le niveau de l'eau est marqué sur le verre avec un crayon gras. Une fois

le cube de glace complètement fondu et en supposant qu'il n'y a pas eu d'évaporation, le niveau de l'eau...

- (a) a augmenté.
- (b) a diminué.
- (c) est resté le même.
- (d) ne peut être déterminé par l'information fournie.

**Question 22**

Un petit morceau de boue, collé sur la roue avant d'un vélo, se détache et est projeté horizontalement vers l'avant lorsqu'il est au sommet de la roue. Le vélo se déplace à une vitesse  $v$  en roulant sans glisser. À l'instant où le morceau de boue touche le sol, à quel distance se trouve-t-il du centre de la roue avant? Négligez la résistance de l'air; le rayon de la roue est  $r$ .

- (a)  $\sqrt{2rv^2/g}$
- (b)  $\sqrt{4rv^2/g}$
- (c)  $\sqrt{8rv^2/g}$
- (d)  $\sqrt{16rv^2/g}$

**Question 23**

Une fusée d'exploration, de masse  $m$ , est en orbite de rayon  $R_{TS}/10$  autour du soleil (un dixième du rayon de l'orbite de la Terre autour du soleil). Pour quitter cette orbite, la fusée allume un moteur pour une courte période de temps. Ceci double la vitesse de la fusée et diminue sa masse de moitié (à cause de la consommation de carburant) Immédiatement après cette période de propulsion, quelle est l'énergie cinétique de la fusée?

- (a)  $10GM_Sm/R_{TS}$
- (b)  $5GM_Sm/R_{TS}$
- (c)  $20GM_Sm/R_{TS}$
- (d)  $GM_Sm/2R_{TS}$

**Question 24**

Une ampoule électrique éclaire dans la direction  $x$ , à travers deux polariseurs idéaux successifs, l'un avec un axe de polarisation fixe et l'autre dont l'axe de polarisation tourne dans le plan  $yz$  (c'est-à-dire par rapport à l'axe des  $x$ ). En regardant vers l'ampoule à travers les deux polariseurs, on voit...

- (a) l'ampoule presque disparaître deux fois par révolution et atteindre un maximum d'intensité deux fois par révolution. L'intensité maximum est inférieure à celle observée sans les polariseurs.
- (b) Comme en (a), mais une fois par révolution.
- (c) Comme en (a), mais avec une intensité maximale aussi grande que sans polariseurs.
- (d) Comme en (a), mais l'ampoule disparaît complètement

**Question 25**

Deux sphères métalliques identiques portent une charge  $+Q$ . Les sphères sont fixes, séparées par une distance  $2l$ ; elles sont reliées par une tige légère et rigide, sur laquelle glisse sans frottement un petit disque de masse  $m$  et de charge  $q$ . Le disque est en équilibre lorsqu'il est à égale distance des deux sphères. Si le disque est légèrement déplacé de son point d'équilibre le long de la tige, il oscillera avec une période de...

- (a)  $2\pi\sqrt{\pi\epsilon_0 ml^3/Qq}$
- (b)  $2\pi\sqrt{Qq/\pi\epsilon_0 ml^3}$
- (c)  $2\pi\sqrt{4\pi\epsilon_0 ml^3/Qq}$
- (d)  $2\pi\sqrt{4\pi\epsilon_0 ml^2/Qq}$

**Partie B**

**Question 1**

Une balle de masse  $m = 1,0$  kg est relâchée d'une hauteur  $h_1 = 1,0$  m au-dessus d'une table. Elle rebondit jusqu'à une hauteur  $h'_1 < h_1$ . Le coefficient de restitution entre la balle et la table est  $\epsilon = \sqrt{h'_1/h_1} = 0,7$ . Le rayon de la balle est  $r = 0,5$  cm.

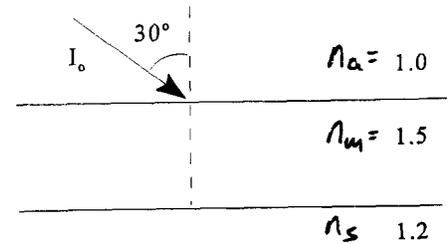
- (a) Quel est le rapport de l'énergie cinétique juste après le rebond sur l'énergie cinétique juste avant?
- (b) Si le contact entre la balle et la table a une durée de  $\Delta t = 0,01$  s, quelle est la force moyenne exercée sur la balle par la table?
- (c) De quelle hauteur  $h_2$  par rapport à la table, et directement au-dessus de la première balle, doit-on relâcher une deuxième balle, de sorte qu'elle entre en collision avec la première immédiatement quand celle-ci a terminé sa collision avec la table. La deuxième balle est identique à la première, sauf que sa masse est de 100 g.
- (d) Si le coefficient de restitution entre les deux balles est 1,0, trouvez la hauteur maximale  $h'_2$  atteinte par la deuxième balle après sa collision avec la première balle.

**Question 2**

Les dispositifs optiques laminaires jouent un rôle important dans l'industrie des semiconducteurs. Il est important de comprendre comment la lumière interagit avec de telles interfaces. Considérons donc l'interaction de la lumière avec une structure laminaire simple.

Supposons qu'un faisceau lumineux d'intensité  $I_0$  est incident avec un petit angle  $\theta_i = 30^\circ$  sur une interface laminaire. La lame est un assemblage de deux couches : un substrat S relativement épais, d'indice de réfraction  $n_s = 1,2$ , et une couche mitoyenne mince M, d'indice de réfraction

$n_m = 1,5$ . L'indice de réfraction de l'air (A) peut être considéré égal à l'unité. L'épaisseur de la couche M est suffisamment grande pour négliger les effets d'interférence.



- (a) Calculez l'angle  $\theta_m$  que fait le rayon réfracté A→ avec la normale et donc l'angle d'incidence du rayon l'interface M/S. Ensuite, calculez l'angle de réfraction  $\theta_s$  du rayon réfracté dans le substrat S.

**Note:** Un rayon lumineux incident à un angle  $\theta_i$  sur une interface entre des milieux d'indices  $n_1$  et  $n_2$  produira un rayon réfléchi et un rayon réfracté (ce dernier faisant un angle  $\theta_r$  avec la normale). La fraction de l'intensité réfléchi est

$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{\tan^2(\theta_r - \theta_i)}{\tan^2(\theta_r + \theta_i)} + \frac{\sin^2(\theta_r - \theta_i)}{\sin^2(\theta_r + \theta_i)} \right)$$

La fraction de l'intensité réfractée (ou transmise) est  $T = 1 - R$ .

- (b) En utilisant les angles trouvés en (a), calculez  $R$  et  $T$  pour la réflexion et la transmission aux interfaces A→M, M→S et M→A.
- (c) Trouvez une expression pour l'intensité de la lumière réfléchi par le dispositif laminaire au complet et évaluez-la à autant de chiffres significatifs que possible.

**Question 3**

L'oiseau-mouche a une masse de  $m = 10$  g. Il vole un peu comme un hélicoptère, sauf qu'au lieu de tourner, ses ailes ont un mouvement de va-et-vient, développant une force de poussée sur les deux parties du mouvement. La surface de la section verticale balayée par les ailes est  $A = 0,01$  m<sup>2</sup>.

- (a) Estimez la puissance mécanique  $P$  requise pour qu'un oiseau-mouche puisse se maintenir en vol.
- (b) Estimez la masse de sucre que l'oiseau-mouche doit consommer (sous forme de nectar) pour demeurer en vol pendant une heure.

**Note:** Cette question vous demande de faire des hypothèses et d'estimer des quantités physiques. Des points sont donnés sur la qualité de ces hypothèses et estimations et donc expliquez-les clairement. Vous devriez cependant tenter votre chance à l'aide de vos hypothèses même si vos estimations vous semblent mauvaises.

**Les Solutions**