6.4 Ondes électromagnétiques milieux-Exercice 11

Support : trente premières secondes de la vidéo https://www.youtube.com/watch?v=FeAi69lloYk extraite du film « Star wars » où des droïdes tirent sur des Jedis.

a-Estimer les longueurs d'onde des lasers des Jedis et robots, ainsi que celle du bouclier des robots. Commenter les interactions laser/bouclier.

b-On considère que le bouclier est un plasma. On suppose que la densité électronique n_e est constante dans le bouclier. Donner la définition et deux exemples de plasma. Donner la dimension de n_e, justifier que le plasma est neutre. Montrer qu'un champ magnétique peut confiner le plasma. Donner un exemple de dispositif pouvant créer un tel champ magnétique.

c-Donner la relation de dispersion dans un plasma et déterminer une condition sur n_e pour que le bouclier arrête les tirs comme sur la vidéo. Estimer n_e pour les tirs ennemis verts.

d-On suppose que le bouclier résulte d'un équilibre de forces de pression : la pression P_e du plasma et la pression P_B du champ magnétique. Justifier que $P_e = 2n_e k_B T$. Par analyse dimensionnelle, exprimer P_B.

---

a-Jedi : laser vert donc $\lambda \approx 530$ nm

Robot : laser rouge donc $\lambda \approx 650$ nm

Bouclier : couleur bleue donc $\lambda \approx 450$ nm

Le bouclier repousse les tirs laser verts.

b-Plasma : gaz ionisé
Exemples : l'ionosphère, une flamme

$[n_e] = L^{-3}$

Un atome ou une molécule du plasma perd un ou plusieurs électrons et devient un cation. L'ensemble reste globalement neutre.

Un champ magnétique exerce sur une particule chargée la force de Lorentz $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$
Cette force dévie les trajectoires et peut permettre le confinement des particules.
Un confinement par champ magnétique est réalisé dans un « tokamak ».

c-Relation de dispersion dans un plasma : $k^2 = \frac{\omega^2 - \omega_P^2}{c^2}$ avec $\omega_P = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_0}}$

Le plasma est réfléchissant pour $\omega < \omega_p$ soit : $\frac{2\pi c}{\lambda} < \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_0}}$ D'où : $\boxed{n_e > \frac{4\pi^2 c^2 m_e \varepsilon_0}{e^2 \lambda^2}}$

AN pour le vert : $n_e > 10^{28}$ m^{-3} environ

d-On suppose que le plasma est un gaz parfait avec une densité en particules (cations et électrons) de $2n_e$.
Equation d'état : $P_e V = N k_B T$ => $2n_e = \frac{N}{V} = \frac{P_e}{k_B T}$ => $P_e = 2n_e k_B T$

qvB s'exprime en N => $n_e qvB = jB$ s'exprime en N.m^{-3}
D'après l'equation de Maxwell-Ampère : $[j] = \left[\frac{B}{\mu_0}\right] L^{-1}$
Donc : $\frac{B^2}{\mu_0}$ s'exprime en N.m^{-2} homogène à une pression

On prend : $\boxed{P_B = \frac{B^2}{\mu_0}}$
