

6.3 Ondes électromagnétiques vide-Exercice 12

1- Soit une onde plane monochromatique de fréquence ν , de champ électrique $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y$.

On rappelle que l'éclairement ε est la puissance moyenne qui traverse une surface d'aire unité perpendiculaire à la direction de propagation. Exprimer ε en fonction de ε_0 , c et E_0 .

2- On considère cette onde comme un faisceau de photons se propageant dans la direction et le sens de (Ox) .

a- Exprimer le nombre N_0 de photons traversant par unité de temps l'unité de surface perpendiculaire à (Ox) en fonction de ε , ν et de la constante de Planck h .

b- L'onde arrive sur une surface plane perpendiculaire à (Ox) d'aire S parfaitement réfléchissante. On étudie le rebond des photons sur cette surface.

- Quelle est la quantité de mouvement reçue par la paroi au cours d'un choc photon-paroi ?
- Quelle est la force subie par la paroi en fonction de ε , S et c ?
- Exprimer la pression P subie par la paroi en fonction de ε et c puis en fonction de ε_0 et E_0 .

c- Reprendre la question précédente lorsque la paroi est parfaitement absorbante.

d- Calculer ε , E_0 et P sur une paroi totalement absorbante pour un laser ayant un diamètre $d = 5,0 \text{ mm}$ et une puissance moyenne $P = 1,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ (laser utilisé en industrie pour la découpe).

3-a- L'onde est maintenant absorbée par une sphère de rayon a inférieur au diamètre du faisceau.

Quelle est en fonction de ε , a et c la force subie par la sphère ?

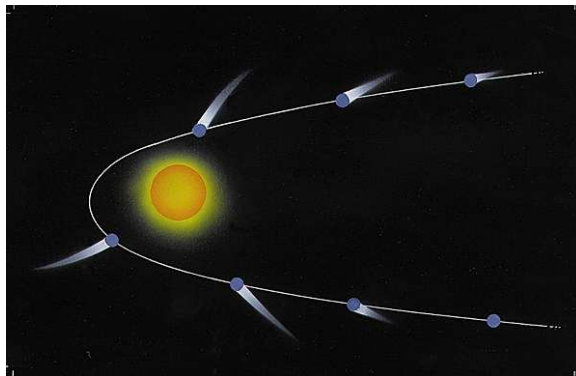
b- • Le Soleil (masse $M = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$) donne au voisinage de la Terre, située à $D = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$, l'éclairement $\varepsilon = 1,4 \cdot 10^3 \text{ W.m}^{-2}$. Quelle est la puissance P_0 émise par le Soleil ?

- Un objet sphérique de rayon a , de masse volumique μ , est dans le vide interplanétaire à la distance r du Soleil et absorbe totalement le rayonnement solaire.

Evaluer le rapport entre la force due à l'absorption du rayonnement solaire et la force gravitationnelle exercée par le Soleil sur cet objet dans les deux cas suivants :

- météorite ($a = 1,0 \text{ m}$ et $\mu = 3,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$)
- poussière interstellaire ($a = 0,10 \text{ }\mu\text{m}$ et $\mu = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$)

Interpréter l'orientation de la queue d'une comète.



6.3 Ondes électromagnétiques vide-Exercice 12

$$1 - \vec{B} = \frac{\vec{u}_x \wedge \vec{E}}{c} = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t - kx) \vec{u}_z \Rightarrow \vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0} = \frac{E_0^2}{\mu_0 c} \cos^2(\omega t - kx) \vec{u}_x \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \langle \Pi \rangle = \frac{E_0^2}{2\mu_0 c} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2}$$

2-a) L'énergie traversant 1 m² pendant 1 s est ε . Chaque photon a l'énergie $h\nu$. Donc : $N_0 = \frac{\varepsilon}{h\nu}$

b) • Lors d'un choc : $\Delta \vec{p}_{\text{photon}} = \vec{p}_{\text{ref}} - \vec{p}_{\text{inc}} = -\frac{2h\nu}{c} \vec{u}_x$

Donc : $\Delta \vec{p}_{\text{paroi}} = \frac{2h\nu}{c} \vec{u}_x$

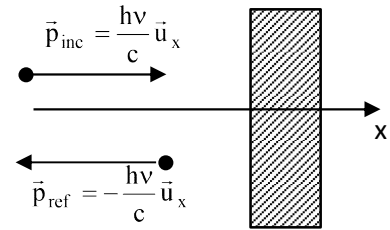
• Théorème de la quantité de mouvement à la paroi :

$$\frac{d\vec{P}_{\text{paroi}}}{dt} = \vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = \frac{\text{nombre de photons incidents pendant } dt \cdot \Delta \vec{p}_{\text{paroi}}}{dt}$$

$$\vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = \frac{N_0 S dt \cdot \Delta \vec{p}_{\text{paroi}}}{dt} = N_0 S \frac{2h\nu}{c} \vec{u}_x$$

Donc : $\vec{F}_{\text{photons} \rightarrow \text{paroi}} = S \frac{2\varepsilon}{c} \vec{u}_x$

• Cette force est proportionnelle à S donc : $P = \frac{2\varepsilon}{c} = \varepsilon_0 E_0^2$



c) Il n'y a pas de photons réfléchis donc les résultats sont divisés par 2. $P = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E_0^2$

d) $\varepsilon = \frac{P}{\pi \frac{d^2}{4}}$ A.N : $\varepsilon = 5,1.10^6 \text{ W.m}^{-2}$; $E_0 = 6,2.10^4 \text{ V.m}^{-1}$; $P = 1,7.10^{-2} \text{ Pa}$

3-a) $\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}} = P \pi a^2 \vec{u}_x$ (l'onde « voit » la section droite de la sphère)

Donc : $\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}} = \frac{\varepsilon}{c} \pi a^2 \vec{u}_x$

b) • $P_0 = 4\pi D^2 \varepsilon$ A.N : $P_0 = 4.10^{26} \text{ W}$

• $\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\| = G \frac{\mu \frac{4}{3} \pi a^3 M}{r^2}$; $\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\| = \frac{\pi a^2}{c} \varepsilon(r) = \frac{\pi a^2}{c} \frac{P_0}{4\pi r^2}$

Donc : $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = \frac{3P_0}{16\mu G c M a}$

A.N : météorite : $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = 6,2.10^{-7}$ poussière : $\frac{\|\vec{F}_{\text{onde} \rightarrow \text{sphère}}\|}{\|\vec{F}_{\text{gravitationnelle}}\|} = 18,5$

Les queues des comètes sont formées de poussières. Celles-ci sont soumises essentiellement à la force de pression de radiation. Elles vont donc s'orienter à l'opposé du Soleil.