4 Communiquer avec Voyager.

"The Deep Space Station (DSS) transmits a frequency of 2113,312500 MHz to Voyager 2". [10]

4.1 Introduction à la propagation.

53. Quel est le domaine du spectre électromagnétique utilisé pour communiquer avec Voyager 2 ?
54. La célérité c_0 de la lumière dans le vide est actuellement fixée comme constante fondamentale, pour quelle raison ?

4.2 Perturbations des ondes électromagnétiques dans un plasma.

Dans de nombreux articles scientifiques, il est dit que l'atmosphère perturbe les communications avec les satellites. L'objectif de cette partie est de proposer un modèle permettant de comprendre la nature des perturbations dues à l'atmosphère.
Pour ce faire, les quatre équations de Maxwell dans le cas général, sont rappelées :

$$\mathrm{div}\,\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\mathrm{div}\,\vec{B} = 0$$

$$\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

ainsi que la formule d'analyse vectorielle suivante, pour tout vecteur $\vec{A}$:

$$\overrightarrow{\mathrm{rot}}(\overrightarrow{\mathrm{rot}}\ \vec{A}) = \overrightarrow{\mathrm{grad}}(\mathrm{div}\,\vec{A}) - \vec{\Delta}\vec{A}$$

55. À quelle période Maxwell a-t-il écrit ces équations ? Quels concepts déjà connus en physique unifiaient-elles ?

Le rayonnement ultraviolet solaire est susceptible de ioniser certaines molécules de gaz de la haute atmosphère. Dès lors, cette partie de l'atmosphère peut être décrite comme un plasma : milieu électriquement neutre et suffisamment "dilué" pour pouvoir négliger les interactions entre les différentes particules.
L'objectif de cette partie est d'étudier l'influence de ce plasma sur les ondes électromagnétiques le traversant. On s'intéresse donc à la propagation d'une onde électromagnétique dans le plasma.

56. Quel nom porte cette partie de la haute atmosphère ?

10. Les stations de télécommunication DSS transmettent les informations à Voyager 2 à une fréquence de 2113,312500 MHz. D'après JET Laboratory.

57. Expliquer brièvement, à l'aide d'ordre de grandeur, pourquoi le rayonnement ultraviolet est susceptible d'ioniser les molécules de gaz de la haute atmosphère.

On considère donc une particule de charge q et de masse m, de vitesse $\vec{v}$, soumise à l'action d'une onde électromagnétique incidente plane, monochromatique de pulsation ω, polarisée rectilignement selon $\vec{u}_y$ qui s'écrit en notation complexe $\vec{E} = Re(\underline{\vec{E}})$ avec $\underline{\vec{E}} = E_0 \exp(i\omega t - ikx)\vec{u}_y$. On se place dans le cadre de la mécanique classique.

58. Donner l'expression de la force de Lorentz qui s'exerce sur la particule chargée.

59. Montrer que l'un des deux termes de la force de Lorentz est négligeable devant l'autre.
Dans la suite, on suppose les différentes particules (électrons et cations) soumises au seul terme prépondérant.
On note n_e la densité d'électron par unité de volume.

60. Donner l'équation différentielle du mouvement d'une particule de masse m et de charge q soumise à cette onde. En déduire l'expression de la vitesse de la particule en régime sinusoïdale forcé.

61. Montrer que seul le mouvement d'un type de charges intervient ; on peut donc considérer dans toute la suite que les autres charges sont fixes.

62. Compte tenu de ce qui précède, déterminer l'expression de la densité volumique de courant $\vec{j}$.

63. Établir alors l'équation différentielle vérifiée par le vecteur champ électrique.

64. Vérifier que pour une onde plane progressive harmonique se propageant dans le milieu, la relation de dispersion se met sous la forme

$$k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_P^2}{c_0^2}$$

Donner l'expression de ω_P.

65. Décrire la structure de l'onde pour $\omega < \omega_P$.

66. Décrire la structure de l'onde pour $\omega > \omega_P$. Calculer la vitesse de phase et de groupe et commenter les expressions obtenues.

67. Conclure quant aux perturbations introduites par l'atmosphère dans les communications avec Voyager 2 sachant que la densité particulaire n_e des électrons dans l'ionosphère est de l'ordre de 10^{11} particules.m^{-3}.

5 Annexes

5.1 Tableau des compétences, extrait du BO spécial n°3 du 30 mai 2013.

S'approprier le problème.	Faire un schéma modèle. Identifier les grandeurs physiques pertinentes, leur attribuer un symbole. Évaluer quantitativement les grandeurs physiques inconnues et non précisées. Relier le problème à une situation modèle connue. ...
Établir une stratégie de résolution (analyser).	Décomposer le problème en des problèmes plus simples. Commencer par une version simplifiée. Expliciter la modélisation choisie (définition du système, ...). Déterminer et énoncer les lois physiques qui seront utilisées.
Mettre en oeuvre la stratégie (réaliser).	Mener la démarche jusqu'au bout afin de répondre explicitement à la question posée. Savoir mener efficacement les calculs analytiques et la traduction numérique. Utiliser l'analyse dimensionnelle. ...
Avoir un regard critique sur les résultats obtenus (valider).	S'assurer que l'on a répondu à la question posée. Vérifier la pertinence du résultat trouvé, notamment en comparant avec des estimations ou ordres de grandeurs connus. Comparer le résultat obtenu avec le résultat d'une autre approche (mesure expérimentale donnée ou déduite d'un document joint, simulation numérique, ...). Étudier des cas limites plus simples dont la solution est plus facilement vérifiable ou bien déjà connue ...
Communiquer.	Présenter la solution ou la rédiger, en en expliquant le raisonnement et les résultats. ...

5.2 Extrait du programme de Terminale S, BO spécial n° 8 du 13 octobre 2011.

Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
	Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.
Temps, cinématique et dynamique newtoniennes. Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.	Choisir un référentiel d'étude. Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.
Référentiel galiléen. Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.	Définir la quantité de mouvement $\vec{p}$ d'un point matériel. Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en oeuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes. Mettre en oeuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.
Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.	Mettre en oeuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.
Mouvement d'un satellite. Révolution de la Terre autour du Soleil.	Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.
Lois de Kepler.	Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.

Énergie, matière et rayonnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
Dualité onde-particule Photon et onde lumineuse.	Savoir que la lumière présente des aspects ondulatoire et particulaire.
Particule matérielle et onde de matière ; relation de de Broglie.	Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule. Connaître et utiliser la relation $p = h/\lambda$ Identifier des situations physiques où le caractère ondulatoire de la matière est significatif.
Interférences photon par photon, particule de matière par particule de matière.	Extraire et exploiter des informations sur les phénomènes quantiques pour mettre en évidence leur aspect probabiliste.

Tournez la page S.V.P.

Caractéristiques et propriétés des ondes

Notions et contenus	Compétences exigibles
Caractéristiques des ondes	
Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard.	Définir une onde progressive à une dimension. Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité). Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.
Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales.	Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.
Ondes sonores et ultrasonores. Analyse spectrale.	Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.
Propriétés des ondes	
Diffraction. Influence relative de la taille de l'ouverture ou de l'obstacle et de la longueur d' onde sur le phénomène de diffraction.	Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle. Connaître et exploiter la relation $\theta = \lambda/a$. Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche	Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier ou utiliser le phénomène de diffraction dans le cas des ondes lumineuses.
Interférences.	Connaître et exploiter les conditions d'interférences constructives et destructives pour des ondes monochromatiques.
Cas des ondes lumineuses monochromatiques, cas de la lumière blanche. Couleurs interférentielles.	Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement le phénomène d'interférence dans le cas des ondes lumineuses.
Effet Doppler.	Mettre en oeuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitement d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.

5.3 Données numériques.

Lors de vos applications numériques, il convient d'utiliser un nombre de chiffres significatifs adapté.

Constante de Planck : $h = 6{,}62606957.10^{-34}$ $\mathrm{m}^2.\mathrm{kg}.\mathrm{s}^{-1}$

Masse de l'électron $m_e = 9{,}109382.10^{-31}$ kg

Masse du proton $m_p = 1{,}67262178.10^{-27}$ kg

Charge "élémentaire" $e = 1{,}60217656.10^{-19}$ C

Perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ $\mathrm{kg}.\mathrm{m}.\mathrm{A}^{-2}.\mathrm{s}^{-2}$

Permittivité diélectrique du vide $\epsilon_0 = 8{,}85418781.10^{-12}$ $\mathrm{A}^2.\mathrm{s}^4.\mathrm{kg}^{-1}.\mathrm{m}^{-3}$

Célérité de la lumière dans le vide $c_0 = 299792458$ $\mathrm{m}.\mathrm{s}^{-1}$

Unité astronomique 1 ua = 149597871 kilomètres

Masse du Soleil $M_S = 1{,}989.10^{30}$ kg

Masse de la Terre $M_T = 5{,}972.10^{24}$ kg

Constante gravitationnelle $G = 6,67384.10^{-11}$ $\mathrm{m}^3.\mathrm{kg}^{-1}.\mathrm{s}^{-2}$

Modèle ENSD ©NEOPTEC

Nom :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénom :

N° d'inscription :

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

Né(e) le : / /

Concours	Section/Option	Epreuve	Matière

DOCUMENT RÉPONSE

5.4 Figure annexe : à compléter et à rendre avec la copie.

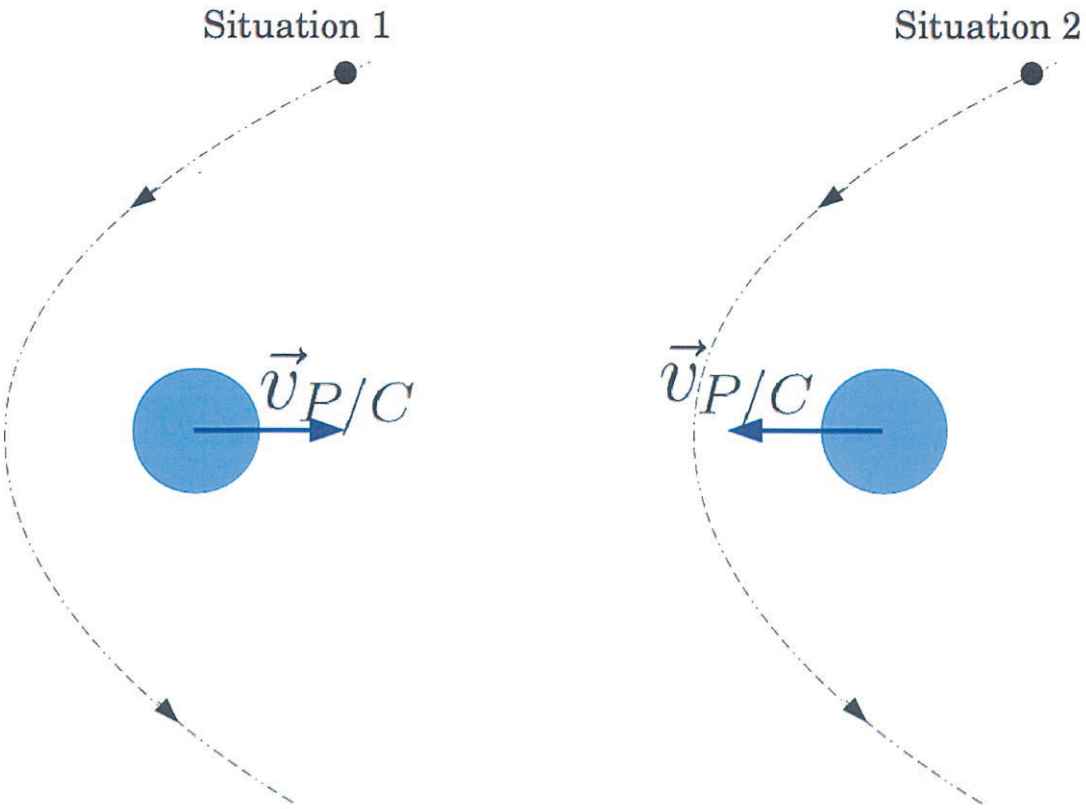

FIGURE 10 – Effet d'assistance gravitationnelle.