

INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES

POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE, DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE EN BULGARIE

[http ://www.iheb.org/](http://www.iheb.org/)

Concours Général de Physiques “Minko Balkanski”

20 mai 2007

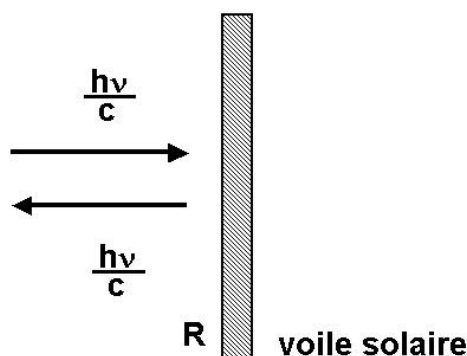
Les deux problèmes sont indépendantes.

*La clarté et la précision de la rédaction, qui doit être en **français** ou **anglais**, seront prises en compte dans la note finale.*

La durée de la composition est de 4 heures.

La voile solaire

Comme des paquebots jadis poussés par le vent, dans le futur on voyagera de planète en planète avec des voiliers propulsés par les rayons du Soleil ... Ceci n'est plus une fiction, mais une scénario sérieusement envisagée par des nombreux scientifiques et ingénieurs spatiales. En effet, les voiles propulsés par le Soleil n'auront aucun consommation de carburant. On se propose ici de comprendre leur principe de fonctionnement et d'estimer quelques ordres de grandeur.



1. La voile solaire est modélisée par un miroir de réflectivité R , comme à la figure ci contre. Un flux de photons, d'énergie $h\nu$ est incident perpendiculairement sur la voile, avec h la constante de Plank et ν la fréquence de la radiation.

On rappelle qu'un photon d'énergie $h\nu$ porte une quantité de mouvement p égale à :

$$p = \frac{h\nu}{c} \quad (1)$$

avec c la vitesse de la lumière, $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

1.a) Supposons qu'un photon incident est *absorbé* par la voile. Quelle est la quantité de mouvement communiquée à la voile ?

1.b) Supposons maintenant qu'un photon incident est *réfléchi* par la voile. Quelle est alors la quantité de mouvement communiqué à la voile ?

1.c) Si le photon est réfléchi avec une probabilité R , et absorbé avec une probabilité $1 - R$, quelle est, en moyenne, la quantité de mouvement fournie par chaque photon ?

1.d) Le flux des photons, soit le nombre de photons arrivant sur la voile par unité de temps et par unité de surface est Φ . Si la surface de la voile est S , montrer que la force F exercée sur la voile est :

$$F = S\Phi \frac{h\nu}{c} (1 + R) \quad (2)$$

2. On s'intéresse maintenant au lancement de la voile. Dans le tableau suivant, on a reporté le flux d'énergie solaire, en W/m^2 au voisinage des planètes du système solaire en fonction de la distance au Soleil, exprimé en unité astronomiques U.A. On rappelle qu'une unité astronomique est la distance Terre-Soleil : $1 \text{ U.A.} = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$.

Planète	Distance au Soleil (U.A.)	Flux Solaire (W/m^2)	Flux $\times$ Distance ²
Mercure	0.387	9134	
Venus	0.723	2617	
Terre	1	1368	
Mars	1.524	589	
Jupiter	5.203	50.53	
Saturne	9.539	15.03	
Uranus	19.182	3.718	
Neptune	30.057	1.514	
Pluton	39.750	0.8657	

2.a) Quelle est le lien entre le flux d'énergie solaire Φ_E , en W/m^2 et le flux des photons Φ , si l'énergie moyenne des photons est $h\nu$? Donnez alors une expression simplifiée de la force de radiation s'exerçant sur la voile.

2.b) Si on veut lancer une voile à grande vitesse, est-il plus avantageux de la lancer au voisinage du Mercure, ou au voisinage du Neptune ? Expliquez pourquoi.

2.c) Complétez la quatrième colonne du tableau par le produit du flux fois la distance Planète-Soleil au carré. Qu'observe-t-on ? Donner une explication.

2.d) Montrez alors que la force de radiation s'écrit :

$$F = S \frac{A}{cr^2} (1 + R) \quad (3)$$

avec r la distance planète-Soleil, et A une constante qu'on explicitera numériquement, en unités S.I.

3. La force obtenue dans la question précédente rappelle la force de la gravitation entre le Soleil et un objet de masse m , qui s'écrit :

$$F = -\frac{GMm}{r^2} \quad (4)$$

avec G la constante de gravitation, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-2}$, et M la masse du Soleil, $M \approx 2 \times 10^{30} \text{ kg}$.

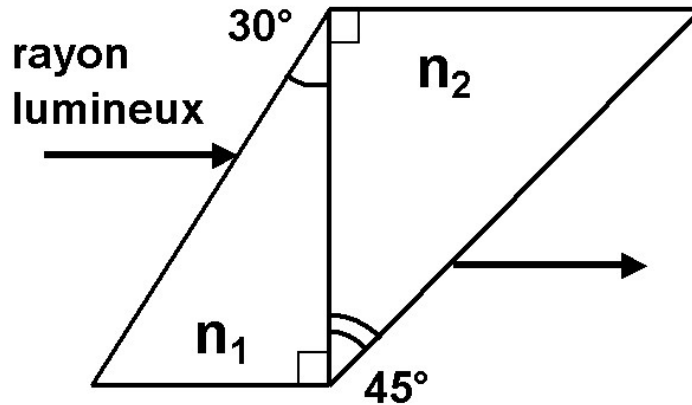
3.a) Quelles sont les différences majeures entre les deux forces (4) et (3) ?

3.b) On déploie une voile solaire, de masse $m = 100 \text{ kg}$ sur l'orbite de la Terre. La réflectivité de la voile est $R = 0.9$. Quelle est la surface S de la voile requise pour que la force de radiation compense exactement la force de gravitation du Soleil ?

3.c) Pour un matériau de densité volumique typique $\rho = 1 \text{ kgm}^{-3}$, la valeur de S obtenue dans la question précédente vous semble-t-elle réaliste ?

3.d)* En réalité, lorsqu'on lance la voile à partir de l'orbite de la Terre, il n'est pas nécessaire de compenser l'attraction du Soleil. Pourquoi ? Expliquez comment une voile solaire, même avec une surface beaucoup plus faible, peut servir pour des voyages interplanétaires.

Exercice d'optique



Deux prismes triangulaires, d'angles 30° et 45° sont disposées comme à la figure plus haut. Un rayon lumineux entre parallèlement à la base des prismes, et ressort dans la même direction. Quel est l'indice n_2 de la prisme à 45° si l'indice n_1 de la prisme à 30° est égale à $n_1 = 2.1$? On rappelle l'identité trigonométrique :

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\beta) \cos(\alpha) \quad (5)$$

FIN