

Physique

Niveau supérieur

Épreuve 3

Mardi 16 mai 2017 (matin)

Numéro de session du candidat

1 heure 15 minutes

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Instructions destinées aux candidats

- Écrivez votre numéro de session dans les cases ci-dessus.
- N'ouvrez pas cette épreuve avant d'y être autorisé(e).
- Rédigez vos réponses dans les cases prévues à cet effet.
- Une calculatrice est nécessaire pour cette épreuve.
- Un exemplaire non annoté du **recueil de données de physique** est nécessaire pour cette épreuve.
- Le nombre maximum de points pour cette épreuve d'examen est de **[45 points]**.

| Section A | Questions |
|----------------------------------|-----------|
| Répondez à toutes les questions. | 1 – 2 |

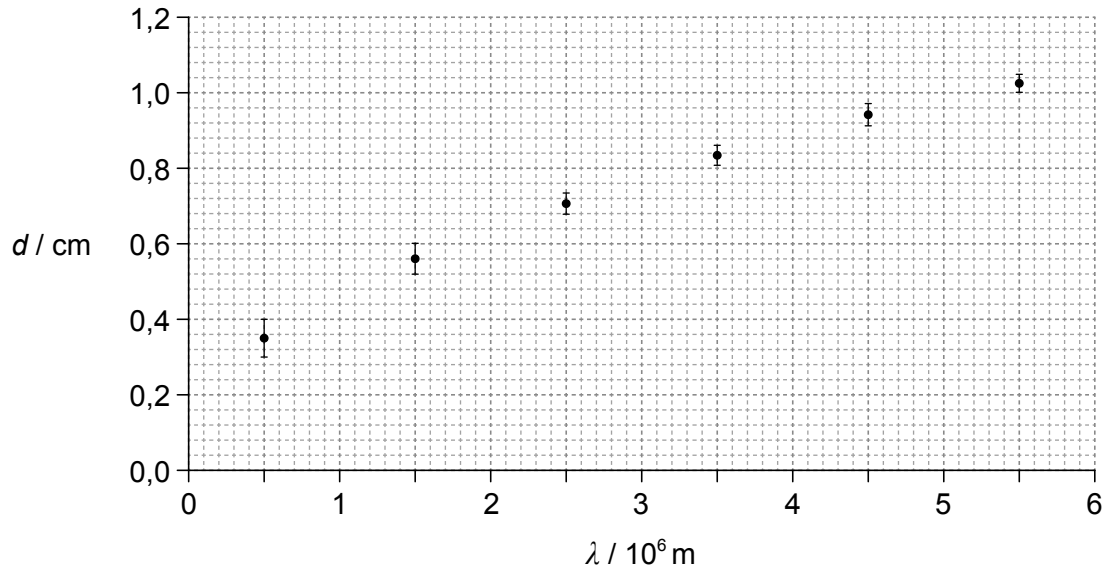
| Section B | Questions |
|--|-----------|
| Répondez à toutes les questions d'une des options. | |
| Option A — Relativité | 3 – 7 |
| Option B — Physique de l'ingénieur | 8 – 11 |
| Option C — Imagerie | 12 – 16 |
| Option D — Astrophysique | 17 – 20 |



Section A

Répondez à **toutes** les questions. Rédigez vos réponses dans les cases prévues à cet effet.

1. Une onde radioélectrique d'une longueur d'onde λ est incidente sur un conducteur. Le graphique ci-dessous montre la variation, en fonction de la longueur d'onde λ , de la distance maximum d parcourue à l'intérieur de ce conducteur.



- (a) Suggérez pourquoi il est peu probable que le rapport entre d et λ soit linéaire.

[1]

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 1)

(b) Pour $\lambda = 5,0 \times 10^5$ m, calculez

(i) l'incertitude fractionnaire sur d . [2]

.....

.....

.....

.....

(ii) le pourcentage d'incertitude sur d^2 . [1]

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)

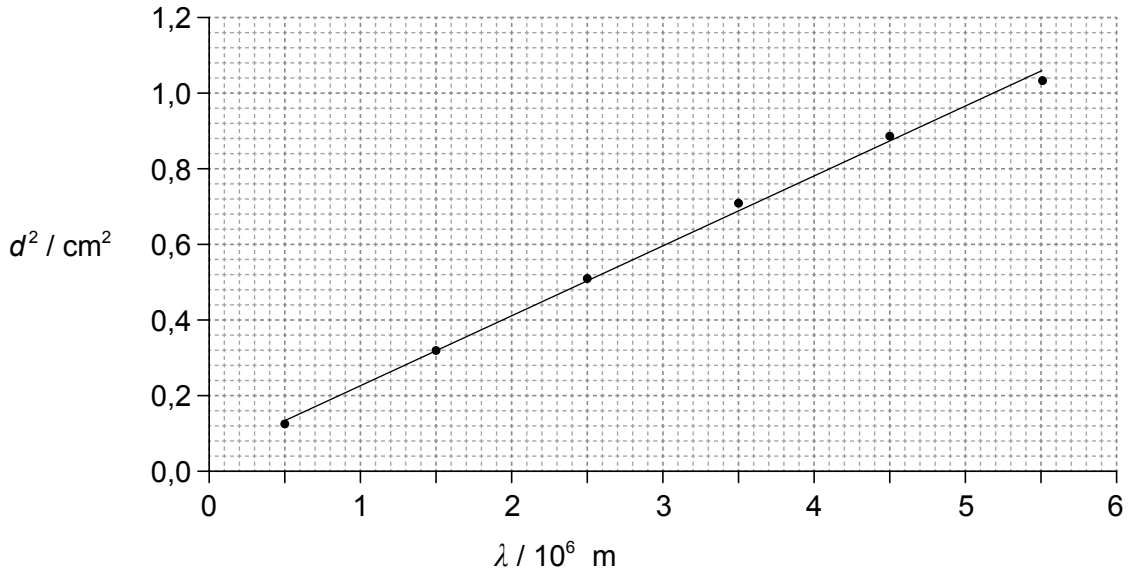


40EP03

Tournez la page

(Suite de la question 1)

- (c) Le graphique ci-dessous montre la variation de d^2 en fonction de la longueur d'onde λ . Les barres d'erreur ne sont pas montrées et la droite de meilleur ajustement a été tracée.



Un élève exprime que l'équation de la droite de meilleur ajustement est $d^2 = a + b\lambda$. Lorsque d^2 et λ sont exprimés en termes d'unités fondamentales du SI, l'élève trouve que $a = 0,040 \times 10^{-4}$ et $b = 1,8 \times 10^{-11}$.

- (i) Exprimez l'unité fondamentale du SI de la constante a et de la constante b . [2]

a :

b :

- (ii) Déterminez la distance parcourue à l'intérieur du conducteur par des ondes électromagnétiques à très haute fréquence. [2]

.....

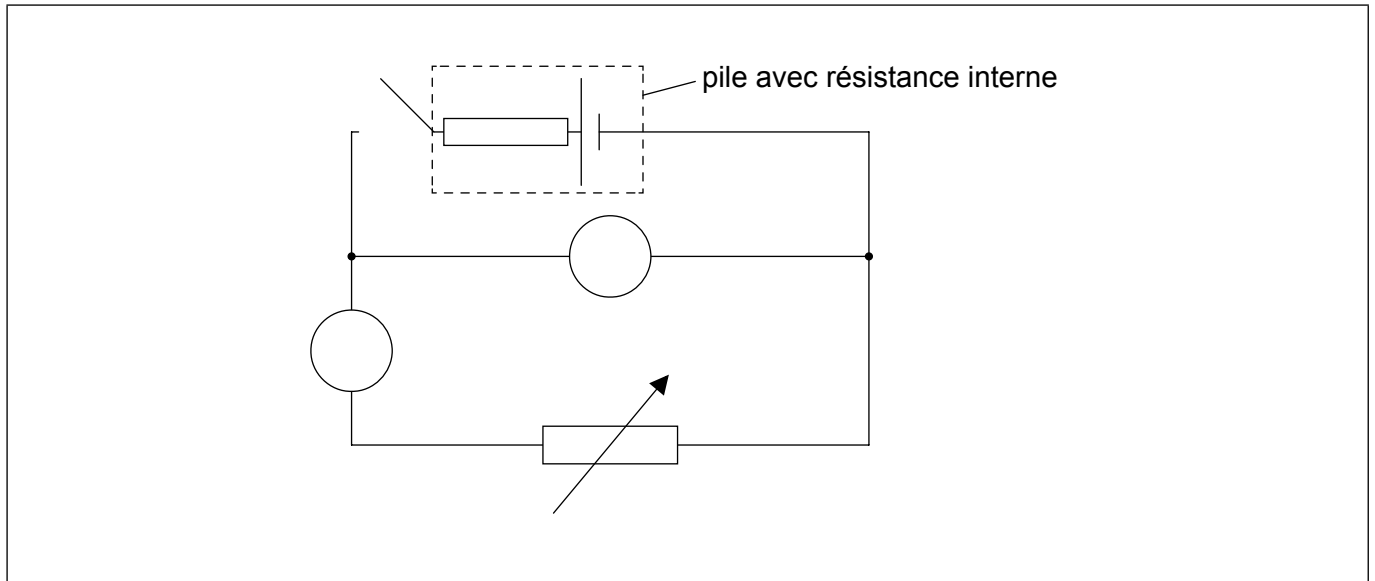
.....

.....

.....



2. On peut utiliser le circuit montré ci-dessous pour mesurer la résistance interne d'une pile.



(a) Un ampèremètre et un voltmètre sont connectés dans le circuit. Légendez l'ampèremètre avec la lettre A et le voltmètre avec la lettre V.

[1]

(Suite de la question à la page suivante)

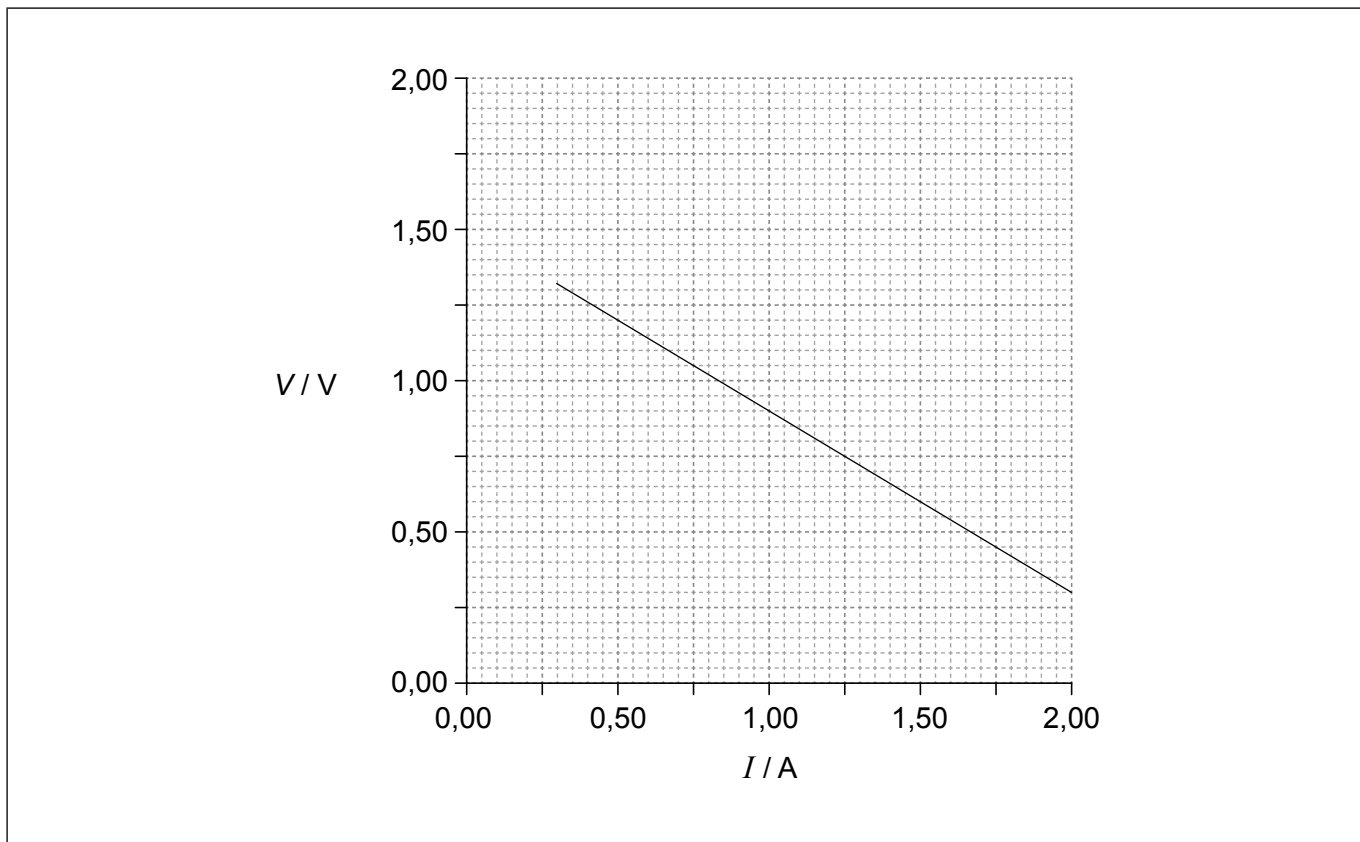


40EP05

Tournez la page

(Suite de la question 2)

- (b) Dans une expérience, un élève obtient le graphique ci-dessous montrant la variation, en fonction du courant I , de la différence de potentiel V aux bornes de la pile.



En utilisant le graphique ci-dessus, déterminez la meilleure estimation de la résistance interne de la pile.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



40EP06

(Suite de la question 2)

(c) L'ampèremètre utilisé dans l'expérience en (b) est un appareil de mesure analogique. L'élève prend des mesures sans vérifier s'il y a une « erreur de zéro » sur l'ampèremètre.

(i) Exprimez ce qu'on entend par une erreur de zéro. [1]

.....
.....

(ii) Après avoir pris des mesures, l'élève observe que l'ampèremètre a une erreur de zéro positive. Expliquez quel effet éventuel cette erreur de zéro aura sur la valeur calculée de la résistance interne en (b). [2]

.....
.....
.....
.....
.....
.....



Section B

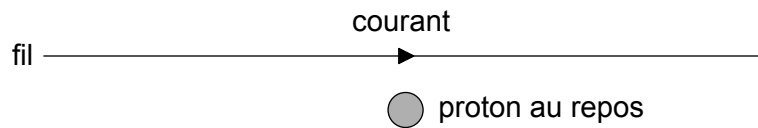
Répondez à **toutes** les questions d'**une** des options. Rédigez vos réponses dans les cases prévues à cet effet.

Option A — Relativité

3. (a) Exprimez **une** prédiction de la théorie de l'électromagnétisme de Maxwell qui est compatible avec la relativité restreinte. [1]

.....
.....

- (b) Un courant est établi dans un long fil droit qui est au repos dans un laboratoire.



Un proton est au repos par rapport au laboratoire et au fil.

L'observateur X est au repos dans le laboratoire. L'observateur Y se déplace vers la droite avec une vitesse constante par rapport au laboratoire. Comparez et opposez comment l'observateur X et l'observateur Y expliquent les forces non gravitationnelles éventuelles sur le proton. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Suite de l'option A)

4. Les muons sont des particules instables avec une durée de vie propre de $2,2 \mu\text{s}$. Des muons sont produits $2,0 \text{ km}$ au-dessus du sol et se déplacent vers le bas à une vitesse de $0,98c$ par rapport au sol. Pour cette vitesse, $\gamma = 5,0$. Discutez, avec des calculs appropriés, comment cette expérience fournit des preuves de la dilatation du temps. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option A continue sur la page suivante)

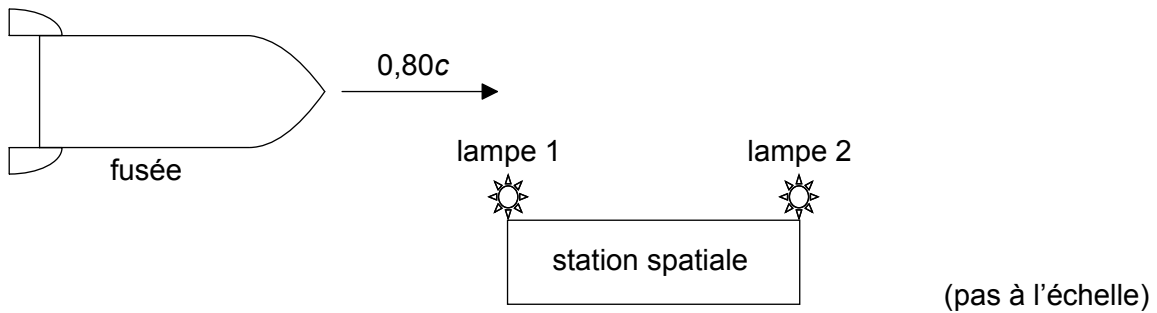


40EP09

Tournez la page

(Suite de l'option A)

5. Une fusée d'une longueur propre de 450 m s'approche d'une station spatiale dont la longueur propre est 9,0 km. La vitesse de la fusée par rapport à la station spatiale est $0,80c$.



X est un observateur au repos dans la station spatiale.

- (a) (i) Calculez la longueur de la fusée selon X. [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) Une navette spatiale est relâchée depuis la fusée. Cette navette spatiale se déplace avec une vitesse de $0,20c$ **vers la droite** selon X. Calculez le **vecteur vitesse** de la navette spatiale par rapport à la fusée. [2]

.....

.....

.....

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Option A, suite de la question 5)

(b) Deux lampes à des extrémités opposées de la station spatiale s'allument en même temps selon X. En utilisant une transformation de Lorentz, déterminez, selon un observateur au repos dans la fusée,

(i) l'intervalle de temps entre l'allumage des lampes. [2]

.....
.....
.....
.....

(ii) quelle lampe s'allume en premier. [1]

.....
.....

(L'option A continue sur la page suivante)

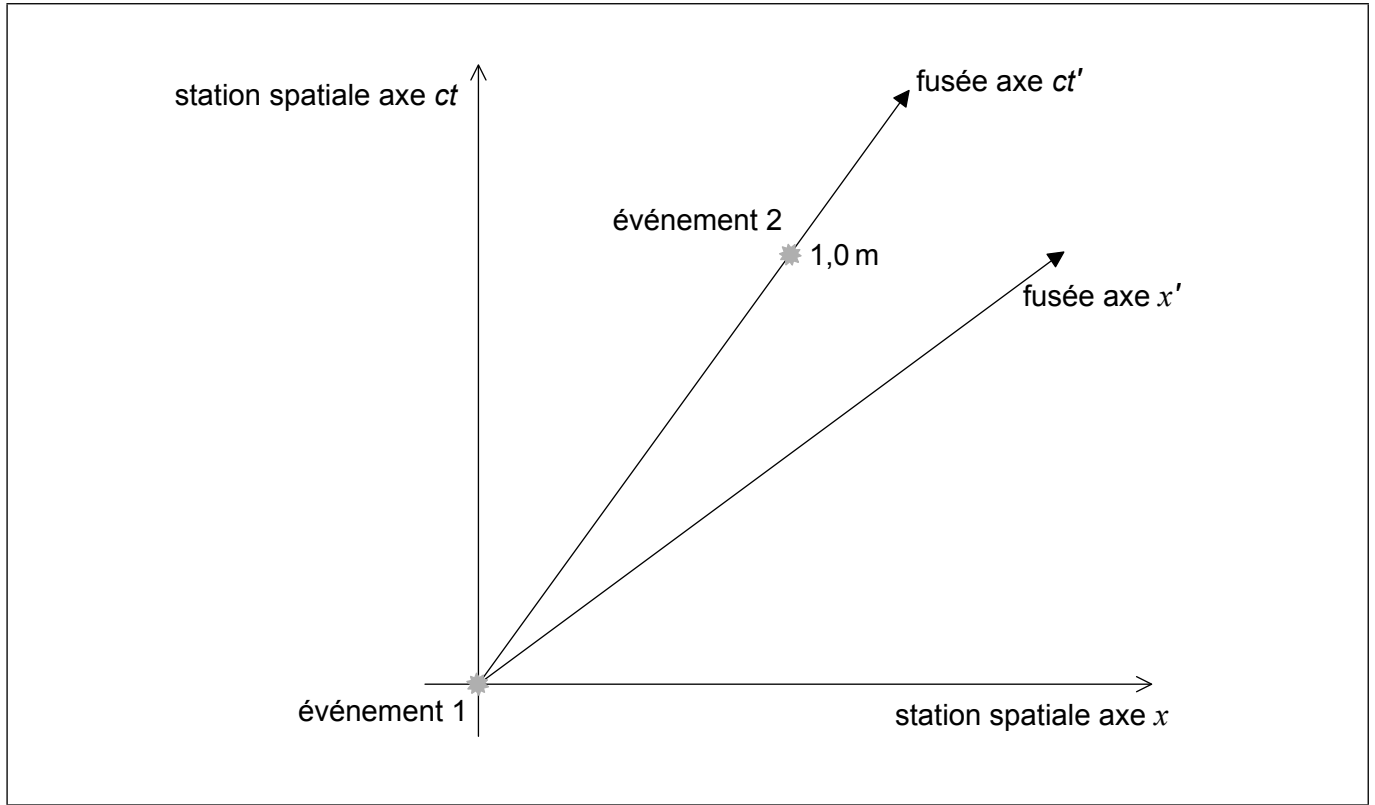


40EP11

Tournez la page

(Option A, suite de la question 5)

- (c) La fusée porte une lampe différente. L'événement 1 est l'éclat de la lampe de la fusée se produisant à l'origine des **deux** systèmes de référence. L'événement 2 est l'éclat de la lampe de la fusée au moment où $ct' = 1,0$ m selon la fusée. Les coordonnées pour l'événement 2 pour les observateurs dans la station spatiale sont x et ct .



- (i) Sur le schéma ci-dessus, légendez les coordonnées x et ct . [2]
- (ii) Exprimez et expliquez si la coordonnée ct dans la question (c)(i) est plus petite **ou** plus grande que 1,0 m **ou** égale à 1,0 m. [2]

.....

.....

.....

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



40EP12

(Option A, suite de la question 5)

(iii) Calculez la valeur de $c^2t^2 - x^2$.

[2]

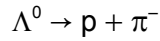
.....

.....

.....

.....

6. Une particule lambda Λ^0 au repos se désintègre en un proton p et en un pion π^- selon la réaction



dans laquelle l'énergie au repos de p = 938 MeV et l'énergie au repos de $\pi^- = 140$ MeV.

La vitesse du pion après cette désintégration est 0,579c. Pour cette vitesse, $\gamma = 1,2265$. Calculez la vitesse du proton.

[4]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



40EP13

Tournez la page

(Suite de l'option A)

7. (a) (i) Exprimez ce qu'on entend par l'horizon des évènements d'un trou noir. [1]

.....
.....
.....
.....

(ii) Montrez que la surface active A de la sphère correspondant à l'horizon des évènements est donnée par

$$A = \frac{16\pi G^2 M^2}{c^4}. \quad [1]$$

.....
.....
.....
.....

(iii) Suggérez pourquoi l'aire de surface de l'horizon des évènements ne peut jamais diminuer. [1]

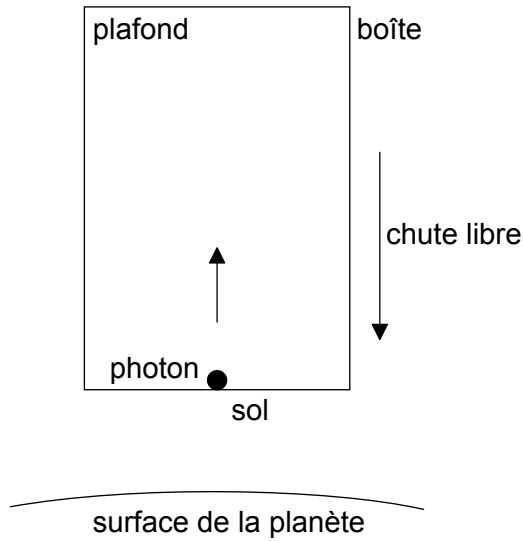
.....
.....
.....
.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Option A, suite de la question 7)

- (b) Le schéma ci-dessous montre une boîte qui tombe librement dans le champ gravitationnel d'une planète.



Un photon d'une fréquence f est émis depuis le sol de cette boîte et il est reçu au plafond. Exprimez et expliquez la fréquence de ce photon mesurée au plafond.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fin de l'option A

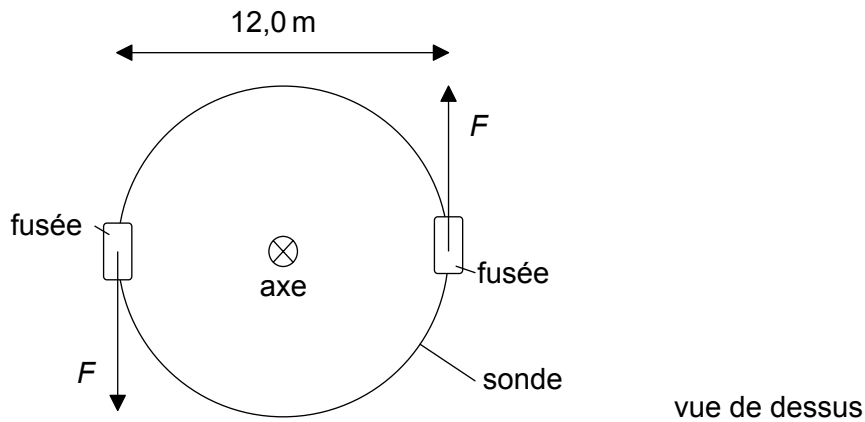


40EP15

Tournez la page

Option B — Physique de l'ingénieur

8. Une sonde spatiale cylindrique d'une masse de $8,00 \times 10^2$ kg et d'un diamètre de 12,0 m est au repos dans l'espace extra-atmosphérique.



Des fusées à des endroits opposés de cette sonde sont lancées de façon à ce que la sonde tourne autour de son axe. Chaque fusée produit une force $F = 9,60 \times 10^3$ N. Le moment d'inertie de la sonde autour de son axe est $1,44 \times 10^4$ kg m².

- (a) (i) Déduisez l'accélération linéaire du centre de masse de la sonde. [1]

.....
.....

- (ii) Calculez le couple en résultant autour de l'axe de la sonde. [2]

.....
.....
.....

- (b) Les forces agissent pendant 2,00 s. Montrez que la vitesse angulaire finale de la sonde est environ 16 rad s^{-1} . [2]

.....
.....
.....
.....

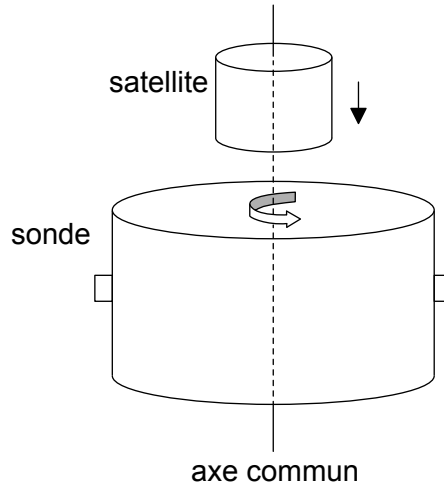
(L'option B continue sur la page suivante)



40EP16

(Option B, suite de la question 8)

- (c) Le schéma ci-dessous montre un satellite s'approchant de la sonde en rotation avec une petite vitesse négligeable. Initialement, le satellite ne tourne pas, mais, après s'être relié à la sonde, ils tournent tous les deux ensemble.



Le moment d'inertie du satellite autour de son axe est $4,80 \times 10^3 \text{ kg m}^2$. Les axes de la sonde et du satellite sont les mêmes.

- (i) Déterminez la vitesse angulaire finale du système sonde-satellite. [2]

.....
.....
.....
.....

- (ii) Calculez la perte d'énergie cinétique de rotation due à la liaison de la sonde avec le satellite. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(L'option B continue sur la page suivante)

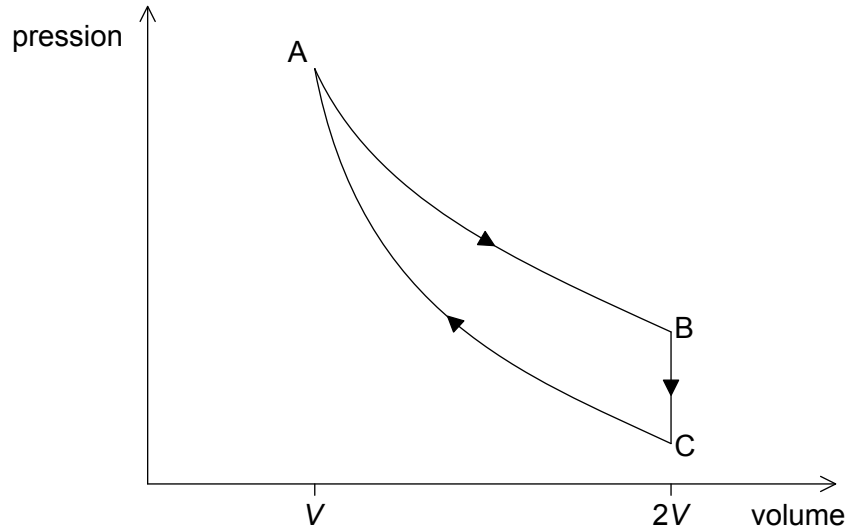


40EP17

Tournez la page

(Suite de l'option B)

9. Un moteur thermique fonctionne selon le cycle montré dans le diagramme pression–volume ci-dessous. Ce cycle consiste en une détente isotherme AB, en une transformation isovolumétrique BC et en une compression adiabatique CA. Le volume en B est le double du volume en A. Le gaz est un gaz monoatomique parfait.



En A, la pression du gaz est $4,00 \times 10^6$ Pa, la température est 612 K et le volume est $1,50 \times 10^{-4}$ m³. Le travail effectué par le gaz pendant la détente isotherme est 416 J.

- (a) (i) Justifiez pourquoi l'énergie thermique fournie pendant la détente AB est 416 J. [1]

.....
.....

- (ii) Montrez que la température du gaz en C est 386 K. [2]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(L'option B continue sur la page suivante)



40EP18

(Option B, suite de la question 9)

(iii) Montrez que l'énergie thermique enlevée du gaz pour la transformation BC est environ 330 J. [2]

.....
.....
.....
.....

(iv) Déterminez le rendement de ce moteur thermique. [2]

.....
.....
.....
.....

(b) Exprimez et expliquez à quel moment dans le cycle ABCA l'entropie du gaz est la plus grande. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(Suite de l'option B à la page 21)



40EP19

Tournez la page

Veillez ne **pas** écrire sur cette page.

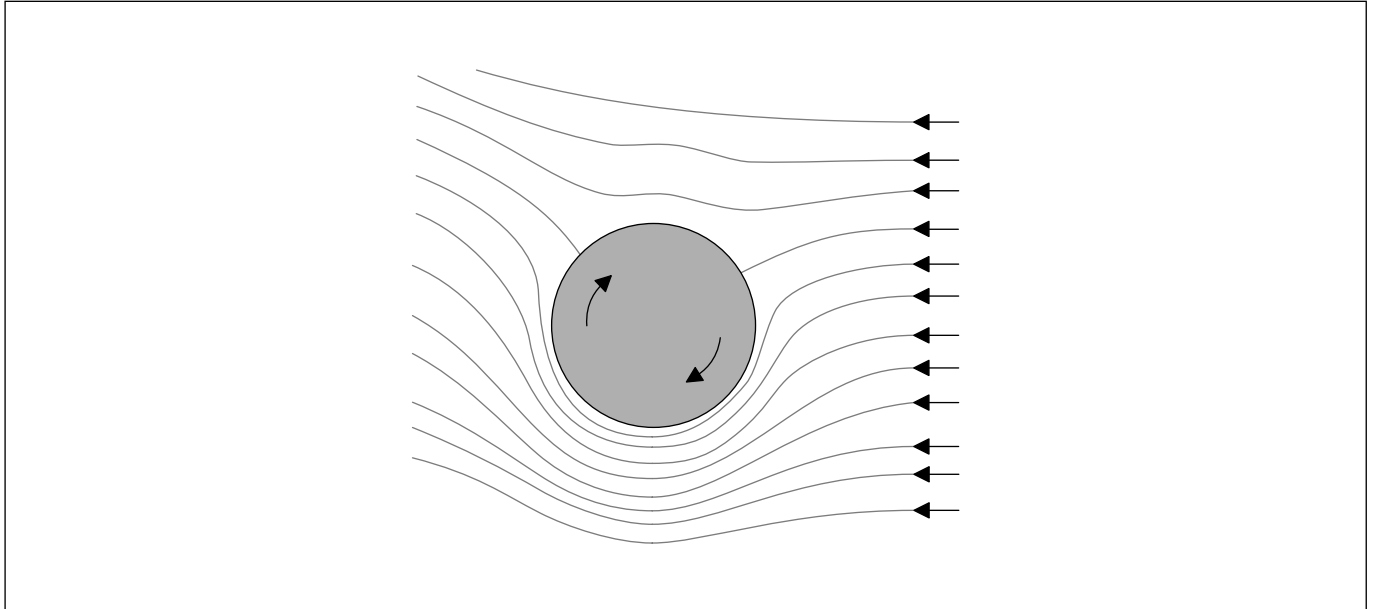
Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



40EP20

(Suite de l'option B à la page 19)

10. Une balle se déplace dans de l'air immobile, tournoyant dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un axe horizontal à travers son centre. Le schéma ci-dessous montre des lignes de courant autour de cette balle.



(a) L'aire de surface de la balle est $2,50 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. La vitesse de l'air est $28,4 \text{ m s}^{-1}$ en dessous de la balle et $16,6 \text{ m s}^{-1}$ au-dessus de la balle. La densité de l'air est $1,20 \text{ kg m}^{-3}$.

(i) Estimez la grandeur de la force sur la balle, en ignorant la gravité. [2]

.....
.....
.....
.....

(ii) Sur le schéma ci-dessus, dessinez une flèche pour indiquer la direction de cette force. [1]

(b) Exprimez **une** supposition que vous avez faite dans votre estimation pour la question (a)(i). [1]

.....
.....

(L'option B continue sur la page suivante)

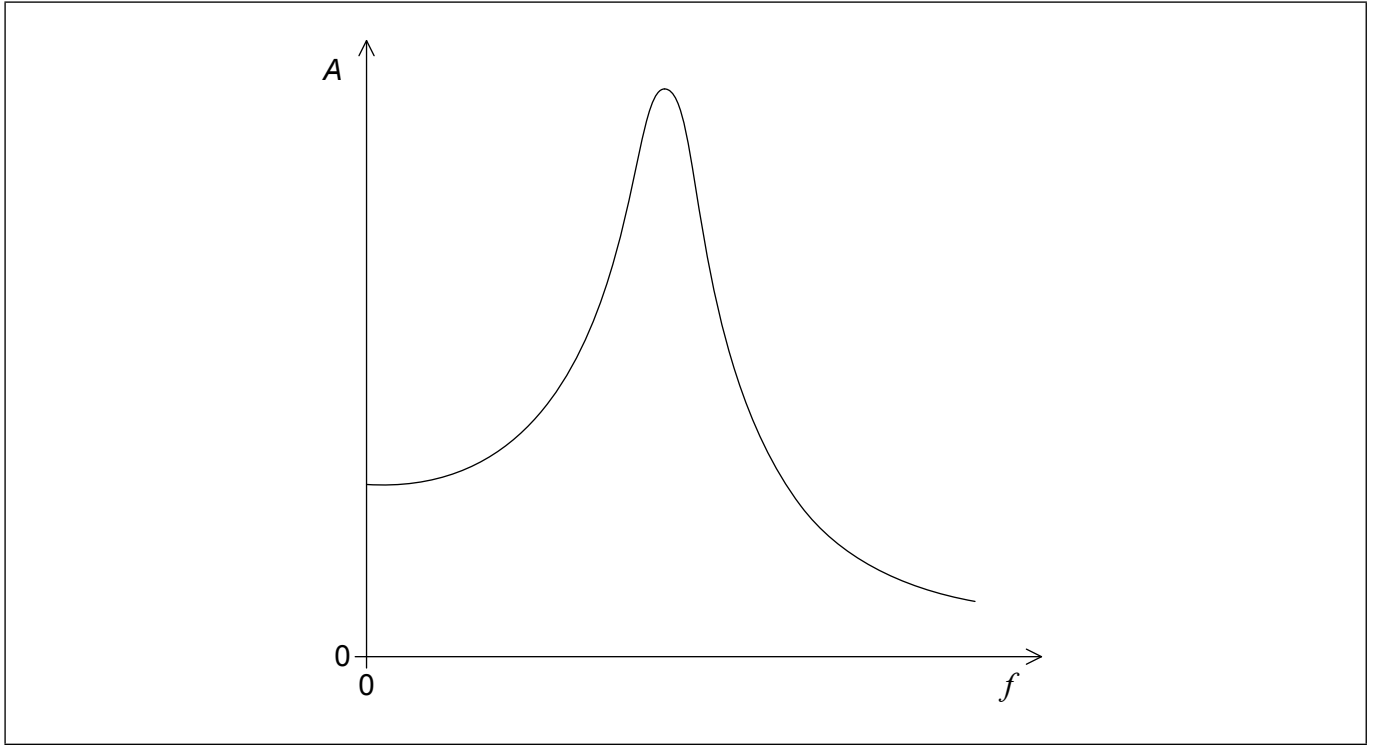


40EP21

Tournez la page

(Suite de l'option B)

11. Un système entraîné est légèrement amorti. Le graphique ci-dessous montre la variation, en fonction de la fréquence d'excitation f , de l'amplitude A d'oscillation.



- (a) Sur le graphique ci-dessus, représentez une courbe pour montrer la variation de l'amplitude, en fonction de la fréquence d'excitation, lorsque l'amortissement du système **augmente**.

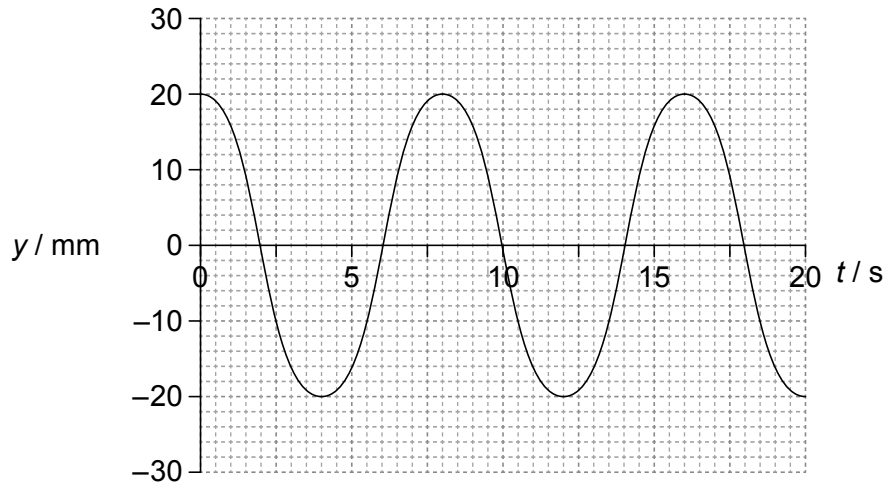
[2]

(L'option B continue sur la page suivante)



(Option B, suite de la question 11)

- (b) On force une masse sur un ressort à osciller en la raccordant à un vibreur à ondes sinusoïdales. Le graphique ci-dessous montre la variation, en fonction du temps t , du déplacement y de la masse qui en résulte. Le vibreur à ondes sinusoïdales a la même fréquence que la fréquence naturelle du système ressort–masse.



- (i) Exprimez et expliquez le déplacement du vibreur à ondes sinusoïdales à $t=8,0$ s. [2]

.....
.....
.....
.....

- (ii) On arrête le vibreur et le ressort continue d’osciller. Le facteur de qualité Q est 25.

Calculez le rapport $\frac{\text{énergie stockée}}{\text{perte de puissance}}$ pour les oscillations du système ressort–masse. [2]

.....
.....
.....
.....
.....

Fin de l’option B

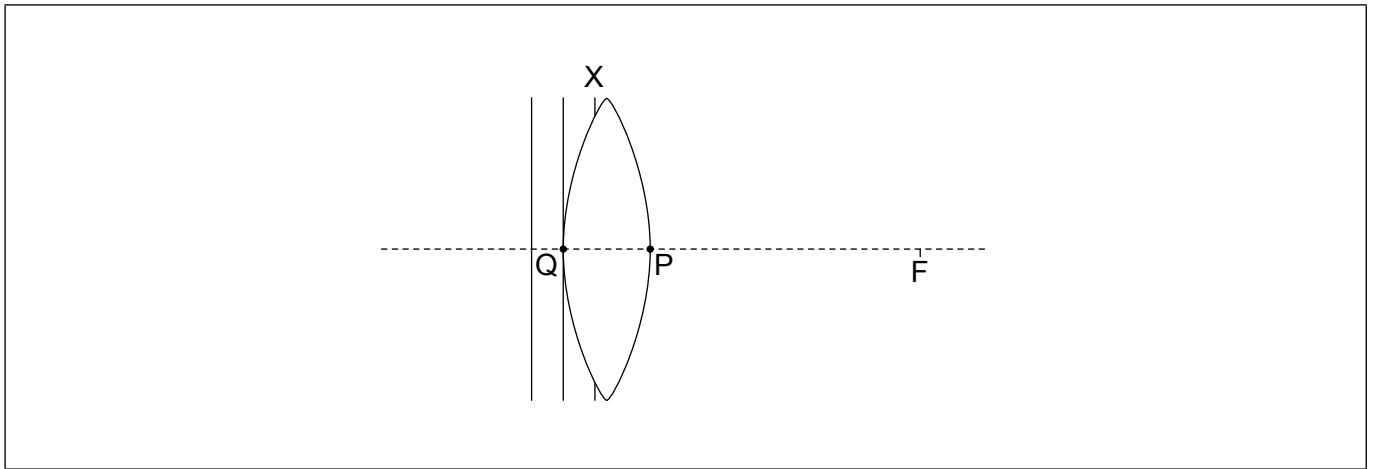


40EP23

Tournez la page

Option C — Imagerie

12. Le diagramme ci-dessous montre des fronts d'onde plans incidents sur une lentille convergente. Le foyer de cette lentille est marqué avec la lettre F.



Le front d'onde X est incomplet. Le point Q et le point P se trouvent sur la surface de la lentille et sur l'axe principal.

- (a) Sur le diagramme ci-dessus, représentez
 - (i) la partie du front d'onde X qui est à l'intérieur de la lentille. [1]
 - (ii) le front d'onde dans l'air qui passe à travers le point P. Légendez ce front d'onde Y. [1]
- (b) Expliquez votre esquisse en réponse à la question (a)(i). [2]

.....

.....

.....

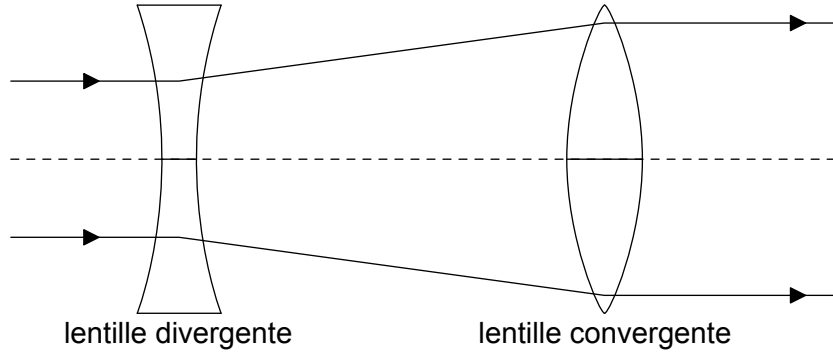
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Option C, suite de la question 12)

- (c) Deux rayons parallèles sont incidents sur un système consistant en une lentille divergente d'une distance focale de 4,0 cm et en une lentille convergente d'une distance focale de 12 cm.



Les rayons sortent parallèles de la lentille convergente. Déterminez la distance entre ces deux lentilles.

[2]

.....

.....

.....

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



40EP25

Tournez la page

(Suite de l'option C)

13. Deux lentilles convergentes placées à une distance de 90 cm l'une de l'autre sont utilisées comme un télescope réfracteur astronomique simple à un réglage normal. Le grossissement angulaire de ce montage est 17.

(a) Déterminez la distance focale de chaque lentille. [2]

.....
.....
.....
.....

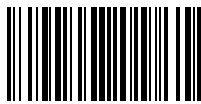
(b) On utilise ce télescope pour former une image de la Lune. L'angle sous-tendu par l'image de la Lune à l'oculaire est 0,16 rad. La distance de la Lune est $3,8 \times 10^8$ m. Estimez le diamètre de la Lune. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(c) Exprimez **deux** avantages de l'utilisation de télescopes à bord de satellites par rapport à des télescopes terrestres. [2]

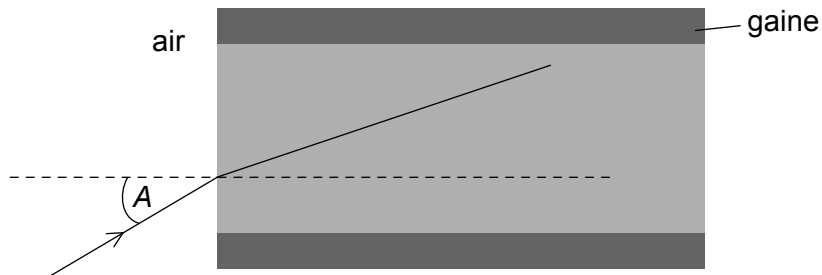
1.
.....
2.
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Suite de l'option C)

14. (a) Le schéma ci-dessous montre un rayon de lumière dans l'air qui pénètre dans le cœur d'une fibre optique.



Ce rayon fait un angle A avec la normale à l'interface air-cœur. L'indice de réfraction du cœur est 1,52 et celui de la gaine est 1,48.

Déterminez le plus grand angle A pour lequel ce rayon de lumière restera à l'intérieur du cœur de la fibre.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



40EP27

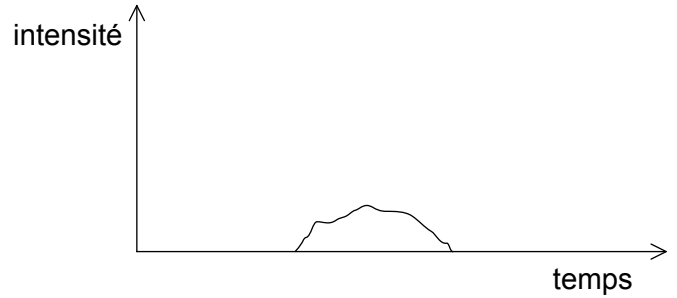
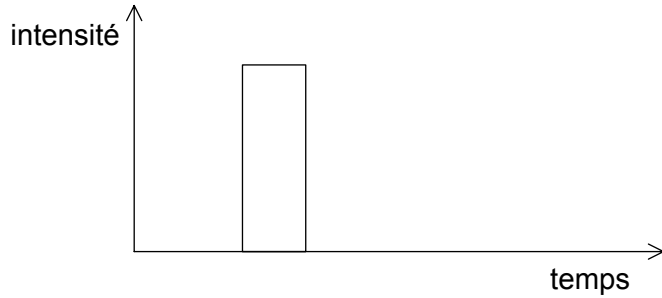
Tournez la page

(Option C, suite de la question 14)

- (b) Les graphiques ci-dessous montrent la variation, en fonction du temps, de l'intensité d'un signal qui est transmis par l'intermédiaire d'une fibre optique. Le graphique 1 montre le signal d'entrée dans la fibre et le graphique 2 montre le signal de sortie de la fibre. Les échelles des deux graphiques sont identiques.

Graphique 1 — Signal d'entrée

Graphique 2 – Signal de sortie



- (i) Identifiez les caractéristiques du signal de sortie qui indiquent la présence d'atténuation et de dispersion.

[2]

atténuation :

.....

dispersion :

.....

- (ii) La longueur de la fibre optique est 5,1 km. La puissance d'entrée du signal est 320 mW. La puissance de sortie est 77 mW. Calculez l'atténuation par unité de longueur de la fibre en dB km^{-1} .

[2]

.....

.....

.....

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



40EP28

(Suite de l'option C)

15. (a) Exprimez une fréquence typique utilisée dans l'imagerie médicale par ultrasons. [1]

.....

(b) Décrivez comment un transducteur ultrasonore produit des ultrasons. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



40EP29

Tournez la page

(Option C, suite de la question 15)

(c) La densité du muscle est 1075 kg m^{-3} et la vitesse des ultrasons dans le muscle est 1590 m s^{-1} .

(i) Calculez l'impédance acoustique Z du muscle. [1]

| |
|---------------------------|
| <p>.....</p> <p>.....</p> |
|---------------------------|

(ii) Des ultrasons d'une intensité de $0,012 \text{ W cm}^{-2}$ sont incidents sur une interface eau-muscle. L'impédance acoustique de l'eau est $1,50 \times 10^6 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

La fraction de l'intensité incidente qui est réfléchiée est donnée par

$$\frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

où Z_1 et Z_2 sont les impédances acoustiques du milieu 1 et du milieu 2.

Calculez l'intensité du signal réfléchi. [2]

| |
|---|
| <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
|---|

16. Dans l'imagerie par résonance magnétique nucléaire (RMN), un rayonnement électromagnétique à radiofréquence est détecté par les capteurs imageurs. Discutez l'origine de ce rayonnement. [3]

| |
|---|
| <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
|---|

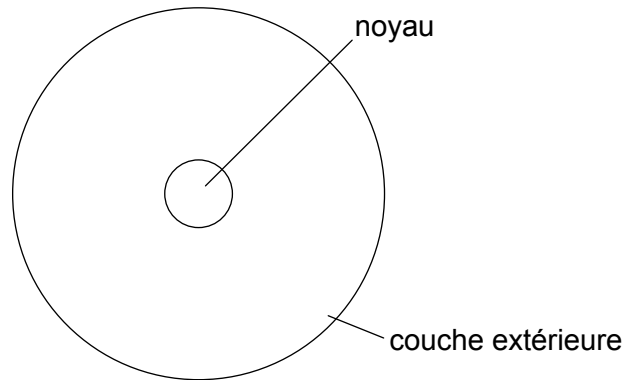
Fin de l'option C



40EP30

Option D — Astrophysique

17. Le schéma ci-dessous montre la structure d'une étoile typique de la séquence principale.



(a) Exprimez l'élément le plus abondant dans le noyau et l'élément le plus abondant dans la couche extérieure.

[2]

noyau :

couche extérieure :

(L'option D continue sur la page suivante)

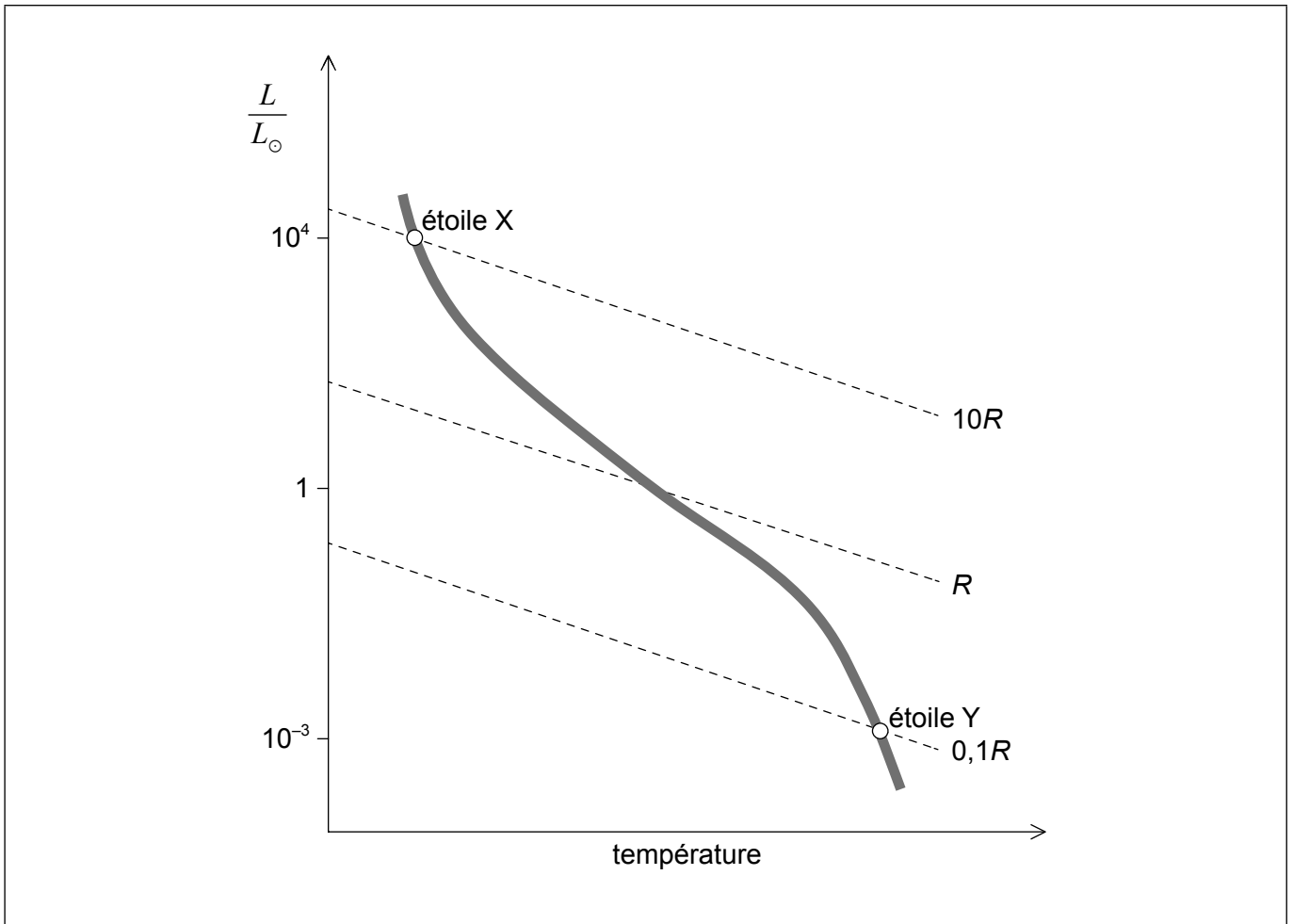


40EP31

Tournez la page

(Option D, suite de la question 17)

- (b) Le diagramme de Hertzsprung–Russell (HR) montre deux étoiles de la séquence principale X et Y et comprend des lignes de rayon constant. R est le rayon du Soleil.



En utilisant le rapport masse–luminosité et les informations sur le graphique, déterminez le rapport $\frac{\text{densité de l'étoile X}}{\text{densité de l'étoile Y}}$.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option D continue sur la page suivante)



40EP32

(Option D, suite de la question 17)

(c) L'étoile X évoluera probablement en une étoile à neutrons.

(i) Sur le diagramme HR de la question (b), dessinez une ligne pour indiquer le parcours évolutif de l'étoile X. [1]

(ii) Résumez pourquoi l'étoile à neutrons qui reste après l'étape de supernova ne s'effondre pas sous l'effet de la gravitation. [1]

.....
.....

(iii) Le rayon d'une étoile à neutrons typique est 20 km et sa température en surface est 10^6 K. Déterminez la luminosité de cette étoile à neutrons. [2]

.....
.....
.....
.....

(iv) Déterminez la région du spectre électromagnétique dans lequel l'étoile à neutrons dans la question (c)(iii) émet la plupart de son énergie. [2]

.....
.....
.....
.....

18. (a) Décrivez ce qu'on entend par le modèle du big-bang de l'univers. [2]

.....
.....
.....
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



40EP33

Tournez la page

(Option D, suite de la question 18)

- (b) Exprimez **deux** caractéristiques du rayonnement cosmique fossile qui sont compatibles avec le modèle du big-bang. [2]

.....
.....
.....
.....

- (c) Une raie d'émission particulière dans une galaxie éloignée présente un décalage vers le rouge $z=0,084$.

La constante de Hubble est $H_0 = 68 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

- (i) Déterminez la distance de cette galaxie en Mpc. [2]

.....
.....
.....
.....

- (ii) Décrivez comment on pourrait utiliser des supernovae de type Ia pour mesurer la distance de cette galaxie. [3]

.....
.....
.....
.....
.....
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



(Suite de l'option D)

19. (a) (i) Dérivez, en utilisant le concept de l'origine cosmologique du décalage vers le rouge, le rapport

$$T \propto \frac{1}{R}$$

entre la température T du rayonnement cosmique fossile et le facteur d'échelle cosmique R .

[2]

.....
.....
.....
.....

- (ii) La température actuelle du rayonnement cosmique fossile est 2,8 K. Ce rayonnement fut émis lorsque l'univers était plus petit d'un facteur de 1100. Estimez la température du rayonnement cosmique fossile au moment de son émission.

[2]

.....
.....
.....
.....

- (b) Montrez comment les anisotropies dans la distribution du rayonnement cosmique fossile sont interprétées.

[1]

.....
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



40EP35

Tournez la page

(Suite de l'option D)

20. (a) Décrivez ce qu'on entend par matière noire. [2]

.....
.....
.....
.....

(b) La répartition de la masse dans un système sphérique est tel que la densité ρ varie en fonction de la distance r du centre comme

$$\rho = \frac{k}{r^2}$$

où k est une constante.

Montrez que la courbe de rotation de ce système est décrite par

$$v = \text{constante.} \quad [1]$$

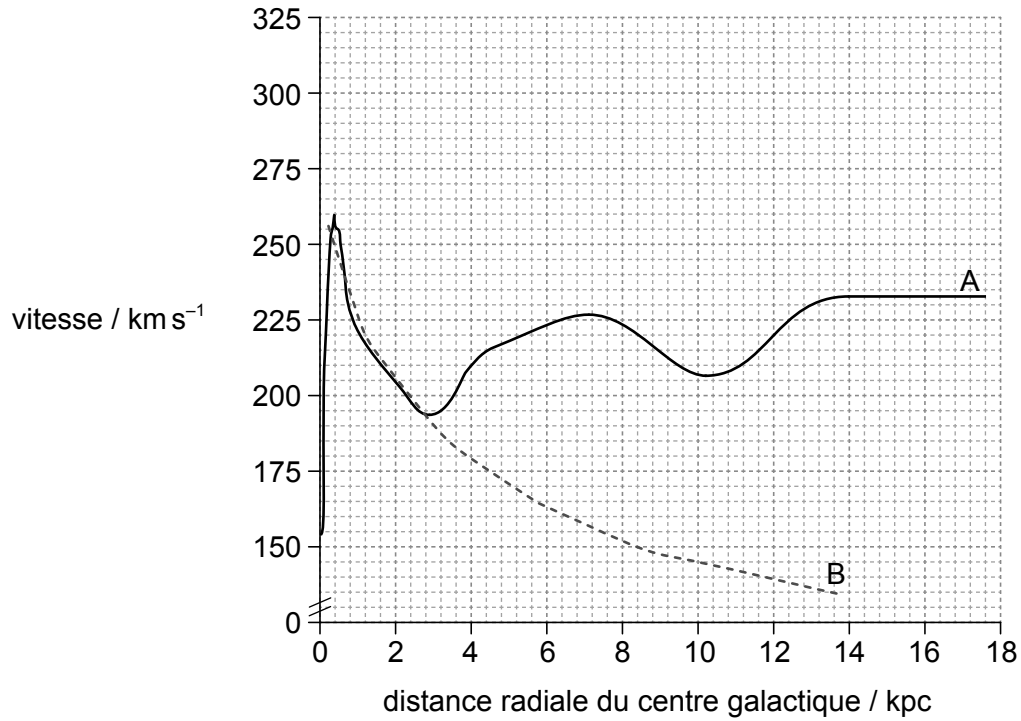
.....
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



(Option D, suite de la question 20)

- (c) La courbe A montre la courbe de rotation réelle d'une galaxie proche. La courbe B montre la courbe de rotation prédite basée sur les étoiles visibles dans cette galaxie.



Expliquez comment la courbe A fournit des preuves de la matière noire.

[2]

.....

.....

.....

.....

Fin de l'option D



40EP37

Veillez ne **pas** écrire sur cette page.

Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



40EP38

Veillez ne **pas** écrire sur cette page.

Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



40EP39

Veillez ne **pas** écrire sur cette page.

Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



40EP40