

Série 2

30 Septembre 2024

Ondes électromagnétiques et propagation de la lumière

Exercice 1 – Pression de radiation solaire (Ondes sphériques)

Des voiles solaires ont été proposées comme moyen de propulsion spatiale sans réacteur ni carburant. L'idée est d'exploiter la pression de radiation en provenance du soleil en utilisant de grandes membranes réfléchissantes.

- En utilisant la conservation de la quantité de mouvement, donner l'expression de la quantité de mouvement transmise au voilier spatial par un photon d'énergie E (longueur d'onde $\lambda = \frac{hc}{E}$) arrivant sur la voile selon une trajectoire normale.
- Pour un flux lumineux d'irradiance constante $I \left[\frac{W}{m^2} \right]$, exprimer la quantité de mouvement Δp transmise à la voile de surface A pendant un temps Δt en suivant le même raisonnement.
- En utilisant la loi de Newton, exprimer la force et la pression sur la voile résultant de cet échange de quantité de mouvement.
- A la distance de l'orbite terrestre ($1.5 \cdot 10^{11} [m]$ du soleil), l'irradiance solaire est de $1.4 \left[\frac{kW}{m^2} \right]$. Considérer une sonde solaire placée à cette position (mais hors de l'orbite terrestre), initialement à vitesse nulle par rapport au soleil, disposant d'une voile d'un rayon de $15 [m]$ et d'une masse totale de $50 [kg]$. Quelle sera sa vitesse après 1 jour de poussée par le soleil ? Et 1 mois ? L'approximation d'une distance constante du soleil reste-t-elle valide ?

Exercice 2 – Flux de Photons (ondes cylindriques)

Un observateur est situé à une distance de $20 [m]$ d'une antenne GSM (Global System for Mobile Communications) opérant à une fréquence de $900 [MHz]$ avec une puissance de $60 [W]$ et une hauteur de $2 [m]$. Nous partons du principe que l'antenne émet des ondes électromagnétiques cylindriques avec un champ électrique de la forme :

$$\mathbf{E}(\rho, \theta, z) = \frac{A \cos(\pm k\rho - \omega t)}{\sqrt{\rho}} \hat{\mathbf{e}}_\theta$$

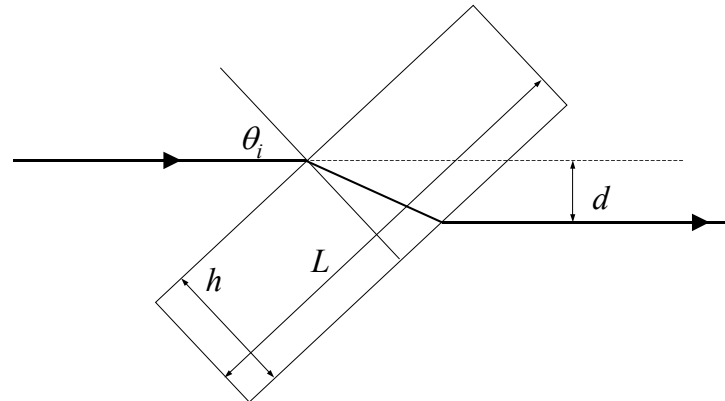
Comme dans la Série 1 : A a une dimension de $[V/m^{1/2}]$. Elle est garantit que $\mathbf{E}$ ait la dimension d'un champ électrique : $[V/m]$.

- Quelle sont l'amplitude du champ électrique et le flux de photons (nombre de photons par seconde par surface) à la position de l'observateur ?

Indication : utiliser l'équation de conservation de l'énergie vue dans le cours.

- A quelle distance de l'antenne le champ électrique devient-il inférieur à $41 \left[\frac{V}{m} \right]$, correspondant ainsi au niveau de référence ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) pour la limite d'exposition du grand publique ?
- Combien de photons sont contenus en tout temps dans un volume de $1 [m^3]$ avec une hauteur cylindrique de $2 [m]$ centrée sur l'antenne ?
- Question Bonus** : montrer que la forme du champ $\mathbf{E}$, postulée pour l'onde cylindrique, est une solution de l'équation d'onde scalaire en coordonnées cylindriques, et utiliser le vecteur de Poynting pour dériver l'intensité de l'onde en tout point, ainsi que la puissance sur une surface concentrique à l'antenne.

Série 2**30 Septembre 2024****Ondes électromagnétiques et propagation de la lumière**

Exercice 3 – Fenêtre optique plane

Une fenêtre optique d'épaisseur h et de longueur L , montrée ci-dessus, est traversée par un rayon lumineux avec un angle d'incidence θ_i . La fenêtre est fabriquée en verre d'indice de réfraction n .

- Montrer analytiquement que le rayon transmis sort de la fenêtre parallèlement à sa direction initiale. Dériver une expression pour le déplacement latéral d du rayon en fonction de son angle d'incidence θ_i . En d'autres termes, trouver la relation $d(\theta_i, h, n)$
- Combien de rayons parallèles au premier rayon réfléchi, et combien de rayons parallèles au rayon incident sont observés à la sortie de la fenêtre, si le faisceau entre au centre de la plaque ?
- Si la fenêtre est remplacée par un empilement de plaques plus fines, fabriqués en différents matériaux : le faisceau sortira-t-il toujours parallèlement à sa direction initiale ?