

Remarques sur le photon doté d'une masse

M. SURDIN

82, rue Blanchard, F-92260 Fontenay-aux-Roses, France

RÉSUMÉ. Pour détecter une information transportée par des photons ceux-ci doivent transporter une énergie. Par la relation $E = mc^2$ ces photons sont dotés d'une masse. On étudie les ordres de grandeur de quelques propriétés de ces photons, en particulier celles de photons qui ont la fréquence de Planck, que l'on désigne par "photons de Planck".

ABSTRACT. In order to be able to detect photons that transmit information these photons should carry energy. According to the relation $E = mc^2$ these photons have mass. It is interesting to consider the order of magnitude of some physical properties of such photons, particularly those having Planck's frequency, designated hereafter as "Planck's photons".

1. Les ondes électromagnétiques ou les photons qui transportent des informations que l'on désire détecter à l'arrivée, doivent transporter de l'énergie. Par la relation

$$E = mc^2 \tag{1}$$

ils sont dotés d'une masse.

Une conséquence importante s'en suit : ces photons ne peuvent pas se propager dans le vide à la vitesse maximum possible c (on gardera la notation qui désigne par c la vitesse maximum possible). Leur vitesse, très voisine de c lui est inférieure. Dans ce qui suit, quand il n'y a pas d'ambiguïté, on conserve la notation c pour la vitesse de la lumière, c'est une approximation. L'observation de la lumière émise par des objets stellaires qui a traversé de grandes distances ne montre pas de décohérence de l'impulsion. On déduit que la vitesse de la lumière dans

le vide ne dépend pas de la fréquence. Seule la masse du photon dépend de la fréquence.

L'idée d'un photon doté d'une masse n'est pas nouvelle : dès 1922 de Broglie l'a proposée [1]. Il développe cette notion dans sa thèse [2]. Puis il y revient dans ses recherches sur la lumière en 1936 [3]. Enfin, il l'inclut dans sa théorie de la lumière [4]. Il est intéressant de considérer les ordres de grandeur de quelques propriétés de ces photons. Dans ce qui suit, on considère, en particulier, les photons qui ont la fréquence de Planck, que l'on désigne par "photons de Planck".

2. On suppose que le photon constitue un "trou noir" élémentaire dont le rayon est donné par :

$$R = 2Gm/c^2 \quad (2)$$

où G est la constante de gravitation de Newton et m est la masse du photon.

On peut écrire avec de Broglie :

$$mc^2 = h\nu \quad (3)$$

où ν est la fréquence du photon. Des équations (2) et (3) on obtient

$$R = 2G.h\nu/c^4 \quad (4)$$

Pour le photon de Planck on a :

$$\nu_p/c = 1/L_p = 1/\lambda_p$$

où $L_p = (Gh/c^3)^{1/2}$ est la longueur de Planck.

La longueur de Planck est une unité naturelle, elle peut être considérée comme la longueur minimum au-dessus de laquelle l'espace peut être considéré comme continu.

Combinant les équations (4) et (5) on obtient

$$R_p = 2(Gh/c^3).(1/L_p) = 2L_p. \quad (6)$$

Le rayon du trou noir élémentaire d'un photon de Planck est le double de la longueur de Planck. Il paraît raisonnable d'assimiler le photon de Planck à une sphère de rayon égal à la longueur de Planck $r_p = (Gh/c^3)^{1/2}$. Ainsi, quelle que soit la structure interne du photon elle se

conserve en se propageant, puisque le photon est contenu dans son trou noir élémentaire.

3. La force de gravitation entre deux photons de Planck dont les centres sont distants de $2L_p$ est :

$$F = Gmm/4L_p^2 \quad (7)$$

Utilisant les résultats précédents on obtient

$$F = h\nu_p/\lambda_p \quad (8)$$

où λ_p est longueur d'onde du photon de Planck.

La constante G disparaît de l'expression donnant la force de gravitation entre deux photons de Planck. *La force est exprimée par une forme électromagnétique.*

4. Un photon de Planck de rayon L_p a une densité d'énergie donnée par

$$\Delta_p = h\nu_p/L_p^3 \quad (9)$$

On considère les ordres de grandeur, c'est-à-dire que les facteurs numériques tels que π sont considérés comme 1.

La densité du champ de zéro (CDZ) pour la fréquence de coupure à ν_p , la fréquence de Planck, est donnée

$$\Delta_Z = h\nu_p/L_p^3 \quad (10)$$

Elle est la même (en ordre de grandeur) que la densité de l'énergie du photon de Planck.

Le nombre de photons du CDZ par unité de volume pour une fréquence de coupure de Planck est

$$n = \nu_p^3/c^3 = 1/L_p^3$$

Si on admet que la section efficace de collision du photon Planckien est $\sigma = r_p^2 = L_p^2$, le libre parcours moyen de ces photons est

$$l = 1/n\sigma = L_p \quad (12)$$

c'est-à-dire le rayon du photon de Planck.

On conclut que les photons de Planck du CDZ formeraient une "soupe dense".

On rappelle : pour que la densité du CDZ, qui croît comme ω^3 ne tende à l'infini quand $\omega \rightarrow \infty$ on a envisagé une fréquence de coupure. La fréquence proposée est

$$\omega_m = 3mc^3/2e^2 \quad (13)$$

ω_m est de 10^{20} inférieure à la fréquence de Planck.

5. Le CDZ envisagé dans le cadre de la Mécanique Quantique est un champ virtuel, alors qu'il est considéré comme réel dans le cadre de l'électrodynamique stochastique. La densité de l'énergie du CDZ est 10^{40} fois celle de la masse de l'univers [6]. Le rayonnement électromagnétique du CDZ n'est pas directement mesurable ou utilisable. Il n'a pas de masse, il ne se manifeste que par l'intermédiaire d'une interaction, alors il acquiert une masse. Le fait que le rayonnement du CDZ n'a pas de masse répond à la question, en particulier à celle de Wesson [7], à savoir : pourquoi tous les calculs de la relativité générale appliqués à l'univers n'en tiennent pas compte. On conclut que si en électrodynamique stochastique le CDZ est réel son énergie est "potentielle". On peut rapprocher ces propriétés de celles des neutrinos.

Pour la rédaction de cette note, l'auteur a bénéficié des conseils de Georges Lochak.

Note ajoutée. Récemment Kostro et Lange [8] ont considéré l'expression de la force

$$F = c^4/G \quad (14)$$

Ils ont envisagé plusieurs mécanismes où cette force pourrait intervenir. Dans le cadre du photon doté d'une masse, cette force $F = c^4/G$ est, à une constante numérique près, la force d'attraction entre deux photons de Planck au contact.

Références

- [1] Louis de Broglie, J. Phys. et le Rad. série VI Tome III, 422 (1922)

- [2] Louis de Broglie, *Recherches sur la théorie des quantas* (thèse), Ann. Phys. 10e série Tome III, Masson (1925)
- [3] Louis de Broglie, *Nouvelles recherches sur la lumière*, Hermann Paris (1936)
- [4] Louis de Broglie, *Une nouvelle théorie de la lumière, la mécanique ondulatoire du photon I, II*, Hermann Paris, 1941, 1942.
- [5] M. Surdin, Ann. Inst. Henri Poincaré **15**, 203-241 (1971)
- [6] M. Surdin, Phys. Ess. **5**, 491 (1991)
- [7] P.S. Wesson, Astrophys. J. **378**, 466 (1991)
- [8] L. Kostro et B. Lange, Phys. Ess. **12**, 182 (1999)

(Manuscrit reçu le 17 mars 1998)