

LA PRESSION DE RADIATION SOLAIRE

Encore et toujours la comète!. On indique à ce propos que les particules solides émises par le noyau d'une comète (lorsque celle-ci devient plus proche du Soleil) sont soumises à la "pression de radiation" solaire. Cette pression de radiation qu'il ne faut pas confondre avec un effet du "vent solaire", traduit une propriété générale de tout rayonnement électromagnétique d'exercer une force sur la matière qui le reçoit. Si la dimension des poussières n'excède pas quelques μm , ces dernières sont ainsi "soufflées" à l'opposé du Soleil et viennent former la queue de poussières de la comète.

L'explication du phénomène est simple. La force F_S exercée par la pression de radiation solaire est proportionnelle à la surface de captation donc, aussi, pour une particule à peu près sphérique, au carré de son rayon R . La force gravitationnelle F_G exercée par le Soleil sur la particule est proportionnelle à la masse de celle-ci donc approximativement au cube de son rayon. Lorsqu'on considère des valeurs de plus en plus faibles de R , F_G décroît beaucoup plus rapidement que F_S - de sorte qu'il existe un rayon critique R_C tel que $F_S = F_G$. Si $R < R_C$: $F_S > F_G$, la force exercée par le rayonnement solaire l'emportant sur la force gravitationnelle. Evaluons l'ordre de grandeur de R_C en considérant des particules sphériques homogènes de rayon R , de masse volumique μ et absorbant totalement le rayonnement. Le modèle photonique du rayonnement permet un calcul simple.

* Un photon d'énergie E transporte la quantité de mouvement $p = E/c$ ($c=3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$). Chaque photon absorbé par la particule communique à celle-ci la quantité de mouvement p . Si \mathcal{E} est l'énergie reçue puis absorbée par la particule par unité de temps, la quantité de mouvement transférée par unité de temps à la particule est \mathcal{E}/c . Cette quantité de mouvement est égale à F_S soit: $F_S = \mathcal{E}/c = 4\pi R^2 I/c$ (*), où I est l'intensité énergétique du rayonnement solaire reçu par la poussière, c'est-à-dire l'énergie transportée par unité de temps (puissance) et par unité de surface (perpendiculairement à la direction de propagation).

* La force gravitationnelle vaut: $F_G = G M M/r^2$ ($G=6,67 \times 10^{-11} \text{ SI}$) où r est la distance de la comète au Soleil, M_S la masse solaire et $M=(4/3)\pi R^3 \mu$ la masse de la particule.

En égalant F_S et F_G , on trouve aisément le rayon critique: $R_C = \frac{3}{c} \frac{I_0 r_0^2}{\mu c G M_S}$

$4\pi r_0^2 I_0$ représente la puissance totale rayonnée par le Soleil. Si I_0 est l'intensité énergétique du rayonnement solaire au niveau de la Terre, r_0 le rayon de l'orbite terrestre, la conservation de l'énergie s'exprime par: $I r^2 = I_0 r_0^2$ avec $I_0 \approx 1,4 \times 10^8 \text{ W m}^{-2}$ (constante solaire).

En outre, si v_0 est la vitesse orbitale de la Terre (référentiel de Copernic) on a: $G M_S / r_0^2 = v_0^2 / r_0$ soit $G M_S = r_0 v_0^2$ avec $v_0 \approx 30 \text{ km s}^{-1}$ d'où:

$$R_C = \frac{3}{4} \frac{I_0 r_0}{c v_0^2}$$

valeur indépendante de la distance de la comète au Soleil.

Avec $I_0 = 1,4 \times 10^8 \text{ W m}^{-2}$, $r_0 = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, $\mu = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, $c = 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $v_0 = 3 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$: $R_C = 0,6 \mu\text{m}$, ce qui fixe un ordre de grandeur de R_C .

Les particules de plus grande taille sont, au contraire, soumises essentiellement à la gravitation solaire et vont orbiter autour du Soleil en peuplant peu à peu un "essaim météoritique" localisé sur la trajectoire de la comète.

Quittons la comète sur une note futuriste; on a proposé de construire, pour manoeuvrer les vaisseaux spatiaux des "voiles solaires", très grandes plaques métalliques, utilisant la pression de radiation solaire. Le calcul précédent montre que l'épaisseur de telles voiles devrait être très faible (de l'ordre de R_C). Il est difficile de réaliser des voiles solaires qui doivent à la fois avoir une épaisseur très faible et des qualités mécaniques suffisantes.

Hubert GIE

(*) on montre que ce résultat reste vrai pour une sphère totalement réfléchissante.