

Les spectres cosmologiques de la matière noire et les débuts de la formation de structure dans l'univers

Une équipe de chercheurs de l'Observatoire de Paris, Université Pierre et Marie Curie et Université de Milano-Bicocca a calculé pour la première fois les spectres complets de fluctuations cosmologiques des différents types de matière noire et obtenu leurs formules mathématiques explicites en termes de la masse de la particule de matière noire et paramètres fondamentaux cosmologiques. Ces spectres fournissent les données initiales pour la formation des structures de l'univers, ils permettent de retracer les paramètres physiques et cosmologiques dans les différents régimes et évolution (linéaire et non-linéaire) des structures cosmiques et galaxies. Ces résultats théoriques sont d'une grande actualité pour comparer avec les observations des galaxies lointaines (à grand décalage spectral vers le rouge), et pour leurs implications pour la formation d'étoiles jeunes. Ils viennent d'être publiés dans la revue *The Physical Review*.

Contexte Le 81% de la matière dans l'univers est composé de matière noire: celle-ci est différente de la matière visible ordinaire formée par les atomes, elle n'est pas visible et se manifeste essentiellement à travers l'action de la gravitation, elle est une composante essentielle des galaxies en particulier des galaxies naines. Par conséquent, la matière noire et la gravitation jouent un rôle déterminant dans la formation et structuration des galaxies, petites et grandes structures. Les candidats pour la matière noire sont essentiellement de trois types:

(i) froide, constituée de particules très lourdes, très lentes, (leur vitesse est quasi nulle), ainsi elles sont très froides.

(ii) chaude, formée par des particules de masses très petites (quasi-nulles) avec vitesses très grandes proches de la vitesse de la lumière, mais depuis plusieurs années les observations cosmologiques, des grandes structures et des galaxies ont montré que cette matière noire chaude n'arrive pas à former des structures observées comme les galaxies.

(iii) tiède, formée par des particules avec masse à des échelles d'énergie intermédiaires (mille fois l'électron volt) et vitesses correspondantes pour produire des structures dans les échelles des galaxies. Pour les structures plus grandes, la matière noire tiède donne les mêmes résultats que la matière noire froide et elle est en accord avec les observations galactiques et cosmologiques. De ce fait, la matière noire tiède reproduit les petites structures ainsi que les grandes structures et les observations des anisotropies du CMB (fond cosmique de micro-onde).

Ce travail L'évolution des fluctuations primordiales pendant les différentes périodes d'expansion de l'univers donne lieu à la formation des structures. L'équipe a résolu mathématiquement cette évolution depuis le big-bang jusqu'à nos jours et obtenu pour la première fois les spectres cosmologiques précises de la matière noire tiède, leurs propriétés, et leur comparaison avec la matière noire froide. Ces spectres fournissent les données initiales pour la formation des structures de l'univers, ils permettent de retracer les paramètres physiques et cosmologiques dans les différents régimes des structures cosmiques : le régime linéaire (quand les fluctuations sont petites) et le régime non-linéaire (quand les structures se forment), et ils donnent lieu aux résultats suivants:

(I) Les structures non linéaires de matière noire tiède commencent à se former plus tard que dans le cas de la matière noire froide, et il apparaît clairement que diminuer la masse de la particule de matière noire retarde le début du régime non-linéaire et donc la formation des structures.

(II) Le régime non – linéaire et donc la formation de structures commence plus tôt pour les objets plus petits que pour les objets grands, donc un régime de formation de structure hiérarchique est aussi présent pour la matière tiède.

(III) L'effet de suppression de structure à petite échelle en matière noire tiède par rapport à la matière froide augmente avec le décalage spectral vers le rouge et les structures formées avec matière noire tiède reproduisent les observations à toutes les échelles : grandes et cosmologiques , intermédiaires et petites.

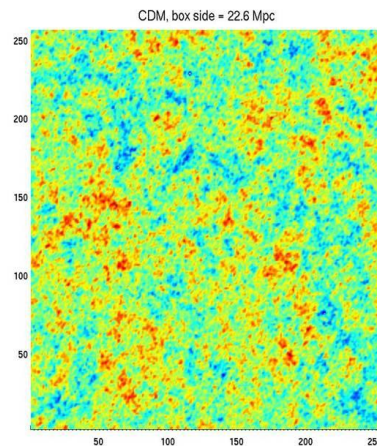


Fig.1: Fluctuations primordiales de matière noire froide: Elles produisent des grandes structures cosmiques observées mais elles donnent lieu à beaucoup trop de petites structures qui ne sont pas observées (c'est le problème dit de surabondance de substructures ou de "satellites" de la matière noire froide).

Crédit des images : C. Destri, H.J. de Vega et N.G. Sanchez

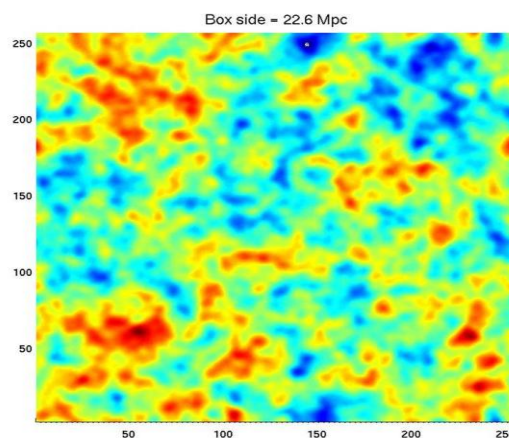


Fig. 2: Fluctuations primordiales de matière noire tiède: Elles produisent les grandes structures observées et aussi le nombre correct des petites structures qui sont effacées par rapport à celles de la matière noire froide. La raison de cet effet de "gommage" des petites structures étant dans la masse (et vitesse) des particules de matière noire tiède: elles produisent naturellement des longueurs et masses caractéristiques dans l'échelle des galaxies observées et non dans les échelles plus petites.

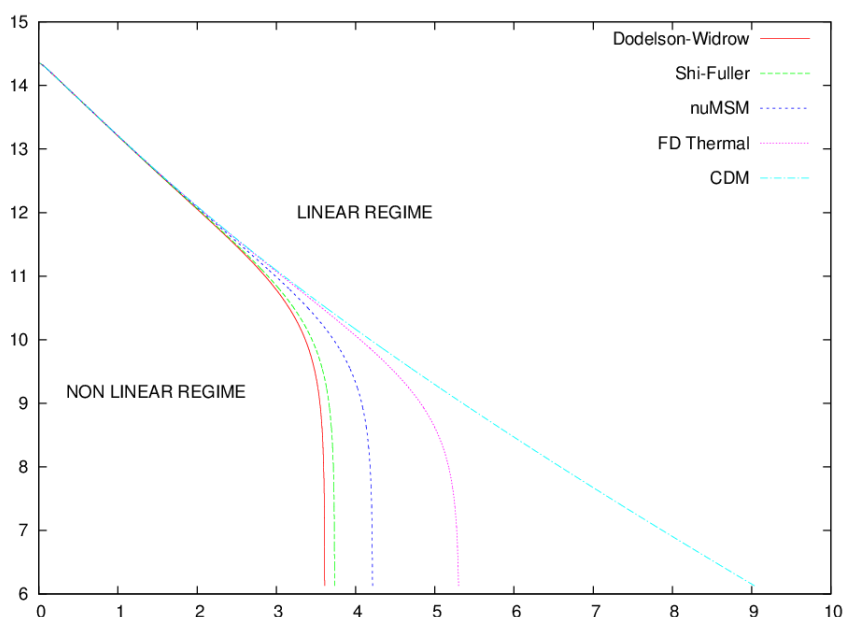


Fig. 3: Régimes linéaire et non-linéaire pour différents types de matière noire tiède et pour la matière noire froide qui est montrée par le trait bleu claire. Le diagramme montre en vertical le Logarithme de $[0.7 M/\text{Soleil}]$, M étant la masse des galaxies, versus le redshift z en horizontal. Pour des grandes masses, les matières noires froide et tiède donnent des résultats similaires. Elles diffèrent le plus pour les petites structures et pour $z > 4$, d'où l'intérêt des observations aux redshifts $z > 4$.

Des implications de grande actualité Ces prédictions théoriques sont de grande actualité pour comparer avec les observations des structures lointaines (à grand décalage spectral vers le rouge), en particulier pour les galaxies à redshifts $4 < z < 12$, et ils ont des implications pour la formation d'étoiles jeunes: l'action gravitationnelle de la matière noire tiède sur la matière visible ordinaire conduit à la formation de filaments avec des cœurs stellaires et proto-stellaires à travers le processus de fragmentation. Précisément, les résultats des observations récentes du satellite Herschel pointent vers la formation des étoiles à travers des filaments avec ces caractéristiques. De plus, par désintégration, la matière noire tiède peut aussi stimuler la production de l'hydrogène moléculaire et accélérer la formation d'étoiles à très grand redshift, qui est une autre conséquence intéressante et très actuelle de ces travaux cosmologiques.

Référence:

C. Destri, H. J. de Vega, N. G. Sanchez (L'équipe signe toujours par l'ordre alphabétique)
Warm dark matter primordial spectra and the onset of structure formation at redshift z
 Phys. Rev. D88, 083512 (2013)

Contact:

Norma G. Sanchez, directrice de recherche CNRS, LERMA Observatoire de Paris
 Héctor J. de Vega, directeur de recherche CNRS, LPTHE-UPMC & associé au LERMA Observatoire de Paris