
BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Le radiomètre de CROOKES^{*} et la pression de radiation

par Jean-Marie LAUGIER

Université de Provence

3, place Victor Hugo - 13331 Marseille Cedex 3

et Roland FAURE

IUSTI

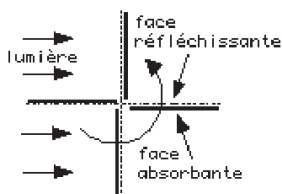
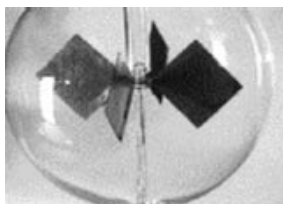
5, rue Enrico Fermi - 13453 Marseille Cedex 13

RÉSUMÉ

L'article présente une illustration de la pression de radiation à l'aide du radiomètre de Crookes. Utilisé avec un laser qui n'éclaire qu'une face brillante, le radiomètre tourne alors dans le sens inverse du sens habituel, lorsqu'il est éclairé entièrement par une lumière naturelle. On met ainsi en évidence l'effet moteur de la pression de radiation.

LE RADIOMÈTRE

Il est constitué d'une sphère de verre dans laquelle on a fait un vide partiel, et d'un croisillon monté sur un axe. Ce croisillon est composé de quatre ailettes en mica, avec une face naturelle réfléchissante et une face noircie absorbante. Utilisé dans les conditions habituelles, le radiomètre est éclairé en lumière naturelle blanche. Les ailettes tournent dans le sens tel que les faces noires «poussent».



^{*} CROOKES (sir William) Londres 1832-1919. Physicien britannique, il a isolé le thallium (1861) et montré que les rayons cathodiques sont des particules électrisées. Pour étudier les rayonnements, il construit le radiomètre (1875) puis «le tube de Crookes», source de rayons X inventé en 1879.

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

Explication sommaire

Les surfaces noires absorbent le rayonnement et s'échauffent plus que les surfaces naturelles qui réfléchissent la lumière. Les molécules du gaz à l'intérieur du radiomètre s'échauffent du côté noir et acquièrent donc une vitesse plus élevée, responsable de la pression cinétique. La pression sur la face noire étant plus forte que la pression sur la face naturelle, le moulin tourne dans le sens trigonométrique (vu de dessus).

On trouve dans la littérature plusieurs méthodes pour faire tourner le radiomètre dans l'autre sens. Ces méthodes correspondent toutes à un changement important de température du dispositif, à l'aide :

- d'une cheminée [1],
- d'un congélateur ou d'un four [2], mais éviter les congélateurs verticaux (on risque de dégeler le contenu) et les fours micro-ondes (le gaz à l'intérieur du radiomètre peut flasher),
- d'un réfrigérant pour composants électroniques [3].

On a une bonne illustration de la pression cinétique :

- si le radiomètre est en phase de réchauffement, les faces noires poussent car elles se réchauffent plus vite que les faces brillantes,
- si on est en phase de refroidissement, les faces noires qui absorbent plus vont aussi se refroidir plus vite (elles émettent plus), donc la vitesse des molécules sera plus faible au voisinage de ces faces et la pression plus faible que du côté réfléchissant. Les pales tournent dans l'autre sens, les faces brillantes «poussent».

Une approche détaillée des phénomènes physiques en compétition dans le radiomètre se trouve dans un article de S.L. PAVERI-FONTANA [4], «An elementary model for the radiometer», il s'agit de la pression de radiation et de la pression cinétique. Le calcul montre que l'effet de la pression de radiation est négligeable devant l'effet de la pression cinétique. Néanmoins, il est possible de mettre en évidence la pression de radiation et de mettre le radiomètre en rotation dans le sens tel que les faces brillantes «poussent» pour illustrer le rayonnement solaire agissant sur un voilier solaire [5]. Une première expérience a été réalisée en 1900 par P. LEBEDEV [6] et 1901 par E.F. NICHOLS, G.F. HULL [7] avec un radiomètre dans lequel un vide poussé a été obtenu.

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

PRESSION DE RADIATION ET VOILES SOLAIRES

L'idée d'utiliser des éléments réfléchissants pour propulser un vaisseau spatial est ancienne et plusieurs projets ont vu le jour. On peut citer par exemple :

- en 1970, utilisation de la pression de radiation solaire pour économiser du carburant et prolonger la mission de la sonde Mariner 10 [8],
- en 1973, travaux de la NASA et de l'ESA pour l'étude de la comète de Halley, abandonnés en 1977.

Plus récemment, un atelier sur les voiliers solaires a été organisé par le Jet Propulsion Laboratory de la NASA (février 1997).

Si on éclaire seulement les faces naturelles réfléchissantes (ou une seule) avec une source suffisamment puissante et avec un minimum d'infrarouge, on peut simuler le rayonnement solaire dans l'espace et faire tourner le radiomètre dans l'autre sens, il devient un moulin à photons. Chaque photon cède deux fois sa quantité de mouvement $h\nu/c$ à la surface après réflexion. Ce transfert de quantité de mouvement va permettre la mise en rotation du moulin.

L'expérience a été réalisée avec un radiomètre dont une seule face réfléchissante est éclairé par un laser Argon 400 mW, le démarrage est un peu poussif, mais après quelques secondes le régime permanent est atteint.

Pour cette expérience, il faut un bon radiomètre (ici le modèle de chez Pierron). Avec un laser Argon 400 mW, l'expérience ne pose aucun problème. Il est possible d'obtenir ce résultat avec un projecteur de diapositives pour lequel on focalise le faisceau sur une face réfléchissante, mais les réglages sont plus délicats.

On peut également utiliser un radiomètre grand public, mais dans le cas du modèle de «Nature et Découvertes», le moulin à photons n'a fonctionné qu'avec un laser 3 W, qui n'est pas vraiment grand public.

Une animation aux formats gif animé et QuickTime se trouve à l'adresse Internet : http://www.up.univ-mrs.fr/~laugierj/Crookes/Crookes_0.html

BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE – BUP PRATIQUE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R.E. Bell, American Journal of Physics - vol. 51 - n°7 - juillet 1983.
- [2] F.S Crawford, American Journal of Physics - vol. 53 - n° 11 - p. 1105 - novembre 1985 et vol. 54 - n° 6 - p. 490 - juin 1986.
- [3] H.S. Leff, American Journal of Physics - vol. 54 - n° 9 - septembre 1986.
- [4] American Journal of Physics - vol. 45 - n° 5 - mai 1977.
- [5] La recherche - décembre 1984.
- [6] Congrès international de physique SFP Paris 1900 - Ed : Gauthier-Villars - pp. 133-140
- [7] Phys Rev 13:307 (1901).
- [8] Bruce Murray : «*Journey into space : The first three decades of space exploration*» - septembre 1990 - Ed : W.W. Norton & Company.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier L. BOYER (Lab. Irphe Université de Provence - Marseille) pour les essais avec un laser 3 W.