



22056521

**PHYSIQUE**  
**NIVEAU SUPÉRIEUR**  
**ÉPREUVE 3**

Vendredi 20 mai 2005 (matin)

1 heure 15 minutes

Numéro de session du candidat

0	0							
---	---	--	--	--	--	--	--	--

---

**INSTRUCTIONS DESTINÉES AUX CANDIDATS**

- Écrivez votre numéro de session 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.

Deux balles A et B sont faites de la même matière. La balle A a une masse  $M_A$  et un rayon  $R_A$ . La balle B a une masse  $M_B$  et un rayon  $R_B$ .

(a) Écrivez une expression du rapport  $\frac{M_A}{M_B}$  en termes des rayons des balles,  $R_A$  et  $R_B$ . [1]

.....  
.....

Ces balles sont maintenant chauffées jusqu'à ce que la température de surface de chaque balle soit la même. La perte de puissance thermique de la balle A est  $Q_A$  et celle de la balle B est  $Q_B$ .

(b) Écrivez une expression du rapport  $\frac{Q_A}{Q_B}$  en termes de  $R_A$  et  $R_B$ . [1]

.....  
.....

La perte de puissance thermique par unité de masse de la balle A est  $P_A$  et celle de la balle B est  $P_B$ .

(c) Utilisez vos réponses aux questions (a) et (b) pour déterminer une expression du rapport  $\frac{P_A}{P_B}$  en termes de  $R_A$  et  $R_B$ . [3]

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

(d) Utilisez votre réponse à la question (c) pour suggérer pourquoi les bébés risquent plus de mourir d'hypothermie par temps froid que les adultes. [1]

.....  
.....



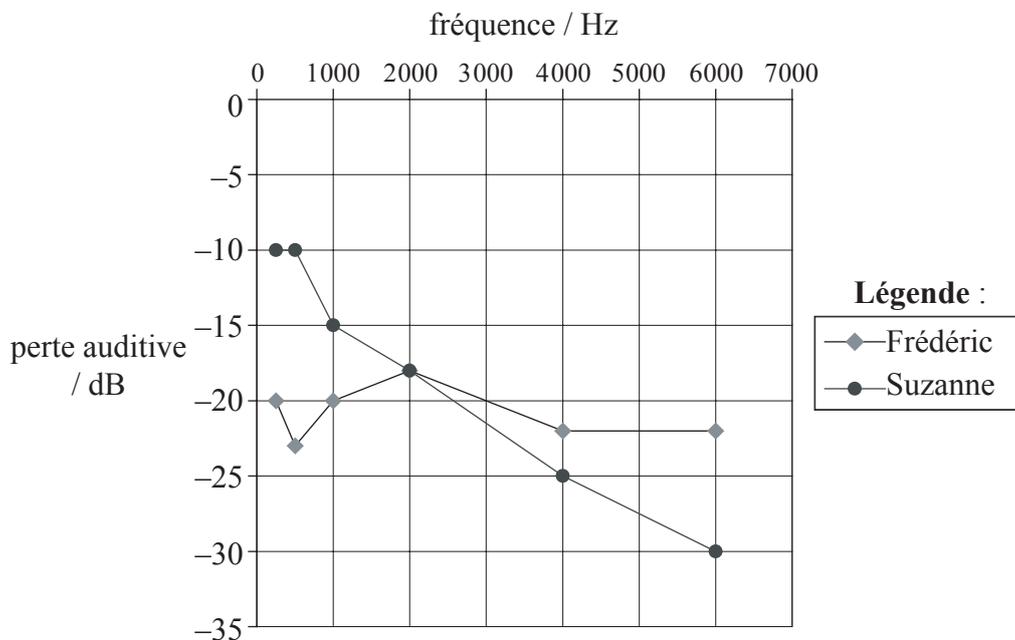
**D2.** Cette question porte sur la perte auditive et les audiogrammes.

(a) Faites la distinction entre surdité de conduction et surdité sensorielle. [2]

Surdité de conduction : .....

Surdité sensorielle : .....

Le graphique ci-dessous représente les audiogrammes de deux personnes, Frédéric et Suzanne, qui souffrent tous deux d'une perte auditive. Celle-ci est mesurée en décibels, unité qui mesure le niveau d'intensité sonore.



(b) Indiquez de manière succincte la relation entre le niveau d'intensité sonore et l'intensité sonore. [2]

.....

(Suite de la question à la page suivante)



*(Suite de la question D2)*

- (c) Suggérez le type de déficit auditif dont chaque personne pourrait souffrir et citez une cause possible de cette perte auditive. [4]

Frédéric : .....

.....

.....

.....

.....

Suzanne : .....

.....

.....

.....

.....

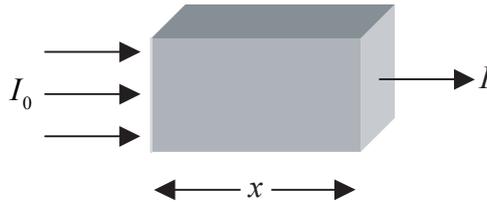


D3. Cette question porte sur les rayons X.

(a) Énoncez ce qu'on entend par qualité des rayons X. [1]

.....  
.....

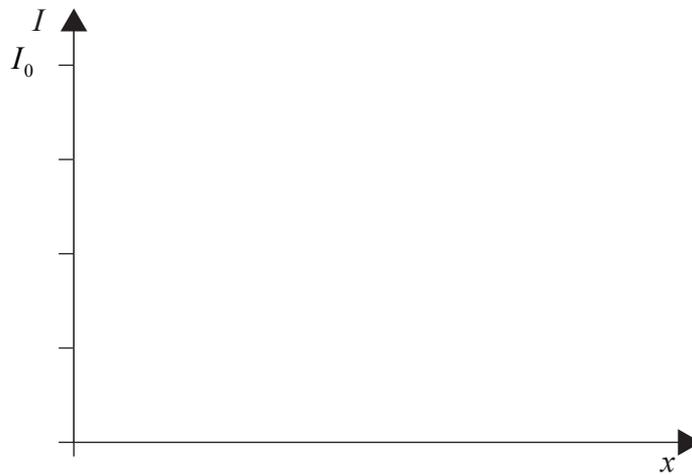
Un faisceau parallèle de rayons X d'une intensité  $I_0$  est incident sur un matériau d'une épaisseur  $x$  comme illustré ci-dessous. L'intensité du faisceau émergent est  $I$ .



(b) Définissez couche de demi-atténuation. [1]

.....  
.....

(c) En utilisant les axes ci-dessous, esquissez un graphique pour montrer la variation de l'intensité  $I$  en fonction de  $x$ . [2]



(d) Annotez votre graphique de façon à indiquer la couche de demi-atténuation  $x_{\frac{1}{2}}$ . [1]

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

(e) Citez le nom d'un des mécanismes responsables de l'atténuation des rayons X dans la matière. [1]

.....



**D4.** Cette question porte sur la régulation de la température corporelle.

Une personne prend un bain de soleil dans un climat chaud.

- (a) Complétez le tableau ci-dessous indiquant le pourcentage d'énergie perdu par seconde par le corps grâce aux divers mécanismes disponibles. [2]

Mécanisme	% de perte
Conduction et convection	10
Rayonnement	8
	80
	2

Pour maintenir constante sa température corporelle, une personne qui prend un bain de soleil doit perdre chaque seconde environ 320 J d'énergie thermique vers le milieu extérieur par sudation.

- (b) Estimez la quantité de sueur évaporée chaque heure au niveau de la peau de cette personne prenant un bain de soleil. (La chaleur latente massique de vaporisation de la sueur est environ 2400 kJ kg<sup>-1</sup>) [2]

.....

.....

.....

.....

.....



**D5.** Cette question porte sur la dosimétrie.

(a) Décrivez ce qu'on entend par le terme *efficacité biologique relative* (facteur de qualité). [2]

.....  
.....

Le corps entier d'une personne d'une masse de 70 kg est exposé à des rayons X monochromatiques d'une énergie de 200 keV. En conséquence de cette exposition, cette personne reçoit une dose équivalente de 500  $\mu\text{Sv}$  en 2,0 minutes.

(b) Déduisez que cette personne absorbe environ  $10^{10}$  photons de rayons X par seconde. [4]

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



**Option E — Histoire et Développement de la Physique**

**E1.** Cette question porte sur les modèles de l'univers.

Voici deux observations concernant les étoiles et la Lune.

- I. Les étoiles se déplacent dans le ciel nocturne mais la configuration globale des étoiles ne change pas.
- II. La Lune se déplace dans le ciel nocturne mais sa position par rapport à la configuration fixe des étoiles change de façon continue.

(a) Expliquez comment le modèle de l'univers de Ptolémée explique ces observations. [4]

Observation I: .....

.....

.....

.....

Observation II: .....

.....

.....

.....

(b) Indiquez la différence essentielle entre le modèle de l'univers de Copernic et le modèle de l'univers de Ptolémée. [1]

.....



**E2.** Cette question porte sur les concepts de mouvement et de force.

Un bloc de pierre est traîné sur le sol à vitesse constante.

(a) Énoncez comment Aristote proposa que la force tractant ce bloc était liée à la vitesse du bloc. [1]

.....  
.....

(b) Énoncez la théorie de Galilée qui relie une force unique agissant sur un objet à la vitesse de cet objet. [1]

.....  
.....

(c) Décrivez comment la théorie de Galilée expliquait le mouvement du bloc de pierre tracté à une vitesse constante sur le sol. [2]

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

(d) Comparez les méthodes par lesquelles Aristote et Galilée parvinrent à leurs conclusions. [2]

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



**E3.** Cette question porte sur l'atome et le noyau.

Lorsque les rayons cathodiques furent découverts et étudiés, certains physiciens, parmi lesquels Hertz, pensèrent qu'il s'agissait d'ondes. Cependant, d'autres physiciens, parmi lesquels J J Thompson, pensèrent qu'ils étaient constitués de particules.

- (a) Indiquez de manière succincte les preuves sur lesquelles Hertz et Thompson basèrent leurs conclusions. [2]

Hertz: .....

.....

.....

Thompson: .....

.....

.....

- (b) En référence aux électrons, comparez la différence principale entre le modèle de l'atome de Thompson et le modèle de l'atome de Rutherford. [2]

.....

.....

.....

.....

*(Suite de la question à la page suivante)*

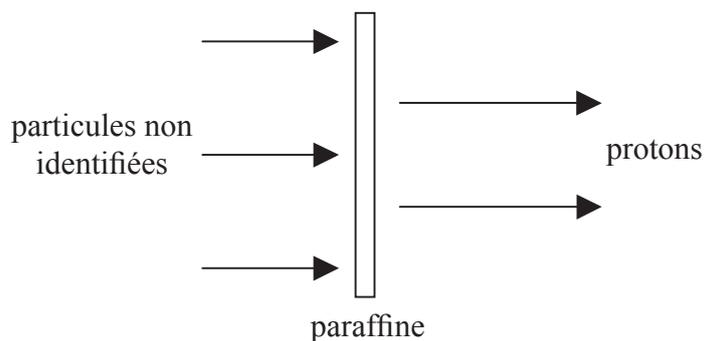


(Suite de la question E3)

En 1932, Chadwick effectua une expérience dans laquelle il découvrit le neutron en mesurant la masse d'une particule non identifiée.

Dans cette expérience, les particules furent produites en bombardant du béryllium avec des particules  $\alpha$ . Afin de déterminer la masse de ces particules, Chadwick les fit entrer en collision avec les atomes de deux éléments différents. Il mesura ensuite les vitesses de ces atomes résultant de ces collisions.

Il dirigea tout d'abord les particules sur une plaque de paraffine de façon à ce qu'elles entrent en collision avec les atomes d'hydrogène dans la paraffine, produisant un faisceau de protons.



(c) (i) Décrivez comment Chadwick mesura la vitesse des protons. [2]

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

Chadwick fit alors en sorte que les particules pénétrèrent dans une chambre à bulles à azote de façon à ce qu'elles entrent en collision avec des atomes d'azote.

(ii) Indiquez de quelle manière Chadwick mesura les vitesses des atomes d'azote après que les particules non identifiées soient entrées en collision avec eux. [1]

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

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question E3)

Connaissant les vitesses des protons et des atomes d'azote, de même que leurs masses, Chadwick fut capable d'appliquer deux lois de physique afin de déterminer la masse des particules non identifiées.

(iii) Identifiez les **deux** lois appliquées par Chadwick. [2]

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

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

En 1913, Niels Bohr développa un modèle de l'atome d'hydrogène qui expliquait avec succès de nombreux aspects du spectre de l'hydrogène atomique.

(a) Citez **un** aspect du spectre de l'hydrogène atomique que le modèle de Bohr n'expliquait pas. [1]

.....  
.....

Bohr proposa que l'électron ne pouvait occuper que certaines orbites stables. Ces orbites sont spécifiées par la relation

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \text{ avec } n = 1, 2, 3, \dots$$

relation dans laquelle  $m$  est la masse de l'électron,  $v$  est sa vitesse,  $r$  est le rayon de l'orbite et  $h$  est la constante de Planck. Cette relation est parfois connue sous le nom de premier postulat de Bohr.

(b) Énoncez l'autre postulat proposé par Bohr. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question E4)

En utilisant la deuxième loi de Newton et la loi de Coulomb en conjonction avec le premier postulat, on peut démontrer que

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m k e^2}$$

relation dans laquelle  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ .

On peut également démontrer que l'énergie totale  $E_n$  de l'électron sur une orbite stable est donnée par

$$E_n = -\frac{ke^2}{2r}$$

(c) En utilisant ces deux expressions, déduisez que l'énergie totale  $E_n$  peut être donnée par la relation

$$E_n = -\frac{K}{n^2} \tag{3}$$

où  $K$  est une constante.

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

(d) Indiquez et expliquez quelle grandeur physique représente la constante  $K$ . [2]

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

(e) Indiquez de façon succincte comment le modèle de Schrödinger de l'atome d'hydrogène mène au concept des niveaux d'énergie. [2]

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



**Option F — Astrophysique**

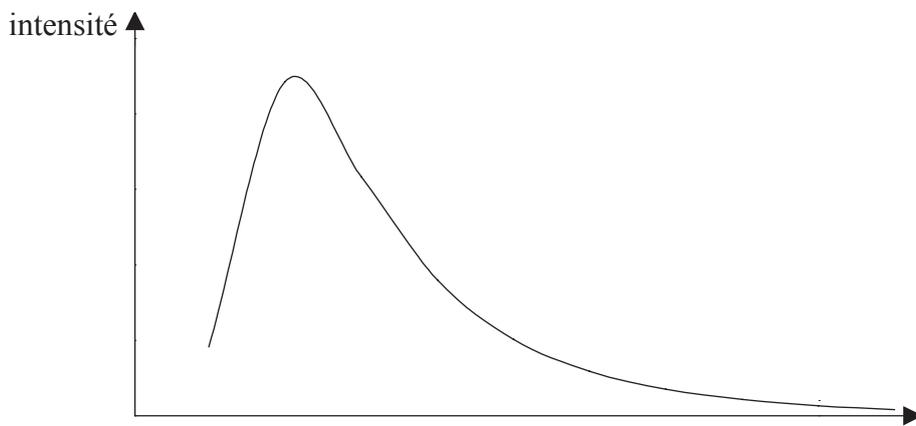
**F1.** Cette question porte sur le rayonnement stellaire et l'étoile Bételgeuse.

- (a) Expliquez le terme *rayonnement du corps noir*. [1]

.....

.....

Le graphique ci-dessous décrit l'allure du spectre du rayonnement du corps noir d'une certaine étoile.



- (b) Légendez l'axe des  $x$  de ce graphique. [1]

- (c) Sur ce graphique, esquissez l'allure du spectre du rayonnement du corps noir d'une étoile ayant une température de surface inférieure et un éclat stellaire apparent plus faible que cette étoile. [2]

L'étoile Bételgeuse dans la constellation d'Orion émet un rayonnement de corps noir dont l'intensité maximale se situe à une longueur d'onde de  $0,97 \mu\text{m}$ .

- (d) Déduisez que la température de surface de Bételgeuse est d'environ 3000 K. [1]

.....

.....

.....

.....

*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question F1)

L'éclat stellaire apparent de Bételgeuse est  $2,10 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$  et sa luminosité est  $4,10 \times 10^4$  fois celle du Soleil. L'éclat stellaire apparent du Soleil est  $1,37 \times 10^3 \text{ W m}^{-2}$ .

(e) Décrivez ce qu'on entend par

(i) *luminosité.* [1]

.....  
.....

(ii) *éclat stellaire apparent.* [2]

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

(iii) En utilisant les données ci-dessus, déterminez, en UA, la distance entre l'étoile Bételgeuse et la Terre. [4]

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



**F2.** Cette question porte sur le paradoxe d’Olbers.

Newton fit trois suppositions sur la nature de l’univers. Une de ces suppositions est que l’univers est statique.

(a) Énoncez les **deux** autres suppositions. [2]

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

(b) Expliquez, en utilisant un argument quantitatif, comment ces suppositions ont conduit au paradoxe d’Olbers. [4]

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

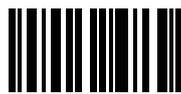
(c) Décrivez **une** preuve qui suggère que l’univers n’est pas statique. [2]

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

*(Option F continues on page 18)*



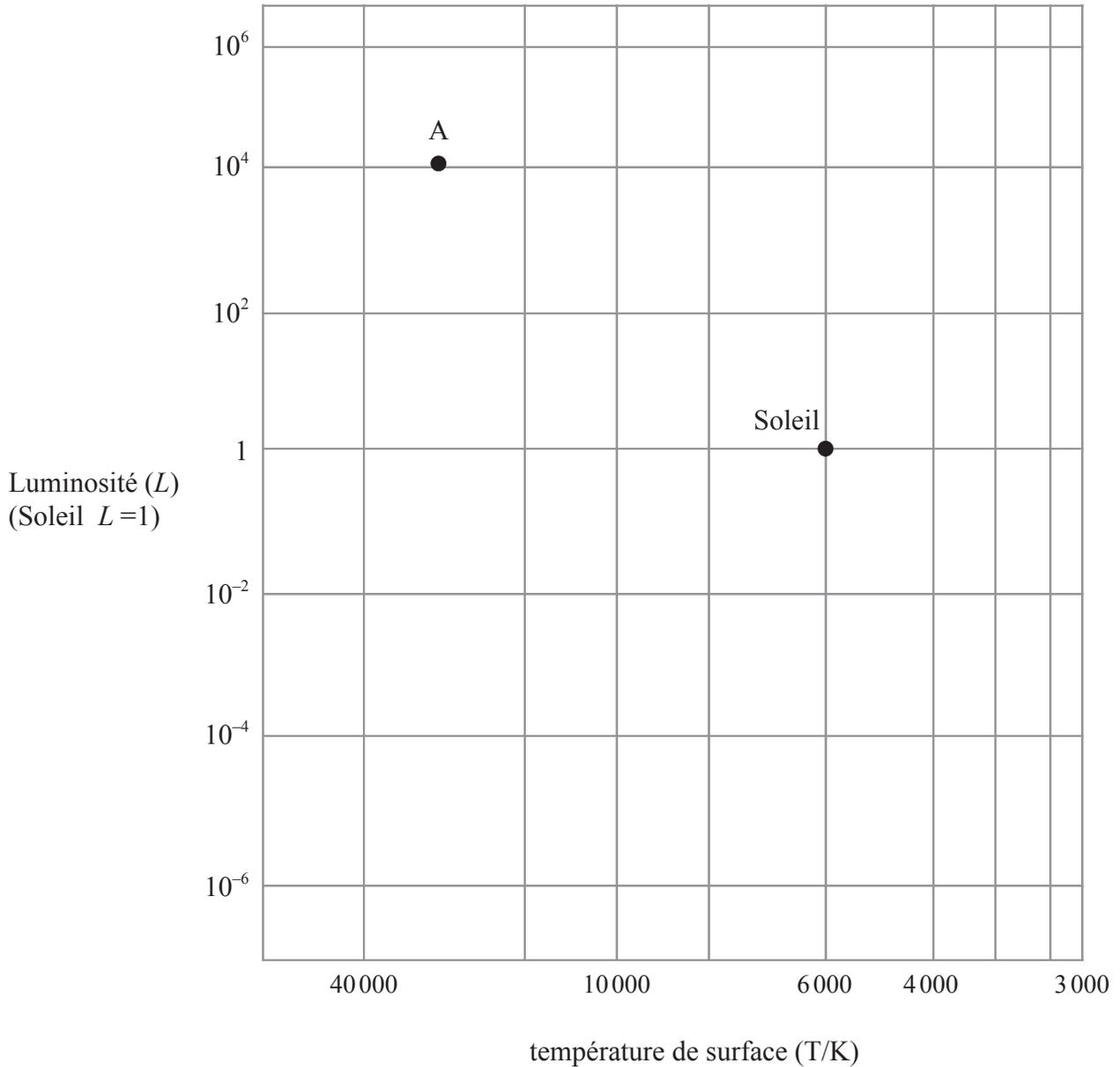
Page vierge



(Suite de l'Option F)

**F3.** Cette question porte sur l'évolution stellaire.

Le graphique ci-dessous représente une grille sur laquelle un diagramme de Hertzsprung–Russell pourrait être tracé. Les positions actuelles du Soleil et d'une autre étoile A de la séquence principale sont indiquées.



La masse de l'étoile A est environ 15 fois la masse du Soleil.

- (a) Sur le graphique ci-dessus, tracez le parcours évolutif du Soleil et le parcours évolutif de l'étoile A lorsque ces deux étoiles quittent la séquence principale. [4]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question F3)

- (b) Lorsque les étoiles ayant des masses d'environ huit fois celle du Soleil quittent la séquence principale, elles peuvent aboutir dans la même région du diagramme de Hertzsprung-Russel que le Soleil lorsqu'il quittera la séquence principale. Expliquez, en référence à la limite de Chandrasekhar, pourquoi c'est bien ce qui se produit. [4]

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

- (c) Indiquez **deux** changements majeurs qui se produisent dans la nucléosynthèse lorsqu'une étoile d'environ huit fois la masse solaire quitte la séquence principale. [2]

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



**Option G — Relativité**

**G1.** Cette question porte sur les systèmes de référence.

- (a) Expliquez ce qu'on entend par *système de référence*. [2]

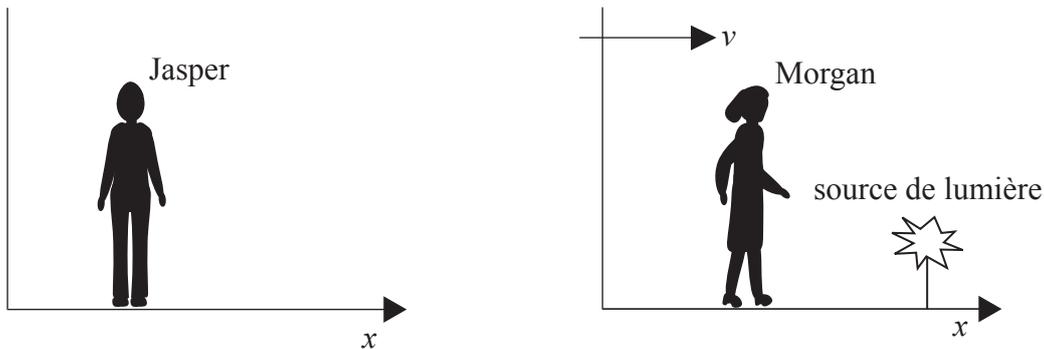
.....

.....

.....

.....

Dans le schéma ci-dessous, Jasper considère son système de référence comme étant au repos et le système de référence de Morgan comme s'éloignant de lui avec une vitesse constante  $v$  dans la direction  $x$ .



Morgan réalise une expérience pour mesurer la vitesse de la lumière émise par une source qui est au repos dans son système de référence. La valeur de la vitesse qu'elle obtient est  $c$ .

- (b) En appliquant à cette situation une transformation de Galilée, indiquez la valeur qu'on s'attendrait à ce que Jasper obtienne pour la vitesse de la lumière émise par cette source. [1]

.....

- (c) Indiquez la valeur qu'on s'attendrait à ce que Jasper obtienne pour la vitesse de la lumière émise par cette source en se basant sur la théorie du rayonnement électromagnétique de Maxwell. [1]

.....

*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question G1)

- (d) Déduisez, en utilisant l'équation relativiste d'addition des vitesses, que Jasper va en fait obtenir une valeur pour la vitesse de la lumière émise par cette source qui est conforme à celle prédite par la théorie de Maxwell. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

Dans l'expérience de Morgan pour mesurer la vitesse de la lumière, elle utilise une étincelle comme source de lumière. Selon elle, cette étincelle dure pendant un intervalle de temps de  $1,5 \mu\text{s}$ . Dans cette situation particulière, la durée de cette étincelle, telle que mesurée par Morgan, est connue dans la théorie de la relativité restreinte comme le temps propre.

- (e) (i) Expliquez ce qu'on entend par *temps propre*. [1]

.....

.....

.....

- (ii) Selon Jasper, l'étincelle dure pendant un intervalle de temps de  $3,0 \mu\text{s}$ . Calculez la vitesse relative entre Jasper et Morgan. [3]

.....

.....

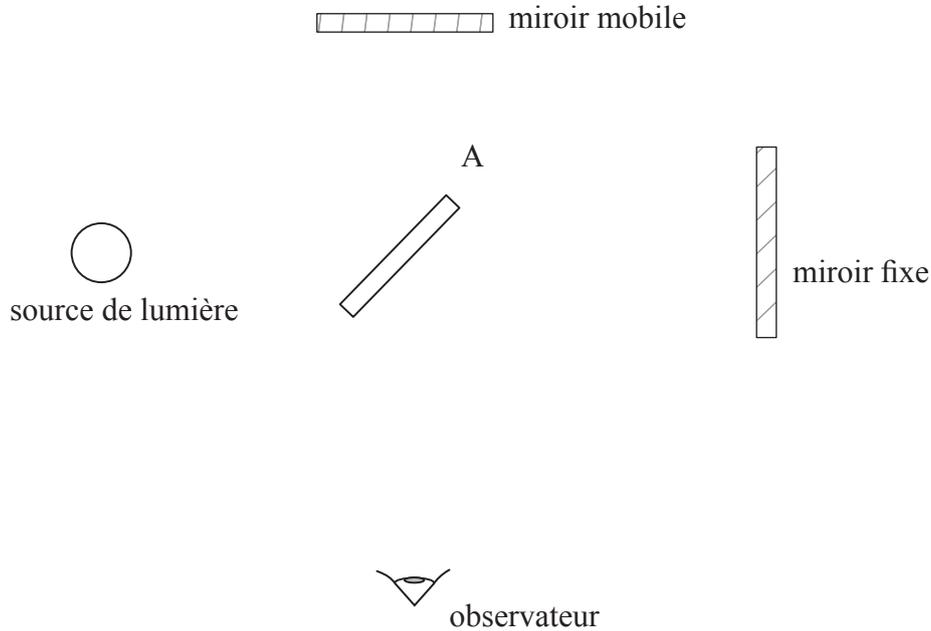
.....

.....



**G2.** Cette question porte sur l'expérience de Michelson-Morley.

Le schéma ci-dessous montre les caractéristiques essentielles de l'appareil utilisé dans l'expérience de Michelson-Morley.



A est un miroir semi-argenté.

- (a) Indiquez le but de cette expérience. [1]

.....  
 .....

- (b) Sur le schéma ci-dessus, tracez des rayons pour indiquer les trajectoires de la lumière venant de la source qui produisent l'image d'interférence vue par l'observateur. [3]

- (c) Dans une partie de cette expérience, l'appareil tout entier subit une rotation de 90°. Expliquez pourquoi. [2]

.....  
 .....

*(Suite de la question à la page suivante)*



*(Suite de la question G2)*

(d) Expliquez la fonction du miroir mobile. [1]

.....  
.....

(e) Décrivez les résultats de cette expérience et expliquez comment ce résultat corrobore la théorie de la relativité restreinte. [2]

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



**G3.** Cette question porte sur la dynamique relativiste.

- (a) Une particule chargée d'une masse au repos  $m_0$  et portant une charge  $e$  est accélérée au moyen d'une différence de potentiel  $V$ . Déduisez que

$$\gamma = 1 + \frac{Ve}{m_0 c^2}$$

relation dans laquelle  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  et  $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Calculez la vitesse, en termes de  $c$ , atteinte par un proton accéléré depuis l'état de repos au moyen d'une différence de potentiel de 500 MV. (Masse au repos d'un proton =  $938 \text{ MeV}c^{-2}$ ) [2]

.....

.....

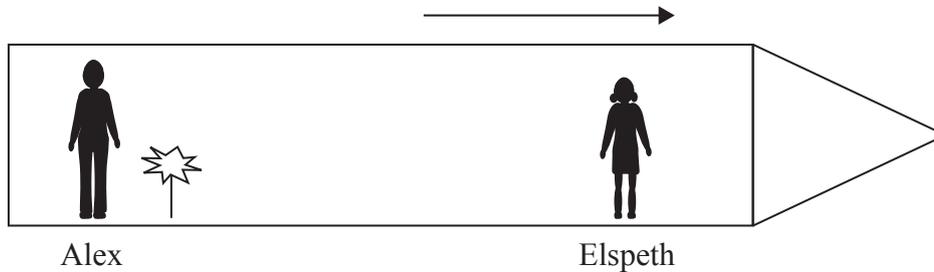
.....

.....



**G4.** Cette question porte sur le décalage gravitationnel vers le rouge.

Alex et Elspeth sont dans un vaisseau spatial qui se déplace à vitesse constante dans le sens indiqué. Près de Alex se trouve une source de lumière fixée au sol du vaisseau spatial. Alex et Elspeth mesurent tous deux la même valeur pour la fréquence de la lumière émise par cette source.



Le vaisseau spatial commence alors à accélérer.

(a) Expliquez pourquoi, pour Elspeth, la lumière venant de la source proche de Alex va maintenant être observée comme émettant une lumière d'une fréquence inférieure. [3]

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

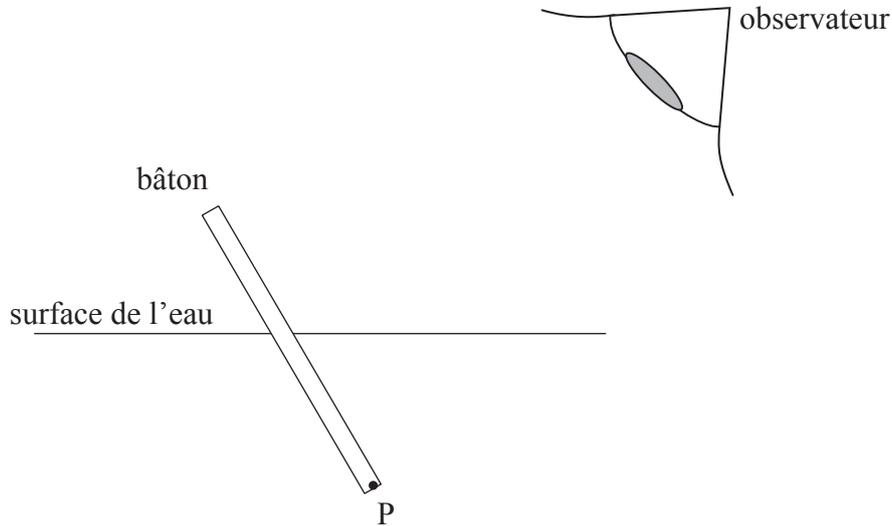
(b) Indiquez de manière succincte comment la situation décrite en (a) mène à l'idée du décalage gravitationnel vers le rouge. [2]

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

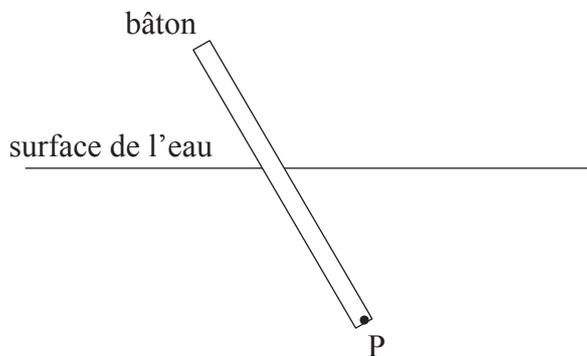
**Option H — Optique**

**H1.** Cette question porte sur la réfraction et l'angle limite.

Le schéma ci-dessous montre un bâton qui est partiellement plongé dans l'eau.



- (a) Sur le schéma ci-dessus,
  - (i) tracez des rayons pour situer la position de l'image de l'extrémité P du bâton. [2]
  - (ii) dessinez la forme apparente du bâton tel qu'il est vu par l'observateur. [1]
  
- (b) Sur le schéma ci-dessous, tracez le trajet d'un rayon lumineux issu de l'extrémité P du bâton et qui est incident sur la surface de l'eau à l'angle limite. Sur votre schéma, désignez par la lettre C l'angle limite pour ce rayon lumineux. [2]



*(Suite de la question à la page suivante)*



*(Suite de la question H1)*

- (c) Un poisson nage à une profondeur de 2,0 m en dessous de la surface de l'eau. Déterminez le rayon du champ circulaire de vision que le poisson a du « monde » au-dessus de la surface de l'eau. (Indice de réfraction de l'eau = 1,3)

[4]

.....

.....

.....

.....

.....

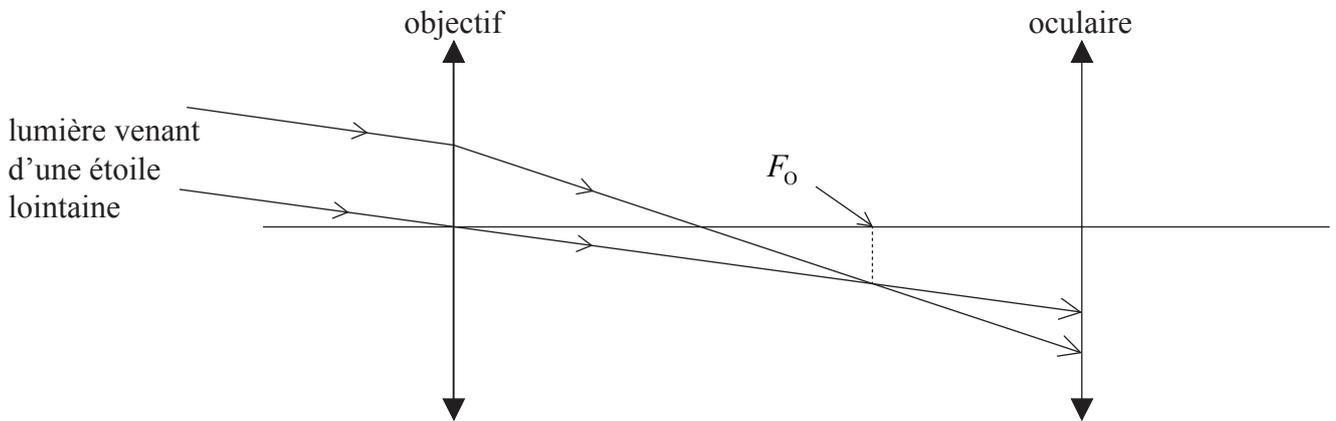


**H2.** Cette question porte sur une lunette astronomique.

(a) Définissez le point focal d'une lentille convexe (convergente). [2]

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

Le schéma ci-dessous montre deux rayons lumineux issus d'une étoile lointaine incidents sur l'objectif d'une lunette astronomique. Les trajets de ces rayons sont également représentés après qu'ils aient traversé l'objectif et qu'ils aient atteint l'oculaire de la lunette.



Le foyer principal de l'objectif est  $F_O$ .

(b) Sur le schéma ci-dessus, marquez

(i) la position du foyer principal de l'oculaire (désignez celui-ci  $F_E$ ). [1]

(ii) la position de l'image de l'étoile formée par l'objectif (désignez celle-ci I). [1]

(c) Indiquez où l'image finale est formée lorsque la lunette est réglée normalement. [1]

.....

(d) Complétez le schéma ci-dessus pour montrer le sens dans lequel l'image finale de l'étoile est formée pour la lunette réglée normalement. [2]

*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question H2)

Le cercle oculaire d'une lunette astronomique est un dispositif qui est placé à l'extérieur de l'oculaire du télescope dans la position où l'image de l'objectif est formée par l'oculaire. Le diamètre du cercle oculaire est le même que le diamètre de l'image de l'objectif. Cela fait en sorte que toute la lumière passant à travers le télescope passe à travers le cercle oculaire.

- (e) Un télescope astronomique particulier a un objectif d'une distance focale de 98,0 cm et un oculaire d'une distance focale de 2,00 cm (c'est-à-dire  $f_0 = 98,0$  cm,  $f_e = 2,00$  cm). Déterminez la position du cercle oculaire. [4]

.....

.....

.....

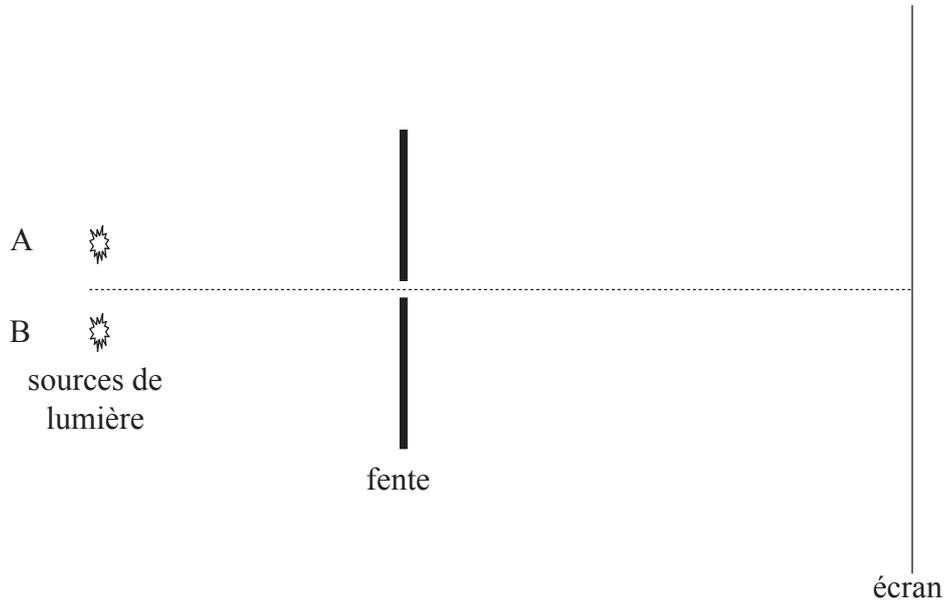
.....

.....



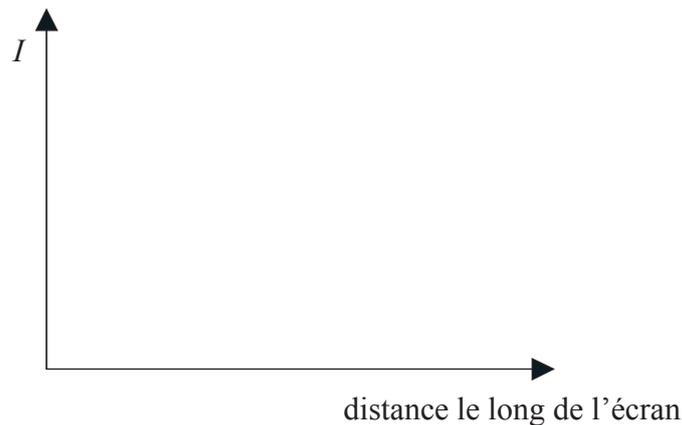
**H3.** Cette question porte sur la résolution optique.

Les deux sources ponctuelles représentées sur le schéma ci-dessous (pas à l'échelle) émettent une lumière de la même fréquence. Cette lumière est incidente sur une fente rectangulaire étroite et, après être passée à travers cette fente, elle est focalisée sur l'écran.



La source B est couverte.

- (a) En utilisant les axes ci-dessous, esquissez un graphique pour montrer comment l'intensité  $I$  de la lumière venant de A varie en fonction de la distance le long de l'écran. Désignez par A la courbe que vous avez tracée. [2]



La source B est alors découverte. Les images de A et de B sur l'écran sont juste résolues.

- (b) En utilisant les mêmes axes qu'en (a), esquissez un graphique pour montrer comment l'intensité  $I$  de la lumière émise par B varie en fonction de la distance le long de l'écran. Désignez cette courbe par B. [1]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question H3)

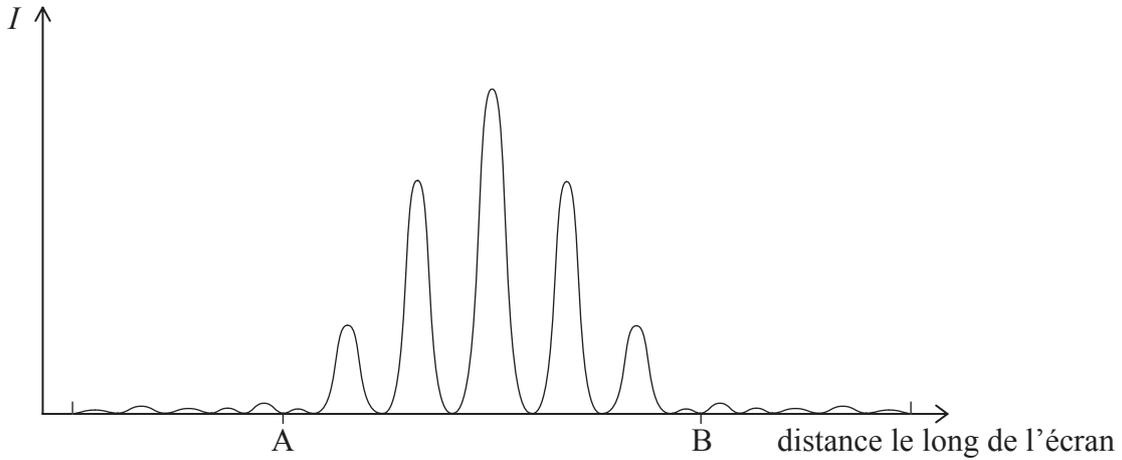
L'étoile brillante Sirius A est accompagnée par une étoile d'un éclat stellaire beaucoup plus faible, Sirius B. La distance moyenne de ces étoiles à la Terre est  $8,1 \times 10^{16}$  m. Dans des conditions atmosphériques idéales, une lunette ayant un objectif d'un diamètre de 25 cm peut juste résoudre ces étoiles comme deux images séparées.

- (c) En supposant que la longueur d'onde moyenne émise par ces étoiles est 500 nm, estimez la séparation linéaire apparente de ces deux étoiles. [3]

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



**H4.** Une lumière parallèle monochromatique est incidente sur deux fentes de largeur égale et proches l'une de l'autre. Après être passé à travers ces fentes, cette lumière est focalisée sur un écran. Le graphique ci-dessous montre la distribution de l'intensité de la lumière sur cet écran.



- (a) Une lumière émise par la même source est incidente sur de nombreuses fentes de la même largeur que les fentes susmentionnées. Tracez sur le graphique ci-dessus une nouvelle distribution possible de l'intensité de la lumière sur l'écran entre les points A et B.

[2]

Un faisceau parallèle de lumière d'une longueur d'onde de 450 nm est incident perpendiculairement sur un réseau de diffraction. L'écartement des fentes de ce réseau de diffraction est  $1,25 \times 10^{-6}$  m.

- (b) Déterminez l'angle entre le ventre central et le ventre principal de premier ordre formé par ce réseau.

[2]

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

