

BACCALAUREAT BLANC

Lycée Regnault

Vendredi 13 février 2015

EPREUVE DE SCIENCES PHYSIQUES

Série S

SPECIALITE

Durée : 3h30

L'usage de la calculatrice est autorisé

Ce sujet comporte 3 exercices, à rédiger **SUR DES COPIES SEPARÉES**:

Exercice 1 : **qui veut gagner des muons ?** (10 points)

Exercice 2 : **Edwin et James** (5 points)

Exercice 3 : **protection des coques des bateaux** (5 points)

Les réponses sont à rédiger dans l'ordre (sauf pour l'exercice n°1), en respectant la numérotation de l'énoncé.

Chaque page rédigée doit être numérotée.

Exercice n°1 : qui veut gagner des muons ?

(10 points)

Les 10 questions de cet exercice sont indépendantes. Vous devez choisir une et une seule des réponses proposées et justifier l'affirmation. Il n'est pas nécessaire de montrer que les autres propositions sont fausses.

Attention : il n'y a pas de points pour le choix effectué (ni de points négatifs pour une erreur). Seule la qualité de la justification sera évaluée.

Question n°1

Au quotidien, on n'observe pas la diffraction de la lumière naturelle par une porte ou une fenêtre parce que :

- a) la lumière naturelle n'est pas polarisée.
- b) la longueur d'onde est trop courte.
- c) la fréquence est trop petite.
- d) l'intensité lumineuse est trop faible.

Question n°2

Pour observer une figure d'interférences avec deux fentes en lumière monochromatique, il faut placer l'écran :

- a) à n'importe quelle distance raisonnable des fentes.
- b) à une distance précise qui dépend uniquement de la longueur d'onde de la lumière.
- c) à une distance précise qui dépend uniquement de la distance qui sépare les deux fentes.
- d) à une distance précise qui dépend à la fois de la longueur d'onde et de la distance qui sépare les deux fentes.

Question n°3

Des interférences destructives s'observent si les ondes cohérentes qui interfèrent :

- a) sont en phase.
- b) sont décalées d'un nombre entier de longueurs d'onde.
- c) sont décalées d'un nombre impair de demi-longueurs d'onde.
- d) sont monochromatiques.

Question n°4

Deux stations de radio sont distantes de 250 m et émettent en phase des ondes de longueurs d'onde 100 m et cohérentes entre elles. Un point A est à 400 m des deux stations, B à 450 m des deux stations, et le point C est à 400 m de l'une et 450 m de l'autre. Qu'observe-t-on ?

- a) des interférences constructives en A et B, destructives en C.
- b) des interférences constructives en A et C, destructives en B.
- c) des interférences constructives en C et B, destructives en A.
- d) des interférences constructives en B, destructives en A et C.

Question n°5

Un récepteur sonore est fixe par rapport au milieu de propagation et capte le son d'un émetteur qui s'approche de lui à la vitesse v constante. La fréquence du son capté par le récepteur :

- a) est supérieure à la fréquence du son émis mais constante au cours du déplacement.
- b) est supérieure à la fréquence du son émis et augmente au cours du déplacement.
- c) est inférieure à la fréquence du son émis mais constante au cours du déplacement.
- d) est inférieure à la fréquence du son émis et diminue au cours du déplacement.

Question n°6

On rappelle que le décalage « Fizeau-Doppler » est calculable par la relation : $|\Delta\lambda| = \frac{|v_E| \times \lambda_E}{c}$

La célérité de la lumière dans le vide vaut $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

En laboratoire, une raie d'absorption caractéristique de l'hydrogène est repérée à la longueur d'onde 434,047 nm. En observant le spectre de l'étoile Sirius, on constate que cette même raie d'absorption se trouve à la longueur d'onde 434,114 nm. Cette observation montre que :

- a) l'hydrogène n'est pas le même sur Sirius que dans le laboratoire.
- b) Sirius s'approche du Soleil à la vitesse de 46 km/s.
- c) Sirius s'éloigne du Soleil à la vitesse de 46 km/s.
- d) l'hydrogène de Sirius est relativiste.

Question n°7

La période d'un pendule oscillatoire simple a pour expression : $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

Il est fréquent de lire que la pesanteur sur la Lune est six fois moindre que sur Terre. Un pendule qui « bat la seconde » sur Terre :

- a) aura une période d'oscillation de 6 secondes sur la Lune.
- b) aura une période d'oscillation de 36 secondes sur la Lune.
- c) aura une période d'oscillation de 2,5 secondes sur la Lune.
- d) aura une période d'oscillation de 1 seconde sur la Lune.

Question n°8

Par analyse dimensionnelle, et en exprimant le Newton comme composition d'unités du système MKSA, on peut montrer que la période T ainsi exprimée (question n°7) a bien la dimension d'un temps.

On peut aussi réaliser un système oscillatoire en suspendant à la verticale une masse à un ressort. Un ressort est défini par sa raideur, grandeur physique dépendant de ses caractéristiques propres, notée k et exprimée en Newton par mètre ($N.m^{-1}$). Laquelle des relations suivantes correspond à l'expression de la période d'oscillation du système « masse – ressort » ?

- a) $T = 2\pi \times \frac{m}{k}$
- b) $T = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$
- c) $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
- d) $T = 2\pi \times \frac{k}{m}$

Question n°9

Dans la haute atmosphère terrestre (à 35 km d'altitude), des nucléons du rayonnement cosmique viennent percuter des noyaux de molécules des gaz présents dans l'atmosphère. Entre autres particules « exotiques », des muons sont produits. Ceux-ci partent alors vers la Terre à une vitesse très proche de celle de la lumière ($v = 0,99986 C \approx C$).

$$\underline{\text{Rappel sur la dilatation des durées :}} \quad \Delta t_{\text{mesurée}} = \gamma \cdot \Delta t_{\text{propre}} \quad \text{avec} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/C^2}}$$

La durée de vie des muons est de $2,2 \mu\text{s}$ dans leur référentiel propre donc ceux-ci n'ont le temps de parcourir, d'après la mécanique classique, qu'une distance $d = v \times \Delta t = 3,00 \cdot 10^8 \times 2,2 \cdot 10^{-6} = 660 \text{ m}$. Ils devraient donc se désintégrer dans la haute atmosphère.

Pourtant, il est possible de capter des muons au niveau du sol terrestre. Cela est dû aux effets relativistes. À la vitesse des muons dans le référentiel terrestre, leur durée de vie s'allonge de manière conséquente et leur permet d'atteindre le sol de notre planète.

- a) Les muons ont le temps de parcourir des distances infinies car le temps ne s'écoule pas pour eux.
- b) Les muons ont le temps de parcourir 40000 mètres avant de se désintégrer et donc atteignent le sol.
- c) Les muons se désintègrent quand ils touchent le sol.
- d) Les muons n'existent pas.

Question n°10

Il est possible qu'en novembre 2035 soit lancée une mission habitée vers la planète Mars. Le voyage correspondrait alors à un aller – retour de 156 millions de kilomètres à la vitesse de 8,0 km/s. Régis se dit qu'il aimerait bien faire partie de l'équipage car ainsi, profitant des effets relativistes, il reviendrait beaucoup plus jeune que sa sœur jumelle Pénélope restée sur Terre.

- a) excellente idée, le voyage va effectivement le faire rajeunir.
- b) bonne idée, il reviendra en ayant effectivement vieilli de 5 ans de moins que sa sœur restée sur Terre.
- c) hélas, il sera effectivement plus jeune que sa sœur mais de quelques millisecondes seulement.
- d) mauvais calcul, il n'y a pas d'effet relativiste car Mars est trop proche de la Terre.

Dès 1923, Hermann Oberth mentionne l'intérêt d'un télescope spatial. En effet, un télescope terrestre reçoit des radiations filtrées par l'atmosphère terrestre qui absorbe des radiations électromagnétiques dans le domaine de l'infrarouge notamment. Par ailleurs un télescope spatial n'est pas sensible aux turbulences atmosphériques.

Le télescope spatial Hubble, du nom de l'astronome américain Edwin Hubble, a été lancé en 1990. Celui-ci souffrait au départ d'un défaut de courbure du miroir, non détecté avant la mise en orbite, qui provoquait des images floues. Après modification grâce à une mission spatiale, Hubble put enfin fournir ses premières images de l'Univers dans le domaine du spectre ultraviolet, visible et proche infrarouge. Le télescope Hubble, d'une masse $m = 11$ tonnes, est positionné sur une « orbite basse » à une altitude quasi constante $h = 600$ km de la surface de la Terre.

Le télescope spatial James Webb, du nom d'un administrateur de la NASA, doit succéder au télescope Hubble en 2018. Il sera lancé par une fusée Ariane 5. Le télescope spatial James Webb, d'une masse de 6200 kg, sera en orbite à une distance proche de 1,5 millions de kilomètres de la Terre en un point dénommé « point de Lagrange L2 » (voir documents 1 à 3).

D'après www.wikipedia.fr, www.hubblesite.org et <http://www.jwst.nasa.gov>

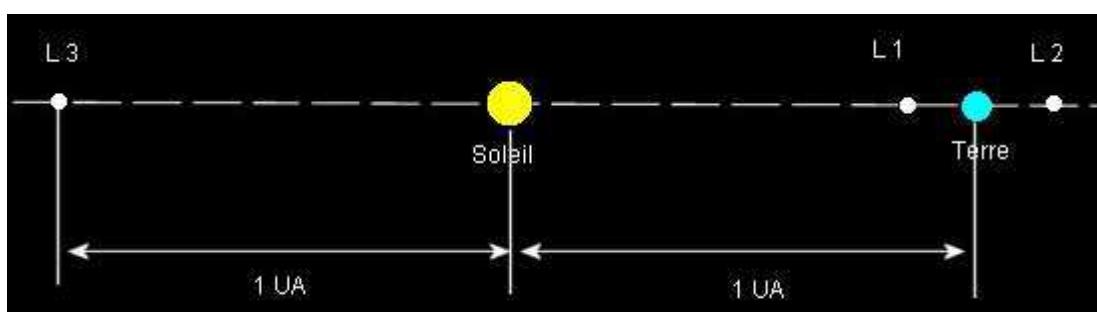
Document 1 : points de Lagrange

En mécanique céleste, il est un sujet qui a passionné de nombreux mathématiciens : c'est le problème dit « des trois corps ». Joseph-Louis Lagrange étudia le cas d'un petit corps, de masse négligeable, soumis à l'attraction de deux plus gros : le Soleil et, par exemple, une planète. Il découvrit qu'il existait des positions d'équilibre pour le petit corps.

Un point de Lagrange (il en existe 5, notés L1 à L5) est une position de l'espace où les champs de gravité de deux corps très massifs en orbite l'un autour de l'autre fournissent exactement la force centripète requise pour que ce point de l'espace accompagne simultanément la rotation des deux corps.

Dans le cas où les deux corps sont en orbite circulaire, ces points représentent les endroits où un troisième corps de masse négligeable resterait immobile par rapport aux deux autres : il accompagnerait à la même vitesse angulaire leur rotation autour de leur centre de gravité commun sans que sa position par rapport à eux n'évolue. La sonde d'observation SoHO, destinée à observer le Soleil, a par exemple été placée au point L1.

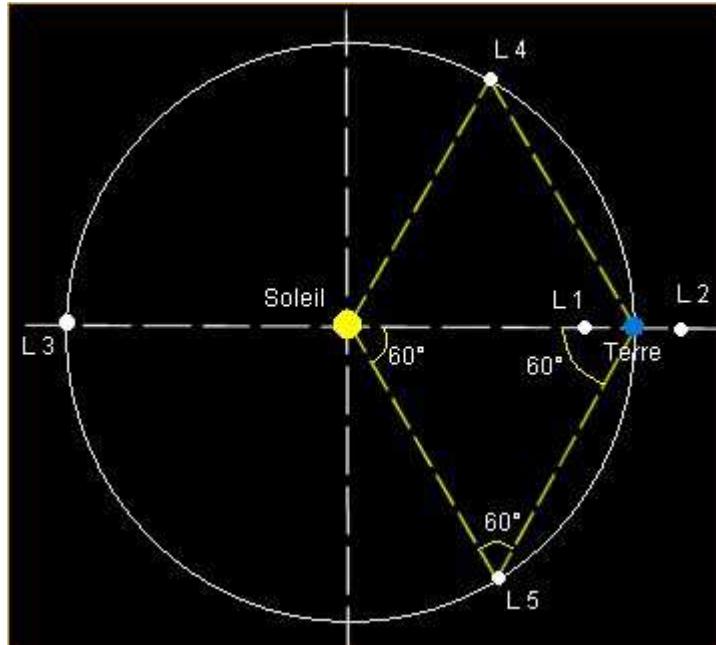
Document 2 : positions des points de Lagrange sur l'axe Soleil – Terre



Positions des points L1 à L3 sur l'axe Soleil – Terre

<http://fr.wikipedia.org>

Document 3 : positions des cinq points de Lagrange dans le plan de l'écliptique



Positions des 5 points de Lagrange

<http://fr.wikipedia.org>

Données :

Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$

Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$

Distance moyenne Soleil-Terre : $d = 149,6 \times 10^6 \text{ km}$ équivaut à 1 UA (unité astronomique)

Rayon de la Terre : $R_T = 6370 \text{ km}$

Durée d'une année terrestre : 365,25 jours

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes

1. Première partie : étude de l'orbite du télescope spatial Hubble

On étudie le système {télescope spatial Hubble} dans le référentiel géocentrique en négligeant ici l'interaction gravitationnelle du Soleil avec le télescope.

- 1.1. Quelle est la trajectoire du télescope Hubble dans ce référentiel ?
- 1.2. À partir de la deuxième loi de Newton, montrer que, dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, le mouvement du télescope Hubble est uniforme.
- 1.3. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse v du satellite dans le référentiel géocentrique est :
$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$
- 1.4. Établir l'expression de sa période de révolution T en fonction de R_T , h et v .
- 1.5. Rappeler la troisième loi de Kepler. Montrer que dans le cas du télescope spatial Hubble on a la relation :
$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$$
 où $r = R_T + h$ représente la distance entre le centre de la Terre et le télescope spatial.
- 1.6. Calculer la période de révolution T du télescope spatial Hubble, exprimée en minutes.

2. Deuxième partie : étude de la mise en orbite du télescope spatial James Webb

Le télescope spatial James Webb sera mis en orbite par le lanceur européen Ariane 5 depuis la base de lancement située à Kourou en Guyane. Dans cette partie on étudie tout d'abord le système {Ariane 5} (incluant tout son équipement y compris le télescope) dans le référentiel terrestre que l'on suppose galiléen pendant la durée de l'étude.

Initialement le système {Ariane 5} est situé sur sa base de lancement. Le repère d'espace choisi est un axe vertical Oz orienté vers le haut. L'origine O est initialement confondue avec le centre d'inertie de la fusée de sorte que $z(0) = z_0 = 0$.

Lors de son décollage, la fusée Ariane 5 et son équipement possèdent une masse totale proche de $M = 780$ tonnes. La valeur F de la force de poussée générée par ses propulseurs est de l'ordre de $14,0 \times 10^6$ N.

2.1. Déterminer la valeur P du poids de la fusée Ariane 5 au moment de son décollage.

Donnée : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ (intensité de la pesanteur)

2.2. Déduire de la deuxième loi de Newton l'expression de la coordonnée a_z du vecteur accélération \vec{a} du lanceur Ariane 5 au moment de son décollage en fonction de M, F et g.

2.3. L'accélération reste constante si l'on peut négliger les forces de frottement fluide et si le champ de gravitation reste constant. On montre que l'altitude $z(t)$ du lanceur Ariane 5 est alors donnée par la relation :

$$z(t) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{F}{M} - g \right) \times t^2$$

Calculer la valeur de l'altitude z du lanceur Ariane 5 au bout de 10 s dans ces conditions.

2.4. En réalité, l'altitude d'Ariane 5 est nettement plus faible au bout de 10 s. Proposer une explication énergétique.

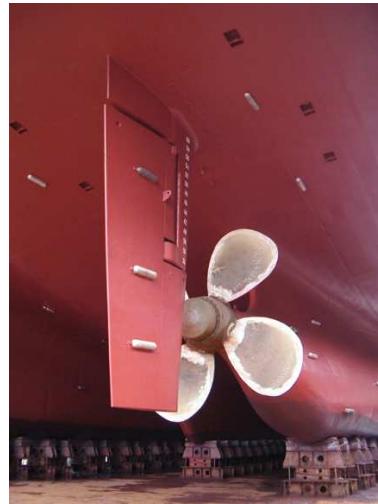
2.5. On envisage à présent le cas où le télescope James Webb aura atteint le point de Lagrange L2.

Pourquoi le point L2 a-t-il été choisi pour l'orbite du télescope James Webb plutôt que le point L1, alors qu'il est envisageable de placer plusieurs satellites au même point de Lagrange ?

Exercice n°3 : protection des coques des bateaux

(5 points)

La corrosion est un phénomène bien connu des marins. Les bateaux dont la coque est en acier en sont victimes et doivent en être protégés. Une méthode de protection consiste à poser à la surface de la coque des blocs de métal que l'on appelle « anodes sacrificielles ».



L'objectif de l'exercice est d'évaluer, à l'aide des documents ci-après, la masse de l'anode sacrificielle nécessaire à la protection d'un bateau.

Document n°1 : me phénomène de corrosion

La corrosion d'un métal M est sa transformation à l'état de cation métallique M^{k+} par réaction avec le dioxygène dissous dans l'eau.

Le métal perd un ou plusieurs électrons, il est oxydé selon la demi-équation rédox : $M \rightleftharpoons M^{k+} + ke^-$

Une mole de métal oxydé produit k moles d'électrons.

Document n°2 : potentiels standard de différents métaux

Pour prévoir les réactions d'oxydoréduction, on peut s'appuyer en première approche sur l'échelle suivante, appelée échelle des potentiels standard. Tous les couples oxydant/réducteur peuvent être classés par leur potentiel standard.

Échelle des potentiels standard de quelques couples à 20°C :

Élément	Couple	Potentiel standard (V)
Plomb	Pb^{2+} / Pb	- 0,126
Étain	Sn^{2+} / Sn	- 0,138
Nickel	Ni^{2+} / Ni	- 0,257
Fer	Fe^{2+} / Fe	- 0,447
Zinc	Zn^{2+} / Zn	- 0,760
Aluminium	Al^{3+} / Al	- 1,67
Magnésium	Mg^{2+} / Mg	- 2,37

Lorsque deux métaux sont en contact et peuvent être oxydés par le dioxygène, c'est celui dont le couple a le potentiel standard le plus faible qui s'oxyde : il constitue l'anode et protège l'autre métal qui ne réagira pas.

Document n°3 : protection d'un bateau avec coque en acier

Lors de l'oxydation de l'anode sacrificielle, il s'établit un courant de protection au niveau de la surface S de la coque immergée. Sa densité de courant moyenne, intensité de courant par unité de surface, vaut :

$$j = 0,1 \text{ A.m}^{-2}$$

Ce courant a son origine dans la charge électrique échangée lors de la réaction d'oxydo-réduction. L'intensité I d'un courant électrique peut s'exprimer en fonction de la charge électrique Q échangée au cours de la réaction pendant une durée Δt :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

où, dans le système international, I s'exprime en ampère (A), Q en coulomb (C) et Δt en seconde (s).

Résolution de problème

Questions préalables

1. Un bateau possède une coque en acier donc composée essentiellement de fer. Écrire la demi-équation de l'oxydation du fer métallique en considérant uniquement les couples du document n°2.
2. Citer en justifiant votre réponse, les métaux du tableau du document n°2 susceptibles de protéger la coque en acier d'un bateau. Pourquoi l'anode utilisée est-elle qualifiée de « sacrificielle » ?

Problème

On désire protéger pendant une année la coque en acier d'un bateau par une anode sacrificielle en zinc. La surface de coque immergée dans l'eau de mer vaut $S = 40 \text{ m}^2$. Une anode sacrificielle sur une coque de bateau doit être remplacée quand elle a perdu 50 % de sa masse.

Quelle est la masse totale d'anode sacrificielle en zinc qu'on doit répartir sur la coque pour la protéger pendant une année ? Exercer un regard critique sur la valeur trouvée.

Données

- ✓ Masse molaire du zinc : $M = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$
- ✓ Une mole d'électrons possède une charge électrique : $q = 9,65 \times 10^4 \text{ C}$

Remarque : l'analyse des données, la démarche suivie et l'analyse critique du résultat sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.