

MEMORIA DEL TFM

Santiago Arranz Sanz

Máster en Astrofísica

El objetivo de estas notas es recoger el trabajo realizado sobre el trabajo fin de máster durante las semanas que se encuentren entre las reuniones con el tutor de dicho trabajo. La principal razón de estas notas es presentar de manera ordenada al tutor lo avanzado, las dudas generadas y las ideas de futuro para dicho trabajo

20/02/2019

En la primera reunión realizada el martes 29 de enero del 2019 se marcaron los objetivos de plantear un tema para el trabajo. La idea original, realizar un trabajo relacionado con simulaciones que implicarán un modelo cosmológico que incorporase materia oscura caliente fue descartado debido a que el tiempo de las simulaciones sería muy superior al disponible para la entrega del trabajo. Por ello el tutor presento dos artículos de los cuales podrían sacar ideas a tratar en este trabajo. Sin embargo he encontrado otro tema que pueda ser interesante, si el tutor estuviese de acuerdo y lo viese factible. En este informe para el segundo día de reunión voy a tratar los siguiente temas.

1. Resumen, dudas y posibles planteamientos sobre el trabajo que ha estudiado el alumno.

Impossible Early Galaxy Problem

Resumen

El tema que propongo para el desarrollo del trabajo fin de máster, a la espera de que el tutor lo viese propio y tenga sentido, es el planteado en el artículo de Steinhardt et al. (2016) de las discordancias entre el número de densidad de los halos más masivos en redshift $z > 4$ estimado por la teoría del colaps elipsoidal de Mo et al. (2001), que extiende la idea del modelo esférico de Press & Sechter, con las estimadas de los estudios *Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Survey* (Grogin et al., 2011, CANDELS) y *Spitzer Large Area Survey with Hyper-Suprime-Cam* (Capak et al., 2012, SPLASH). El primero de ellos es un estudio sobre un área del cielo mucho más pequeña pero más profunda, centrado en buscar galaxias poco masivas y así complementar los datos hasta la fecha que no permitían generar estimaciones fiables de la densidad de los halos por su masa. Mientras que el segundo estudio sobre una área del cielo mucho mas extensa, dedicada a buscar galaxias más masivas. Con los datos generados por estos estudios, Steinhardt et al. (2016) estima el número de densidad de halos en función de su masa y redshift mediante tres métodos distintos.

1. Métodos de *clusterización*, donde inferen la masa del halo por la distribución espacial de las galaxias del halo. Según Steinhardt et al. (2016) estos métodos presentan la ventaja de que en simulaciones no se requiere asumir propiedades físicas de las galaxias solo la distribución materia oscura dada por el modelo cosmológico.
2. Otra manera de inferir la masa del halo es a través de la masa estelar del halo. A través de la relación sacada en redshift más bajos (Leauthaud et al., 2011) $M_H/M_* \sim 70$.

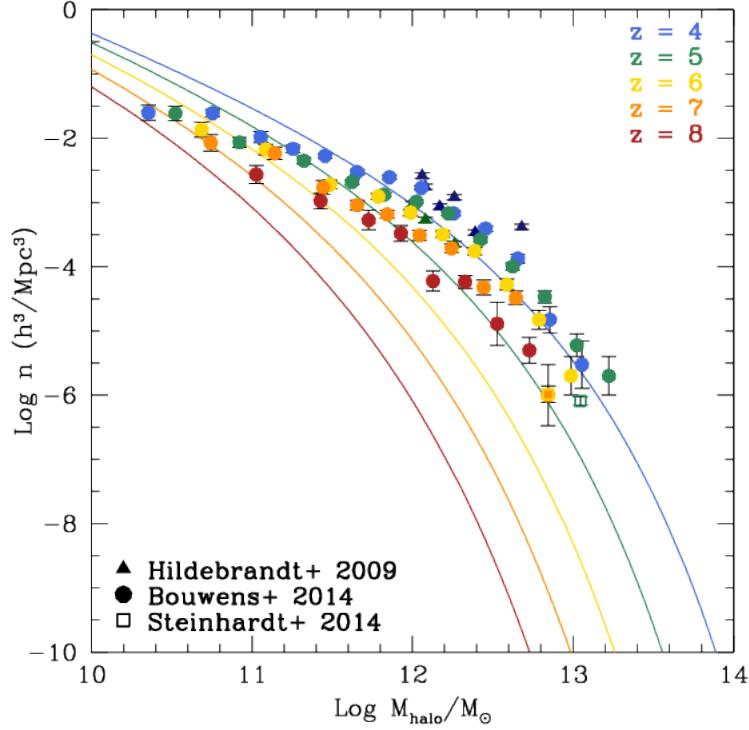


Figura 1: La densidad teórica del número de halo en función de la masa del halo y el redshift (Murray et al., 2013) para la mayoría de los halos masivos en $4 < z < 10$ (mostrados como líneas continuas, con colores más rojos con un mayor redshift) en comparación con el número en densidad de las masas de halo estimadas observacionalmente correspondientes a las galaxias de formación estelar observadas en redshifts similares. Las masas de halo se estiman usando el método de *clusterización* (triángulo), mediante la masa estelar observada con la relación $M_H/M_* \sim 70$ (cuadrada), y mediante las luminosidades UV que se convierten en masas de halo (círculo) con la relación $M_H/M_\odot \sim 120L_{UV}/L_\odot$. Todos estos métodos dan densidades numéricas coherentes que no están de acuerdo con las expectativas teóricas.

3. El último método se basa en medir la función de luminosidad en la banda UV, sacar la relación luminosidad-masa estelar y con ella sacar la relación masa halo- masa estelar con la relación del método anterior. Mediante este método se llega a la relación $M_H/M_\odot \sim 120L_{UV}/L_\odot$.

Comparando las estimaciones realizadas con los métodos anteriores con las predicciones teóricas de la función de masa del halo por HFMCalc Murray et al. (2013) basadas en Mo et al. (2001) se observa que existen grandes diferencias entre la teoría y las observaciones en el número de densidad de halos masivos, donde las observaciones dan una mayor densidad que lo que predice a teoría como se observa en la **Figura 1**.

Dada que las observaciones y la teoría son inconsistentes alguna de las dos han de ser erróneas, sino las dos. Es más lógico pensar que es la teoría la que esté incompleta pero podrían también existir ciertos problemas en las estimaciones de la masa de los halos. El método en el que el artículo de Steinhardt et al. (2016) parece más confiar es en el método de los ratios de masa del halo vs luminosidad en UV. Para dicho método predice dos posibles errores, uno que es común a todos los métodos es el error en la determinación del redshift de las galaxias, pero centra el error en otras fuentes. La principal fuente es que el comportamiento en los ratios de masa - luminosidad no permaneciesen constantes con los observados a redshifts más bajos. Según el desarrollo del paper implicaría un cambio muy brusco en dicho ratio a partir de $z=4$, lo que explica con un cambio en la IMF en redshift mayores.

Otras posibles explicaciones implicarían un cambio en la teoría, en donde se necesitaría un colapso de la materia barionica más temprano. Posibles soluciones pasan por plantearse otros modelos en donde cambien las limitaciones de

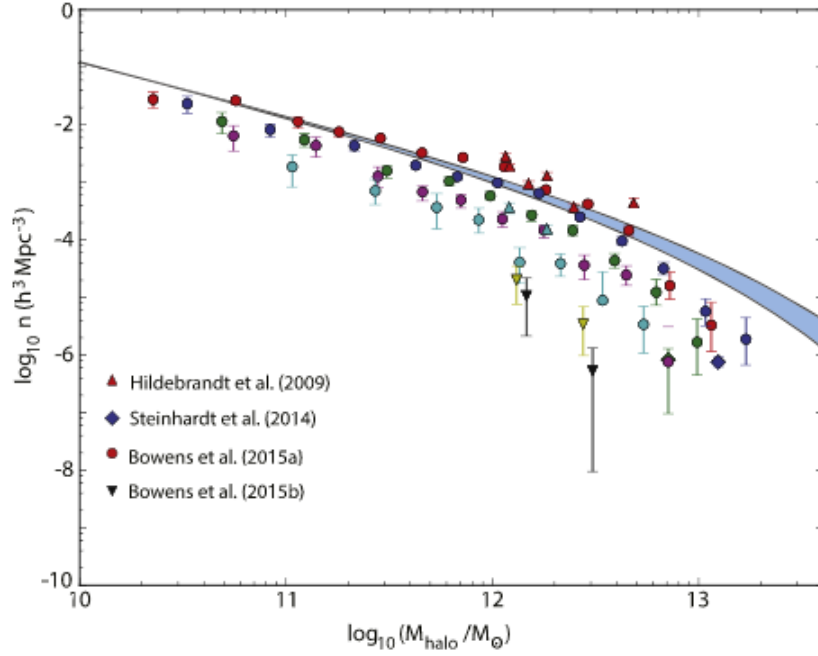


Fig. 2. Same as Fig. 1, except that the data have been recalibrated for the $R_h = ct$ universe using the ratio of differential comoving volumes in Eq. (24). The solid curves represent the halo mass function for $R_h = ct$ calculated from Eqs. (20) and (21), using a normalization $b\sigma_8(0) = 0.43$ and 0.37 . These two values bracket the 1σ variation of the optimized fit to recently published redshift space distortion measurements of the cosmological growth rate [26], which produced the value $b\sigma_8(0) = 0.40 \pm 0.03$, with b the growth factor in Eq. (18). Given the very weak dependence of $\delta_k(z)$ on redshift (Eq. (16)), the halo mass function in this model is essentially independent of z in the range 4–10.

Figura 2: .

la materia y energía oscura, como la consideración de WDM como en Gao (2007) o el cambio del parámetro de la ecuación de estado para la densidad de energía del vacío considerando $\omega > -1$, pero según el paper entra en conflictos cuando llegamos a valores $\omega > -0.95$.

Por último cita la solución de que la formación estelar ocurra mucho antes que lo que se esperaría, antes del colapso inicial de los halos. Esto debería resolver primero las difíciles limitaciones que se observan para redshift bajos y el problema del enfriamiento de pequeñas estrellas con bajas metalicidades. Sinceramente tengo grandes dudas de haberlo entendido bien pues no entiendo como es posible que la formación de estrellas llegue antes que el colapso del halo.

La idea es usar las simulaciones planteadas para el estudio de este problema bajo las tres posibles soluciones que plantea el artículo y que implicaciones tendría cada una en el modelo actual de formación de galaxias y si encontraríamos algo que entraría en discordancia con lo observado hasta la fecha. Otros paper como el de Yennapureddy and Melia (2018) plantean un cambio en el modelo cosmológico por el modelo de $R_H = ct$ explicados en el paper Shevchuk and Melia (2012) que ajustaría con mejor error las estimaciones basadas en las observaciones de CANDALS y SPLASH. (Ver Figura 2)

Planteamiento del Trabajo

Estudio del problema planteado en el paper Steinhardt et al. (2016) que me gustaría ver si estaría relacionado con la observación de quasars a altos redshift. Ver en simulaciones que posibilidades tenemos para el estudio de este problema y hasta que punto es estudiable un cambio en el modelo cosmológico de la simulación para intentar ver como responde el problema.

Resumen de la reunión.

Durante la reunión acordamos estudiar el tema planteado por el paper de Steinhardt et al. (2016) basándonos en las tres hipótesis finales para las posibles soluciones del problema. El origen de este TFM era asarnos en simulaciones para un estudio de la formación galáctica a altos redshift pero surge un inconveniente para este tema en particular. Estudiar en simulaciones este problema requiere galaxias muy masivas a altos redshift lo que requiere, por lo primero, de un gran tiempo de simulación. El tutor no descarta darme tiempo para una simulación pero hay que estar antes muy seguro del problema a estudiar.

El proposito de la siguiente semana es concretar más e tema del estudio, el tutor me citó un autor *Rodríguez Puebla* y el año 2018 para que busque papers relacionados y no descarta la posibilidad de hacer un trabajo puramente teórico y dejar a futuro trabajo el llevarlo a simulaciones. El tutor plantea la posibilidad de estudiar las diferencias en simulaciones de WDM del profesor Octavio de la UNAM para introducirlas en el trabajo.

13/03/2019

Durante los días anteriores a esta fecha de reunión me propongo estudiar los papers de Rodríguez Puebla del 2017, las posibles soluciones al problema de *Impossibly Early Galaxy Problem* (IEGP) planteado en Steinhardt et al. (2016) y su posible estudio con las simulaciones de Roca-Fàbrega et al. (2016). Durante los días he leído un artículo Montes and Trujillo (2018) que estudia la posibilidad de usar la medición de la luz intercumular (ICL) de los cúmulos galácticos para el estudio de la masa del halo. Compara la estimación con la hecha por lentes gravitacionales (GL) y la medida por rayos X (RX) y se ve que a diferencia que la medida de RX, la cual discrepa en grandes medidas la del ICL y del GL en los escenarios de interacciones gravitacionales entre galaxias y procesos de fusión, se ajusta muy bien a las medidas dadas por las GL. Este estudio solo llega a galaxias de $z < 1$, la idea es ver si es viable usar este método para la determinación de la masa del halo en $z > 4$ y si es así usarlo para la determinación de la masa de los halos estudiados por (Grogin et al., 2011, CANDELS) y (Capak et al., 2012, SPLASH).

Volviendo al artículo de Rodríguez Puebla, tras analizar los abstracts de todos los papers en el que aparece como autor principal en los años 2017 y 2018 he encontrado Rodriguez-Puebla et al. (2017) en el trata la relación masa estelar - masa halo. Esta discusión es de gran interés en el problema IEGP ya que uno de las posibles respuestas a la cuestión es la invalidez de los métodos que se usaron en la medición de la masa de los halos ya que trataban el ratio masa estelar- halo constante en el tiempo, lo que parece discutir dicho paper (Rodriguez-Puebla et al., 2017).

Observación 1 *Una posible manera de plantear el TFG es abordar la problemática de la estimación del ratio masa estelar - masa halo, considerandola como una posible solución al problema del IEGP. Otra posible solución relacionada con el error observacional es el fallo en las estimaciones de los redshifts, lo que podría solucionar el problema de los AGN tempranos, pero eso aún no he podido leer nada más.*

Referencias

- Peter Capak, Herve Aussel, Kevin Bundy, Marcella Carollo, Ranga Ram Chary, Francesca Civano, Jean Coupon, Catrina Diener, Jenifer Donley, Jim Dunlop, et al. Splash: Spitzer large area survey with hyper-suprime-cam. *Spitzer Proposal*, 2012.
- L Gao. L. gao and t. theuns, science 317, 1527 (2007). *Science*, 317:1527, 2007.

- Norman A Grogin, Dale D Kocevski, SM Faber, Henry C Ferguson, Anton M Koekemoer, Adam G Riess, Viviana Acquaviva, David M Alexander, Omar Almaini, Matthew LN Ashby, et al. Candels: the cosmic assembly near-infrared deep extragalactic legacy survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 197(2):35, 2011.
- Alexie Leauthaud, Jeremy Tinker, Kevin Bundy, Peter S Behroozi, Richard Massey, Jason Rhodes, Matthew R George, Jean-Paul Kneib, Andrew Benson, Risa H Wechsler, et al. New constraints on the evolution of the stellar-to-dark matter connection: a combined analysis of galaxy-galaxy lensing, clustering, and stellar mass functions from $z=0.2$ to $z=1$. *The Astrophysical Journal*, 744(2):159, 2011.
- H. J. Mo, Ravi K. Sheth, and Giuseppe Tormen. Ellipsoidal collapse and an improved model for the number and spatial distribution of dark matter haloes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 323(1):1–12, 05 2001. ISSN 0035-8711. doi: 10.1046/j.1365-8711.2001.04006.x. URL <https://dx.doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.04006.x>.
- Mireia Montes and Ignacio Trujillo. Intracluster light: a luminous tracer for dark matter in clusters of galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482(2):2838–2851, 2018.
- SG Murray, Chris Power, and ASG Robotham. Hmfcalc: An online tool for calculating dark matter halo mass functions. *Astronomy and Computing*, 3:23–34, 2013.
- Santi Roca-Fàbrega, Octavio Valenzuela, Pedro Colín, Francesca Figueras, Yair Krongold, Héctor Velázquez, Vladimir Avila-Reese, and Hector Ibarra-Medel. Garrotxa cosmological simulations of milky way-sized galaxies: general properties, hot-gas distribution, and missing baryons. *The Astrophysical Journal*, 824(2):94, 2016.
- Aldo Rodriguez-Puebla, Joel R Primack, Vladimir Avila-Reese, and SM Faber. Constraining the galaxy-halo connection over the last 13.3 gyrs: Star formation histories, galaxy mergers and structural properties. *MNRAS*, 470: 651–687, 2017.
- A. S. H. Shevchuk and F. Melia. The $R_h=ct$ universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419(3): 2579–2586, 01 2012. ISSN 0035-8711. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19906.x. URL <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19906.x>.
- Charles L Steinhardt, Peter Capak, Dan Masters, and Josh S Speagle. The impossibly early galaxy problem. *The Astrophysical Journal*, 824(1):21, 2016.
- Manoj K Yennapureddy and Fulvio Melia. A cosmological solution to the impossibly early galaxy problem. *Physics of the dark universe*, 20:65–71, 2018.