



PHYSIQUE
NIVEAU SUPÉRIEUR
ÉPREUVE 3

Numéro du candidat

--	--	--	--	--	--	--	--

Mercredi 5 mai 2004 (matin)

1 heure 15 minutes

INSTRUCTIONS DESTINÉES AUX CANDIDATS

- Écrivez votre numéro de candidat dans les cases ci-dessus.
- N'ouvrez pas cette épreuve avant d'y être autorisé.
- Répondez à toutes les questions de deux des options dans les espaces prévus à cet effet.
- À la fin de l'examen, veuillez indiquer les lettres des options auxquelles vous avez répondu dans la case prévue à cet effet sur la page de couverture.

Option D — Physique Biomédicale

D1. Cette question porte sur les rapports d'échelle.

Fernando a une masse de 70 kg et mesure 175 cm. Jorge a la même corpulence et une masse de 85 kg.

(a) Estimez

(i) la taille de Jorge.

[2]

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

(ii) le rapport $\frac{\text{aire de la surface de Jorge}}{\text{aire de la surface de Fernando}}$.

[2]

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

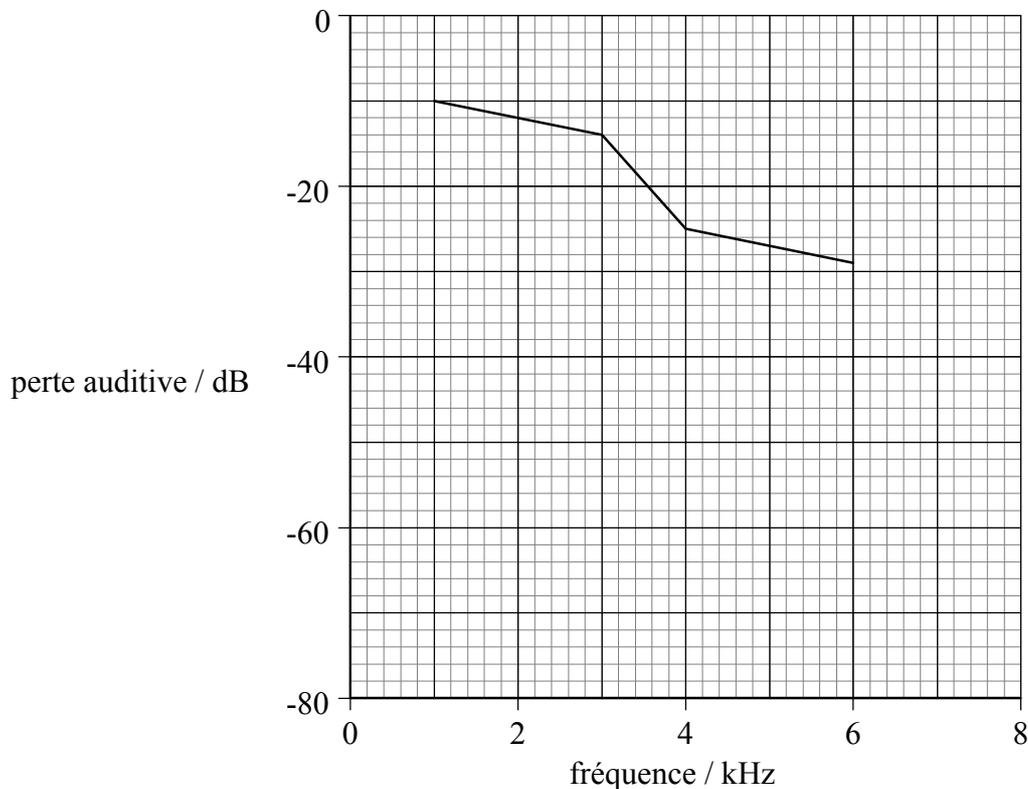
(b) Fernando et Jorge ont le même taux de production d'énergie thermique par unité de masse corporelle. Expliquez quantitativement la conséquence de la différence de masse corporelle sur le taux de déperdition de chaleur par unité de surface si les deux personnes doivent maintenir la même température corporelle.

[4]

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

D2. Cette question porte sur les déficiences auditives.

Le graphique ci-dessous montre l'audiogramme d'une personne qui **n'a pas** été soumise à des niveaux de bruit élevés.



(a) Suggérez la déficience auditive dont souffre cette personne. [1]

.....

Une personne bénéficiant d'une audition normale peut détecter un bruit d'une intensité de $1,0 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ à une fréquence de 3,0 kHz.

(b) Utilisez les données du graphique pour déterminer l'**intensité** minimale à 3,0 kHz qui peut être détectée par la personne qui souffre d'une déficience auditive. [2]

.....

(c) Sur le graphique, représentez une deuxième ligne pour illustrer la perte auditive causée par de nombreuses années d'exposition à des niveaux de bruit élevés dans le milieu du travail. [2]

D3. Cette question porte sur les diagnostics médicaux.

Exprimez et expliquez l'utilisation

(a) du repas baryté dans les radiodiagnostic. [2]

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

(b) du gel sur la peau dans l'imagerie ultrasonique. [2]

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

(c) d'un champ magnétique non uniforme superposé à un champ constant beaucoup plus important dans les diagnostics reposant sur la résonance magnétique nucléaire. [3]

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

D4. Cette question porte sur le rayonnement utilisé en médecine.

Quand on parle de dose de rayonnement, le rayonnement α et le rayonnement γ présentent des facteurs de qualité différents.

- (a) (i) Exprimez quel type de rayonnement présente le facteur de qualité le plus élevé [1]

.....

- (ii) Expliquez pourquoi, pour la même dose absorbée, les rayonnements ont des effets différents. [3]

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

- (b) Le facteur de risque lié à un équivalent de dose particulier dépend non seulement de la dose totale mais aussi du débit de dose. Expliquez pourquoi le facteur de risque dépend du débit de dose. [3]

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

L'iode 131 est utilisé pour marquer l'albumine sérique humaine. Cet isotope a une demi-vie physique de 8,0 jours et une demi-vie biologique de 21 jours.

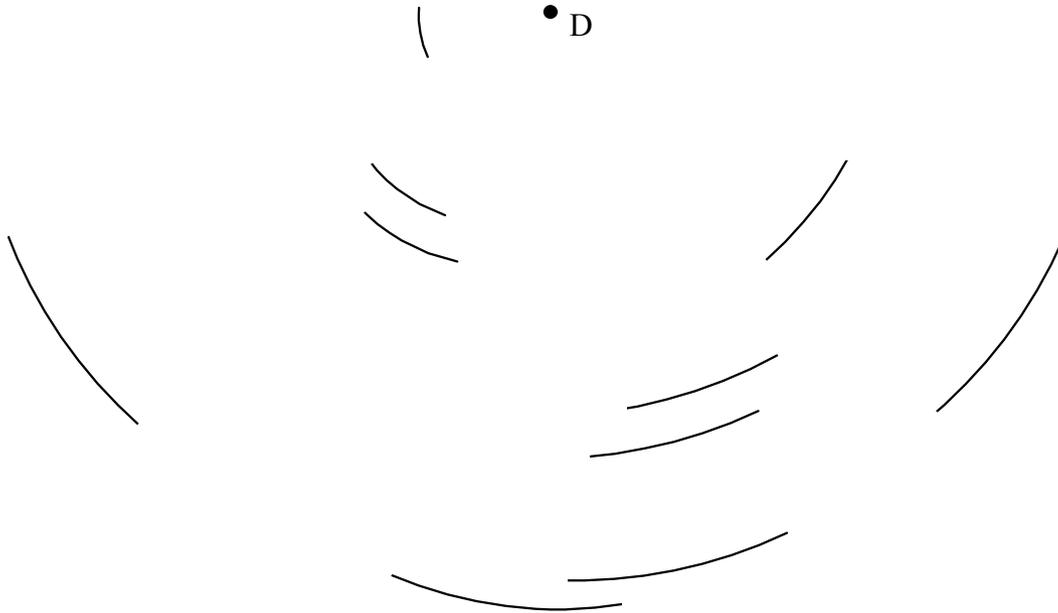
- (c) Déterminez le temps nécessaire pour que l'activité dans le corps d'une dose particulière de cet isotope soit réduite à $\frac{1}{4}$ de son activité initiale. [3]

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

Page vierge

Option E — Histoire et Développement de la Physique

E1. Un étudiant photographie le ciel nocturne en plaçant un appareil photo sur un trépied puis en laissant l'obturateur de l'appareil ouvert pendant 90 minutes. Le schéma ci-dessous illustre la photo obtenue. Seules certaines lignes parmi les plus lumineuses sont montrées.



(a) Identifiez le point lumineux D. [1]

.....

(b) Décrivez qualitativement comment on peut déduire de la photo que la Terre tourne. [2]

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

(c) En prenant des mesures sur le schéma, déduisez une valeur pour la période de rotation de la Terre. [3]

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

E2. Cette question porte sur la théorie du calorique.

La théorie de la chaleur acceptée par la plupart des scientifiques jusqu'à la deuxième moitié du dix-neuvième siècle est la « théorie du calorique ».

- (a) Exprimez comment les phénomènes suivants peuvent s'expliquer par la théorie du calorique.
 - (i) Le refroidissement d'un corps [1]
.....
 - (ii) La conduction thermique [2]
.....
.....
 - (iii) Les différences de chaleur massique [1]
.....
- (b) Suggérez comment les observations du Comte de Rumford en 1798 ont conduit à la remise en question de la validité de la théorie du calorique. [3]
.....
.....
.....
.....

E3. Cette question porte sur les premiers modèles atomiques.

- (a) Suggérez comment le modèle atomique de Rutherford peut être utilisé pour expliquer que les atomes d'un gaz parfait se comportent comme des sphères solides. [3]

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

L'existence dans le noyau d'une particule neutre ayant une masse à peu près égale à celle du proton fut suggérée en 1920. Cependant, le neutron a seulement été découvert en 1932.

- (b) (i) Suggérez pourquoi la présence du neutron a été difficile à détecter. [1]

.....

- (ii) Résumez comment le rayonnement résultant du bombardement du bore ou du béryllium par des particules α a mené à la découverte du neutron. [3]

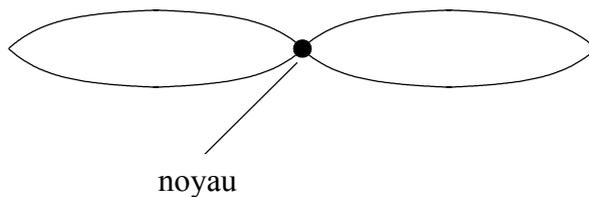
.....
.....
.....
.....

E4. Cette question porte sur les modèles de l'atome.

(a) Exprimez **trois** aspects distinguant le modèle de l'atome d'hydrogène proposé par Schrödinger du modèle proposé par Bohr. [3]

- 1.
.....
- 2.
.....
- 3.
.....

Le schéma ci-dessous montre une onde stationnaire simplifiée pour un électron dans un atome d'hydrogène.



(b) (i) Sur le schéma, indiquez avec la lettre L une position où l'électron a le plus de chance de se trouver. [1]

(ii) Le rayon de l'atome d'hydrogène est égal à $1,0 \times 10^{-10}$ m. Exprimez la longueur d'onde de De Broglie de l'électron. [1]

.....

(iii) Déterminez l'énergie cinétique de l'électron. [3]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question E4)

- (c) La connaissance de la longueur d'onde de l'électron de De Broglie permet de déterminer la quantité de mouvement de l'électron. En référence au principe d'incertitude de Heisenberg, exprimez et expliquez pourquoi il est impossible de déterminer avec précision la quantité de mouvement de l'électron.

[2]

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

Option F — Astrophysique

F1. Cette question porte sur divers corps présents dans l'univers.

(a) Décrivez brièvement la nature d'une étoile. [2]

.....
.....

(b) Distinguez une constellation d'une galaxie. [4]

Constellation :

.....

Galaxie :

.....

F2. Cette question porte sur la densité moyenne de la matière dans l'univers.

- (a) Expliquez l'importance de la *densité critique* de la matière dans l'univers en relation avec le destin possible de l'univers. [3]

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

La densité critique ρ_0 de la matière dans l'univers est donnée par l'expression

$$\rho_0 = \frac{3H_0^2}{8\pi G},$$

où H_0 est la constante de Hubble et G la constante de gravitation.

Une estimation de H_0 est $2,7 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$.

- (b) (i) Calculez une valeur de ρ_0 . [1]

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

- (ii) À partir de là, déterminez le nombre équivalent de nucléons par unité de volume à cette densité critique. [1]

.....
.....

F3. Cette question porte sur les Céphéides variables.

Les caractéristiques d'une Céphéide variable ont été observées pour la première fois en 1784.

(a) (i) Décrivez la caractéristique permettant d'identifier une Céphéide variable depuis la Terre. [2]

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

(ii) Résumez la cause de cette caractéristique. [2]

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

Une Céphéide variable particulière présente une valeur moyenne de magnitude apparente de 5,2 et une période de pulsation de 50 jours. La magnitude apparente m est liée à la magnitude absolue M et à la distance d (mesurée en parsec) par l'expression

$$m - M = 5 \log d - 5.$$

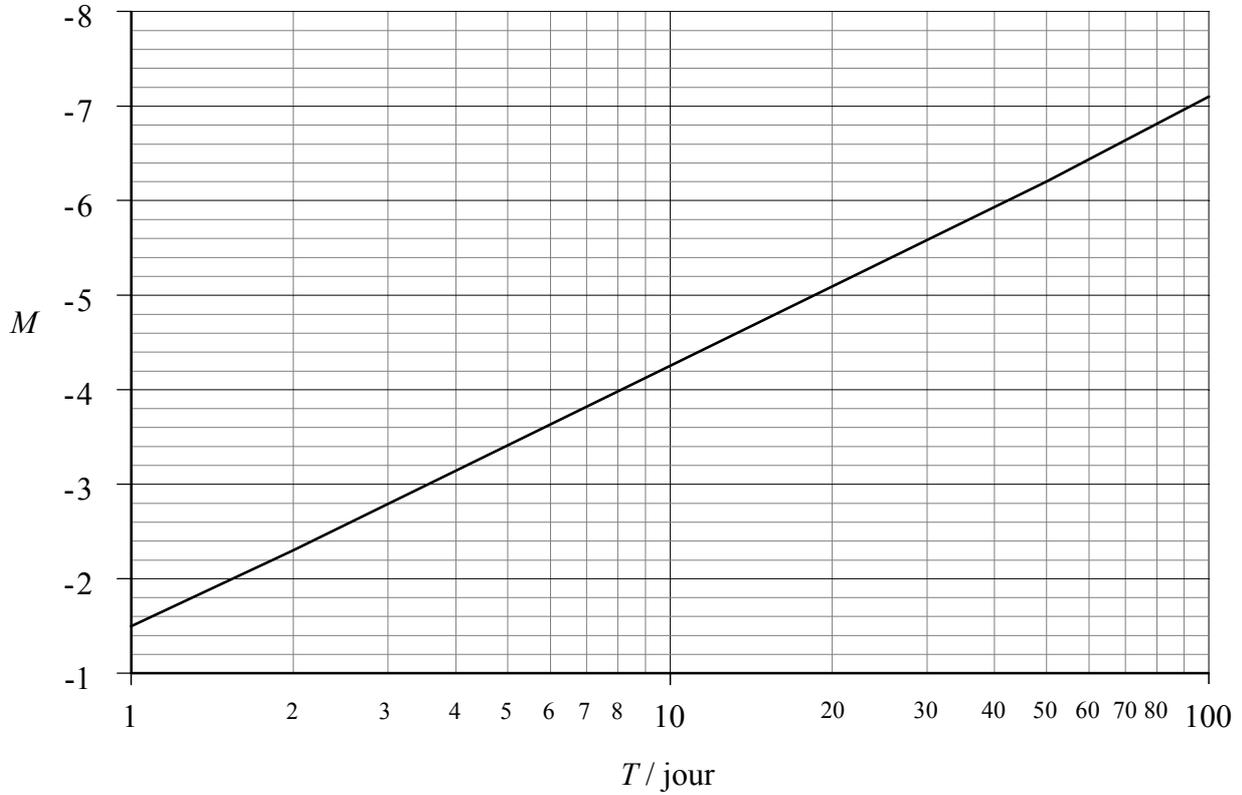
(b) (i) Distinguez la *magnitude apparente* de la *magnitude absolue*. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question F3)

Le graphique ci-dessous montre comment la magnitude absolue M de certaines Céphéides variables varie en fonction de la période T de pulsation.



- (ii) Utilisez le graphique pour obtenir une valeur de la magnitude absolue de cette Céphéide variable et, à partir de là, déterminez la distance la séparant de la Terre. [3]

.....

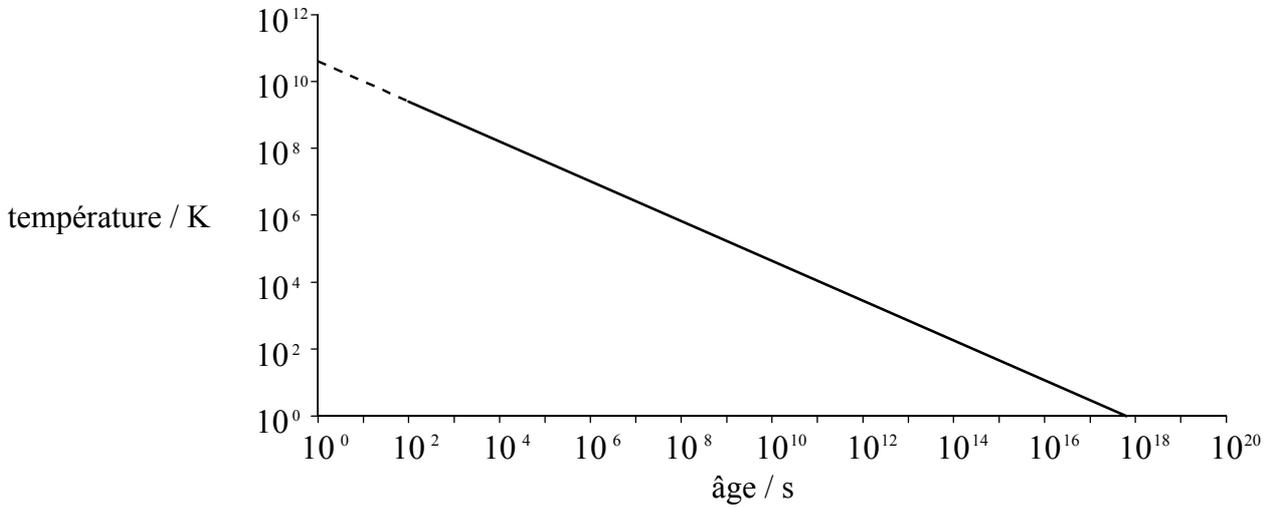
.....

.....

.....

F4. Cette question porte sur le modèle du Big-Bang de l'univers.

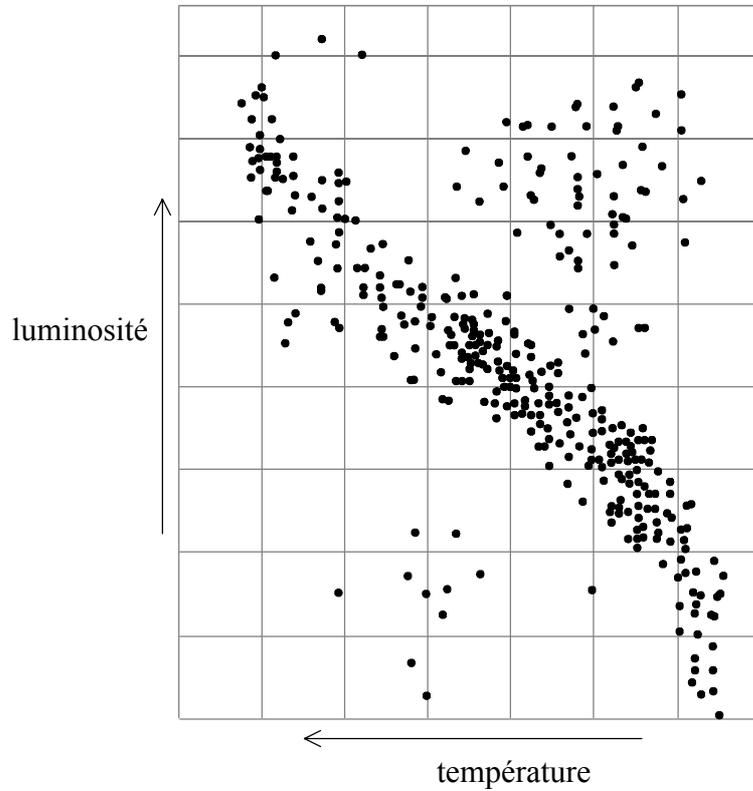
Le graphique ci-dessous montre la variation de la température de l'univers en fonction de son âge, et repose sur le modèle du Big-Bang de l'univers.



- (a) Sur le graphique
 - (i) repérez le point correspondant à la formation de noyaux légers (nommez-le N). [1]
 - (ii) repérez le point correspondant au début de la formation des étoiles et des galaxies (nommez-le G). [1]
- (b) Les mesures de la température actuelle de l'univers indiquent une température d'environ 3 K. Des mesures de nuages de carbone d'une galaxie très éloignée ont indiqué une température de 7 K. Suggérez comment cette observation donne une preuve du refroidissement de l'univers. [2]

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

F5. La figure ci-dessous représente un diagramme de Hertzsprung-Russel (H-R) partiel de certaines étoiles de la galaxie de la Voie lactée.



- (a) Sur le diagramme
 - (i) identifiez la région associée aux géantes rouges (nommez-la R) et la région associée aux naines blanches (nommez-la W). [1]
 - (ii) marquez de la lettre S la position approximative actuelle du Soleil. [1]
 - (iii) représentez le parcours évolutif du Soleil, de sa position actuelle à sa position finale. [2]
- (b) À la fin de sa durée de vie dans la séquence principale, une étoile dont la masse vaut environ dix fois celle du Soleil commence à produire de l'énergie à un taux beaucoup plus élevé et sa surface se refroidit. Résumez comment l'étoile peut produire davantage de puissance alors que sa surface refroidit. [2]

.....

.....

.....

.....

Option G — Relativité

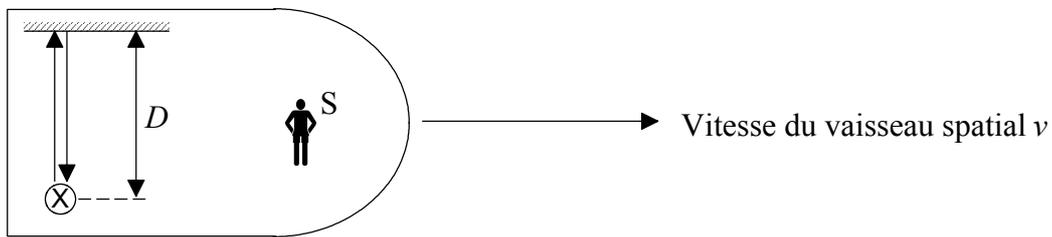
G1. Cette question porte sur la dilatation du temps.

- (a) Exprimez ce que l'on entend par un système de référence *inertiel*. [1]

.....

.....

Un observateur S dans un vaisseau spatial voit un éclair de lumière. La lumière est réfléchiée par un miroir, situé à une distance D de la source, et retourne à la source, comme illustré ci-dessous. La vitesse de la lumière est c .



- (b) Écrivez une expression en fonction de D et c , du temps T_0 mis par l'éclair lumineux pour revenir à sa position d'origine, tel qu'il est mesuré par l'observateur S, qui est au repos par rapport au vaisseau spatial. [1]

.....

Le vaisseau spatial se déplace à une vitesse v par rapport à l'observateur E représenté sur le schéma. La vitesse de la lumière est c .

- (c) (i) Représentez la trajectoire de la lumière telle qu'elle est vue par l'observateur E. Indiquez sur le schéma la position F de départ de la lumière et la position R de la lumière quand elle revient à la source de l'éclair lumineux. [1]

- (ii) Le temps pris par la lumière pour aller de F à R, tel qu'il est mesuré par l'observateur E, est T . Écrivez une expression de la distance FR, en fonction de T et de la vitesse v du vaisseau spatial. [1]

.....

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question G1)

- (iii) En utilisant la réponse à la question (ii), déterminez la longueur L de la trajectoire de la lumière en fonction de v , T et D , telle qu'elle est vue par l'observateur E. [2]

.....

.....

.....

.....

- (iv) À partir de là, déduisez une expression de T en fonction de T_0 , v et c . [4]

.....

.....

.....

.....

.....

G2. Cette question porte sur la demi-vie des muons.

La demi-vie des muons est de $3,1 \times 10^{-6}$ s quand elle est mesurée dans un système de référence immobile par rapport aux muons.

Un flux de muons est produit de sorte que les muons ont une vitesse de $2,8 \times 10^8$ m s⁻¹ par rapport à un observateur immobile.

Déterminez la distance parcourue par le flux de muons, telle qu'elle est mesurée par l'observateur, quand la moitié des muons se sont désintégrés. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

G3. Cette question porte sur la masse-énergie.

(a) Définissez *masse au repos*. [2]

.....
.....

(b) Un électron de masse au repos m_0 est accéléré par une différence de potentiel V . Expliquez pourquoi, pour des valeurs élevées de V , la formule

$$\frac{1}{2} m_0 v^2 = eV$$

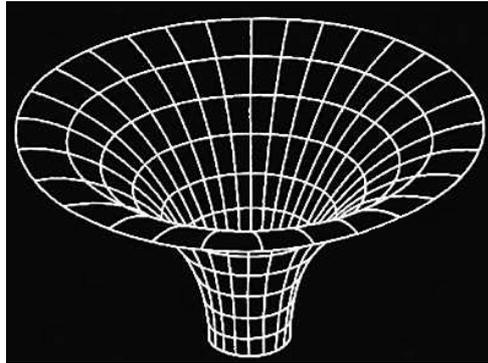
ne convient pas pour déterminer la vitesse v de l'électron accéléré. [3]

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

(c) Un électron est accéléré par une différence de potentiel de $5,0 \times 10^6$ V. Déterminez la masse équivalente à la variation de l'énergie cinétique de l'électron. [2]

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

G4. Le schéma ci-dessous illustre la distorsion de l'espace par le champ gravitationnel d'un trou noir.



(a) (i) Décrivez ce que l'on entend par le *centre* et la *surface* d'un trou noir. [3]

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

(ii) En faisant référence à votre réponse à la question (i), définissez le terme rayon de Schwarzschild. [1]

.....
.....

(iii) Calculez le rayon de Schwarzschild pour un objet d'une masse de $2,0 \times 10^{31}$ kg (dix masses solaires). [2]

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

La science fiction représente souvent les trous noirs comme des objets qui « avalent » tout dans l'univers.

(iv) Un vaisseau spatial se déplace vers l'objet spécifié dans (iii) de sorte que, s'il continuait en ligne droite, sa distance d'approche minimale serait d'environ 10^7 m. En faisant référence au schéma et à votre réponse à la question (iii), suggérez si le destin du vaisseau spatial est conforme à celui que décrit la science fiction. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question G4)

En 1979, Wahl, Carswell et Weymann découvrirent « deux » quasars très lointains, séparés par un petit angle. L'examen spectroscopique des images montra qu'ils étaient identiques.

(b) Résumez comment ces observations étayent la théorie de la relativité générale. [2]

.....

.....

.....

.....

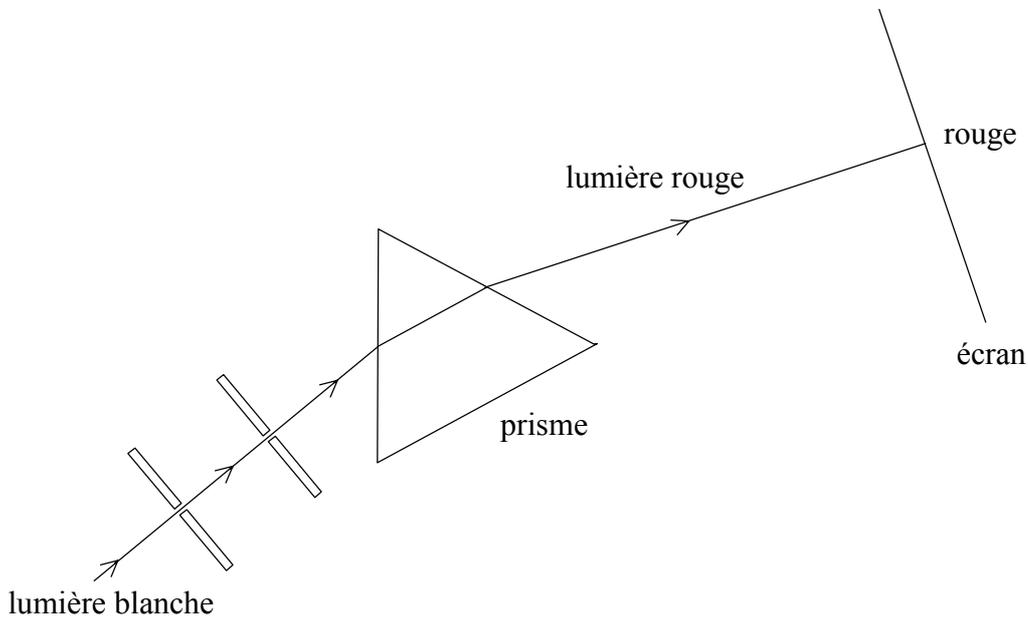
Option H — Optique

H1. Cette question porte sur un spectre.

- (a) Décrivez ce que l'on entend par le spectre de la lumière blanche. [2]

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

Un étudiant utilise le montage illustré ci-dessous pour observer le spectre de la lumière blanche.

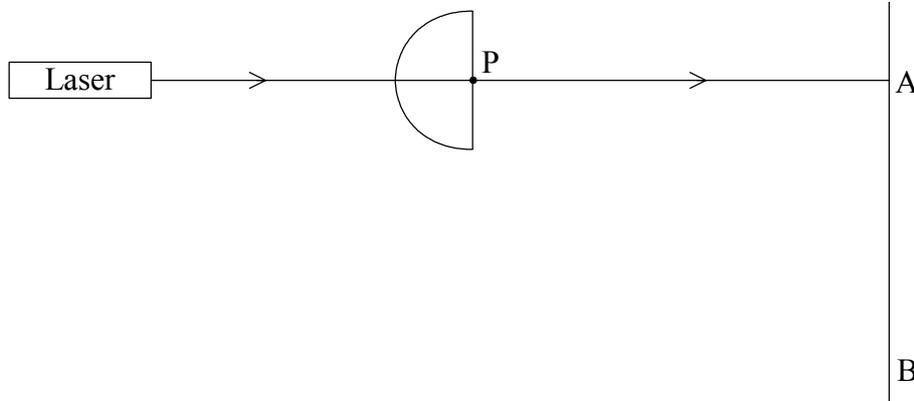


- (b) Complétez le schéma pour montrer le parcours suivi par la lumière bleue dans le prisme et jusqu'à l'écran. [3]

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

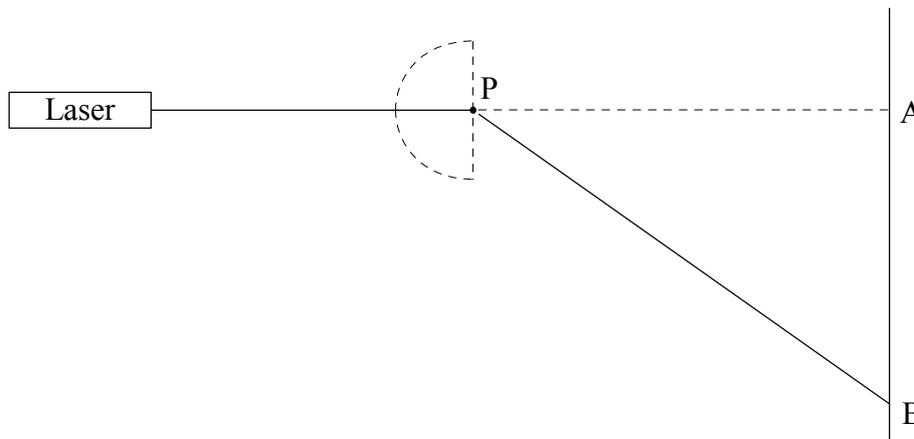
H2. Cette question porte sur l'indice de réfraction.

La lumière d'un laser est dirigée vers un bloc de verre semi-circulaire. La lumière traverse le bloc sans être déviée et continue jusqu'à l'écran pour former un point lumineux A comme illustré.



On fait pivoter le bloc semi-circulaire autour du point P. On observe que le point lumineux sur l'écran se déplace vers le bas. Quand ce point lumineux atteint le point B, il disparaît.

- (a) Complétez le schéma ci-dessous pour montrer la position du bloc semi-circulaire quand le point lumineux est au point B. La position initiale du bloc est indiquée en pointillés. [1]



Dans une expérience donnée, la distance PA est de 120 cm et la distance AB est de 138 cm.

- (b) Calculez l'indice de réfraction du verre du bloc. [3]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question H2)

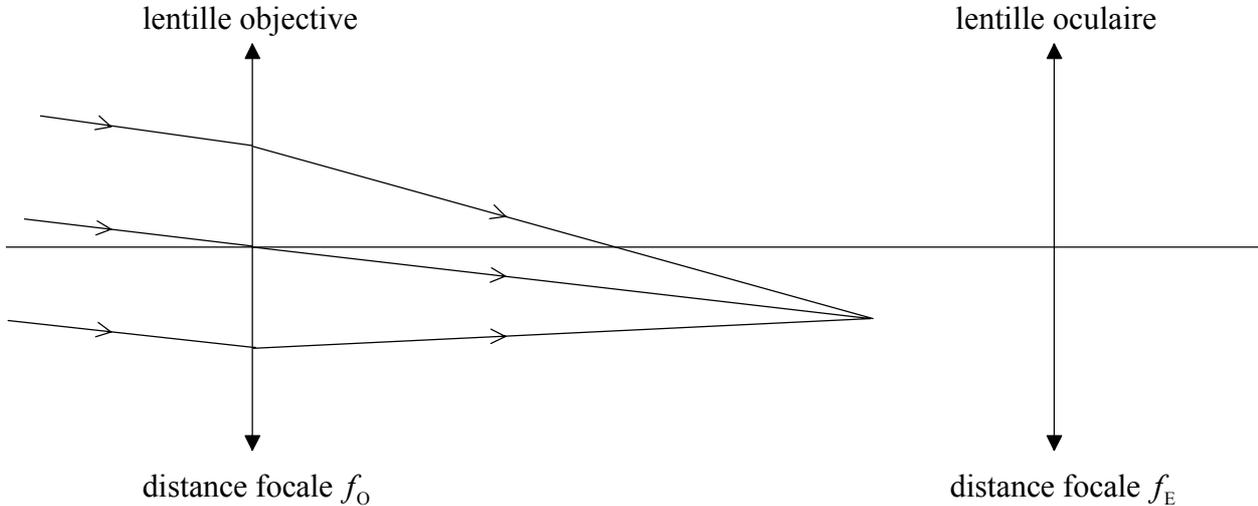
On remplace le laser par un laser émettant de la lumière de fréquence plus élevée. On répète ensuite l'expérience.

(c) Exprimez si la distance AB est supérieure ou inférieure à 138 cm et expliquez pourquoi. [3]

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

H3. Cette question porte sur une lunette astronomique.

Le schéma ci-dessous montre deux lentilles disposées pour former une lunette astronomique. Les deux lentilles sont représentées par des lignes droites.



Les distances focales de la lentille objective et de la lentille oculaire sont respectivement f_O et f_E . Le schéma montre la lumière d'un objet éloigné focalisée dans le plan focal de la lentille objective. L'image finale sera formée à l'infini.

(a) Complétez la construction géométrique pour montrer la formation de l'image finale. [2]

(b) (i) Exprimez ce que l'on entend par grossissement angulaire. [1]

.....
.....

(ii) En utilisant la construction géométrique complétée ci-dessus, déduisez une expression en fonction de f_O et f_E pour le grossissement angulaire d'une lunette astronomique. Supposez que l'image finale se trouve à l'infini. [4]

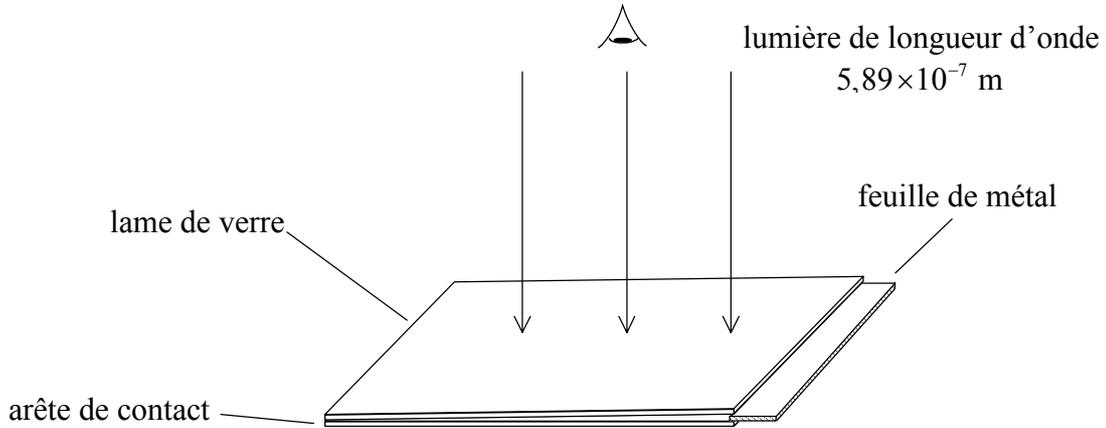
.....
.....
.....
.....

(c) Dans les caractéristiques d'une lunette astronomique, le diamètre de la lentille objective est souvent précisé. Suggérez une raison pour laquelle ce diamètre est spécifié. [1]

.....
.....

H4. Cette question porte sur les interférences avec des lames minces.

Deux lames de verre plates sont en contact le long d'un bord et sont séparées par une mince feuille de métal placée parallèlement au bord, comme indiqué ci-dessous.



Ce schéma n'est pas à l'échelle

De l'air est emprisonné entre les deux lames. L'espace air entre les deux lames est observé perpendiculairement à l'aide d'une lumière réfléchi de longueur d'onde $5,89 \times 10^{-7}$ m.

On observe une série de franges rectilignes, parallèles à l'arête de contact des lames.

(a) Exprimez ce que l'on peut déduire du fait que les franges sont rectilignes et parallèles. [1]

.....

(b) Expliquez pourquoi on observe une frange sombre le long de l'arête de contact des lames de verre. [3]

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

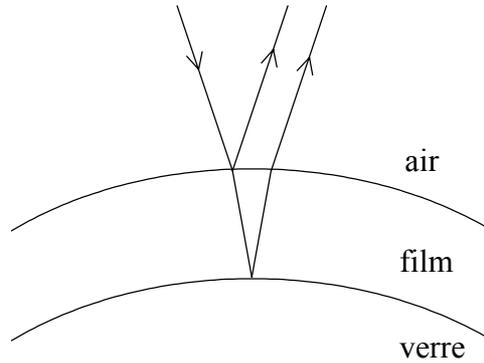
(c) La distance séparant l'arête de contact des lames et le bord de la feuille de métal est de 9,0 cm. Les franges sombres successives sont séparées d'une distance de 1,4 mm. Calculez l'épaisseur de la feuille de métal. [3]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question H4)

Les lentilles utilisées dans les lunettes astronomiques sont souvent « bleutées ». Cela signifie qu'un mince film est déposé sur la lentille afin d'atténuer la lumière parasite réfléchi par la lentille. Une interférence destructive se produit entre la lumière réfléchi par les surfaces supérieure et inférieure du film. Le schéma ci-dessous montre les réflexions d'un rayon incident sur les deux surfaces du film.



(d) (i) Exprimez pourquoi on n'observe pas une interférence destructive complète de la totalité de la lumière réfléchi.

[1]

.....
.....

(ii) En faisant référence à votre réponse à la question (i), suggérez pourquoi le film semble être coloré.

[2]

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