ACCUEIL

Corps noirs et Trous noirs
Une question de température

Jean-François LAHAEYE, 3 décembre 2014

édité dans ce site en avril 2015

Une réflexion critique sur les concepts de température cosmologique de Planck et de température des trous noirs (température de Bekenstein-Hawking) est présentée dans cet article. Le constat que ni l'une ni l'autre ne corresponde à une température de rayonnement du corps noir conduit à la nécessité d'introduire des coefficients correctifs pour obtenir une cohérence avec celle-ci. Mais ceci s'appuie sur les reconsidérations des unités physiques naturelles qui ont fait par ailleurs l'objet d'autres articles dans le site ([1]). Admettre que la température de Bekenstein-Hawking puisse ne pas être une température de corps noir, et donc que le concept de rayonnement de Planck ne soit pas compatible avec celui des trous noirs, aurait pour conséquence une « catastrophe ultra-planckienne » dont l'analyse ouvrirait la voie d'une physique revisitée pour ces températures extrêmes ([2]).

(auteur de cette introduction : Frédéric Élie)

*

*   *

Corps noirs

La température cosmologique de Planck

$$\theta_{planck} = \sqrt{[hc^5/(2\pi\, Gk^2)]} = 1{,}42 \times 10^{32}\ \mathrm{K}$$

n'est pas une température de corps noir : pour obtenir une température de corps noir θ, il faut diviser la formule par 4,965 qui est une constante apparaissant dans les premiers articles de Max Planck en 1900 et 1901, définie par :

$$hc/(k\ \lambda_{max}\theta) = 4{,}965$$

Ici h est la constante de Planck (non réduite), λ_{max} représente la longueur d'onde du maximum de Wien, le produit ($\lambda_{max}\theta$) est la constante de Wien (égal à $2{,}897 \times 10^{-3}$), G la constante de gravitation universelle et k, la constante de Boltzmann.

---

1 - Groupe de l'analyse dimensionnelle - par Jean-François Lahaeye, 6 juin 2011
- Système d'unités: reconsidérations - par Jean-François Lahaeye, 6 février 2011
- Constante de Bayo et unités angulaires - par Jean-François Lahaeye, 11 mai 2011, avec la collaboration de Norbert Bayo
- Unités naturelles revisitées et cosmologie cohérente avec elles – par Jean-François Lahaeye, 22 février 2008 et 16 février 2009, édité dans ce site en février 2015

2 De la même manière que celle qui suivit la « catastrophe ultraviolette » au tout début du 20e siècle, qui, comme on le sait, a été à l'origine d'une nouvelle physique pour l'époque : la physique quantique.

Ce qu'on appelle température de Planck en cosmologie, ou dans la définition des unités naturelles quantiques, *est donc une grandeur totalement fictive*, contrairement à la température de corps noir, celle qui est mesurée ou présumée mesurable pour un rayonnement thermique quelconque. Mais cette grandeur fictive est nécessaire dès les premiers calculs de Planck.

Pour tout corps noir, en utilisant ν_{max} (la fréquence du maximum de Wien), on peut définir une pseudo température de Planck de forme :

$$\theta_{planck} = h\nu_{max} /k$$

On retrouve alors la température de corps noir avec $\theta_{planck}/\theta = 4{,}965$

J'ai montré dans mon analyse dimensionnelle (cf. Système d'unités: reconsidérations - par Jean-François Lahaeye, 6 février 2011, site fred.elie.free.fr) qu'il pouvait être judicieux de considérer G comme une *fonction de gravitation* (la *constante* de gravitation alors notée G_0 n'étant alors qu'un cas particulier, quand $\nu_{max} = 1/(2\pi\ \tau) = 2{,}95 \times 10^{42}$ Hz représente la fréquence de Planck, où $\tau = 5{,}391 \times 10^{-44}$ s est le temps de Planck) telle qu'à toute longueur d'onde du maximum de Wien (ou fréquence ou pulsation associée) on ait la fonction :

$$G_{max} = 2\pi c^5 / (h\omega^2_{max})$$

Pour tout corps noir, la pseudo température de Planck peut alors s'écrire :

$$\theta_{planck} = \sqrt{[hc^5 /(2\pi G_{max}\ k^2)]}$$

C'est le rapport entre cette pseudo température et la température thermodynamique vraie ou de corps noir que signifiait cette constante sans dimension introduite par Planck.

Trous noirs

La température de Bekenstein et Hawking pour les trous noirs (cf. Leonard Susskind, *Trous Noirs*, Robert Laffont, 2008, pages 161 et 173)

$$\theta_{Bekenstein} = hc^3 / (16\pi^2\ GMk)$$

n'est pas une température de corps noir. G est ici la constante de gravitation, M la masse du trou noir et k, la constante de Boltzmann.

Cette température soulève préalablement un problème de cohérence avec les dimensions angulaires : elle ne peut être accordée avec la température d'un trou noir de Planck si l'on fait $M = M_{Planck}$ (masse de Planck). Cependant tout rentre dans l'ordre si on multiplie la formule par 8π, soit :

$$\theta_{Bekenstein} = hc^3 / (2\pi\ GMk) = \theta_{planck}$$

Néanmoins la température de Planck, comme on a vu, n'étant pas une température de corps noir, il faut, de plus, diviser ce résultat par 4,965 pour trouver le corps noir associé au trou noir de masse M :

$$\theta_{Corps\ noir} = hc^3 / (4{,}965 \times 2\pi\ GMk)$$

L'entropie de Bekenstein et Hawking pour les trous noirs (voir S. Hawking, *L'univers dans une coquille de noix*, Odile Jacob, 2001) :

$$S = 2\pi\ Akc^3 / (4hG)$$

doit être multipliée par 4 pour restituer la constante de Boltzmann quand A représente l'aire de Planck (ou carré du rayon de Planck $R_0 = 1{,}616 \times 10^{-35}$ m). On vérifie alors en effet que :

$$S = 2\pi\ Akc^3 / (hG) = k$$

La constante de Boltzmann peut être regardée comme unité planckienne d'entropie.

On peut assurément se demander si la notion de corps noir conserve un sens au voisinage de ces températures extrêmes : cela supposerait que la courbe du rayonnement thermique retomberait dans un rayonnement ultra-planckien. Pour éviter cette « catastrophe ultra-planckienne », peut-être la théorie de la « relativité doublement restreinte » (lire par exemple Lee Smolin, *Rien ne va plus en physique*, Dunod, 2008, page 300) aurait-elle quelque piste à suggérer sur de pareilles extrapolations ?

Jean-François Lahaeye, 3 décembre 2014
L'École d'Autarcique Parc – Questions de Cours de Récré – N° 2