

Ingénierie optique, série d'exercices 10, du 25 novembre 2024

Exercice 1 Compréhension immédiate du cours

Le soleil émet 10^{45} photons par seconde dans toutes les directions (on considère qu'ils ont tous une longueur d'onde $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$). Quelle est la force exercée par ce flux solaire sur une voile de surface $S = 1 \text{ km}^2$ se trouvant sur la terre (à une distance de 150 millions de kilomètres du soleil) ?

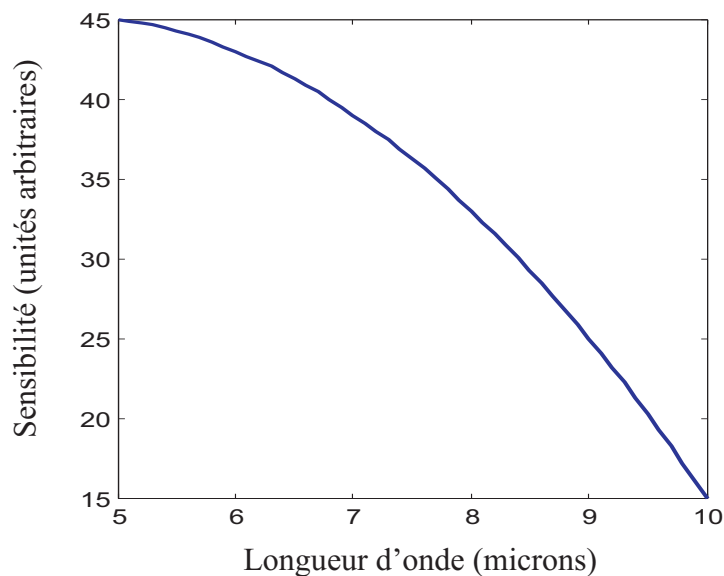
Indication : on supposera que chaque photon est entièrement réfléchi sur la voile (choc élastique qui transfère le double de la quantité de mouvement de chaque photon).

Exercice 2

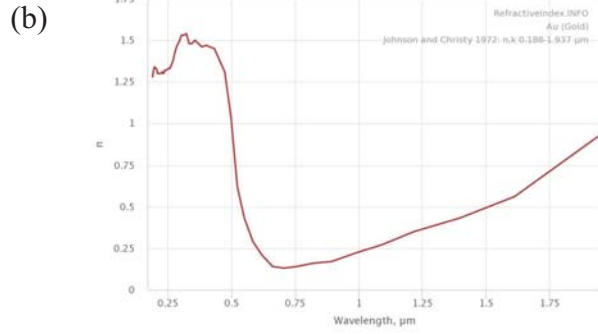
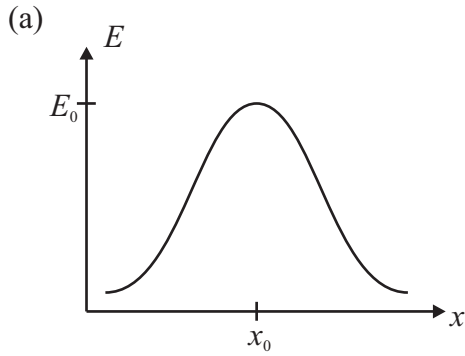
a) Calculer la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission d'un corps noir à $T_1 = 300 \text{ K}$ et à $T_2 = 400 \text{ K}$.

b) La sensibilité $\sigma(\lambda)$ en fonction de la longueur d'onde d'un film pour la thermographie est donnée sur la figure ci-dessous et peut s'écrire $\sigma(\lambda) = 50 - (\lambda - \lambda_0)^2 - \lambda$ avec $\lambda_0 = 5 \mu\text{m}$. La plage de sensibilité du film est entre $\lambda = 5 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$.

Quelle est la gamme de températures qui peut être mesurée avec ce film : étalonner le film en fonction de la température (i.e. trouver la relation entre la sensibilité et la température), en supposant que la longueur d'onde que l'on mesure correspond au maximum d'émissivité.



Exercice 3



On considère un faisceau Gaussien de largeur σ centré en $x = x_0$ avec une seule composante du champ électrique (selon y), comme indiqué sur la figure (a) ci-dessus,

$$\mathbf{E}(x, y, z) = E_0 \exp(-(x - x_0)^2 / (2\sigma^2)) \mathbf{e}_y, \quad (1)$$

avec $E_0 = 5 \cdot 10^{10} \text{ V/m}$. Dans l'approximation dipolaire, la force exercée par le champ $\mathbf{E}$ sur une sphère d'indice n_1 et de rayon a est donnée par la formule

$$\mathbf{F}(x, y, z) = 2\pi n_0^2 \epsilon_0 a^3 \left(\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \nabla E^2(x, y, z), \quad (2)$$

où n_0 est l'indice de réfraction du milieu environnant (on considérera de l'air, $n_0 = 1$), $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ N/V}^2$ est la permittivité du vide et $m = n_1/n_0$ est l'indice relatif de la sphère par rapport au milieu environnant.

On considère tout d'abord un faisceau Gaussien avec $x_0 = 0 \mu\text{m}$ et $\sigma^2 = 0.2 \mu\text{m}^2$.

- Dessiner approximativement le profil du champ électrique pour ce faisceau Gaussien.
- On considère une sphère de polystyrène avec $n_1 = 1.6$, $a = 20 \text{ nm}$ et placée au point $(x, y, z) = (1 \mu\text{m}, 0, 0)$, calculer la force exercée par le champ $\mathbf{E}$ sur cette sphère.
- On suppose maintenant que la même sphère est placée au point $(x, y, z) = (-1 \mu\text{m}, 0, 0)$, calculer à nouveau la force.
- Quelle sera la position d'équilibre de la sphère par rapport au faisceau Gaussien ?
- D'une façon générale, si le rayon a de la sphère double, comment varie la force optique ?

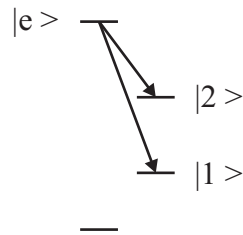
On considère maintenant un faisceau Gaussien avec $x_0 = 0 \mu\text{m}$ et $\sigma^2 = 1 \mu\text{m}^2$.

- On considère toujours une sphère de rayon $a = 20 \text{ nm}$ placée au point $(x, y, z) = (1 \mu\text{m}, 0, 0)$. Calculer la direction de la force en fonction du matériel de la sphère, lorsque $n_1 = 0.8$, $n_1 = 1.0$ ou $n_1 = 1.5$.

Certains matériaux ont des indices de réfraction qui varient avec la longueur d'onde. C'est le cas pour l'or dont l'indice de réfraction est représenté sur la figure (b) ci-dessus.

- On a trois lasers à disposition avec comme longueurs d'onde $\lambda_1 = 355 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 405 \text{ nm}$, ou $\lambda_3 = 525 \text{ nm}$. On considère une sphère d'or de rayon $a = 20 \text{ nm}$ se trouvant à l'origine $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ et un faisceau Gaussien avec $x_0 = 2 \mu\text{m}$ et $\sigma^2 = 0.5 \mu\text{m}^2$. Quel laser faut-il utiliser pour piéger cette sphère (par "piéger", on entend ici attirer la sphère vers le centre du faisceau Gaussien) ?

Exercice 4

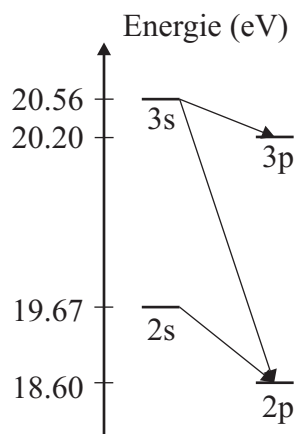


La durée de vie τ (unités [s]) d'une transition optique est l'inverse du nombre de transitions par unité de temps p (unités $[s^{-1}]$).

Un atome excité dans le niveau $|e\rangle$ peut effectuer une transition soit vers le niveau $|1\rangle$ soit vers le niveau $|2\rangle$. La durée de vie pour la transition vers le niveau $|1\rangle$ est τ_1 et celle vers le niveau $|2\rangle$ est τ_2 . Calculer la durée de vie totale pour le niveau $|e\rangle$.

Indication : on peut faire un parallèle entre ce système et le courant qui s'écoule dans les deux résistances en parallèle qui forment un diviseur de courant.

Exercice 5



Les transitions dans un laser He-Ne sont représentées ci-dessus. Il existe trois transitions possibles.

Déterminer la longueur d'onde associée à chaque transition ainsi que son domaine spectral (IR, visible, UV ; etc...).