



**PHYSIQUE
NIVEAU SUPÉRIEUR
ÉPREUVE 3**

Mardi 11 mai 2010 (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(e).
- 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.



Page vierge



Option E — Astrophysique

E1. Cette question porte sur la densité de population relative des étoiles et des galaxies.

Le nombre d'étoiles autour du Soleil, à une distance maximum de 17 al, est 75. Le nombre de galaxies dans le groupe local, à une distance maximum de $4,0 \times 10^6$ al du Soleil, est 26.

(a) Calculez la densité de population moyenne, par al^3 , des étoiles et des galaxies. [2]

Étoiles :
.....
.....

Galaxies :
.....
.....

(b) Utilisez votre réponse à la question (a) pour déterminer le rapport

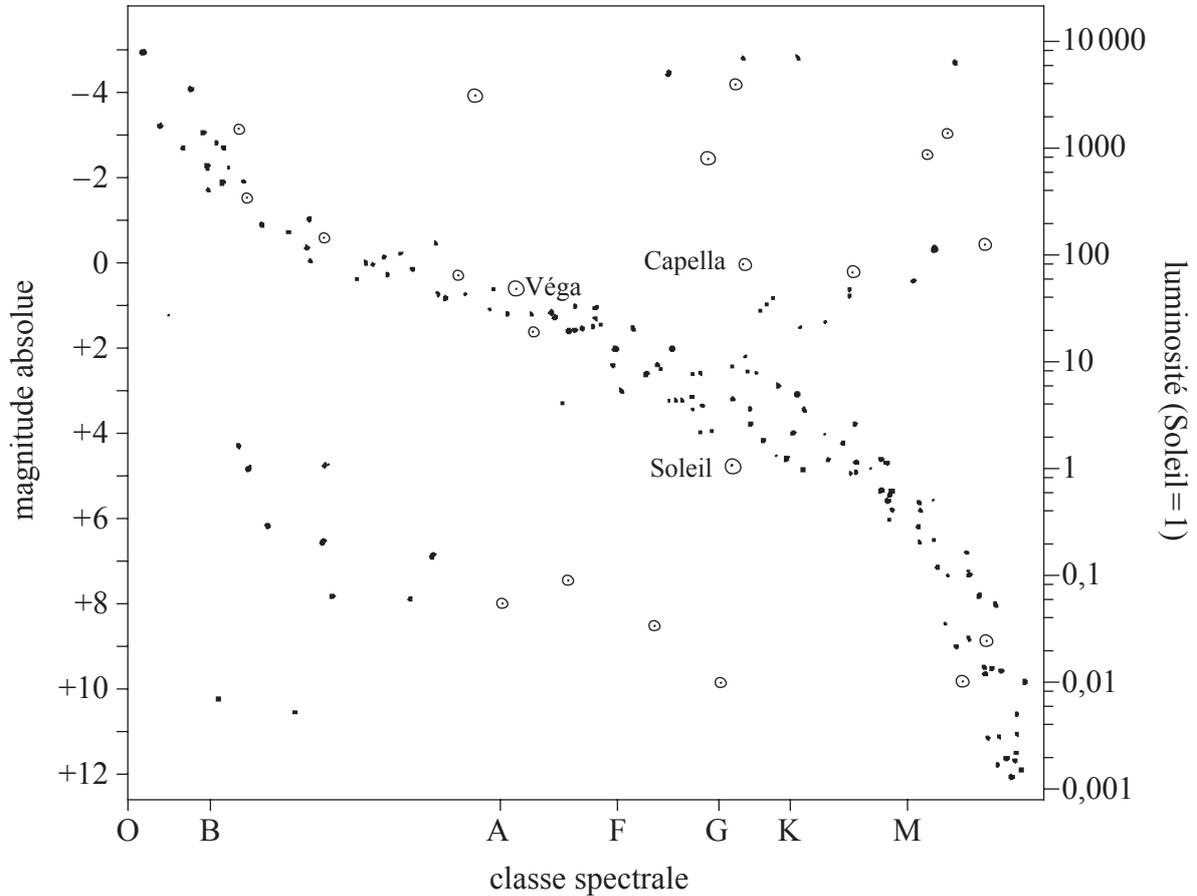
$$\frac{\text{densité de population moyenne des étoiles}}{\text{densité de population moyenne des galaxies}}$$
 [1]

.....
.....



E2. Cette question porte sur la luminosité, la taille et la distance des étoiles.

Le diagramme de Hertzsprung–Russell (HR) montre la variation de la magnitude absolue des étoiles en fonction de la classe spectrale.



L'étoile Capella et le Soleil sont dans la même classe spectrale (G). En utilisant le diagramme HR,

(a) (i) suggérez pourquoi Capella a une plus grande aire de surface que le Soleil. [2]

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

(ii) estimez la luminosité de Capella en termes de celle du Soleil. [1]

.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question E2)

(iii) calculez le rayon de Capella en termes de celui du Soleil. [2]

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

(b) On peut utiliser la méthode de la parallaxe spectroscopique pour mesurer la distance de l'étoile Véga.

(i) En utilisant le diagramme HR, exprimez la magnitude absolue de Véga. [1]

.....

(ii) La magnitude apparente de Véga est 0,0. Déterminez (en parsecs) la distance entre Véga et la Terre. [3]

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

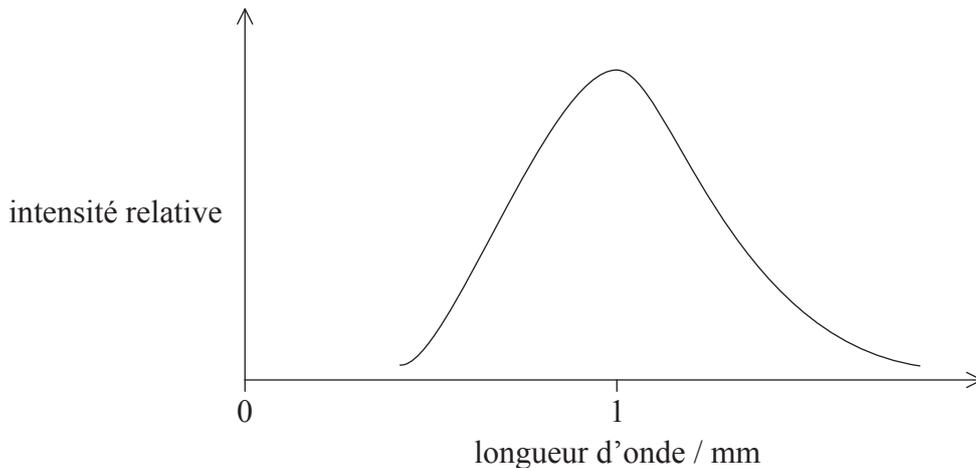
(iii) La lumière émise par Véga est absorbée par un nuage de poussière entre Véga et la Terre. Suggérez l'effet éventuel que cela aura sur la détermination de la distance entre Véga et la Terre. [2]

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



E3. Cette question porte sur le rayonnement fossile cosmique et sur la densité de l'univers.

Le graphique montre l'intensité relative du rayonnement fossile cosmique en fonction de longueur d'onde.



(a) Expliquez comment ce graphique est compatible avec le modèle du Big Bang de l'univers. [3]

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

(b) La densité de l'univers déterminera son sort final. Résumez les problèmes associés à la détermination de la densité de l'univers. [2]

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

(c) Résumez comment l'expansion de l'univers finit par rendre possible l'existence de noyaux et d'atomes stables. [1]

.....
.....



E4. Cette question porte sur le rapport masse–luminosité et aussi sur l’évolution des étoiles.

On suppose que le rapport masse–luminosité des étoiles de la séquence principale est $L \propto M^{3,5}$, L étant la luminosité et M étant la masse. L’étoile X est 8×10^4 fois plus lumineuse que le Soleil et 25 fois plus massive que le Soleil.

(a) Déduisez que l’étoile X est une étoile de la séquence principale. [2]

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

(b) Résumez, en référence à la limite d’Oppenheimer–Volkoff, les étapes évolutives et le sort de l’étoile X après qu’elle aura quitté la séquence principale. [3]

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



E5. Cette question porte sur la loi de Hubble et sur l'expansion de l'univers.

- (a) Le spectre de l'amas de galaxies Pégase 1 montre un décalage de 5,04 nm dans la longueur d'onde de la raie K. La longueur d'onde de cette raie depuis une source de laboratoire est mesurée comme étant 396,8 nm. Calculez le vecteur vitesse de récession de cet amas. [2]

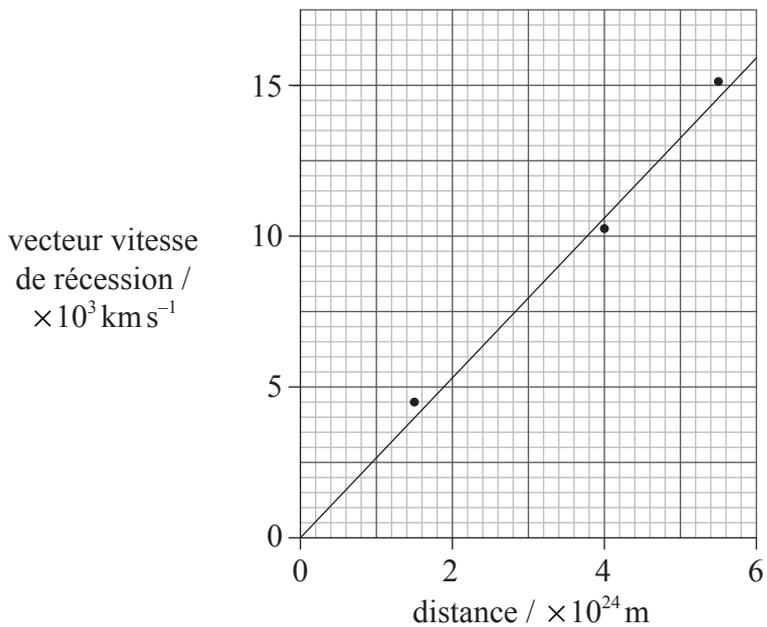
.....

.....

.....

.....

- (b) Le graphique montre les vecteurs vitesses de récession d'un certain nombre d'amas de galaxies en fonction de leurs distances approximatives.



- (i) Exprimez **une** méthode par laquelle les distances montrées sur ce graphique pourraient avoir été déterminées. [1]

.....

.....

- (ii) Utilisez le graphique pour montrer que l'âge de l'univers est environ 10^{17} s. [2]

.....

.....

.....

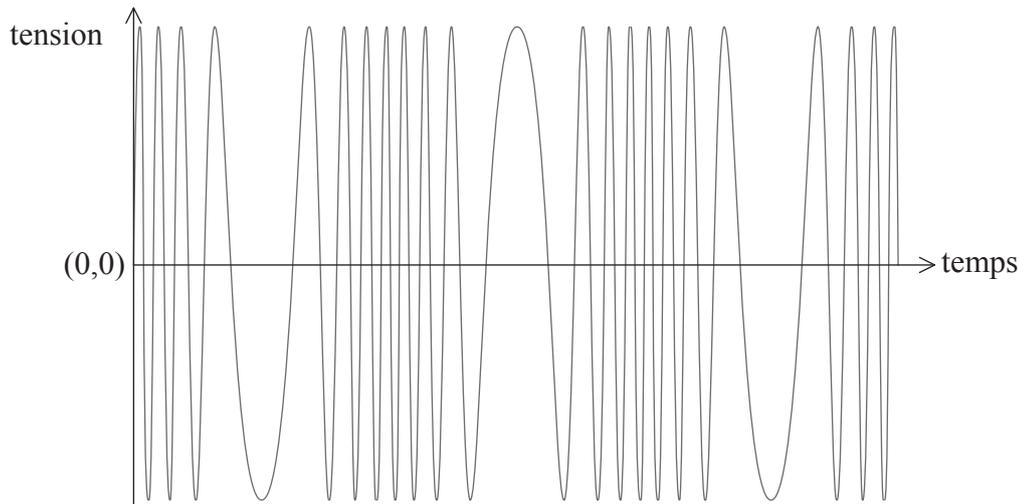
.....



Option F — Communication

F1. Cette question porte sur la modulation.

- (a) Le diagramme montre comment le signal de tension d'une onde porteuse fréquence modulée (FM) varie en fonction du temps.



Cette onde porteuse est modulée par un signal monofréquence.

Sur les axes ci-dessus, esquissez le signal d'information.

[1]

- (b) Exprimez et expliquez **un** avantage de l'utilisation de la modulation FM plutôt que de la modulation d'amplitude (AM).

[2]

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



F2. Cette question porte sur l'échantillonnage.

Un appel téléphonique est échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage de 8,0kHz. Chaque échantillon est stocké comme un nombre binaire à quatre bits. La durée de chaque bit dans cet échantillon est 4,0µs.

- (a) Calculez l'intervalle de temps entre la fin d'un échantillon et le début de l'échantillon suivant. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

- (b) Résumez, en référence à votre réponse à la question (a), ce qu'on entend par multiplexage temporel. [2]

.....

.....

.....

.....

F3. Cette question porte sur le système de téléphonie mobile.

Dans le système de téléphonie mobile, une zone géographique particulière est divisée en un certain nombre de cellules avec une station de base dans chaque cellule, chacune étant connectée à un central téléphonique cellulaire.

Décrivez la fonction des stations de base et du central téléphonique cellulaire. [4]

Stations de base :

.....

.....

.....

Central téléphonique cellulaire :

.....

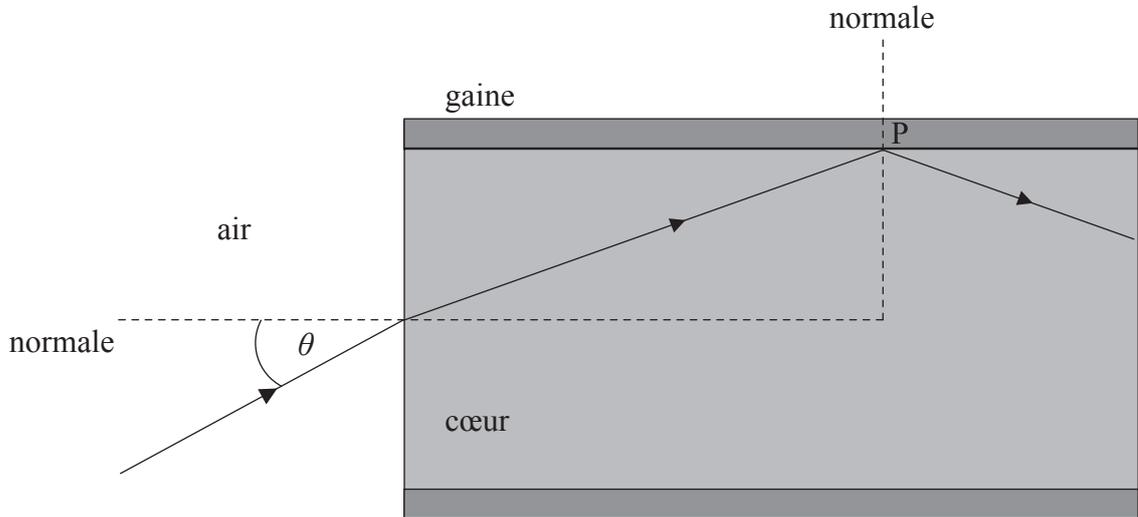
.....

.....



F4. Cette question porte sur la transmission de signaux le long d'une fibre optique.

- (a) Un rayon de lumière pénètre dans une fibre optique depuis l'air. Ce rayon fait un angle θ avec la normale. Ce rayon subit une réflexion interne totale au point P.



L'indice de réfraction du cœur est 1,56 et celui de la gaine est 1,38.

- (i) Calculez l'angle critique de la limite gaine-cœur. [2]

.....

- (ii) Montrez que le plus grand angle d'incidence θ dans l'air, auquel la réflexion interne totale à la limite gaine-cœur a lieu, est $46,7^\circ$. [2]

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question F4)

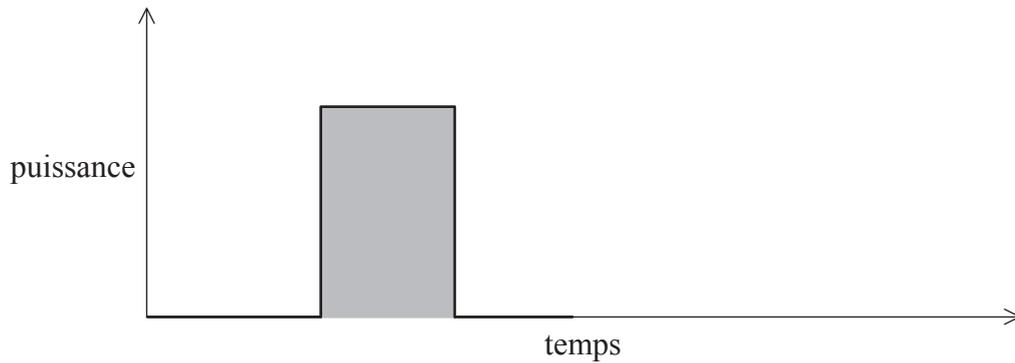
- (b) Distinguez entre dispersion modale et dispersion de matériau dans une fibre optique. [2]

.....

.....

.....

- (c) Le signal montré est envoyé dans une fibre optique monomode.



- (i) Exprimez ce que l'aire ombrée représente. [1]

.....

- (ii) Utilisez les axes ci-dessus pour dessiner la forme du signal après qu'il a parcouru une grande distance dans la fibre. [2]

- (iii) La puissance du signal d'entrée dans une fibre monomode est 15,0 mW. L'atténuation par unité de longueur pour cette fibre est 1,24 dB km⁻¹. Déterminez la puissance du signal de sortie après que le signal a parcouru une distance de 3,40 km dans la fibre. [3]

.....

.....

.....

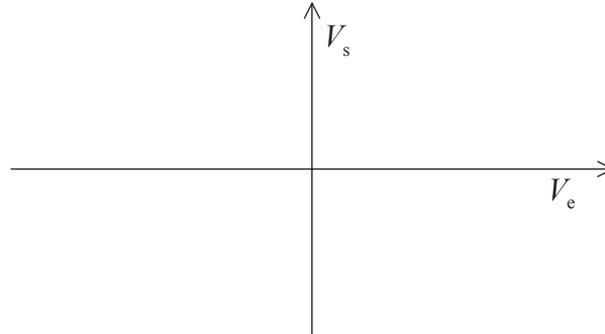
.....

.....

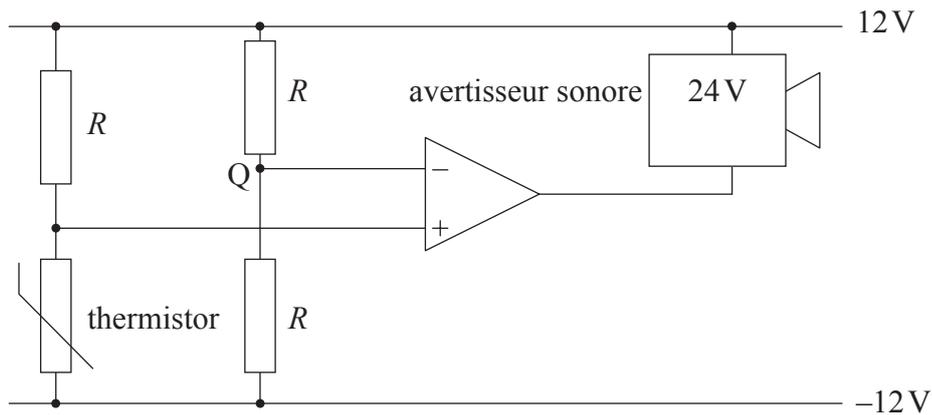


F5. Cette question porte sur l'amplificateur opérationnel.

- (a) Sur les axes ci-dessous, dessinez un graphique esquissé pour montrer la variation, en fonction de la tension d'entrée V_e , de la tension de sortie V_s d'un amplificateur opérationnel non inverseur. [2]



- (b) Un dispositif d'avertissement de température utilise un avertisseur sonore qui retentit lorsque la différence de potentiel à ses bornes est 24V. Le circuit dans ce dispositif d'avertissement est montré.



Il faut que cet avertisseur sonore retentisse lorsque la température du thermistor s'élève au-dessus de 50°C .

- (i) Exprimez la tension au point Q. [1]

.....

- (ii) À une température de 50°C , la résistance du thermistor est R . Expliquez pourquoi l'avertisseur sonore retentira lorsque la température du thermistor s'élèvera au-dessus de 50°C . [3]

.....



Option G — Ondes électromagnétiques

G1. Cette question porte sur la lumière laser.

(a) Résumez comment la lumière laser est produite. [3]

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

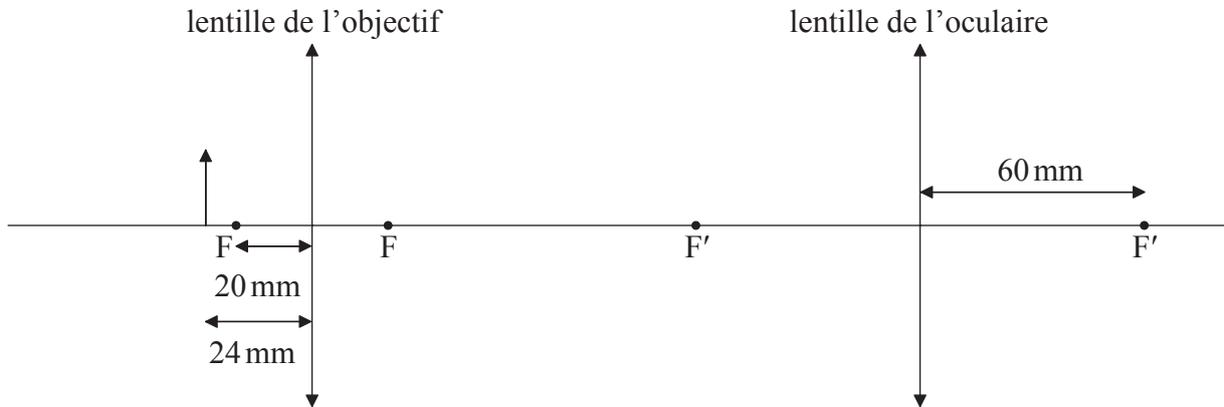
(b) Exprimez **deux** façons dont la lumière émise par un laser diffère de la lumière émise par une lampe à incandescence ordinaire. [2]

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



G2. Cette question porte sur un microscope composé.

Le schéma (pas à l'échelle) représente un microscope composé.



La distance focale de la lentille de l'objectif est 20mm et celle de l'oculaire est 60mm. Un petit objet est placé à une distance de 24mm de la lentille de l'objectif. Le microscope produit une image virtuelle finale de l'objet à une distance de 240mm de la lentille de l'oculaire.

(a) (i) Déterminez, par calcul, la distance de l'image formée par la lentille de l'objectif par rapport à la lentille de l'objectif. [2]

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

(ii) Expliquez pourquoi l'image en (a)(i) est réelle. [1]

.....
.....

(iii) Déterminez la distance de l'image formée par la lentille de l'objectif par rapport à la lentille de l'oculaire. [2]

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

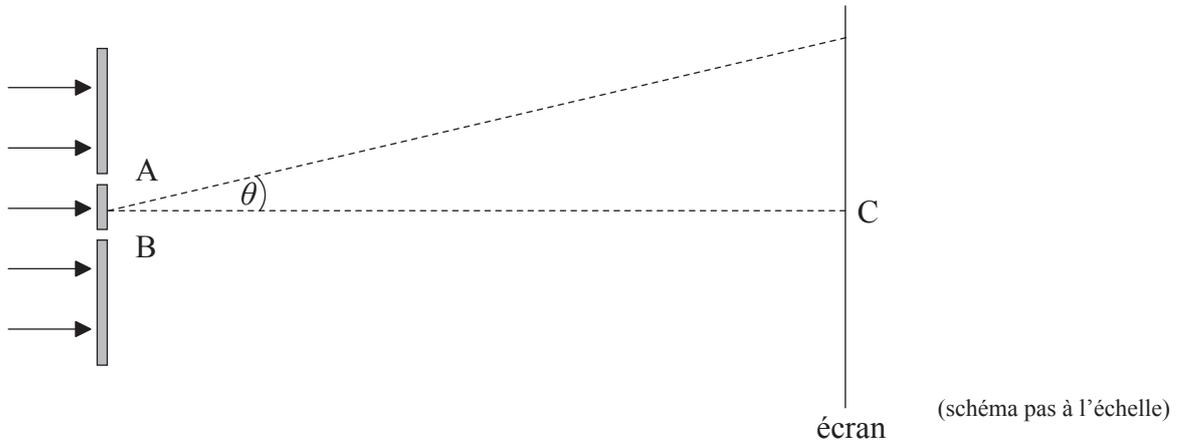
(b) Déterminez le grossissement total du microscope. [2]

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



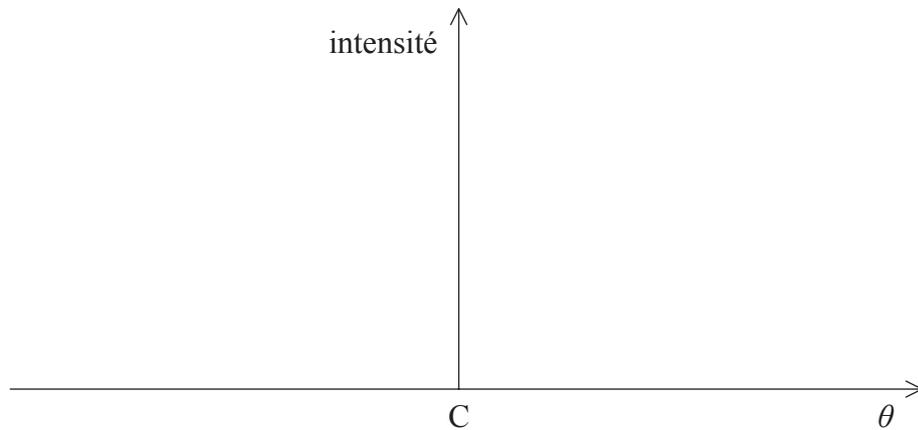
G3. Cette question porte sur l'interférence.

(a) La lumière émise par un laser est incidente sur deux fentes très étroites A et B.



Le point C sur l'écran est juste en face du milieu des fentes.

(i) Sur les axes ci-dessous, esquissez la variation, en fonction de l'angle θ , de l'intensité de la lumière sur l'écran. [2]



(ii) La séparation entre les fentes est $0,120\text{ mm}$ et la longueur d'onde de la lumière est $6,80 \times 10^{-7}\text{ m}$. La distance entre les fentes et l'écran est $1,40\text{ m}$. Calculez la séparation entre les franges claires sur l'écran. [2]

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

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question G3)

(b) La fente A est couverte d'un morceau de verre transparent. L'effet du verre est d'augmenter d'une demi-longueur d'onde la longueur de la trajectoire de la lumière entre la fente et l'écran. On peut supposer que la quantité de lumière absorbée par le verre est négligeable. Exprimez et expliquez le ou les effets éventuels du verre sur

(i) la courbe d'intensité que vous avez dessinée en réponse à la question (a)(i). [2]

.....
.....

(ii) la séparation des franges claires calculées en réponse à la question (a)(ii). [2]

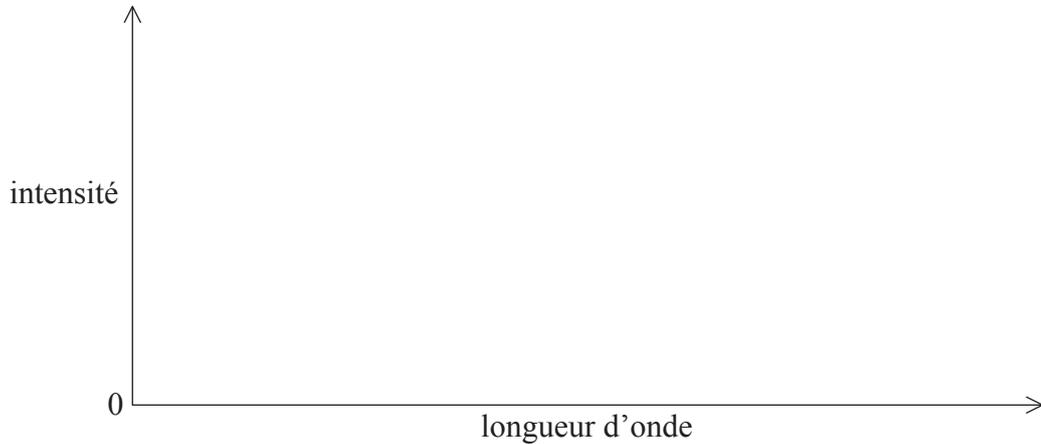
.....
.....



G4. Cette question porte sur les rayons X.

Dans un tube à rayons X, les électrons sont accélérés depuis l'état au repos au moyen d'une différence de potentiel et ils frappent une cible métallique.

- (a) Sur les axes ci-dessous, dessinez et annotez un spectre de rayons X typique. [2]



- (b) Identifiez le mécanisme par lequel les différentes régions du spectre de rayons X sont produites. [3]

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

- (c) Dans un tube à rayons X particulier, les électrons sont accélérés depuis l'état au repos au moyen d'une différence de potentiel de 24kV. La longueur d'onde minimum des rayons X produits est $4,8 \times 10^{-11}$ m. Déterminez une valeur pour la constante de Planck. [3]

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

- (d) Des rayons X d'une longueur d'onde de $2,25 \times 10^{-10}$ m sont dirigés vers la surface d'un cristal. Un faisceau fort de rayons X de premier ordre est observé lorsque les rayons X font un angle de $28,1^\circ$ avec la surface du cristal. Déterminez la séparation entre les plans atomiques dans le cristal. [2]

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



Page vierge



Option H — Relativité

H1. Cette question porte sur les systèmes de référence et sur la vitesse de la lumière.

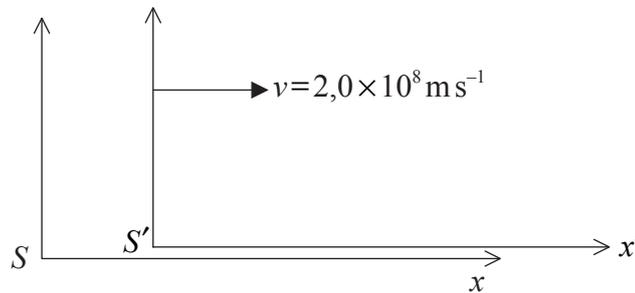
- (a) Décrivez ce qu'on entend par système de référence inertiel. [2]

.....

.....

.....

- (b) Le schéma montre deux systèmes de référence inertiels. Le système S' se déplace avec un vecteur vitesse $v=2,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ par rapport au système S le long de la direction $x-x'$. Lorsque les origines de ces deux systèmes coïncidaient, les horloges dans ces deux systèmes furent réglées de façon à indiquer zéro.



Un événement a lieu à $x=5,0 \times 10^3 \text{ m}$ lorsque les horloges dans le système S indiquent $t=3,0 \times 10^{-5} \text{ s}$.

- (i) En utilisant des équations de transformation de Galilée, déterminez la position et l'instant de cet événement dans le système de référence S' . [2]

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question H1)

- (ii) Un laser, au repos dans le système S' , émet un rayon de lumière le long de la direction x' négative (c'est-à-dire vers la gauche). La vitesse de ce rayon de lumière est mesurée comme étant c dans le système S' . Montrez, en utilisant la formule d'addition relativiste des vecteurs vitesses, que la vitesse du rayon de lumière dans le système S est aussi mesurée comme étant c . [2]

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

- (c) Résumez une expérience (autre que l'expérience de Michelson–Morley) qui fournit une preuve que la vitesse de la lumière est indépendante de la vitesse de sa source. [2]

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



H2. Cette question porte sur la cinématique relativiste.

- (a) Exprimez ce qu'on entend par longueur propre et par intervalle de temps propre. [2]

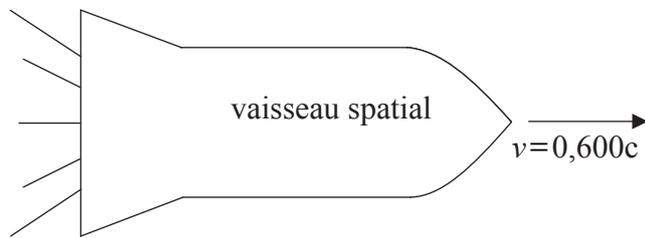
Longueur propre :

.....

Intervalle de temps propre :

.....

- (b) Un vaisseau spatial se déplace avec une vitesse $v=0,600c$ par rapport à une station spatiale. Deux lasers, A et B, sur cette station spatiale sont écartés d'une distance de 5,00m telle que mesurée par des observateurs de la station spatiale. Le facteur gamma pour une vitesse de $v=0,600c$ est $\gamma=1,25$.



- (i) Un signal radio est envoyé au vaisseau spatial depuis la station spatiale. La transmission dure 6,00s selon les horloges de la station spatiale. Calculez la durée de la transmission selon les observateurs du vaisseau spatial. [2]

.....

.....

.....

- (ii) Calculez la distance entre les lasers A et B selon les observateurs du vaisseau spatial. [2]

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question H2)

(c) Les lasers en (b) sont allumés **simultanément** selon les observateurs de la **station spatiale**. La lumière émise par chaque laser fait une marque sur le vaisseau spatial. Les observateurs du vaisseau spatial mesurent la distance entre les deux marques comme étant 6,25 m. Selon les observateurs du vaisseau spatial

(i) exprimez quel laser a été allumé en premier. [1]

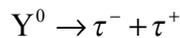
.....

(ii) déterminez la différence de temps entre les allumages des deux lasers. [2]

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

H3. Cette question porte sur la mécanique relativiste.

L'upsilon (Y^0) est une particule instable qui se désintègre en un tau (τ^-) et en un antitau (τ^+) selon la réaction



Le Y^0 est au repos par rapport au laboratoire lorsqu'il se désintègre. La quantité de mouvement du τ^- par rapport au laboratoire est $4,40 \text{ GeV}c^{-1}$. La masse au repos du τ^- et du τ^+ est $1,78 \text{ GeV}c^{-2}$.

Déterminez la masse au repos du Y^0 . [3]

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



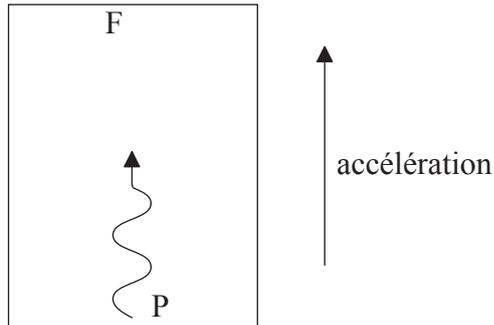
H4. Cette question porte sur la relativité générale.

(a) Exprimez le principe d'équivalence d'Einstein.

[1]

.....
.....

(b) Une fusée accélère dans la direction montrée loin de toute masse.



Un faisceau monochromatique de lumière est émis depuis le plancher P de cette fusée. Ce faisceau est reçu au plafond F de la fusée. Suggérez pourquoi la fréquence du faisceau de lumière mesurée en F est plus basse que la fréquence mesurée en P.

[2]

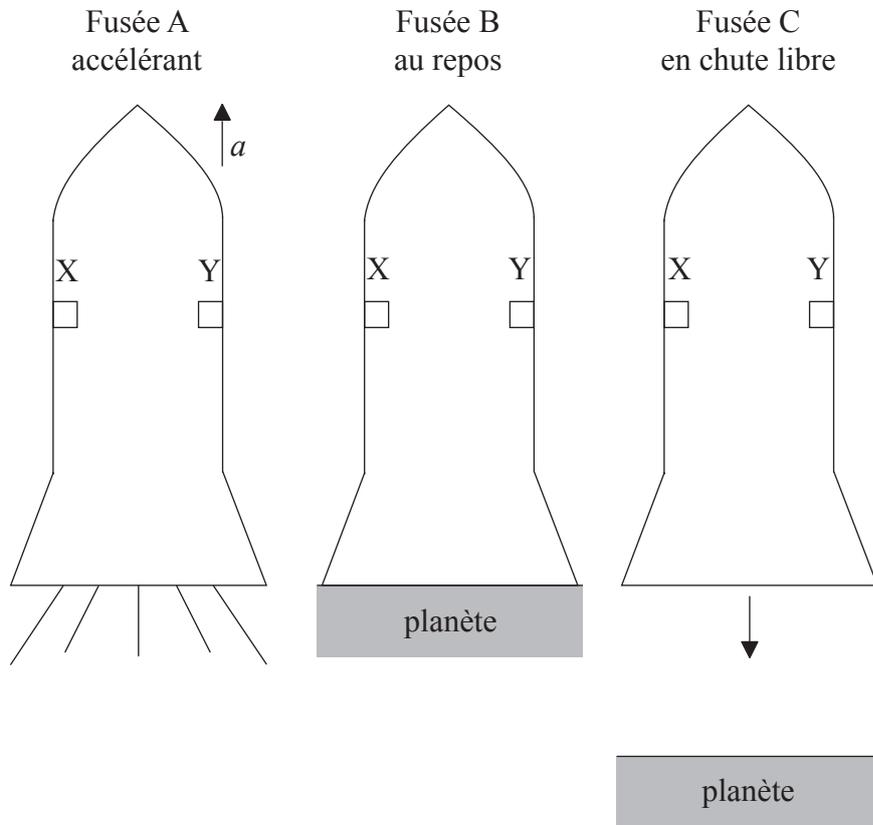
.....
.....
.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question H4)

(c) Le schéma montre trois fusées identiques A, B et C.



La fusée A accélère dans l'espace intersidéral avec une accélération a .

La fusée B est au repos sur la surface d'une planète. L'intensité du champ gravitationnel à la surface de cette planète est a .

La fusée C est en chute libre au-dessus d'une planète. L'intensité du champ gravitationnel de cette planète dans la région de la fusée est a .

Une lumière est émise d'une source X sur la paroi gauche de chaque fusée. Le récepteur Y est juste en face de X.

La direction initiale de cette lumière est parallèle au plancher de la fusée.

Dessinez, pour chaque fusée, la trajectoire du rayon de lumière émis depuis X selon un observateur dans chaque fusée.

[3]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question H4)

(d) La théorie de la relativité générale d'Einstein prédit qu'un corps massif cause une courbure (cambrure) de l'espace.

(i) Décrivez ce qu'on entend par la courbure de l'espace. [1]

.....
.....

(ii) Décrivez comment l'expérience d'Eddington fournit une preuve de la courbure de l'espace causée par le Soleil. [3]

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



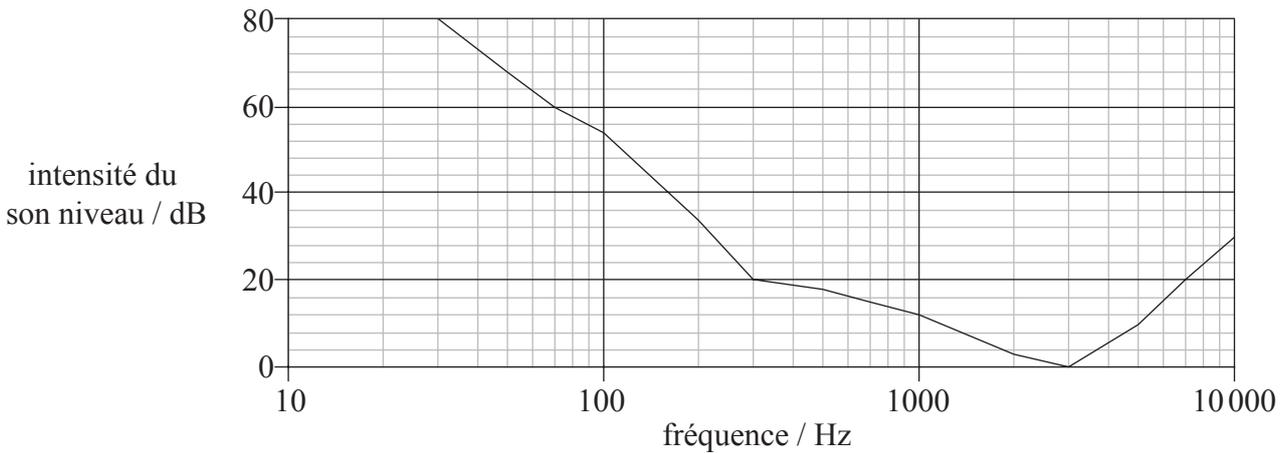
Option I — Physique médicale

II. Cette question porte sur l'oreille et l'audition.

(a) Exprimez la propriété physique d'une onde sonore qui est liée à l'intensité du son. [1]

.....

(b) Le graphique montre la variation, en fonction de la fréquence, du seuil d'audition pour une personne avec une audition normale.



Calculez l'intensité d'un son d'une fréquence de 600Hz que cette personne peut juste entendre. [3]

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

(c) Par suite d'une exposition à long terme au bruit, une personne souffre d'une perte auditive de 20 dB.

(i) Sur les axes sur le graphique en (b), dessinez un graphique esquissé pour montrer la variation, en fonction de la fréquence, du seuil d'audition pour cette personne. [1]

(ii) Expliquez pourquoi cette perte est susceptible d'entraîner des difficultés avec l'identification de la parole. [2]

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



I2. Cette question porte sur les ultrasons.

(a) Définissez *impédance acoustique*.

[1]

.....
.....

(b) Un ultrason d'une intensité I_0 se propage dans un milieu d'une impédance Z_1 et est incident sur un milieu d'une impédance Z_2 . L'ultrason réfléchi a une intensité I_R donnée par l'équation suivante.

$$\frac{I_R}{I_0} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

Expliquez pourquoi, lorsqu'on utilise des ultrasons, un gel est placé entre le transducteur et la peau du patient.

[4]

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



I3. Cette question porte sur les rayons X.

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

.....
.....

(b) La couche de demi-atténuation en mètres de l'air à une pression p et à une température T est donnée par l'équation

$$x_{\frac{1}{2}} = 1,8 \times 10^5 \times \frac{T}{p}$$

Des rayons X en provenance du Soleil atteignent les couches externes de l'atmosphère de la Terre.

Les données suivantes sont disponibles.

- Pression moyenne de l'atmosphère = $2,0 \times 10^4$ Pa
- Température moyenne de l'atmosphère = 240 K
- Hauteur effective de l'atmosphère = 25 km

En utilisant ces données, calculez

(i) la couche de demi-atténuation pour l'atmosphère. [2]

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

(ii) la fraction de l'intensité des rayons X incidents qui est transmise à la surface de la Terre. [3]

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

(c) Commentez, en utilisant votre réponse à la question (b)(ii), si l'atmosphère fournit ou pas une protection importante contre les rayons X y pénétrant. [1]

.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question I3)

- (d) Des photons de rayons X d'une énergie moyenne de 20 keV sont incidents à une hauteur de 10 km au-dessus de la surface de la Terre à raison de $2,8 \times 10^8 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Un passager se trouve dans un avion volant à une hauteur de 10 km au-dessus de la surface de la Terre. Ce passager a une masse de 60 kg et une aire de surface corporelle de $1,6 \text{ m}^2$.

Le facteur de qualité pour les rayons X est 1.

- (i) Calculez la dose équivalente reçue par ce passager pendant un vol de trois heures à une hauteur de 10 km. [4]

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

- (ii) Exprimez **une** raison pour laquelle la dose équivalente reçue sera beaucoup plus petite que votre réponse à la question (d)(i). [1]

.....
.....



I4. Cette question porte sur les radio-isotopes.

(a) Exprimez ce qu'on entend par la demi-vie effective d'un radio-isotope. [2]

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

(b) On peut surveiller la fonction des poumons en utilisant les radio-isotopes $^{133}_{54}\text{Xe}$ et $^{81}_{36}\text{Kr}$. Des informations sur ces deux radio-isotopes sont données dans le tableau.

| Radio-isotopes | Demi-vie effective | Produits de désintégration |
|------------------------|--------------------|----------------------------|
| $^{133}_{54}\text{Xe}$ | 5,2 jours | β^- et γ |
| $^{81}_{36}\text{Kr}$ | 12 secondes | γ |

Exprimez et expliquez **un** avantage et **un** inconvénient de l'utilisation de $^{133}_{54}\text{Xe}$ plutôt que de $^{81}_{36}\text{Kr}$. [4]

Avantage :
.....
.....
.....

Inconvénient :
.....
.....
.....



Option J — Physique des particules

J1. Cette question porte sur les quarks.

Le tableau ci-dessous donne la charge électrique des trois quarks les plus légers en termes de e , la charge du proton.

| Saveur de quark | haut (<i>up</i>) u | bas (<i>down</i>) d | étrange (<i>strange</i>) s |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Charge électrique / e | $\frac{2}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ | $-\frac{1}{3}$ |

(a) En utilisant les données dans le tableau, déterminez

(i) la teneur en quarks d'un méson avec une charge +1 et une étrangeté 0 et celle d'un baryon avec une charge -1 et une étrangeté -3. [2]

Méson :

Baryon :

(ii) les valeurs de spin possibles du méson en (a)(i). [1]

.....

(b) Exprimez le principe d'exclusion de Pauli. [1]

.....
.....

(c) Expliquez comment le baryon avec une teneur en quarks uuu et un spin $\frac{3}{2}$ ne violent pas le principe d'exclusion de Pauli. [1]

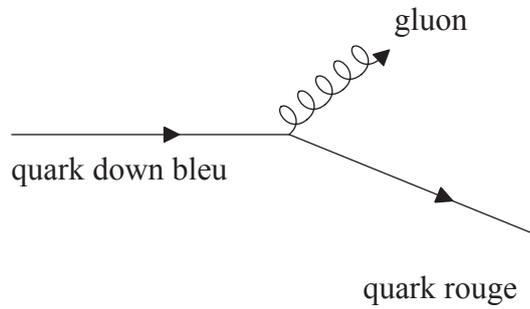
.....
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question J1)

- (d) Dans le diagramme de Feynman montré, un quark down bleu émet un gluon et produit un quark rouge.



Déduisez

- (i) la saveur (le type) du quark produit. [1]

.....

- (ii) les nombres quantiques de couleur du gluon émis. [1]

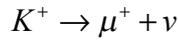
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question J1)

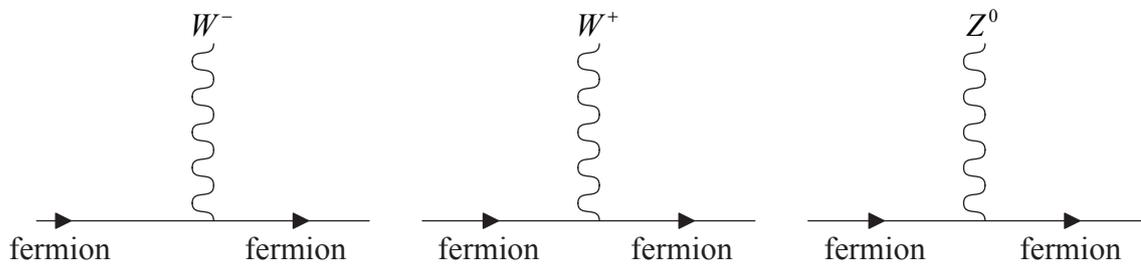
- (e) Le kaon positif K^+ (teneur en quarks $u\bar{s}$) se désintègre en un antimuon et un neutrino selon la réaction ci-dessous.



Expliquez comment on peut déduire que cette désintégration est un processus d'interaction faible. [1]

.....

- (f) Le schéma montre trois des vertex d'interaction pour l'interaction faible.

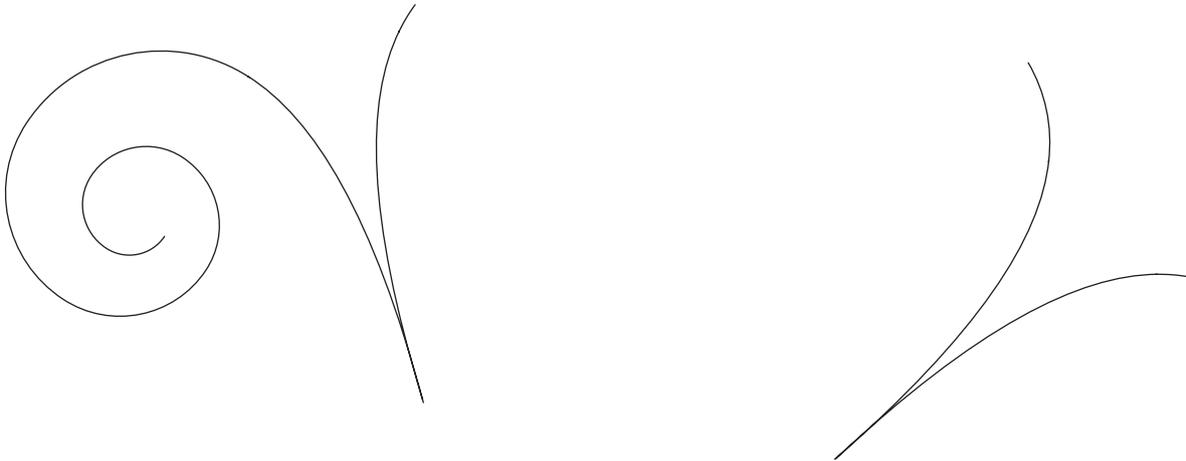


En utilisant le vertex approprié, dessinez un diagramme de Feynman pour la désintégration $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$ en légendant toutes les particules impliquées. [3]



J2. Cette question porte sur la chambre à bulles.

Le schéma est une copie d'une photographie dans une chambre à bulles de la désintégration d'un pion neutre (π^0) en deux photons, $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$. Chacun des photons produits se matérialise en une paire électron-positron. Les trajectoires montrées appartiennent aux deux paires électrons-positrons.



(a) Exprimez pourquoi les trajectoires des photons n'apparaissent pas sur la photographie. [1]

.....
.....

(b) Sur le schéma ci-dessus,

(i) dessinez des lignes pour indiquer la trajectoire de chacun des photons. [1]

(ii) légendez avec la lettre P le point où le pion s'est désintégré. [1]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question J2)

(c) Résumez si le pion était en mouvement **ou** s'il était au repos tandis qu'il se désintérait. [2]

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

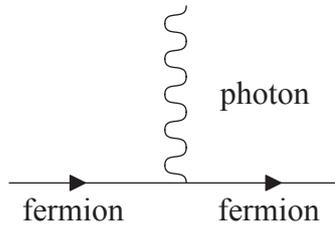
(d) La trajectoire de l'un des électrons dégages est une spirale. Suggérez une raison pour la forme de cette trajectoire. [1]

.....
.....

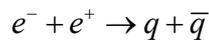


J3. Cette question porte sur les diagrammes de Feynman et sur les courants neutres.

(a) Le diagramme montre le vertex d'interaction de l'interaction électromagnétique.



Des hadrons peuvent être produits par l'intermédiaire de l'interaction électromagnétique dans les collisions électrons-positrons au moyen de la réaction



dans laquelle q représente un quark et \bar{q} représente un antiquark.

(i) Dessinez un diagramme de Feynman pour le processus $e^- + e^+ \rightarrow u + \bar{u}$ où u représente le quark up. [1]

(ii) Résumez pourquoi la réaction en (a)(i) finit par entraîner la production de hadrons plutôt que de quarks individuels. [2]

.....

.....

.....

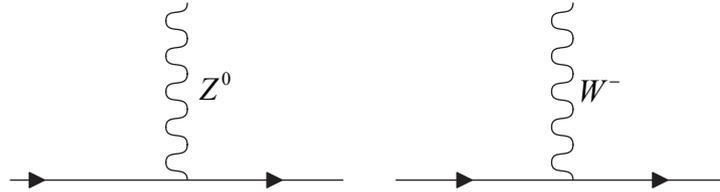
.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question J3)

(b) Le diagramme montre deux vertex pour l'interaction faible.



Les lignes continues représentent des quarks ou des leptons.

(i) Exprimez ce qu'on entend par courant neutre. [1]

.....
.....

(ii) Dessinez un diagramme de Feynman pour le processus $e^- + e^+ \rightarrow u + \bar{u}$ où u représente un quark up, qui est produit par un courant neutre. [1]

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question J3)

- (c) En référence aux vertex d'interaction faible dans la question (b), suggérez comment le Z^0 peut être détecté. [2]

.....

.....

.....

- (d) Le W^- se désintègre selon $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}$. Exprimez et expliquez si l'antineutrino dans cette désintégration est un électron, un muon **ou** un antineutrino tau. [3]

.....

.....

.....

J4. Cette question porte sur l'univers précoce.

Jusqu'à environ 3×10^5 années après le Big Bang, les photons furent incapables de pénétrer dans le gaz hydrogène dans l'univers. Suggérez, sans calcul, pourquoi ce temps devait s'écouler avant que les photons puissent être transmis à travers le gaz hydrogène. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

