



PHYSIQUE
NIVEAU SUPÉRIEUR
ÉPREUVE 3

Numéro du candidat

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

Mardi 20 mai 2003 (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. Vous pouvez rédiger vos réponses dans un livret de réponses supplémentaire. Inscrivez votre numéro de candidat sur chaque livret de réponse que vous avez utilisé et joignez-les à cette épreuve écrite et à votre page de couverture en utilisant l'attache fournie.
- À la fin de l'examen, veuillez indiquer les lettres des options auxquelles vous avez répondu ainsi que le nombre de livrets utilisés dans les cases prévues à cet effet sur la page de couverture.

Page vierge

Option D – Physique biomédicale

D1. Cette question porte sur les rapports d'échelle et examine pourquoi il est dangereux pour les insectes de tomber dans l'eau.

(a) On plonge complètement dans l'eau une sphère de rayon r et de masse M , puis on l'en retire. Une mince pellicule d'eau d'épaisseur constante adhère à cette sphère. En supposant que la masse m de cette pellicule est proportionnelle à l'aire de la surface de la sphère, déduisez que $\frac{m}{M}$ est proportionnel à $\frac{1}{r}$. [3]

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

Pour une sphère de rayon 0,80 m, le rapport $\frac{m}{M}$ ci-dessus est égal à 2 %.

Un insecte volant se pose sur la surface de l'eau contenue dans un verre. Il se retrouve immergé dans l'eau mais finit par s'en extraire et à grimper sur le bord du verre.

(b) (i) En supposant qu'on puisse assimiler le corps de cet insecte à une sphère de rayon 4,0 mm, estimez le rapport entre la masse d'eau portée par cet insecte sortant de l'eau et sa propre masse. [3]

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

(ii) Exprimez **une** hypothèse que vous avez faite dans votre estimation. [1]

.....

(iii) Faites des commentaires sur votre réponse à la question b(i) ci-dessus. [1]

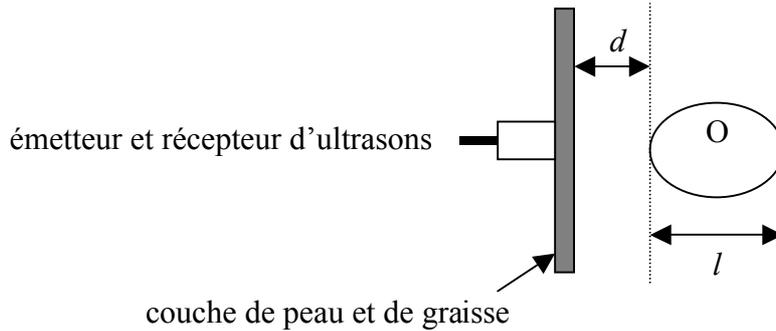
.....

D2. Cette question porte sur l'exploration par ultrasons.

- (a) Donnez une valeur typique de la fréquence des ultrasons utilisés dans l'imagerie médicale. [1]

.....

Le schéma ci-dessous montre un émetteur et un récepteur d'ultrasons placés en contact avec la peau.

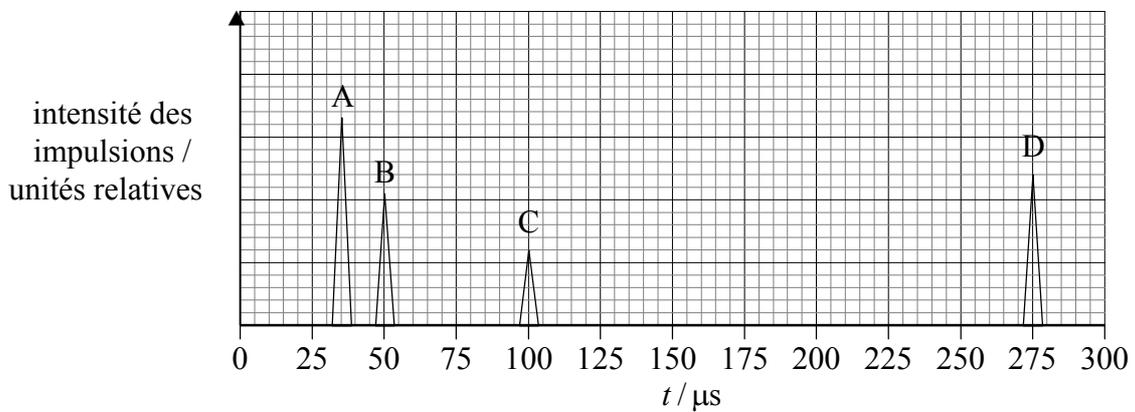


L'objectif de cet échogramme particulier est de déterminer la profondeur d de l'organe désigné O en dessous de la peau et aussi de déterminer sa longueur l .

- (b) (i) Suggérez la raison pour laquelle on applique une couche de gel entre l'émetteur / le récepteur d'ultrasons et la peau. [2]

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

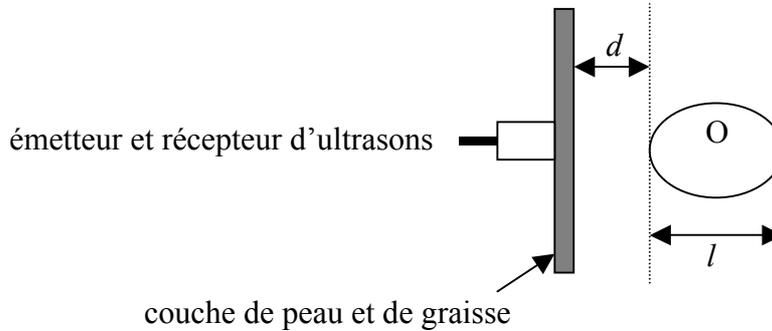
Sur le graphique ci-dessous, l'intensité des impulsions réfléchies est représentée en fonction du temps t , t étant le temps qui s'est écoulé entre l'émission et la réception de l'impulsion.



(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question D2(b))

- (ii) Indiquez sur le schéma ci-dessous l'origine des impulsions réfléchies A, B, C et D. [2]



- (iii) Dans les tissus et les muscles, la vitesse moyenne des ultrasons utilisés dans cet échogramme est de $1,5 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}$. En utilisant les données fournies par le graphique reproduit plus haut, estimez la profondeur d de l'organe en dessous de la peau et la longueur l de l'organe O. [4]

.....

.....

.....

.....

.....

- (c) L'échogramme susmentionné est appelé échogramme unidimensionnel. Indiquez **une** façon dont un échogramme bidimensionnel diffère d'un échogramme unidimensionnel. [1]

.....

.....

- (d) Indiquez **un** avantage et **un** désavantage de l'utilisation d'ultrasons plutôt que de rayons X dans le diagnostic médical. [2]

Avantage :

.....

Désavantage :

.....

D3. Cette question porte sur l'apport énergétique de la nourriture.

- (a) La valeur calorifique des pommes de terre est de $2,5 \text{ MJ kg}^{-1}$. Calculez la masse de pommes de terre qui produira la quantité d'énergie équivalente à l'énergie acquise par un objet d'une masse de 80 kg qui est soulevé d'une hauteur verticale de 3000 m. [2]

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

- (b) Indiquez **une** raison pour laquelle une personne devrait manger beaucoup plus que cette masse calculée de pommes de terre pour escalader une montagne d'une hauteur de 3000 m. [1]

.....

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

- (a) Définissez les termes *exposition* et *dose absorbée*. [2]

Exposition :

Dose absorbée :

- (b) Expliquez, en référence au rayonnement α et γ , la distinction entre dose absorbée et équivalent de dose. [3]

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

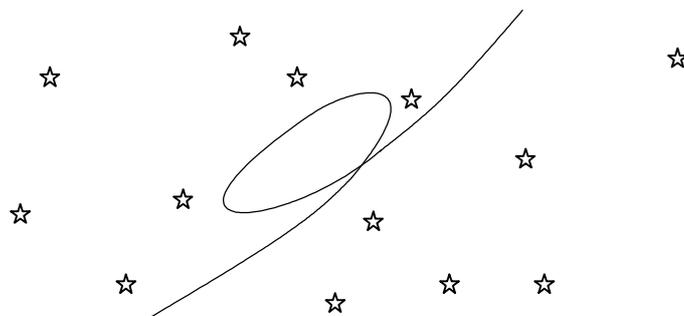
- (c) Expliquez pourquoi, lorsqu'on utilise des éléments traceurs radioactifs dans le traitement du cancer, il vaut mieux utiliser des isotopes radioactifs qui ont une longue demi-vie physique et une courte demi-vie biologique. [2]

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

Option E - Histoire et développement de la physique

E1. Cette question porte sur le mouvement de Mars tel qu'il est observé depuis la Terre.

Le schéma ci-dessous montre l'allure de la trajectoire de Mars tel qu'elle est observée depuis la Terre, par rapport aux étoiles fixes et sur une période de six mois.



(a) Indiquez le nom donné à ce type de trajectoire. [1]

.....

(b) Décrivez brièvement comment cette trajectoire de Mars a été expliquée par

(i) Ptolémée. [2]

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

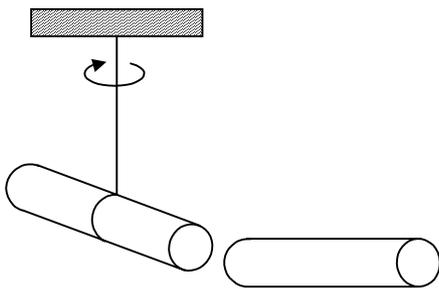
(ii) Copernic. [2]

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

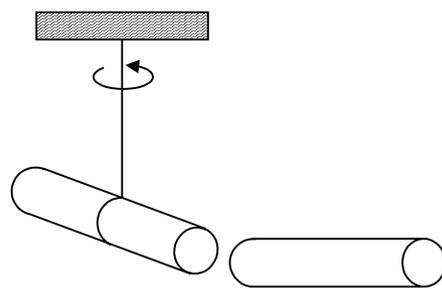
E2. Cette question porte sur l'électrisation par contact.

Au dix-huitième siècle, Benjamin Franklin démontra qu'il y avait deux types d'électricité produits par frottement. Il le fit en utilisant des tiges d'ébonite frottées avec de la fourrure et des tiges de verre frottées avec de la soie. Le schéma ci-dessous illustre deux situations dans lesquelles une des tiges est suspendue verticalement par un fil, tandis qu'une autre tige est approchée d'une extrémité de la tige suspendue. Cela fait tourner la tige suspendue. Le sens de rotation de la tige suspendue dans chaque situation est indiqué.

Situation 1



Situation 2



- (a) Pour chaque situation, identifiez les types possibles de tiges (ébonite **ou** verre) en les désignant par la lettre E pour les tiges en ébonite et par la lettre V pour les tiges en verre [2]
- (b) Franklin appela ces deux types d'électricité *positive* et *negative*. Suggérez pourquoi il leur a donné ces noms. [2]

.....

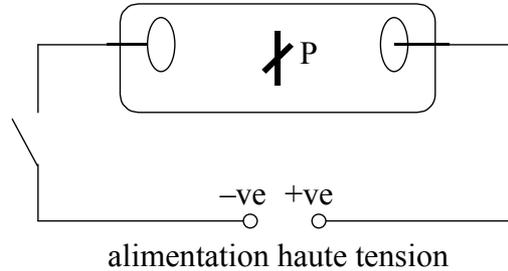
.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)

E3. Cette question porte sur les rayons cathodiques.

Le schéma ci-dessous montre un tube à décharge qui contient de l'air à basse pression. Un objet en forme de croix P est placé entre les électrodes.



Lorsqu'on branche l'alimentation, le tube émet une lueur verdâtre. L'objet P projette également une ombre distincte.

(a) Précisez sur le schéma ci-dessus la région où cette ombre apparaît. [1]

(b) En 1876, Eugen Goldstein suggéra que ces ombres étaient causées par les *rayons cathodiques*.

(i) Expliquez pourquoi Goldstein utilisa ce terme. [1]

.....
.....

(ii) En 1895, Jean-Baptiste Perrin démontra que la charge électrique portée par ces rayons était négative. En utilisant le schéma ci-dessus, décrivez comment il parvint à l'établir. [2]

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

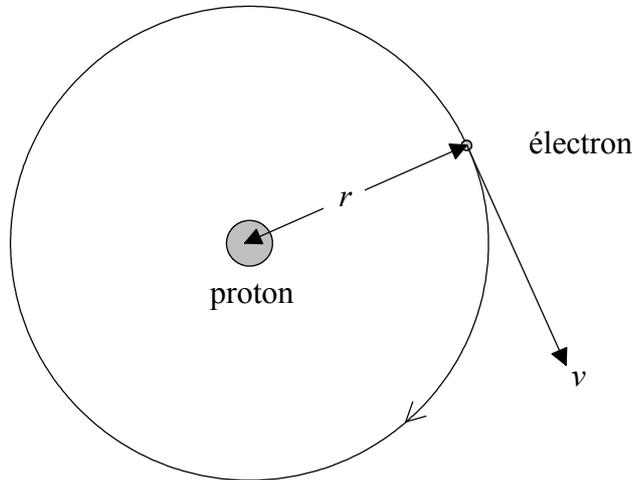
(iii) Indiquez la nature réelle des rayons cathodiques. [1]

.....

Page vierge

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

En 1913, Niels Bohr publia sa théorie de l'atome d'hydrogène selon laquelle un électron décrit une orbite autour d'un proton, comme illustré par le schéma ci-dessous.



Cette théorie comporte deux postulats, appelés *postulats de Bohr*.

Si le rayon de l'orbite de l'électron est r et sa vitesse orbitale v , on peut exprimer mathématiquement le premier postulat de Bohr de la façon suivante :

$$mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

où m est la masse de l'électron.

En vertu de ce postulat, l'électron ne peut se déplacer que sur des orbites définies par $n = 1, 2, 3$ etc. Bohr appela ces orbites permises *orbites stables*.

(a) Expliquez pourquoi Bohr appela les orbites permises *orbites stables* et expliquez pourquoi ces orbites sont en contradiction avec la théorie électromagnétique classique. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question E4)

On peut exprimer mathématiquement le deuxième postulat de Bohr de la façon suivante :

$$E_{n_2} - E_{n_1} = hf$$

- (b) Expliquez, en référence au terme n utilisé dans le premier postulat, les termes suivants : [4]

E_{n_2}

.....

E_{n_1}

.....

f

.....

En utilisant ses deux postulats, Bohr fut capable de déduire l'équation de Rydberg. On peut écrire cette équation de la façon suivante :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Lorsque $n = 2$, cette équation permet de déterminer les valeurs des longueurs d'onde dans la série spectrale de Balmer.

- (c) Si $R_H = 1,1 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$, déterminez la valeur de la longueur d'onde la plus élevée présente dans la série de Balmer. [2]

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

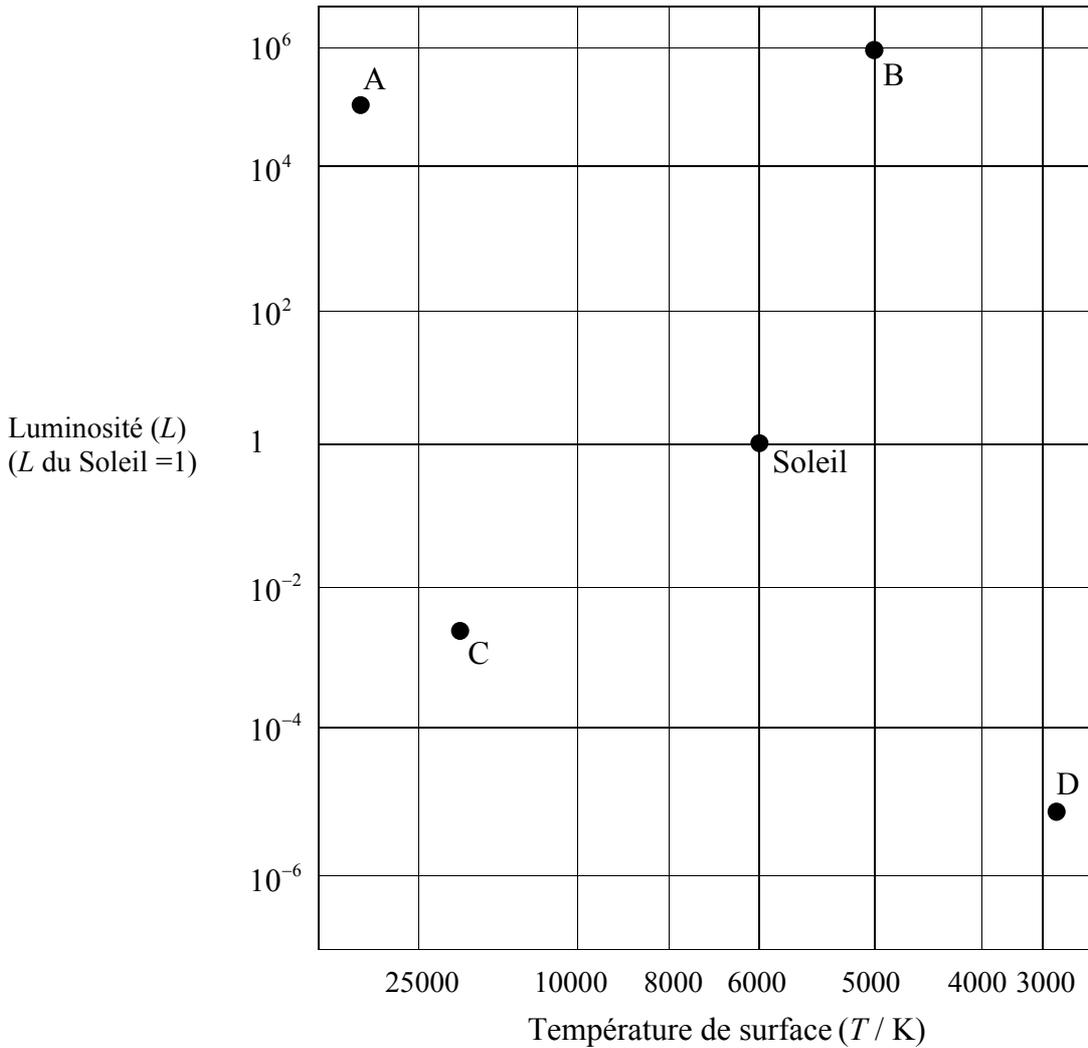
- (d) Exprimez **deux** aspects par lesquels le modèle de l'atome d'hydrogène proposé par Schrödinger diffère du modèle proposé par Bohr. [2]

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

Option F - Astrophysique

F1. Cette question porte sur la nature de certaines étoiles sur le diagramme de Hertzsprung-Russel et sur la détermination de la distance stellaire.

Le diagramme ci-dessous montre la grille d'un diagramme de Hertzsprung-Russel (H-R) sur laquelle sont indiquées les positions du Soleil et de quatre autres étoiles A, B, C et D.



(a) Exprimez une autre façon de désigner les axes.

(i) Axe des abscisses [1]

(ii) Axe des ordonnées [1]

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question F1)

(b) Complétez le tableau ci-dessous.

[4]

Étoile	Type d'étoile
A	
B	
C	
D	

(c) En utilisant les informations fournies par le diagramme H-R et sans faire aucun calcul, expliquez comment les astronomes peuvent déduire que l'étoile **B** est plus grande que l'étoile **A**.

[3]

.....

(d) En utilisant les données ci-après et les informations fournies par le diagramme H-R, démontrez que l'étoile **B** est située à une distance d'environ 700 pc de la Terre.

[4]

Éclat visuel apparent du Soleil = $1,4 \times 10^3 \text{ W m}^{-2}$
 Éclat visuel apparent de l'étoile B = $7,0 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$
 Distance moyenne entre le Soleil et la Terre = 1,0 AU
 1 parsec = $2,1 \times 10^5 \text{ AU}$

.....

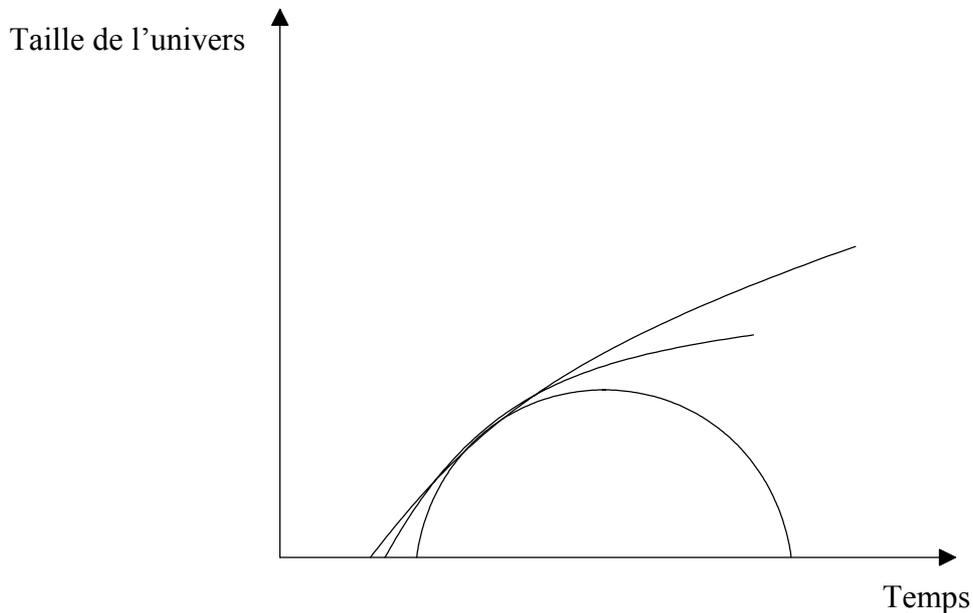
(e) Expliquez pourquoi on ne peut pas déterminer la distance de l'étoile **B** par rapport à la Terre en utilisant la méthode de la parallaxe stellaire.

[1]

.....

F2. Cette question porte sur l'évolution possible de l'univers.

Le schéma ci-dessous est une ébauche de graphique qui montre trois façons possibles dont la taille de l'univers pourrait évoluer avec le temps.



Selon la façon dont la taille de l'univers varie avec le temps, on qualifie l'univers de *ouvert*, *plat* ou *fermé*.

- (a) Sur le schéma ci-dessus, identifiez chaque type d'univers. [3]
- (b) Complétez le tableau ci-dessous pour indiquer la relation entre la densité moyenne ρ de chaque type d'univers et la densité critique ρ_0 . [3]

Type d'univers	Relation entre ρ et ρ_0
Ouvert	
Plat	
Fermé	

F3. Cette question porte sur les naines blanches et les étoiles à neutrons.

(a) Indiquez la propriété qui détermine si une étoile termine sa vie comme une naine blanche **ou** comme une étoile à neutrons. [1]

.....

(b) Définissez le terme *limite de Chandrasekhar* et utilisez ce concept pour expliquer la différence entre une naine blanche et une étoile à neutrons. [3]

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

(c) Indiquez le nom donné à une étoile à neutrons en rotation. [1]

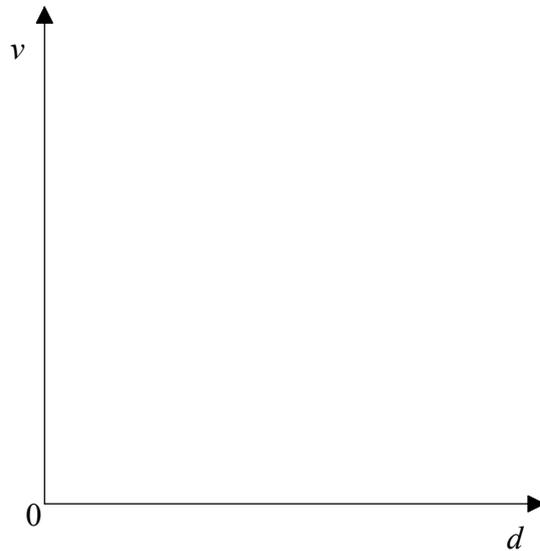
.....

F4. Cette question porte sur le décalage vers le rouge des galaxies, sur la constante de Hubble et sur l'âge de l'univers.

- (a) Indiquez comment on explique le décalage vers le rouge observé pour la lumière provenant de nombreuses galaxies éloignées. [1]

.....

- (b) En utilisant les axes ci-dessous, tracez un graphique pour montrer comment la vitesse de récession v entre les galaxies varie avec la distance d qui les sépare. (Veuillez noter qu'on vous demande simplement d'esquisser un graphique ; vous n'avez pas besoin d'ajouter de valeurs numériques). [1]



- (c) Indiquez comment on peut déterminer la constante de Hubble à partir d'un tel graphique. [1]

.....

- (d) Une valeur de la constante de Hubble est $100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Utilisez cette valeur pour estimer l'âge de l'univers en années. (1 Mpc $\approx 3 \times 10^{19}$ km, 1 année $\approx 3 \times 10^7$ s) [2]

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

Option G - Relativité

G1. Cette question porte sur une expérience de pensée proposée pour la première fois par Einstein.

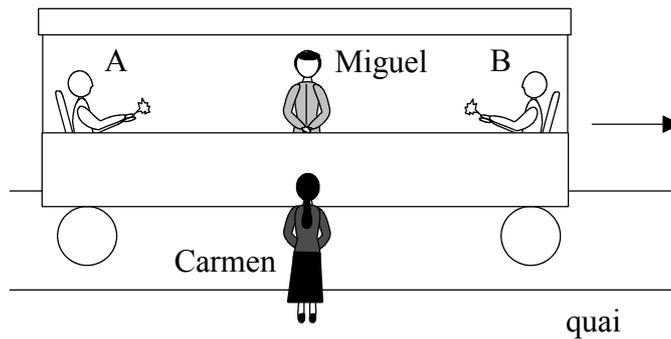
(a) Définissez les termes *temps propre* et *longueur propre*. [2]

Temps propre :

Longueur propre :

Dans le schéma ci-dessous, Miguel se trouve dans une voiture de chemin de fer qui se déplace en ligne droite avec une vitesse uniforme relativement à Carmen qui se tient debout sur le quai.

Miguel se trouve à mi-distance entre deux personnes assises aux extrémités opposées A et B de cette voiture.



Au moment où Miguel et Carmen sont juste en face l'un de l'autre, la personne à l'extrémité A de la voiture allume une allumette, de même que la personne à l'extrémité B de la voiture.

Selon Miguel, ces deux événements se produisent simultanément.

(b) Discutez si oui ou non ces deux événements sembleront simultanés à Carmen. [4]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question G1(b))

- (ii) Miguel mesure la distance entre A et B comme étant de 20,0 m. Cependant, Carmen mesure cette distance comme étant de 10,0 m. Déterminez la vitesse de la voiture par rapport à Carmen. [2]

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

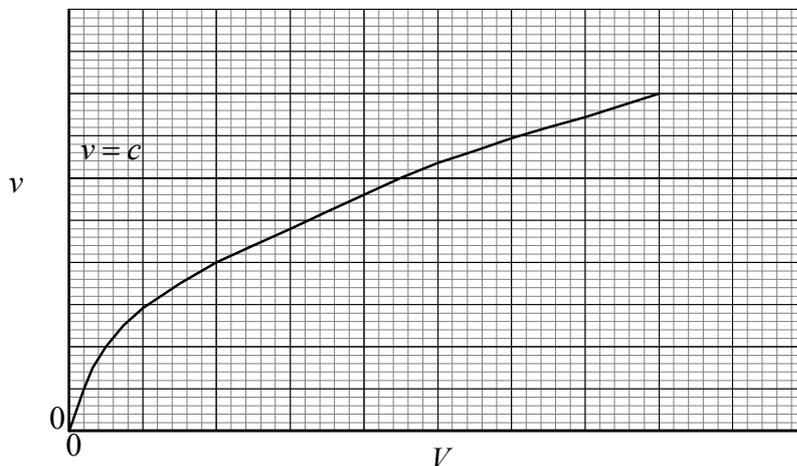
- (iii) À supposer qu'ils aient effectué des mesures correctes, lequel des **deux** observateurs obtient la bonne distance entre A et B ? Justifiez votre réponse. [2]

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

G2. Cette question porte sur des électrons qui se déplacent à des vitesses relativistes.

Un faisceau d'électrons est accéléré dans le vide sous une différence de potentiel V .

Le graphique ébauché ci-dessous montre comment la vitesse v des électrons, déterminée par la mécanique non relativiste, varie avec le potentiel V , (relativement au laboratoire). La vitesse de la lumière c est indiquée comme de référence.



(a) Sur la grille ci-dessus, tracez un graphique pour montrer comment la vitesse des électrons, déterminée par la mécanique relativiste, varie sur la même plage de V . [2]
(Notez qu'on vous demande simplement d'esquisser un graphique ; vous n'avez pas besoin d'ajouter de valeurs.)

(b) Expliquez brièvement l'allure générale du graphique que vous avez tracé. [3]

.....

.....

.....

.....

(c) Lorsque des électrons sont accélérés par une différence de potentiel de $1,50 \times 10^6$ V, ils atteignent une vitesse de $0,97 c$ relativement au laboratoire.

Déterminez, pour un électron accéléré,

(i) sa masse. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

(ii) son énergie totale. [2]

.....

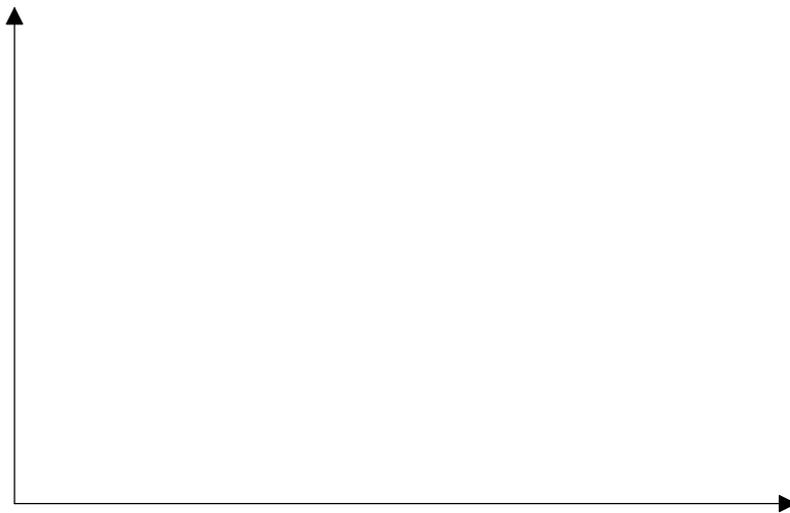
.....

G3. Cette question porte sur l'espace-temps, la gravité et les trous noirs.

- (a) Dans ses deux théories de la relativité restreinte et de la relativité générale, Einstein introduisit l'idée de *l'espace-temps*.

Considérez une particule éloignée de toute masse importante. Cette particule se déplace à vitesse constante dans la direction x .

Utilisez cet exemple et les axes ci-dessous pour décrire ce qu'on entend par *espace-temps*. [3]



.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question G3)

- (b) La théorie de la relativité générale suggère que, à des distances éloignées de masses importantes, l'espace-temps est plat. Les masses importantes ont pour effet de déformer l'espace-temps. Expliquez brièvement comment Einstein utilisa cette idée pour décrire, par exemple, l'attraction gravitationnelle entre la Terre et un satellite en orbite. [3]

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

- (c) Décrivez ce qu'on entend par *un trou noir*. [2]

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

- (d) Estimez le rayon que devrait avoir le Soleil pour devenir un trou noir. [2]
(Masse du Soleil $\approx 2 \times 10^{30}$ kg .

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

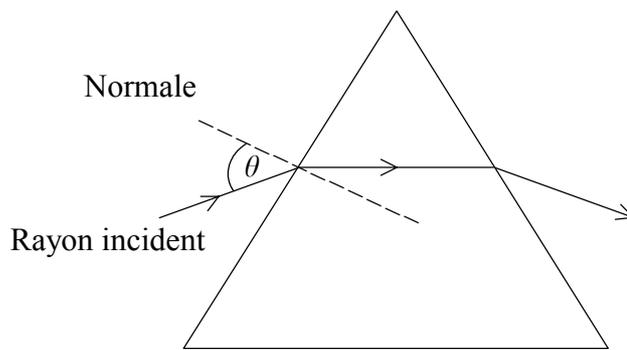
Option H - Optique

H1. Cette question porte sur la réfraction.

- (a) À l'aide d'un schéma approprié, définissez le terme *indice de réfraction* tel qu'il est appliqué à un matériau optique. [2]

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

Le schéma ci-dessous illustre le trajet d'un rayon de lumière rouge incident sur une face d'un prisme en verre et formant un angle θ avec la normale.



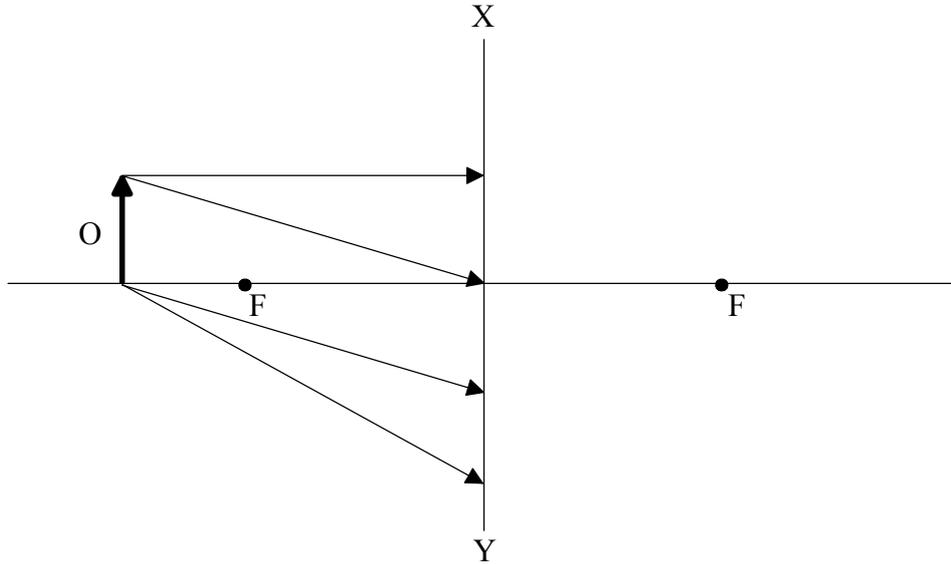
- (b) (i) On remplace alors cette lumière rouge par une lumière bleue. Sur le schéma ci-dessus, tracez le parcours correspondant suivi par un rayon de lumière bleue incident sous le même angle θ . [3]

- (i) Indiquez et expliquez si l'indice de réfraction pour la lumière rouge dans le verre est plus grand, plus petit ou égal à l'indice de réfraction pour la lumière bleue. [1]

.....
.....

H2. Cette question porte sur une lentille concave (divergente).

Le diagramme ci-dessous montre quatre rayons de lumière issus d'un objet O, incidents sur une lentille mince **concave (divergente)**. Les *foyers* de cette lentille sont désignés par F sur le schéma. La lentille est représentée par la droite XY.



(a) Définissez le terme *foyer*. [2]

.....
.....

(b) Sur le schéma ci-dessus,
(i) complétez les trajets des quatre rayons afin de positionner l'image formée par la lentille. [4]

(ii) montrez où l'œil doit être placé afin de voir l'image. [1]

(c) Indiquez et expliquez si l'image est réelle **ou** virtuelle. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question H2)

- (d) La distance focale de cette lentille est de 50,0 cm. Déterminez le grossissement linéaire d'un objet placé à 75,0 cm de la lentille.

[3]

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

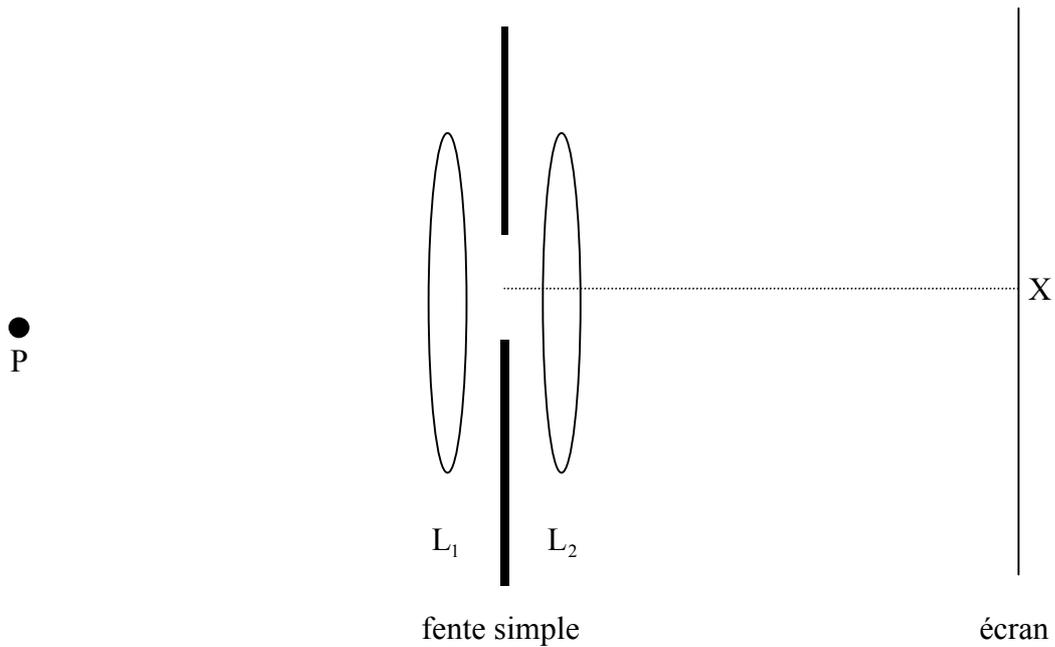
- (e) On couvre alors la moitié de la lentille de façon à ce que seuls les rayons situés d'un même côté de l'axe principal soient incidents sur la lentille. Décrivez les effets éventuels que cela aura sur le grossissement linéaire et l'aspect de l'image.

[2]

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

H3. Cette question porte sur la diffraction par une fente simple.

Le schéma ci-dessous illustre un dispositif expérimental pour observer la diffraction de Fraunhofer par une fente simple. Après avoir traversé la lentille convergente L_1 , la lumière monochromatique provenant d'une source ponctuelle P est incidente sur une fente simple, étroite, rectangulaire. Après avoir traversé cette fente, cette lumière est focalisée sur l'écran par la lentille L_2 . La source ponctuelle P se trouve au foyer de la lentille L_1 .



Le point X sur l'écran se trouve juste en face du point central de la fente.

- (a) Expliquez qualitativement comment le principe de Huygens explique le phénomène de la diffraction par une fente simple. [2]

.....

.....

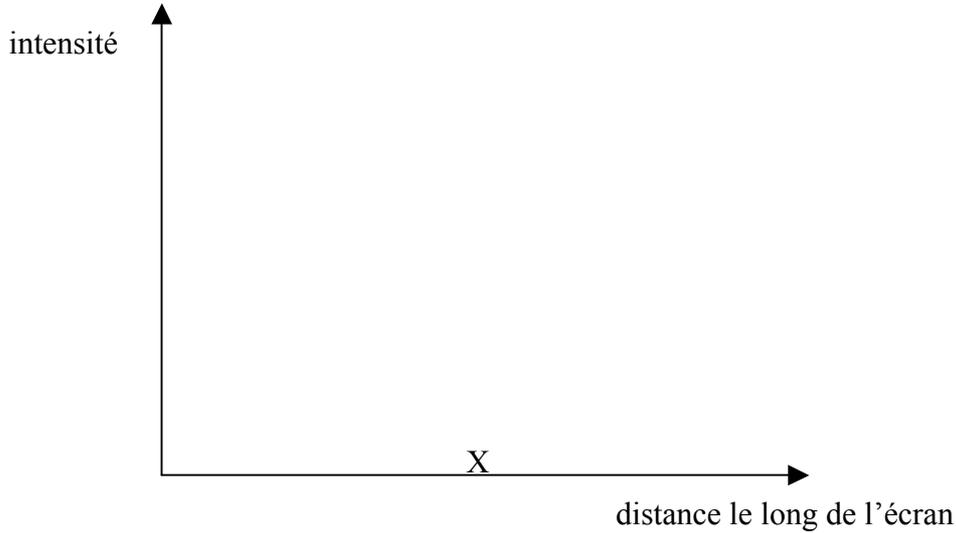
.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question H3)

- (b) En utilisant les axes ci-dessous, tracez un graphique pour montrer comment l'intensité des franges varie en fonction de la distance le long de l'écran. Le point X sur l'écran est indiqué comme point de référence. (On vous demande simplement d'esquisser un graphique ; vous n'avez pas besoin d'ajouter de valeurs numériques.) [3]



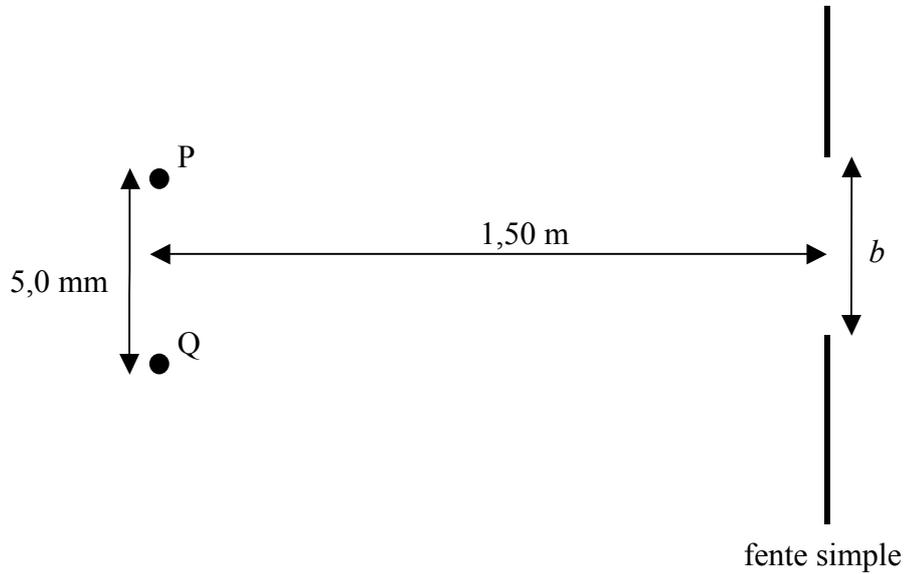
- (c) Dans cette expérience, la lumière a une longueur d'onde de 500 nm et la largeur sur l'écran du ventre central d'intensité est de 10,0 mm. Lorsqu'on utilise une lumière d'une longueur d'onde inconnue λ , la largeur du ventre central d'intensité est de 13,0 mm. Déterminez la valeur de λ . [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question H3)

On enlève alors la lentille L_1 , on place une autre source ponctuelle Q émettant une lumière de la même longueur d'onde que P (500 nm) à 5,0 mm de P. On dispose les deux sources de la façon représentée ci-dessous.



La distance entre les sources et la fente est de 1,5 m.

- (d) (i) Indiquez la condition pour que l'image de P et l'image de Q formées sur l'écran soient juste résolues. [1]

.....
.....

- (i) Déterminez la largeur minimum b de la fente pour que ces deux images soient juste résolues. [2]

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