

# **La masse de la particule de matière noire : est-elle dans la gamme du keV ?**



Date de mise en ligne : samedi 1er mai 2010

**Une nouvelle analyse de la masse des particules de matière noire, prenant en compte la théorie, les observations des galaxies naines sphéroïdales satellites de la Voie Lactée et les simulations numériques tend à suggérer que la masse de la particule de matière noire pourrait être de l'ordre du keV (par comparaison  $E=mc^2 = 511\text{keV}$  est la masse de l'électron, ou 10-30kg) et la température où la matière noire se découple de la matière ordinaire et du rayonnement, serait 100 GeV au moins. Deux scientifiques de l'Observatoire de Paris et de l'Université Pierre et Marie Curie ont fait cette analyse en considérant plusieurs possibilités pour les particules de matière noire : lors du découplage elles pourraient être ultra-relativistes ou non, hors équilibre thermique local ou non. Dans tous les cas, les particules de matière noire sont assez « froides » pour permettre la formation des galaxies. Dans ce modèle, la section efficace d'annihilation ou d'auto-interaction de la matière noire est négligeable.**

Bien que le problème de la masse manquante ait été découvert il y a soixante-quinze ans (Zwicky 1933, Oort 1940), la nature de cette masse n'est pas encore connue. La matière noire non-baryonique représente environ 23% du contenu de l'Univers. Elle est faite de particules inconnues, qui n'émettent pas ou n'absorbent pas la lumière, mais sont détectées indirectement par leur gravité. La matière noire dans les galaxies voisines a un profil radial plat au centre, appelé cœur. Cette propriété est en contradiction avec les prévisions des simulations faites dans le cadre du modèle standard de la matière noire froide (CDM), qui prévoient un profil radial très pentu. Une solution à ce problème a été proposée en considérant de la matière noire chaude (WDM) ou la matière noire en auto-interaction, qui peut créer des cœurs. Cependant, la WDM prévoit des cœurs plus petits pour des systèmes de masse plus grande, en conflit avec les observations.

Depuis le début, des contraintes ont été mises sur la masse possible de n'importe quelle particule de matière noire : en raison de la diminution de la densité moyenne dans l'espace des phases ou PSD pour les particules sans collision, leur densité en nombre est toujours inférieure au maximum atteint au découplage, impliquant que leur masse doit être plus grande que 1 MeV, selon Tremaine et Gunn (1979). Ceci permet de rendre compte de la densité maximum dans l'espace des phases observée aujourd'hui dans les galaxies sphéroïdales naines. Depuis, beaucoup d'auteurs ont revu cette contrainte (par exemple Dalcanton et Hogan 2001, Madsen 2001, Boyanovsky et al 2008, Boyarsky et al 2009), et la masse minimum est une fraction de keV.

Les densités moyennes des particules dans l'espace des phases (PSD) diminuent à partir d'une valeur initiale au moment de leur découplage. La température de l'Univers à cette époque  $T_d$  est toujours un paramètre libre. Les particules peuvent se découpler comme ultra-relativistes, si  $T_d \approx mc^2$ , ou comme non-relativistes si  $T_d \ll mc^2$ . Dans les deux cas, la distance moyenne qu'elles peuvent parcourir à partir du découplage s'appelle longueur de libre parcours. Les candidats du scénario de matière noire froide CDM ont une très petite longueur de libre parcours, favorisant une approche hiérarchique de bas en haut de la formation des structures : les petites structures se forment d'abord et les fusions font croître les échelles plus grandes. Quand la longueur de libre parcours est différente de zéro au moment de la formation des structures ( $z \approx 3300$ ) elle impose une masse minimum pour les structures, car les plus petites masses ne peuvent pas se former. C'est le cas pour le scénario de matière noire chaude WDM.

Le présent travail considère que la matière noire pourrait être tiède, avec un libre parcours permettant la formation des galaxies (voir Figure 1). Avec quelques hypothèses sur l'histoire de la PSD dans le régime non linéaire, donnant quelques contraintes sur la façon dont la PSD a diminué, il est possible de dériver des limites sur  $m$  et  $T_d$ .

## La masse de la particule de matière noire : est-elle dans la gamme du keV ?

La diminution de PSD est estimée entre 1 et 10 000 pour les galaxies naines sphéroïdales. Une analyse plus précise par simulations N-corps devrait restreindre cette gamme qui dépend du type et de la taille de la galaxie considérée. La masse de la particule de matière noire, est dans la gamme du keV et la température de leur découplage est de 100 GeV au moins. Les particules de matière noire pourraient être des fermions ou des bosons (cf Figure 1).

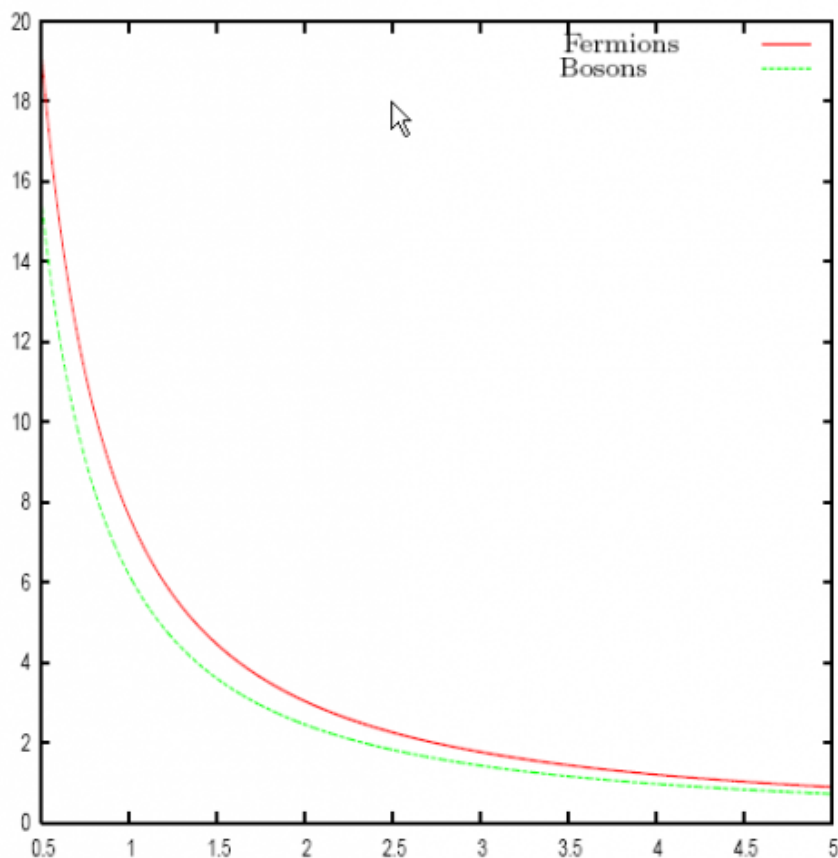


Figure 1 : La longueur de libre parcours aujourd'hui, en kpc versus la masse de la particule de matière noire, en keV. Elle décroît quand la masse croît, et ne montre pas de grosses différences entre fermions et bosons.

Dans le même cadre, sont dérivées des limites inférieures et supérieures pour la section efficace d'annihilation de matière noire. Etant donné les contraintes des observations (rayons X, optique ou lensing), l'auto-interaction de la matière noire est négligeable.

Référence H. J. de Vega, N. G. Sanchez, 'Model-independent analysis of dark matter points to a particle mass at the keV scale', 2010, MNRAS, in press

Littérature citée Dalcanton J.J., Hogan C.J. : 2001, ApJ 561, 35 Boyanovsky, D., de Vega, H.J., Sanchez, N.G. : 2008, Phys. Rev. D77, 043518 Boyarsky A., Ruchayskiy, O., Iakubovskiy, D. : 2009 JCAP 03, 005 Madsen J. : 2001, PhRvD, 64b7301 Oort, J. : 1940 ApJ, 91, 273 Tremaine S., Gunn J.E. : 1979 PhRvL 42, 407 Zwicky, F. : 1933 Helv. Phys. Acta, 6, 124

Contact

Norma Sanchez (Observatoire de Paris, LERMA, et CNRS)