

# INSTITUT DES HAUTES ÉTUDES

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

<http://www.iheb.org/>

## Concours Général de Physiques “Minko Balkanski”

20 mai 2007

### Corrigé

#### La voile solaire (15p)

**1.a) 0.5p** Le photon absorbé communique toute sa quantité de mouvement, donc :  $\Delta p = h\nu/c$ .

**1.b) 0.5p** Le photon réfléchi possède une quantité de mouvement  $-\hbar\nu/c$ , donc  $\Delta p = h\nu/c - (-h\nu/c) = 2h\nu/c$ .

**1.c) 1.0p** Cette quantité est, en moyenne :  $\Delta p = R \times 2h\nu/c + (1 - R) \times h\nu/c$ , soit  $\Delta p = (1 + R)h\nu/c$ .

**1.d) 1.0p** Le nombre de photons arrivant sur la voile par unité de temps est  $dN/dt = \Phi S$ , et la variation de la quantité de mouvement par unité de temps est  $\Delta p \times dN/dt$ , d'où l'expression pour la force.

#### 2.

Planète	Distance au Soleil (U.A.)	Flux Solaire ( $W/m^2$ )	Flux $\times$ Distance <sup>2</sup>
Mercure	0.387	9134	1368.0
Venus	0.723	2617	1367.9
Terre	1	1368	1368.0
Mars	1.524	589	1368.0
Jupiter	5.203	50.53	1367.9
Saturne	9.539	15.03	1367.9
Uranus	19.182	3.718	1368.0
Neptune	30.057	1.514	1367.7
Pluton	39.750	0.8657	1367.86

**2.a) 0.5p** On a  $\Phi_E = \Phi h\nu$ , d'où  $F = S\Phi_E(1 + R)/c$ .

**2.b) 0.5p** Évidemment au voisinage de Mercure, car le flux solaire y est plus important, d'après le tableau.

**2.c) 2.0p** Le tableau rempli est donné ci-dessus. La quatrième colonne est constante. Ceci n'est rien d'autre que la conservation de l'énergie sur une sphère de surface  $4\pi r^2$ ,  $\Phi_E \times 4\pi r^2 = \text{const}$ , avec  $r$  la distance Terre-Soleil.

**2.d) 1.0p** D'après la question précédente on a  $\Phi_E \times r^2 = \text{const} = A$ , d'où l'expression de la force  $F = SA(1 + R)/cr^2$ . Numériquement :

$$A = 1368 \times (149.6 \times 10^9)^2 \approx 3.06 \times 10^{25}$$

en unités SI. Il ne faut pas oublier de convertir les *km* en *m* !

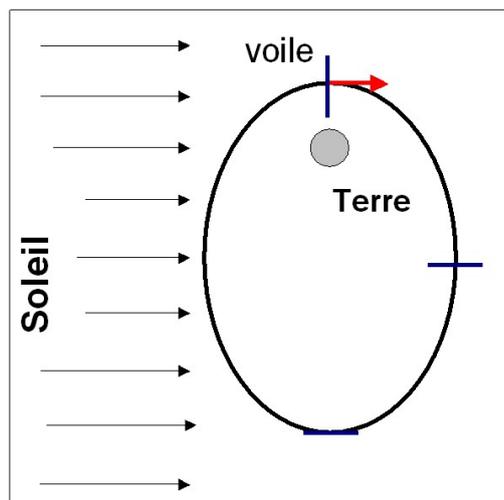
**3.a) 2.0p** On peut citer beaucoup de différences :

- La force (4) est une force d'attraction, alors que la force (3) est une force de repulsion.
- La force (3) est une approximation (on a négligé, par exemple, la diffusion des photons pour l'établir), alors que (4) est une loi fondamentale de la nature.
- La force de gravitation est conservative, alors que la force de la pression de radiation ne l'est pas, car elle dépend de l'orientation de la voile.
- L'accélération due à la force de gravitation ne dépend pas de la masse du corps, alors que celui de la force de la pression de radiation en dépend.
- La force de la pression de radiation devient zéro dans la zone d'ombre d'une planète, alors que la force de gravitation est toujours la même...

**3.b) 1.0p** On a  $S = GMmc/A(1 + R)$ , soit numériquement (sans effort de calcul) :  $S \approx 6.67 \times 10^4 \text{ m}^2$ . La voile peut être, par exemple, un carré de côté 260 *m*. Pourquoi pas.

**3.c) 2.0p** Soit  $d$  l'épaisseur de la voile. Alors on a  $m = \rho Sd$ , d'où  $d = m/(\rho S) \approx 1.5 \text{ mm}$ . Ceci est à la limite de la technologie actuelle (les polymères Mylar et Kapton).

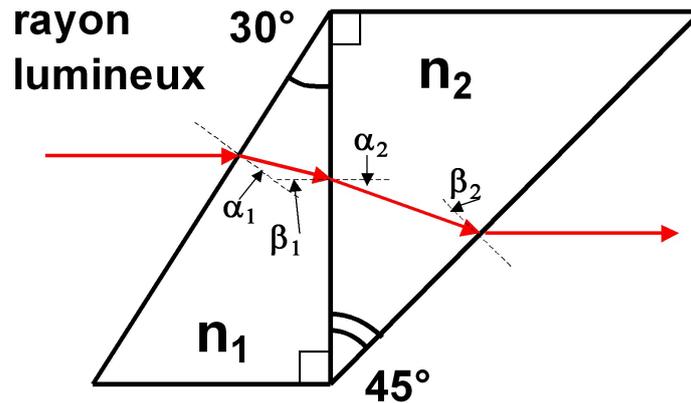
**3.d)\* 3.0p** D'une part, une voile lancée au voisinage de la Terre ne subit pas l'attraction du Soleil, car elle est compensée par la force centrifuge due au mouvement orbital de la Terre. Par contre, pour effectuer des voyages interplanétaires, il faut lutter contre l'attraction de la Terre.



Supposons que le voilier est lancé sur une orbite elliptique, comme à la figure. On peut accélérer le voilier d'avantage si on déploie la voile sur le perigee, et on la plie sur les restes de la trajectoire. Attention, parce que si l'on déploie la voile au mauvais moment,

ceci peut conduire à une décélération et retour sur Terre! D'autres stratégies de vol, plus compliquée, sont également possibles...

### Exercice d'optique(5p)



Considérons le schéma si dessous, ou les angles  $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$  sont définis. Alors en écrivant la loi de Descartes, ainsi qu'avec les relations géométriques évidentes, on obtient (2p) :

$$\sin 30^\circ = n_1 \sin \alpha_1 \quad (1)$$

$$\alpha_1 + \beta_1 = 30^\circ \quad (2)$$

$$n_1 \sin \beta_1 = n_2 \sin \beta_2 \quad (3)$$

$$\beta_2 + \alpha_2 = 45^\circ \quad (4)$$

$$n_2 \sin \alpha_2 = \sin 45^\circ \quad (5)$$

Sachant que  $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 1/\sqrt{2}$ , et en utilisant l'identité trigonométrique dans l'énoncé, on obtient :

$$n_2 \cos \alpha_2 = 1/\sqrt{2} + \sqrt{2}n_1 \sin \beta_2 \quad (6)$$

$$n_2 \sin \alpha_2 = 1/\sqrt{2} \quad (7)$$

Avec les valeurs numériques on obtient  $n_2 \cos \alpha_2 = 1.54$ . En enlevant au carré, et avec  $\sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2 = 1$ , on obtient  $n_2 = 1.69$  **3p**.

FIN