Asociación Argentina de Astronomía
BAAA, Vol. 56, 2013
A.C. Rovero, P.B. Tissera, L.J. Pellizza & M. Lares, eds.

PRESENTACION ORAL

La abundancia de galaxias y halos de materia oscura en el universo ΛCDM

M.G. Abadi[1,2], A. Benítez Llambay[1,2] & I. Ferrero[1,2]

(1) Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET-UNC)
(2) Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

Abstract. A long-standing puzzle of ΛCDM cosmological model concerns to the different shape of the galaxy stellar mass function and the halo mass function on dwarf galaxy scales. Dwarf galaxies are much less numerous than halos massive enough to host them, suggesting a complex non-linear relation between the mass of a galaxy and the mass of its surrounding halo. Usually, this is reconciled by appealing to baryonic processes that can reduce the efficiency of galaxy formation in low-mass halos. Recent work applying the abundance matching technique require that virtually no dwarf galaxies form in halos with virial mass below $10^{10} M_{\odot}$. We use rotation curves of dwarf galaxies compiled from the literature to explore whether their total enclosed mass is consistent with these constraints. Almost one-half of the dwarfs in our sample are at odds with this restriction, they are in halos with masses substantially below $10^{10} M_{\odot}$. Using a cosmological simulation of the formation of the Local Group of galaxies we found that ram-pressure stripping against the cosmic web removes baryons from low-mass halos without appealing to feedback or reionization. This mechanism may help to explain the scarcity of dwarf galaxies compared with the numerous low-mass halos expected in ΛCDM and the large diversity of star formation histories and morphologies characteristic of faint galaxies.

Resumen. Un problema de larga data del modelo cosmológico ΛCDM es la forma diferente de la función de masa de los halos de materia oscura predicha y la de la función de masa estelar de galaxias observadas. Las galaxias enanas son mucho menos numerosas que la cantidad de halos de materia oscura suficientemente masivos como para albergarlas en su centro. Esto sugiere que existe una relación compleja, no-lineal, entre la masa estelar de una galaxia y la masa de halo de materia oscura que la rodea que asume que la eficiencia de la formación de galaxias cae abruptamente a medida que disminuye la masa de los halos. De hecho, ninguna galaxia enana debería formarse en halos menos masivos que $10^{10} M_{\odot}$. Utilizando curvas de rotación de galaxias enanas, compiladas de la literatura, encontramos que la mitad de las galaxias de nuestra muestra viven en halos sustancialmente menores a $10^{10} M_{\odot}$. Utilizando simulaciones numéricas cosmológicas del Grupo Local encontramos que la presión de barrido contra la red cósmica es capaz de remover gas de halos galácticos de baja masa reduciendo así la eficiencia de la formación de galaxias en dichos

halos. Este mecanismo podría aliviar la tensión existente entre el modelo teórico ΛCDM y las observaciones, sin la necesidad de apelar a modificaciones de este paradigma o a la inclusión de efectos astrofísicos tales como realimentación del medio (feedback) o reionización.

1. Introducción

Un problema acuciante del modelo ΛCDM es el hecho que el número de subhalos que rodean a un halo de materia oscura es sensiblemente más alto (al menos uno o dos órdenes de magnitud) que el múmero de galaxias satélites que rodea a una galaxia central típica. Este problema, conocido como satélites faltantes, se manifiesta no sólo en el número de galaxias satélites vs. subhalos, sino también en la abundancia de galaxias enanas vs. la abundacia de halos con masas suficientes como para albergar a dichas galaxias enanas. La manifestación más clara de este problema se traduce en la forma diferente de la función de masa estelar de las galaxias (por ej. Baldry et al. 2008) comparada con la función de masa de halos de materia oscura (por ej. Springel et al. 2005 y Angulo et al. 2012). La pendiente de la función de halos es mucho más empinada que la de las galaxias. Este resultado indica que mucho halos de materia oscura no han sido capaces de formar una galaxia en su centro o que efectos astrofísicos tales como explosiones de supernovas, remueven el gas de un halo impidiendo la formación de una galaxia en su pozo de potencial. Una forma usual de reconciliar este resultado es a través de un método estadístico que asigna, en un volumen determinado del universo, a cada galaxia un halo de materia oscura. La asignación se realiza ordenando la muestra de galaxias y de halos ambas en forma decreciente desde el más masivo al menos masivo. De esta manera, se contruye una relación unívoca entre la masa de un halo y la masa de la galaxia que le corresponde, que se conoce como técnica de coincidencia de las abundancias. Este método asigna a una galaxia como la Vía Láctea ($5 \times 10^{10} M_{\odot}$) un halo del orden de $2 \times 10^{12} M_{\odot}$ que está en bastante acuerdo con las estimadas de los modelos dinámicos. En escalas de masas bajas, el método predice que prácticamente no deberían formarse ninguna galaxia en halos de materia oscura de masas menores que $10^{10} M_{\odot}$ lo que usualmente se interpreta como un límite inferior en la eficiencia de formación de galaxias. Los modelos semi-analíticos de formación de galaxias aplican frecuentemente está técnica para asignar a un halo de materia oscura una galaxia en su centro. Una posibilidad interesante para verificar la robustez de este método de coincidencia de las abundancias es comparar las estimas de masas de halos de materia oscura con las estimas de masas a través de la información dinámica focalizando en escalas de galaxias enanas.

2. Resultados

En Ferrero et al. (2012), hicimos esta comparación para una muestra de unas 70 galaxias enanas con información dinámica confiable (curvas de rotación y fotometría) publicadas en la literatura. En particular, elegimos galaxias enanas aisladas con el afán de tener curvas de rotación extendidas e interacciones tidales despreciables. En esta comparación encontramos que las velocidades de rotación de galaxias enanas indican masas de materia oscura que son sistemáticamente

menores que las predichas por el modelo de coincidencia de abundancias poniendo en tela de jucio la existencia de tal límite inferior en la masa de halos de materia oscura para el proceso de formación de galaxias. En la Figura 1 mostramos la masa estelar medida de una galaxia como función de la masa de materia oscura de su halo para el modelo de coincidencia de abundancias (línea negra) y un ajuste a los datos observacionales realizado por Ferrero et al. (2012) (línea magenta). Es evidente que las observaciones predicen la existencia de galaxias con halos de materia oscura sistemáticamente menores a $10^{10} M_{\odot}$ mientras que la curva negra de Guo et al. (2010) muestra un decaimiento abrupto en esa masa. Estos resultados coinciden con el análisis llevado a cabo por Oh et al. (2011) y Boylan-Kolchin et al. (2011). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los resultados encontrados pueden estar afectados por una incorrecta interpretación en el sentido que la velocidad rotacional del HI en enanas irregulares no es una medida directa de su velocidad circular. En ese sentido, deberían tenerse en cuenta correcciones por la presión del gas, los movimientos no-circulares y la dispersión de velociades del gas. La discrepacia entre la predicción del modelo de coincidencia de las abundancias y los resultados del análisis dinámico pueden interpretarse de dos formas alternativas: 1) que las galaxias poseen menos estrellas de las que deberían de acuerdo a la cantidad de materia oscura que tienen o 2) que las galaxias poseen menos materia oscura de la que deberían de acuerdo a la masa estelar que poseen. Algunos autores han sugerido que efectos bariónicos tales como eyecciones de gas por explosiones de supernovas (Navarro et al. 1996) podrían reducir el contenido bariónico de las galaxias, o alternativamente, fluctuaciones gravitacionales creadas por regiones de formación estelar (Pontzen & Navarro 2012) podrían reducir el contenido de materia oscura de las galaxias enanas y aliviar este problema.

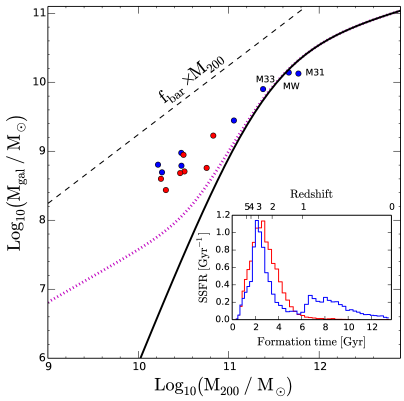


Figura 1. Relación entre masa estelar y masa de halo. La línea continua negra muestra la predicción del modelo de coincidencia de abundancias (Guo et al. 2010). La línea a trazos magenta muesta el resultado obtenido por Ferrero et al. (2012) para una muestra observacional de galaxias enanas. Los círculos llenos son los resultados de Benítez-Llambay et al. (2013) para las galaxias enanas simuladas: rojos son galaxias que sufrieron la presión de barrido con la red cósmica y estan sistemáticamente por debajo de las azules que no sufrieron este efecto.

En Benítez Llambay et al. (2013) usamos simulaciones numéricas hidrodinámicas del Grupo Local de galaxias (Yepes et al. 2013) para analizar la posibilidad de existencia de mecanismos de remoción de material bariónico alternativos al feedback o reionización. A medida que el Grupo Local se forma se desarrolla la red cósmica de estructuras en gran escala característica del modelo ΛCDM. Estas estructuras en gran escala tienen la forma de panqueques y/o filamentos enormes cuyos tamaños son del orden de varios Mpc, formadas por gas y materia oscura. Algunas galaxias, debido a su evolución orbital, pueden cruzar esta red cósmica a alta velocidad sufriendo una presión de barrido capaz de remover una fracción importante de su material bariónico sin causar daño a su halo de materia oscura. En la Figura 1, estas galaxias muestran un disminución sistemática (círculos rojos) respecto a las galaxias que no sufren dicho efecto de remoción (círculos azules). Los círculos azules marcados como MW, M31 y M33 corresponden a las galaxias análogas a la Vía Láctea, Andrómeda y M33 en la simulación. En el sub-panel inferior derecho se muestra la distribución de los tiempos de formación de las estrellas promedio para las galaxias con (rojas) y sin (azules) presión de barrido. Mientras que en las galaxias rojas no se observan que existan estrellas formadas en los últimos 7 giga-años, las azules poseen una población estelar joven. Cabe destacar que las galaxias simuladas viven en halos de materia oscura que son aún menos masivos que los de la muestra observacional (línea magenta). Este efecto de remoción es similar a la presión de barrido que experimenta una galaxia que orbita en un cúmulo produciéndole un efecto similar de pérdida de material gaseoso. La cantidad de material removido depende del balance entre la fuerza de restauración gravitacional por unidad de área que le genera el halo de materia oscura y la presión de barrido que le ejerce el filamento. Este mecanismo no había sido propuesto anteriormente y permite la remoción de material gaseoso de las galaxias enanas sin necesidad de apelar al feedback o a la reionización.

Agradecimientos. Agradecemos a nuestros colaboradores, Julio Navarro, Laura Sales, Sebastian Gurovich, Stefan Gottloeber, Matthias Steinmetz, Gustavo Yepes y Yehuda Hoffman.

Referencias

Angulo, et al., 2012, MNRAS, 426, 2046
Baldry, et al., 2008, MNRAS, 388, 945
Benítez-Llambay, et al., 2013 ApJL, 763, 41
Boylan-Kolchin, et al., 2011, MNRAS, 415, L40
Ferrero, et al., 2012, MNRAS 425, 2817
Guo, et al., 2010, MNRAS, 404, 1111
Navarro, et al., 1996, MNRAS, 283, 72
Oh, et al., 2011, AJ, 141, 193
Pontzen & Governato, 2012, MNRAS, 421, 3464
Springel, et al., 2008, Nature, 435, 629
Yepes, et al., 2013, arXiv:1312.0105