

Nouvelles contraintes sur la matière noire par le télescope spatial Hubble

Dans un article récemment publié dans la revue *The Astrophysical Journal Letters* des scientifiques de l'Observatoire de Paris et de l'Observatoire Astronomique de Rome-INAF, Italie, ont développé des nouvelles méthodes pour contraindre la nature de la matière noire en utilisant les observations des galaxies lointaines du télescope spatial Hubble. C'est la première fois que des telles contraintes sont obtenues et elles ouvrent la voie à ce qui pourrait être dévoilé par le prochain télescope spatial James Webb.

Les amas de galaxies sont l'un des objets spécialement observés avec le champ profond du télescope spatial Hubble. La force de la gravité de ces amas déforme et amplifie la lumière des galaxies lointaines. Le télescope Hubble capture la lumière ainsi amplifiée révélant les galaxies lointaines et nous donne un aperçu de ce qui pourrait être dévoilé par le prochain télescope spatial James Webb.



Figure 1: Image profonde du télescope spatial Hubble de l'amas massif de galaxies Abell 2744.

Les amas des galaxies massifs déforment et amplifient la lumière des galaxies qui se trouvent loin derrière elles et de ce fait agissent comme des lentilles à cause de l'effet de la gravité: Ce phénomène appelé de "lentille gravitationnelle" permet au télescope Hubble de

voir les galaxies lointaines qui seraient autrement trop petites et trop faibles à observer. Ces images agrandies permettent de connaître la densité, nombre et distribution des galaxies lointaines qui sont les premières à se former, et cela permet d'étudier la matière noire qui constitue la majeure partie de ces galaxies.

La matière noire forme la majeure partie (81%) de la masse de l'Univers. Elle est différente de la matière visible ordinaire formée par les atomes et se manifeste essentiellement à travers l'action de la gravitation; elle est l'une des composantes essentielles des galaxies. Dans des telles proportions, matière noire et gravitation jouent un rôle déterminant dans la formation et la structuration des galaxies.

Récemment, les observations profondes de l'amas Abell 2744 et MACS 0416 ont été utilisées pour observer des galaxies lointaines avec des magnitudes ultra-faibles dans des époques comprises entre 600 millions d'années après le big bang et 900 années après le big bang (correspondant à un décalage spectral z compris entre 10 et 6). De telles mesures ont fourni des contraintes sur ces étapes d'évolution de l'univers, la formation des étoiles et les processus faisant intervenir la matière ordinaire dans les galaxies lointaines.

Cependant, la puissance de ces observations pour contraindre la nature de la matière noire n'avait pas été utilisée jusqu'à présent. Celle-ci est la tâche à laquelle s'est attelée récemment une équipe scientifique européenne, incluant une scientifique de l'Observatoire de Paris. L'équipe a montré que ces observations constituent une occasion sans précédent pour obtenir des contraintes robustes sur les masses des particules qui composent la matière noire. A l'aide de ces observations, l'équipe a combiné leur expertise en théorie et calculs analytique et numériques pour contraindre et discriminer de façon robuste les candidats de la matière noire. Et cela indépendamment des processus de la matière ordinaire intervenant dans les galaxies. En comparant les prédictions calculées avec l'abondance des galaxies ultra-faibles observées, des contraintes très fortes ont été obtenues. Ce sont les contraintes les plus robustes obtenus à partir des comptages des galaxies.

Matière noire et neutrinos "stériles"

En particulier, la forte densité des galaxies observée à l'époque $z \approx 6$ (900 millions après le big bang) a un impact très important sur les modèles de formation des galaxies surtout pour les candidats de matière noire avec des masses à l'échelle du millier d'électrons Volts (kilo eV ou keV. Un keV correspondant par équivalence à 10^{-36} g; par exemple un électron a une masse de 511 keV). La matière noire, composée des particules avec masses de l'ordre du keV est dite «tiède», par opposition à la matière noire dite «froide» dans laquelle les particules sont beaucoup plus lourdes et plus lentes.

Les candidats les plus étudiés de la matière noire tiède sont des neutrinos hypothétiques dits "stériles". Le terme stérile est utilisé pour les distinguer du neutrino actif connu du modèle standard des particules élémentaires qui dispose d'une charge électrique et qui interagit par l'interaction faible. Les neutrinos stériles n'interagissent pas avec les particules du modèle standard, (d'où leur nom "stérile"), ils interagissent seulement à travers l'interaction gravitationnelle.

La masse de la particule de matière noire détermine le spectre initial de densité des structures, qui entraîne par l'évolution la formation de structures cosmiques. Ainsi, les différents spectres sont étiquetés en fonction de la masse des particules, il existe une correspondance entre ces spectres et la masse des particules.

En comparant l'abondance mesurée des galaxies avec celle calculée permet de discriminer les candidats de matière noire: L'équipe trouve que le modèle de matière noire tiède est celui qui concorde le mieux avec ces observations et la limite trouvée pour la masse minimale des particules de matière noire tiède est $m \times 2,1$ keV avec un niveau de confiance de 3 et $m \times 2,4$ keV avec 2 . Ces contraintes se traduisent sur la masse des candidats neutrinos stériles.

Les contraintes correspondantes pour la masse du neutrino stérile dépendent du mécanisme de production de ces neutrinos, et dans tous les cas étudiés, elles situent les masses des neutrinos stériles de matière noire dans l'intervalle entre 6 keV et 10 keV.

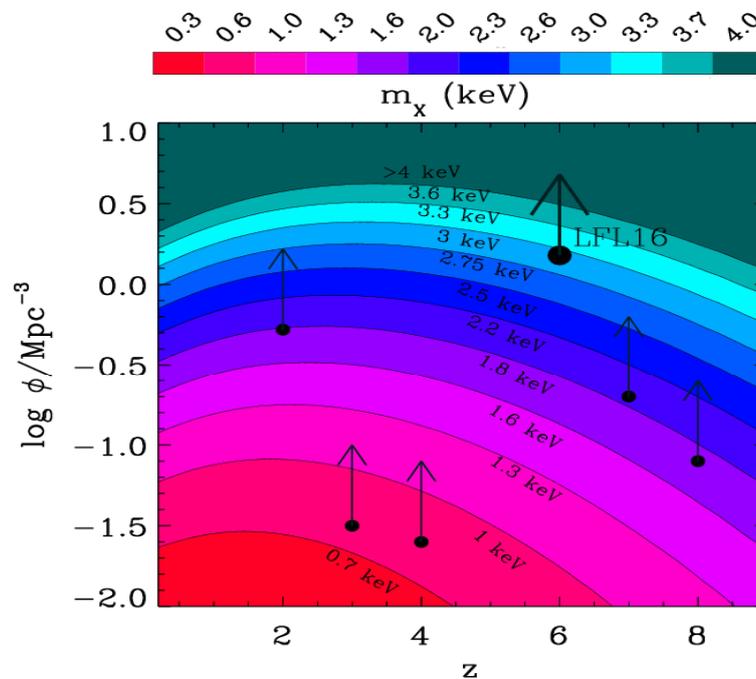


Figure 2. Les curves montrent la densité maximale des galaxies (axe vertical) calculée pour des différentes valeurs de la masse m des particules de matière noire (montrées en différentes couleurs) et en fonction des différentes époques d'évolution (désignées dans l'axe horizontal par les différents « redshifts » z). Ces abondances sont comparées aux observations permettant d'obtenir les contraintes sur la masse des particules de matière noire, la plus forte étant celle obtenue avec les observations récentes à $z = 6$ (signalée avec le cercle noir le plus grand; les autres cercles noirs indiquant des limites précédentes).

À l'avenir, ces résultats pourront encore être améliorées grâce à une statistique plus grande du champ profond de Hubble (pour passer des 167 galaxies utilisées dans cette étude à 450

galaxies à $z \sim 6$). Ces résultats peuvent être combinés aux observations des amas et galaxies dans le domaine des rayons X, et ouvrent la voie à ce qui pourrait être dévoilé pour la matière noire par le successeur de Hubble, le télescope spatial James Webb dont le lancement est attendu en 2018.

Référence:

A Stringent Limit on the Warm Dark Matter Particle Masses from the Abundance of $z = 6$ Galaxies in the Hubble Frontier Fields

N. Menci, A. Grazian, M. Castellano, N. G. Sanchez.

The Astrophysical Journal Letters, Volume 825, Issue 1, article id. L1, pp. (2016).

Pour en savoir plus:

Constraining the Warm Dark Matter Particle Mass through Ultra-deep UV Luminosity Functions at $z=2$

N. Menci, N.G. Sanchez, M. Castellano, A. Grazian,

The Astrophysical Journal 818, 90 (2016)
