



Physique

Niveau supérieur

Épreuve 3

Vendredi 11 mai 2018 (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

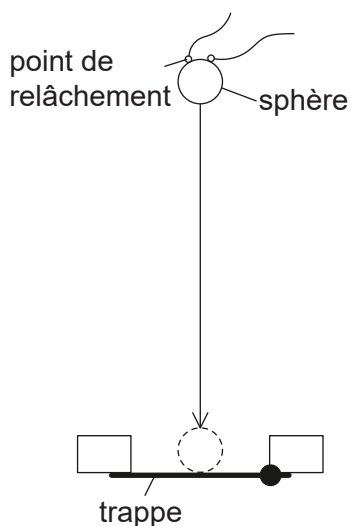
Section B	Questions
Répondez à toutes les questions d'une des options.	
Option A — Relativité	3 – 7
Option B — Physique de l'ingénieur	8 – 11
Option C — Imagerie	12 – 15
Option D — Astrophysique	16 – 19



Section A

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

1. Pour déterminer l'accélération due à la gravité, on fait tomber une petite sphère métallique à partir de l'état de repos et on mesure le temps qu'elle prend pour tomber d'une distance connue et pour ouvrir une trappe.



pas à l'échelle

Les données suivantes sont disponibles.

Diamètre de la sphère métallique	$= 12,0 \pm 0,1 \text{ mm}$
Distance entre le point de relâchement et la trappe	$= 654 \pm 2 \text{ mm}$
Temps mesuré de la chute	$= 0,363 \pm 0,002 \text{ s}$

- (a) Déterminez la distance de la chute, en m, du centre de masse de cette sphère en mentionnant, dans votre réponse, une estimation de l'incertitude absolue.

[2]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 1)

(b) En utilisant l'équation ci-dessous :

$$\text{accélération due à la gravité} = \frac{2 \times \text{distance de la chute du centre de masse de la sphère}}{(\text{temps mesuré de la chute})^2}$$

calculez, pour ces données, l'accélération due à la gravité en mentionnant, dans votre réponse, une estimation de l'incertitude absolue.

[4]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

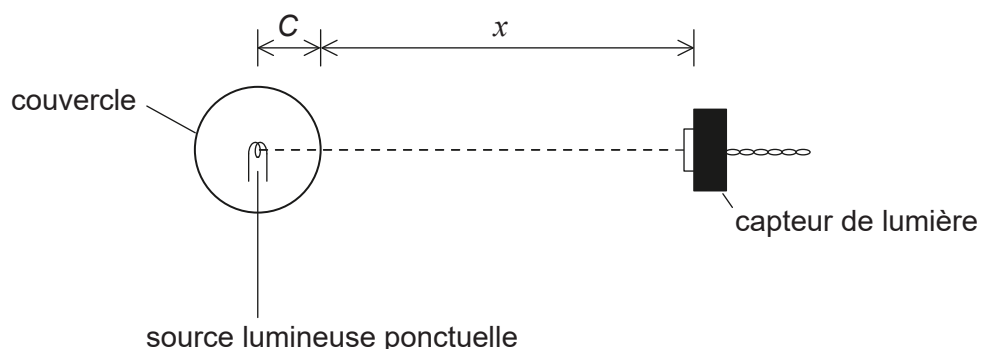
.....

.....

Veuillez ne **pas** écrire sur cette page.
Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



2. Un élève effectue une expérience pour déterminer la variation de l'intensité de la lumière en fonction de la distance d'une source lumineuse ponctuelle. Cette source lumineuse est au centre d'un couvercle sphérique transparent d'un rayon C . L'élève mesure la distance x entre la surface du couvercle et un capteur qui mesure l'intensité I de la lumière.



La source lumineuse émet un rayonnement avec une puissance constante P et la totalité de ce rayonnement est transmise à travers le couvercle. Le rapport entre I et x est donné par

$$I = \frac{P}{4\pi(C+x)^2}$$

- (a) On peut aussi écrire ce rapport de la manière suivante.

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = Kx + KC$$

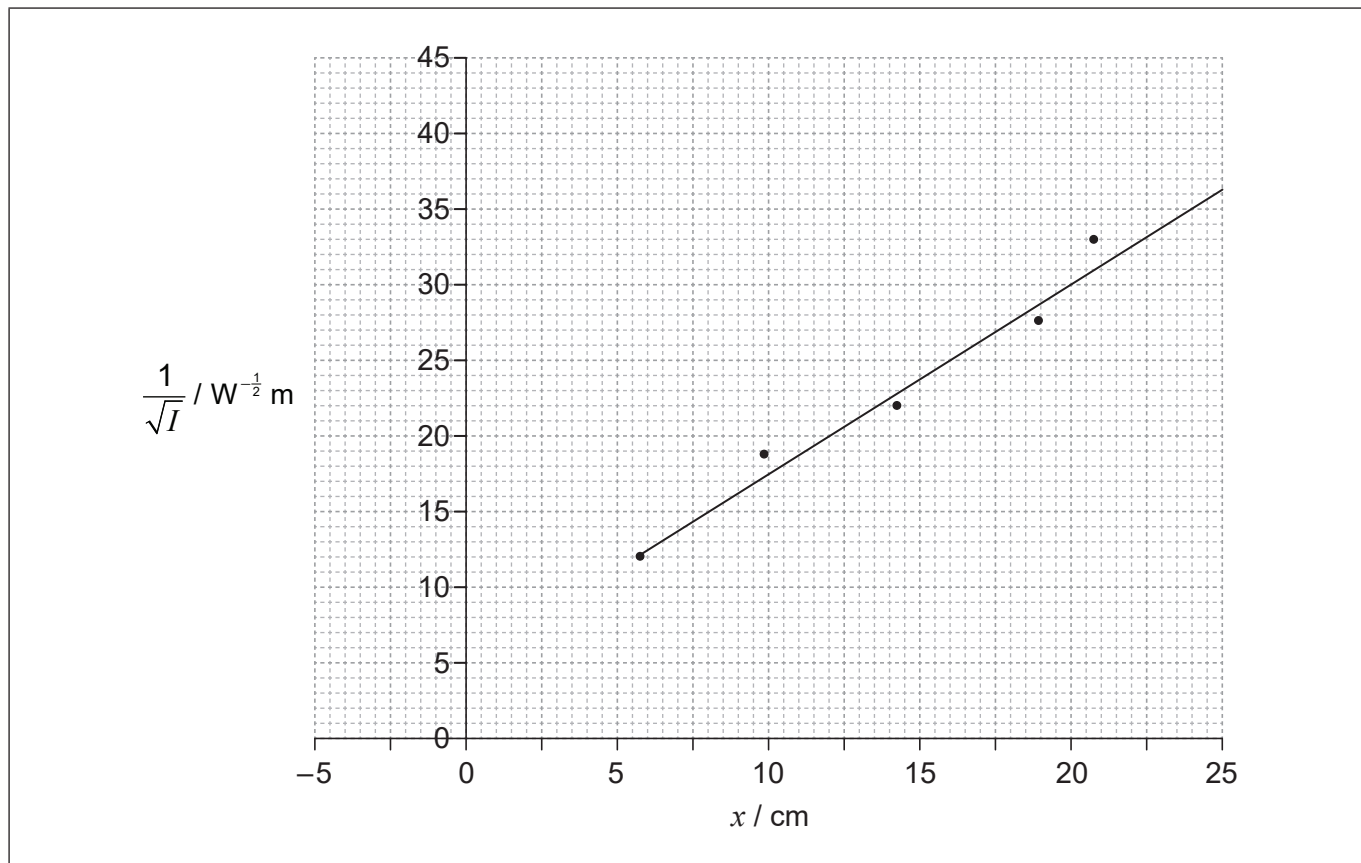
Montrez que $K = 2\sqrt{\frac{\pi}{P}}$.

[1]

(Suite de la question à la page suivante)

(Suite de la question 2)

- (b) L'élève obtient un ensemble de données et utilise celles-ci pour tracer un graphique de la variation de $\frac{1}{\sqrt{I}}$ en fonction de x .



- (i) Estimez C .

[2]

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question 2)

- (ii) Déterminez P , avec le nombre correct de chiffres significatifs en mentionnant son unité. [4]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (c) Expliquez le désavantage présenté par un graphique de I en fonction de $\frac{1}{x^2}$ pour l'analyse dans les questions (b)(i) et (b)(ii). [2]

.....

.....

.....

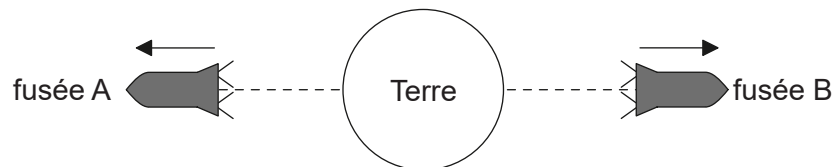
.....

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. La fusée A et la fusée B se déplacent dans des directions opposées depuis la Terre le long de la même ligne droite.



Dans le système de référence de la Terre, la vitesse de la fusée A est $0,75c$ et la vitesse de la fusée B est $0,50c$.

- (a) Calculez, pour le système de référence de la fusée A, la vitesse de la fusée B selon

- (i) la transformation de Galilée.

[1]

.....

- (ii) la transformation de Lorentz.

[2]

.....

- (b) Résumez, en référence à la relativité restreinte, lequel de vos calculs dans la question (a) est plus susceptible d'être valide.

[1]

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Suite de l'option A)

4. Lorsqu'un vaisseau spatial passe devant la Terre, un observateur sur la Terre et un observateur sur le vaisseau spatial mettent tous les deux en marche des horloges. L'heure initiale sur les deux horloges est minuit. Le vaisseau spatial se déplace à une vitesse constante avec $\gamma = 1,25$. Une station spatiale est immobile par rapport à la Terre et porte des horloges qui indiquent aussi l'heure de la Terre.

(a) Calculez la vitesse du vaisseau spatial par rapport à la Terre.

[1]

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

(b) Le vaisseau spatial passe devant la station spatiale 90 minutes plus tard comme l'indique l'horloge du vaisseau spatial. Déterminez, pour le système de référence de la Terre, la distance entre la Terre et la station spatiale.

[3]

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

(c) Tandis que le vaisseau spatial passe devant la station spatiale, la station spatiale renvoie un signal radio à la Terre. La réception de ce signal au niveau de la Terre est l'évènement A. Déterminez l'heure sur l'horloge de la Terre à laquelle l'évènement A se produit.

[2]

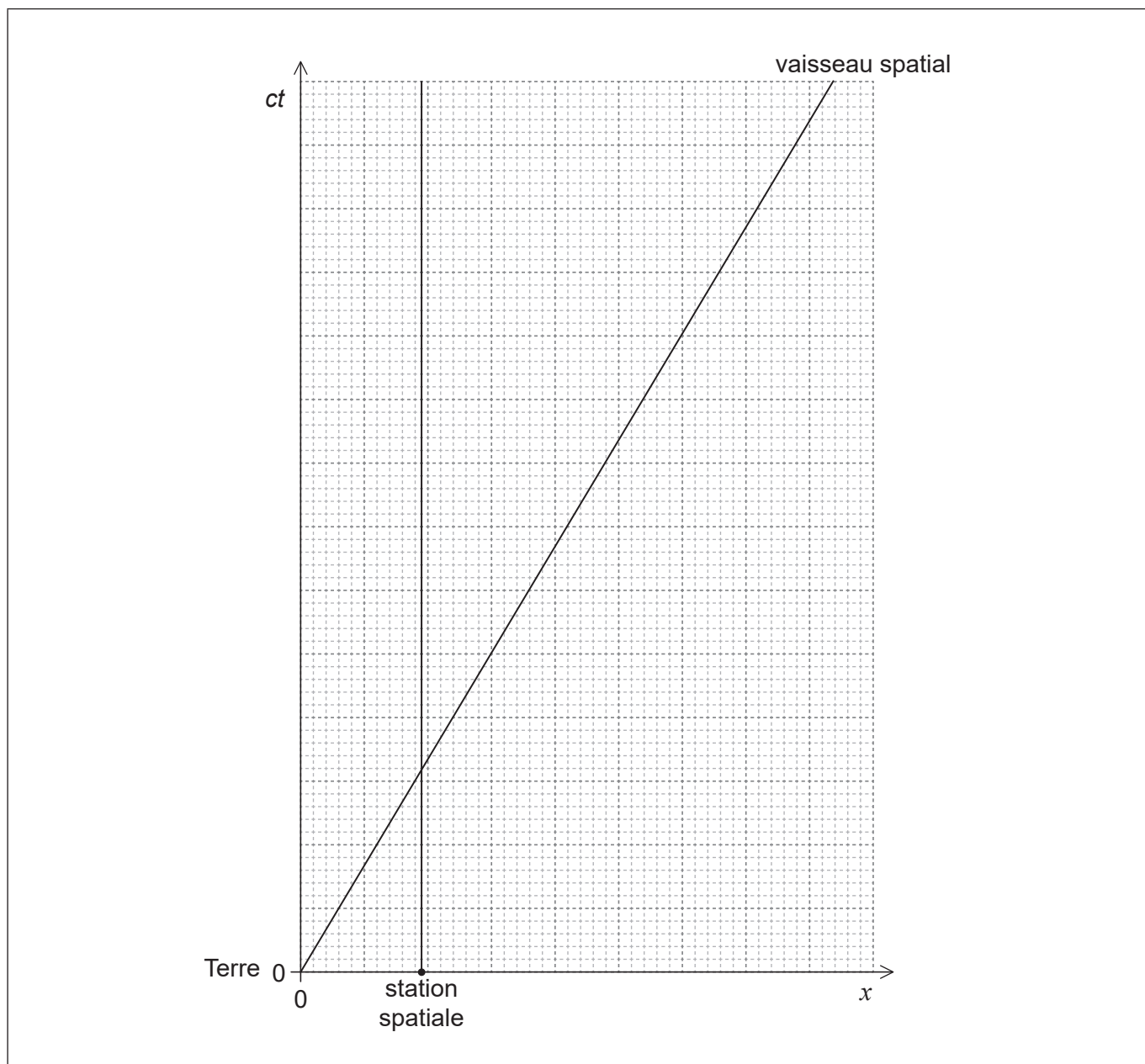
.....
.....
.....
.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Option A, suite de la question 4)

- (d) Une partie de ce signal radio est réfléchi à la surface de la Terre et ce signal réfléchi est détecté plus tard au niveau du vaisseau spatial. La détection de ce signal est l'évènement B. Le diagramme d'espace-temps ci-dessous est tracé pour la Terre, montrant la station spatiale et le vaisseau spatial. Les deux axes sont tracés à la même échelle.



(L'option A continue sur la page suivante)



(Option A, suite de la question 4)

- (i) Construisez l'évènement A et l'évènement B sur ce diagramme d'espace-temps. [3]
- (ii) Estimez, en utilisant ce diagramme d'espace-temps, l'heure à laquelle l'évènement B se produit pour le vaisseau spatial. [2]

.....

.....

.....

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Suite de l'option A)

5. (a) Expliquez ce qu'on entend par l'énoncé que l'intervalle d'espace-temps est une grandeur invariante.

[1]

.....

- (b) L'observateur A détecte la création (événement 1) et la désintégration (événement 2) d'une particule nucléaire. Après sa création, cette particule se déplace à une vitesse constante par rapport à A. La distance entre les événements, telle qu'elle est mesurée par A, est 15 m et le temps entre les événements est $9,0 \times 10^{-8}$ s. L'observateur B se déplace avec la particule.

Pour l'évènement 1 et l'évènement 2,

- (i) calculez l'intervalle d'espace-temps.

[1]

.....

- (ii) déterminez le temps entre eux selon l'observateur B.

[2]

.....

- (c) Résumez pourquoi les temps observés sont différents pour A et B.

[1]

.....

(L'option A continue sur la page suivante)



(Suite de l'option A)

6. Deux protons, se déplaçant dans des directions opposées, entrent en collision. Chaque proton a une énergie totale de 3,35 GeV.

(a) Calculez le facteur gamma (γ) pour un de ces protons.

[1]

.....

- (b) Par suite de cette collision, ces protons sont annihilés et trois particules, un proton, un neutron et un pion sont créés. Le pion a une masse au repos de 140 MeV c^{-2} . L'énergie totale du proton et du neutron émis par suite de cette interaction est 6,20 GeV.

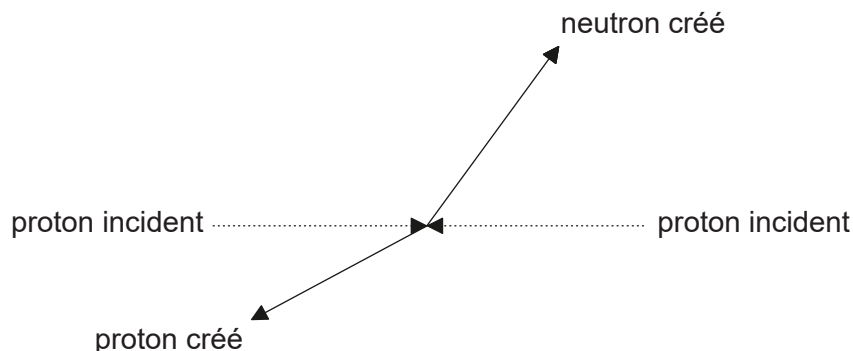
(i) Déterminez, en termes de MeV c^{-1} , la quantité de mouvement du pion.

[3]

.....

- (ii) Le diagramme ci-dessous montre les trajectoires des protons incidents de même que celles du proton et du neutron créés pendant l'interaction. Sur ce diagramme, dessinez la trajectoire du pion.

[1]



(L'option A continue sur la page 15)

Veuillez ne **pas** écrire sur cette page.
Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



(Suite de l'option A)

7. (a) On croit qu'il est probable qu'un trou noir supermassif ne tournant pas existe près du centre de notre galaxie. Ce trou noir a une masse équivalente à 3,6 millions de fois celle du Soleil.

- (i) Résumez ce qu'on entend par l'horizon des événements d'un trou noir. [1]

.....

.....

- (ii) Calculez la distance entre l'horizon des événements de ce trou noir et son centre.

Masse du Soleil = 2×10^{30} kg [2]

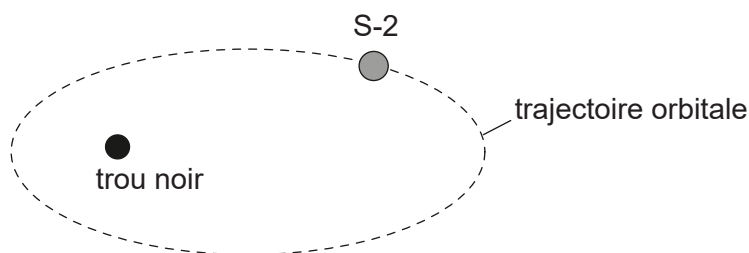
.....

.....

.....

.....

- (b) L'étoile S-2 décrit une orbite elliptique autour d'un trou noir. La distance entre S-2 et le centre de ce trou noir varie entre quelques heures-lumière et plusieurs jours-lumière. Un événement périodique se produit sur S-2 toutes les 5,0 s.



- Discutez comment le temps pour cet événement périodique, tel qu'il est mesuré par un observateur sur la Terre, change avec la position orbitale de S-2. [2]

.....

.....

.....

.....

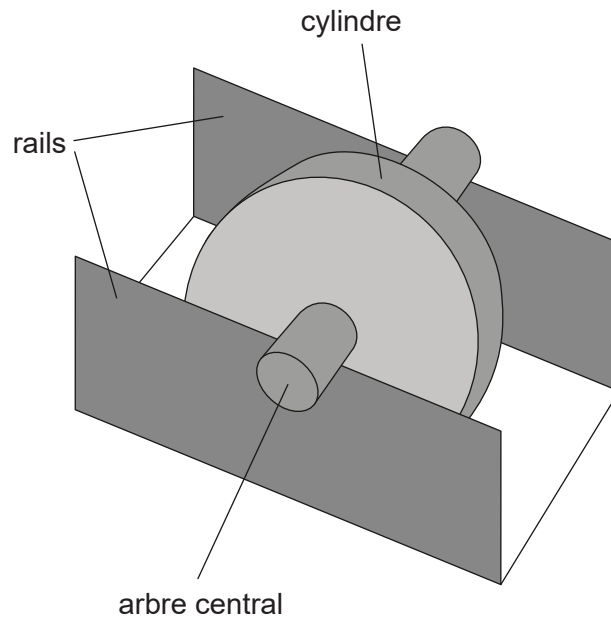
Fin de l'option A



40EP15

Option B — Physique de l'ingénieur

8. Une roue d'une masse de 0,25 kg consiste en un cylindre monté sur un arbre central. Cet arbre a un rayon de 1,2 cm et ce cylindre a un rayon de 4,0 cm. L'arbre repose sur deux rails, le cylindre étant capable de tourner librement entre les rails.

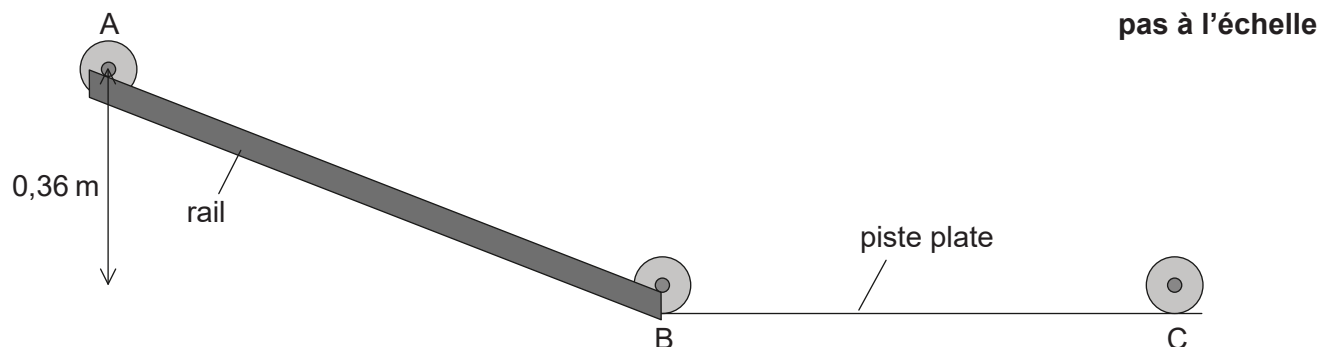


(L'option B continue sur la page suivante)



(Option B, suite de la question 8)

- (a) On relâche cette roue immobile à partir de l'état de repos et elle descend le long d'une pente avec l'arbre roulant sur les rails sans glisser du point A au point B.



- (i) Le moment d'inertie de cette roue est $1,3 \times 10^{-4} \text{ kg m}^2$. Résumez ce qu'on entend par le moment d'inertie.

[1]

.....

.....

- (ii) En bougeant du point A au point B, le centre de masse de la roue tombe d'une distance verticale de 0,36 m. Montrez que la vitesse de translation de la roue est environ 1 m s^{-1} après son déplacement.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (iii) Déterminez la vitesse angulaire de la roue en B.

[1]

.....

.....

(L'option B continue sur la page 19)

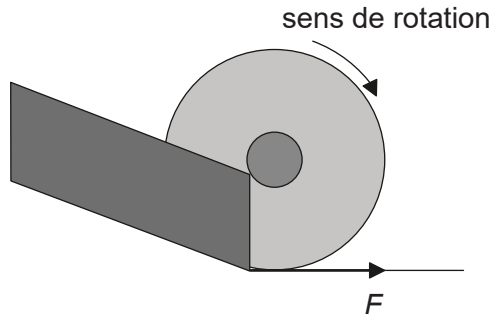


Veuillez ne **pas** écrire sur cette page.
Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.



(Option B, suite de la question 8)

- (b) La roue quitte les rails au point B et se déplace le long de la piste plate jusqu'au point C. Pendant un bref moment, la roue glisse et une force de frottement F existe sur le bord de la roue comme montré ci-dessous.



Décrivez l'effet de F sur

- (i) la vitesse linéaire de la roue.

[2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) la vitesse angulaire de la roue.

[2]

.....

.....

.....

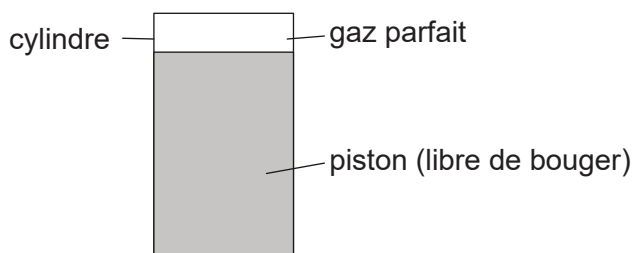
.....

(L'option B continue sur la page suivante)



(Suite de l'option B)

9. Un cylindre est pourvu d'un piston. Une masse fixe d'un gaz parfait remplit l'espace au-dessus du piston.



Le gaz se dilate de façon isobare. Les données suivantes sont disponibles.

Quantité de gaz	= 243 mol
Volume initial du gaz	= 47,1 m ³
Température initiale du gaz	= – 12,0 °C
Température finale du gaz	= + 19,0 °C
Pression initiale du gaz	= 11,2 kPa

- (a) Montrez que le volume final du gaz est environ 53 m³. [2]

.....

.....

.....

.....

- (b) Calculez, en J, le travail effectué par le gaz pendant cette dilatation. [2]

.....

.....

.....

.....

(L'option B continue sur la page suivante)

(Option B, suite de la question 9)

- (c) Déterminez l'énergie thermique qui entre dans le gaz pendant cette dilatation. [3]

.....

.....

.....

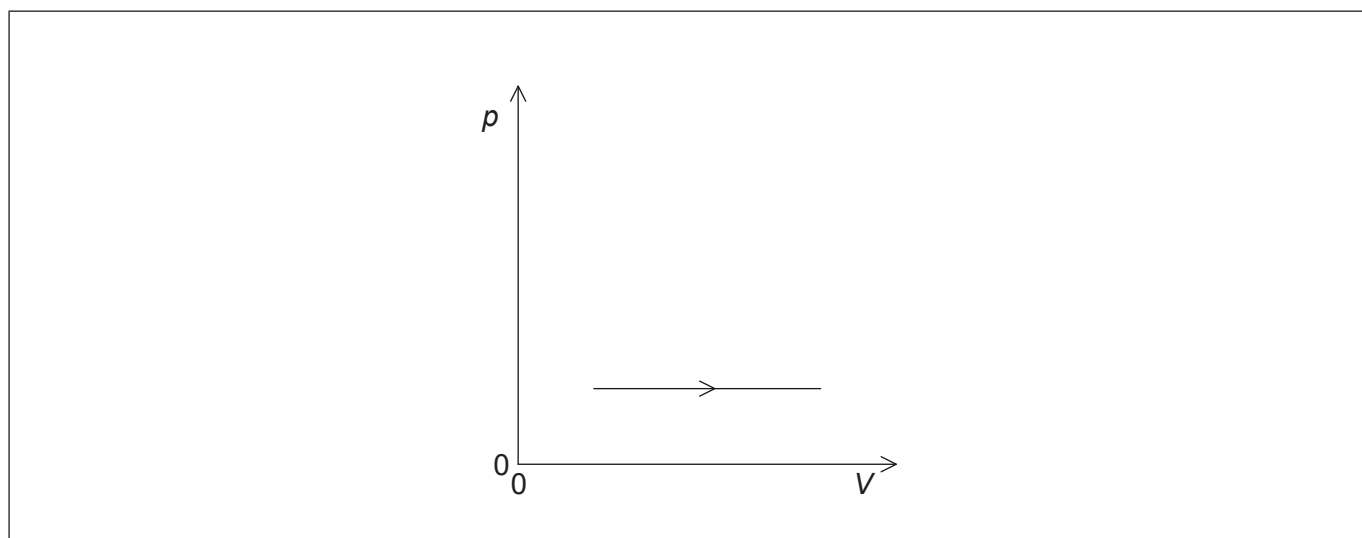
.....

.....

.....

- (d) Le gaz retourne à son état d'origine au moyen d'une compression adiabatique suivie d'un refroidissement à un volume constant.

- (i) Esquissez, sur le diagramme pV ci-dessous, le cycle complet de changements pour ce gaz, en légendant clairement ces changements. La dilatation montrée dans les questions (a) et (b) est tracée pour vous. [2]



- (ii) Résumez le changement d'entropie du gaz pendant le refroidissement à un volume constant. [1]

.....

.....

(L'option B continue sur la page suivante)



(Option B, suite de la question 9)

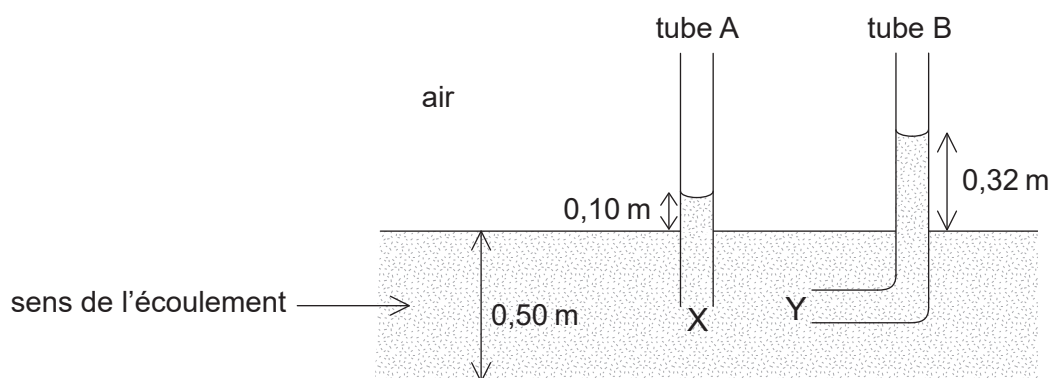
- (e) Il y a diverses versions équivalentes du deuxième principe de la thermodynamique. Résumez l'avantage présenté par le fait d'avoir plusieurs formes alternatives d'un principe.

[1]

.....

.....

10. Deux tubes, A et B, sont insérés dans un fluide s'écoulant à travers un tuyau horizontal d'un diamètre de 0,50 m. Les ouvertures X et Y de ces tubes sont exactement au centre du tuyau. Le liquide s'élève à une hauteur de 0,10 m dans le tube A et de 0,32 m dans le tube B. La densité du fluide est $1,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.



- (a) Montrez que la vitesse du fluide en X est environ 2 ms^{-1} , en supposant que l'écoulement est laminaire.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option B continue sur la page suivante)

(b) La viscosité de l'eau est $8,9 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$.

(i) Estimez le nombre de Reynolds pour le fluide dans votre réponse à la question (a). [1]

.....

.....

.....

.....

(ii) Résumez si votre réponse à la question (a) est valide. [1]

.....

.....

.....

.....

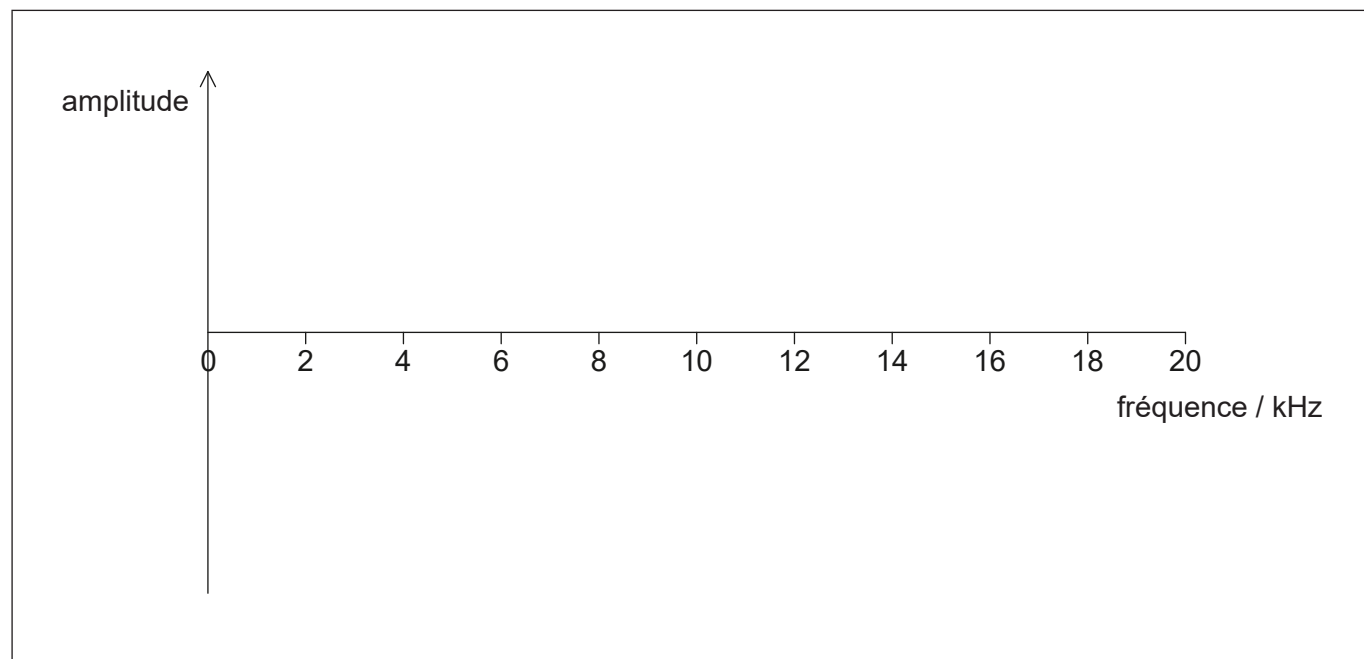
(L'option B continue sur la page suivante)

(Suite de l'option B)

11. La fréquence naturelle d'un système oscillant excité est 6 kHz. On varie la fréquence de l'excitateur pour ce système de zéro à 20 kHz.

- (a) Dessinez un graphique pour montrer la variation de l'amplitude d'oscillation de ce système en fonction de la fréquence.

[3]



- (b) On réduit fortement le facteur de qualité Q pour ce système. Décrivez comment le graphique que vous avez dessiné pour la question (a) change.

[2]

.....

.....

.....

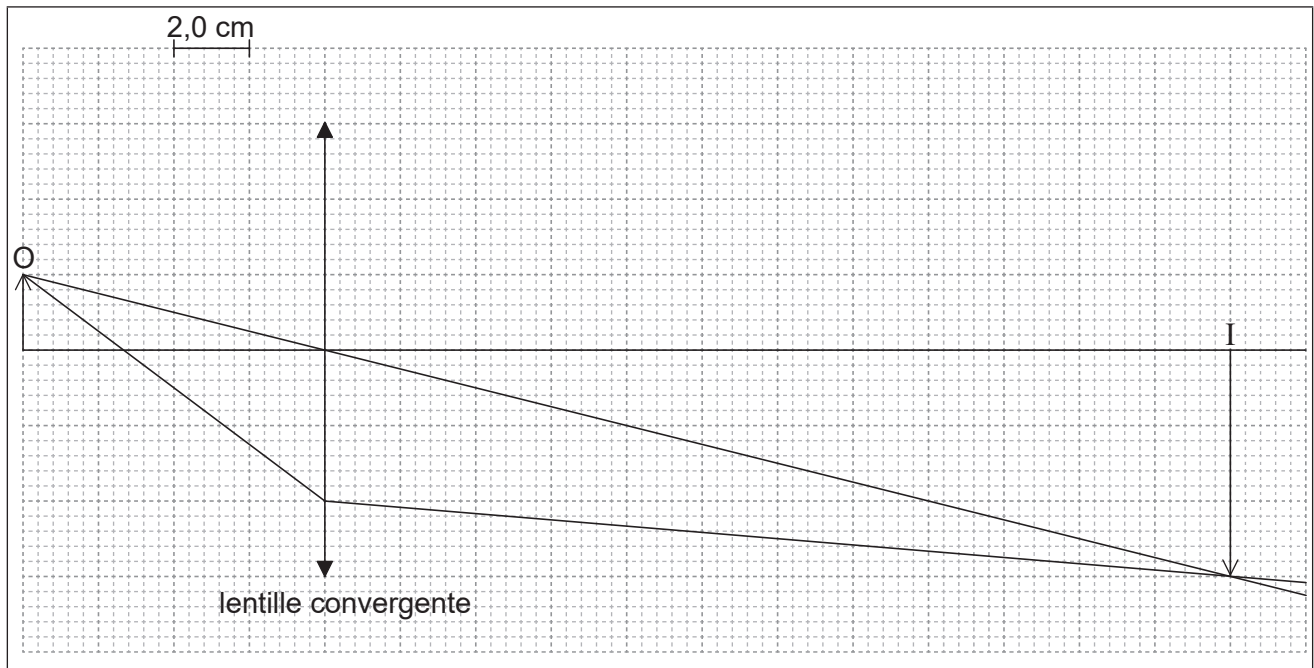
.....

Fin de l'option B



Option C — Imagerie

12. Un diagramme de rayons pour une lentille convergente est montré ci-dessous. L'objet est légendé *O* et l'image est légendée *I*.



(a) En utilisant le diagramme de rayons ci-dessus,

- (i) déterminez la distance focale de la lentille.

[2]

.....

- (ii) calculez le grossissement linéaire.

[1]

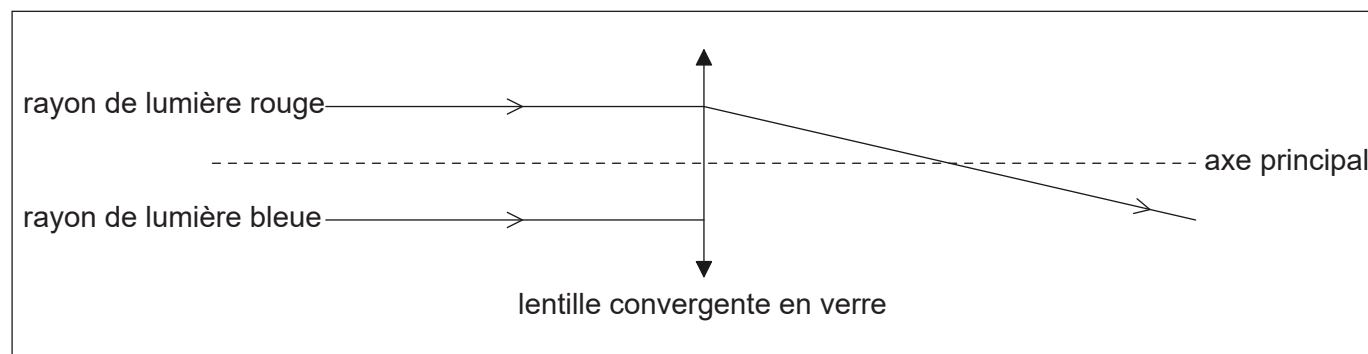
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Option C, suite de la question 12)

- (b) Le diagramme montre un diagramme de rayons incomplet qui consiste en un rayon de lumière rouge et en un rayon de lumière bleue qui sont incidents sur une lentille convergente en verre. Dans cette lentille convergente en verre, l'indice de réfraction pour la lumière bleue est plus grand que l'indice de réfraction pour la lumière rouge.



En utilisant le diagramme ci-dessus, résumez le phénomène d'aberration chromatique. [2]

.....

.....

.....

.....

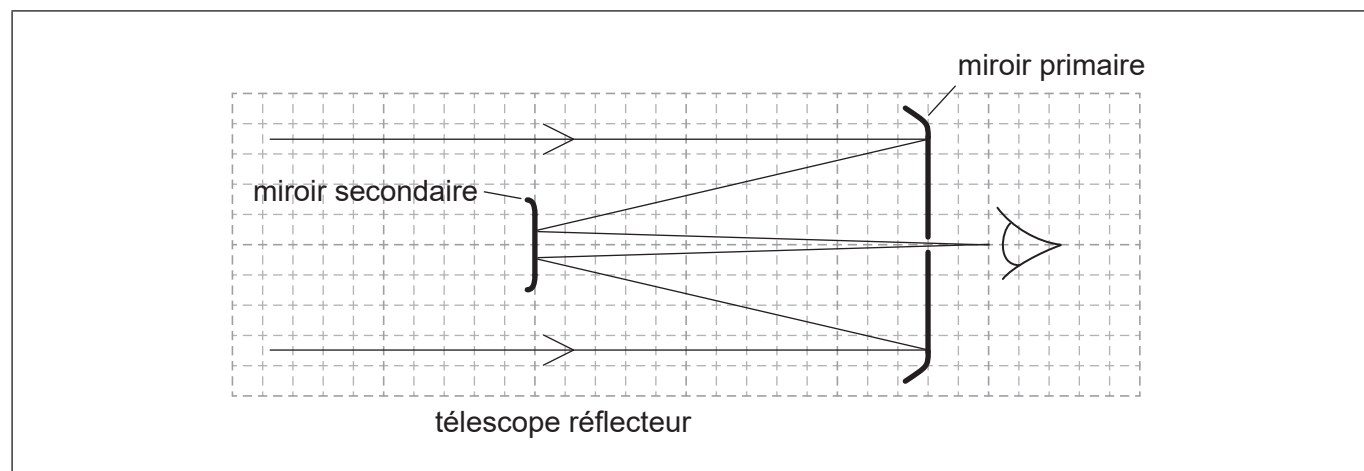
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Suite de l'option C)

13. Le diagramme ci-dessous représente un télescope réflecteur astronomique optique simple montrant la trajectoire de certains rayons de lumière.



- (a) Identifiez, avec la lettre X, la position du foyer du miroir primaire. [1]
- (b) Cet agencement en utilisant le miroir secondaire est supposé augmenter la distance focale du miroir primaire. Exprimez pourquoi il s'agit là d'un avantage. [1]

.....

.....

- (c) On propose de construire un réseau de radiotélescopes de telle sorte que la distance maximum entre eux soit 3800 km. Ce réseau fonctionnera à une longueur d'onde de 2,1 cm. Commentez sur la possibilité de construire un télescope optique fonctionnant à 580 nm qui doit avoir la même résolution que ce réseau. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Suite de l'option C)

14. (a) Une fibre optique ayant un indice de réfraction de 1,4475 est entourée d'air. L'angle critique pour l'interface cœur–air est 44° . Suggérez, avec un calcul, pourquoi l'utilisation d'une gaine ayant un indice de réfraction de 1,4444 améliore la performance de cette fibre optique. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Une fibre optique d'une longueur de 185 km a une atténuation de $0,200 \text{ dB km}^{-1}$. La puissance d'entrée dans le câble est $400,0 \mu\text{W}$. La puissance de sortie du câble ne doit pas tomber en dessous de $2,0 \mu\text{W}$.

- (i) Calculez l'atténuation maximum permise pour le signal. [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) Un amplificateur peut augmenter la puissance du signal de 12 dB. Déterminez le nombre minimum d'amplificateurs nécessaires. [2]

.....

.....

.....

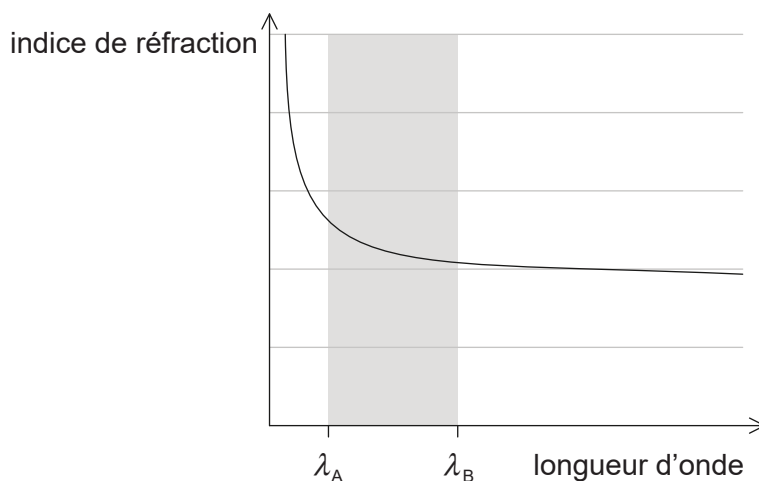
.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Option C, suite de la question 14)

- (iii) Le graphique ci-dessous montre la variation, en fonction de la longueur d'onde, de l'indice de réfraction du verre à partir duquel la fibre optique est fabriquée.



Deux rayons de lumière pénètrent dans la fibre au même instant le long des axes. Le rayon A a une longueur d'onde de λ_A et le rayon B a une longueur d'onde de λ_B . Discutez l'effet que cette différence de longueur d'onde a sur ces rayons tandis qu'ils passent le long de la fibre.

[2]

.....

- (c) On remplace fréquemment les câbles en cuivre par des fibres optiques gainées. Exprimez **un** exemple de la façon dont la technologie des fibres optiques a eu un impact sur la société.

[1]

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Suite de l'option C)

15. (a) Résumez la formation d'un échogramme de type B dans l'imagerie médicale par ultrasons.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Les valeurs d'atténuation pour la graisse et le muscle à différentes énergies de rayons X sont indiquées ci-dessous.

Énergie de rayons X / keV	Coefficient d'atténuation de la graisse / cm^{-1}	Coefficient d'atténuation du muscle / cm^{-1}
1	2030,9767	3947,2808
5	18,4899	43,8253
10	2,3560	5,5720
20	0,4499	0,8490

- (i) Exprimez ce qu'on entend par couche de demi-atténuation dans l'imagerie radiologique.

[1]

.....

.....

(L'option C continue sur la page suivante)



(Option C, suite de la question 15)

- (ii) Un faisceau de rayons X monochromatiques d'une énergie de 20 keV et d'une intensité I_0 pénètre dans 5,00 cm de graisse puis dans 4,00 cm de muscle.



Calculez, en termes de I_0 , l'intensité du faisceau final qui sort du muscle.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (iii) Comparez l'utilisation de rayons X de forte et faible énergie pour l'imagerie médicale.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fin de l'option C

Option D — Astrophysique

- 16.** (a) Les étoiles de la séquence principale sont en équilibre sous l'action de forces.
Résumez comment cet équilibre est obtenu.

[2]

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

- (b) Une étoile de la séquence principale, P, a une masse de 1,3 fois celle du Soleil.
Calculez la luminosité de P par rapport au Soleil.

[1]

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

(L'option D continue sur la page suivante)



(Option D, suite de la question 16)

(c) Les données ci-dessous s'appliquent à l'étoile Gacrux.

Rayon = $58,5 \times 10^9$ m

Température = 3600 K

Distance = 88 al

(i) La luminosité du Soleil $L_{\odot}$ est $3,85 \times 10^{26}$ W. Déterminez la luminosité de Gacrux par rapport au Soleil.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(ii) On peut déterminer la distance de Gacrux en utilisant la parallaxe stellaire. Résumez pourquoi on ne peut pas utiliser cette méthode pour toutes les étoiles.

[1]

.....

.....

.....

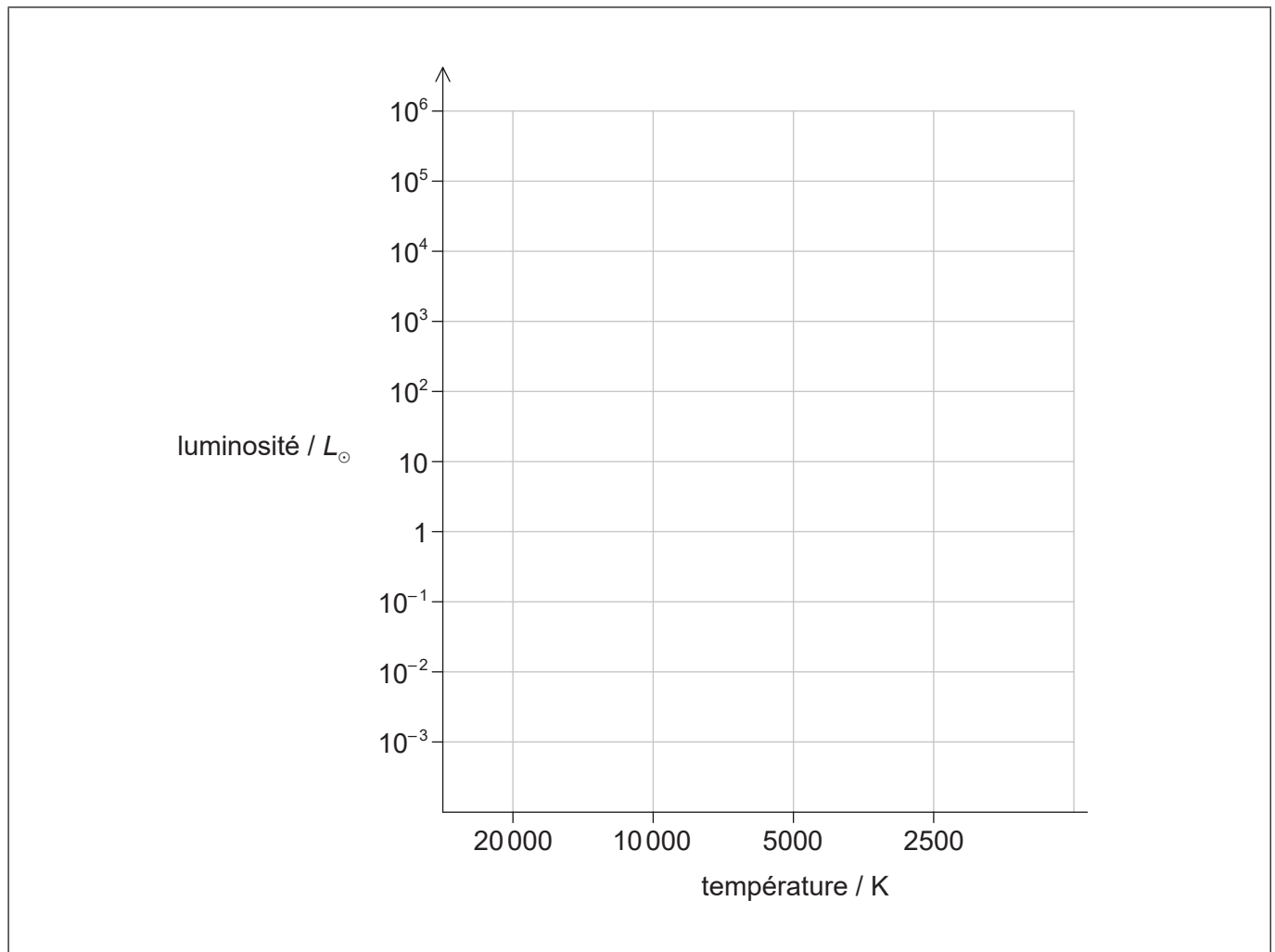
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



(Option D, suite de la question 16)

- (d) Un diagramme de Hertzsprung–Russell (HR) est représenté ci-dessous.



Sur ce diagramme HR,

- (i) dessinez la séquence principale. [1]
- (ii) tracez la position, en utilisant la lettre P, de l'étoile de la séquence principale P que vous avez calculée en réponse à la question (b). [1]
- (iii) tracez la position, en utilisant la lettre G, de Gacrux. [1]

(L'option D continue sur la page suivante)



(Option D, suite de la question 16)

- (e) Discutez, en référence à son changement de masse, l'évolution de l'étoile P depuis la séquence principale jusqu'à sa phase stable finale.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

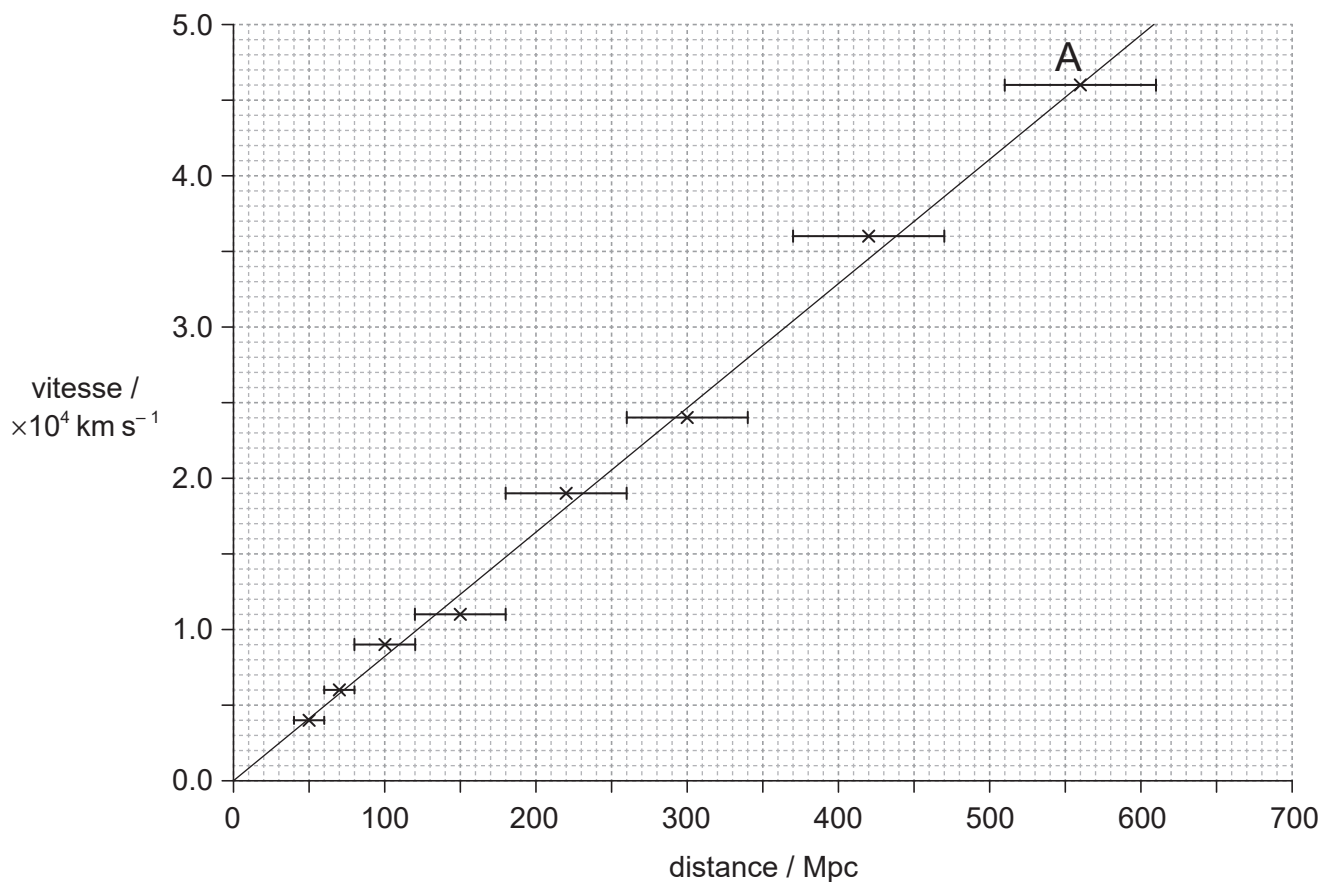
.....

(L'option D continue sur la page suivante)



(Suite de l'option D)

17. Des données sur des galaxies éloignées sont indiquées sur le graphique ci-dessous.



(a) Estimez, en utilisant les données ci-dessus, l'âge de l'univers. Donnez votre réponse en secondes.

[3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

(L'option D continue sur la page suivante)



40EP36

(Option D, suite de la question 17)

- (b) Identifiez la supposition que vous avez faite dans votre réponse à la question (a). [1]

.....
.....

- (c) Sur le graphique, une galaxie est légendée A. Déterminez la taille de l'univers, par rapport à sa taille actuelle, lorsque la lumière provenant de la galaxie légendée A a été émise. [3]

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

(L'option D continue sur la page suivante)



(Suite de l'option D)

18. (a) Résumez, en référence au critère de Jeans, pourquoi un nuage de gaz dense froid est plus susceptible de former de nouvelles étoiles qu'un nuage de gaz diffus chaud. [2]

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

- (b) Expliquez comment la capture de neutrons peut produire des éléments avec un numéro atomique plus grand que le fer. [2]

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

(L'option D continue sur la page suivante)



(Suite de l'option D)

19. (a) Expliquez la preuve qui indique l'emplacement de matière noire dans les galaxies. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Résumez pourquoi une hypothèse d'énergie sombre a été développée. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fin de l'option D



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

Les réponses rédigées sur cette page
ne seront pas corrigées.

