

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio del “*Impossible Early Galaxy Problem*” y sus posibles soluciones.

Autor:
Santiago ARRANZ SANZ

Tutor:
Dr. Santi ROCA FABREGA

*Un trabajo requerido para completar
el Máster universitario en Astrofísica*

in the

Departamento de Astrofísica

27 de abril de 2020

1 Luces y sombras del modelo cosmológico estándar

1.1. Modelo cosmológico estándar, breve descripción y principales logros.

Dentro del modelo cosmológico estándar Λ CDM, el cual queda restringido al marco de la relatividad general de Einstein con una componentes de energía oscura correspondiente a un fluido con parámetro de estado de $\omega = -1$ y a una naturaleza fría de la materia oscura denominada *Cold Dark Matter*, existe un gran consenso en la teoría de la formación y evolución de estructuras del Universo [CITA], siendo su origen las fluctuaciones cuánticas que dejó a descubierto el rápido proceso de inflación ocurrido pocos **nano segundos** después del Big Bang y que crecieron en una primera fase de manera lineal producto de procesos de autoalimentación de las fluctuaciones existente [CITA], sin embargo existe un límite donde esa descripción es válida y entran en una fase de crecimiento no lineal. Es en este punto donde el avance de las últimas décadas ha arrojado más luz, sirviéndose de simulaciones de N-cuerpos cada vez más depurados (Millennium, Bolshoi,...)[CITA] que nos permite ver como se acumula la materia oscura y modelos semi-analíticos (de Lucia,...)[CITA] donde se añaden las recetas de la física bariónica, nos permiten simular escenarios hasta el universo local pudiendo ver desde las estadísticas de grandes números [CITA] hasta las características de rotación de las galaxias espirales en $z \sim 0$ [CITA].

En el contexto de este paradigma de modelo estándar más un modelo jerárquico de evolución de galaxias, donde se considera que la evolución de las éstas parte de pequeñas galaxias que van sufriendo diversas fusiones con otras galaxias a lo largo de su vida hasta llegar formar grandes galaxias, agrupándose en grandes cúmulos [CITA]. Algunas de las predicciones o grandes logros del modelo cosmológico pueden ser la detección del fondo cósmico de microondas a una temperatura de 3°K [CITA], la abundancia de elementos ligeros como el deuterio D , el helio tres ^3He , la fracción de helio cuatro $^4\text{He}/H \sim 0,25$ y del litio siete ^7Li [CITA], la precisión de los parámetros cosmológicos deducidos por la teoría y observados como la fracción bariónica Ω_b , la abundancia de neutrinos y fotones, la precisión en el parámetro de expansión del universo y aceleración, etc [CITA].

Procesos como la observación de una gran abundancia de galaxias del tipo “temprano”¹ en el Universo local mientras que en épocas $z > 2$ su abundancia es mucho

¹El termino temprano está traducido del término “*earl-type*” en inglés en donde hace referencia a las galaxias principalmente del tipo elíptico, ya que en época de Hubble se consideraban las galaxias evolucionaban de elípticas a espirales las cuales se denotaban como del tipo “*tardío*” o en inglés “*old-type*”, cosa que se demostró no ser cierta siendo precisamente una prueba que en épocas de $z \sim 2$ la abundancia de galaxias del tipo elíptico eran mucho menos abundantes que en la actualidad.

menos notoria observándose una mayor cantidad de galaxias del tipo “*tardío*” [CITA] respaldan el modelo jerárquicos de evolución de galaxias [CITA]. Otras de éstas observaciones es la abundancia de galaxias satélites (con respecto a otros modelos de materia oscura),.....

- 1.2. Naturaleza de la materia oscura, teorías y principales ventajas y desventajas de éstas**
- 1.3. Evolución jerárquica de galaxias en la cosmología estándar.**
 - 1.3.1. Descripción y teoría.**
 - 1.3.2. Simulaciones.**
 - 1.3.3. Predicciones, Problemas y Observaciones. Hasta que punto esos problemas se pueden solucionar en el modelo estándar.**
- 1.4. El papel actual de la física barionica como héroe al rescate a los problemas de la cosmología estándar.**
- 1.5. Papel de los modelos cosmológicos ante los mismos problemas y observaciones.**
- 1.6. ¿En qué punto nos encontramos? ¿Por qué no encontramos candidatos a la CDM? Resumen.**

Bibliografía

- Behroozi, Peter y Joseph Silk (abr. de 2018). «The most massive galaxies and black holes allowed by Λ CDM». En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 477.4, págs. 5382-5387. ISSN: 0035-8711. DOI: [10.1093/mnras/sty945](https://doi.org/10.1093/mnras/sty945). eprint: <https://academic.oup.com/mnras/article-pdf/477/4/5382/24874284/sty945.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty945>.
- Behroozi, Peter y col. (2019). «UniverseMachine: The correlation between galaxy growth and dark matter halo assembly from $z=0$ -10». En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 488.3, págs. 3143-3194.
- Bouwens, RJ y col. (2015a). «Reionization after Planck: the derived growth of the cosmic ionizing emissivity now matches the growth of the galaxy UV luminosity density». En: *The Astrophysical Journal* 811.2, pág. 140.
- Bouwens, RJ y col. (2015b). «UV luminosity functions at redshifts $z=4$ to $z=10$: 10,000 galaxies from HST legacy fields». En: *The Astrophysical Journal* 803.1, pág. 34.
- Capak, Peter y col. (2012). «SPLASH: Spitzer Large Area Survey with Hyper-Suprime-Cam». En: *Spitzer Proposal*.
- Finkelstein, Steven L y col. (2015a). «An increasing stellar baryon fraction in bright galaxies at high redshift». En: *The Astrophysical Journal* 814.2, pág. 95.
- Finkelstein, Steven L y col. (2015b). «The evolution of the galaxy rest-frame ultraviolet luminosity function over the first two billion years». En: *The Astrophysical Journal* 810.1, pág. 71.
- Grogin, Norman A y col. (2011). «CANDELS: the cosmic assembly near-infrared deep extragalactic legacy survey». En: *The Astrophysical Journal Supplement Series* 197.2, pág. 35.
- Hildebrandt, H y col. (2009). «CARS: the CFHTLS-Archive-Research Survey-II. Weighing dark matter halos of Lyman-break galaxies at $z=3-5$ ». En: *Astronomy & Astrophysics* 498.3, págs. 725-736.
- Murray, SG, Chris Power y ASG Robotham (2013). «HMFcalc: An online tool for calculating dark matter halo mass functions». En: *Astronomy and Computing* 3, págs. 23-34.
- Sheth, Ravi K, HJ Mo y Giuseppe Tormen (2001). «Ellipsoidal collapse and an improved model for the number and spatial distribution of dark matter haloes». En: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 323.1, págs. 1-12.
- Steinhardt, Charles L y Josh S Speagle (2014). «A uniform history for galaxy evolution». En: *The Astrophysical Journal* 796.1, pág. 25.
- Steinhardt, Charles L y col. (2016). «The impossibly early galaxy problem». En: *The Astrophysical Journal* 824.1, pág. 21.
- Wang, T. y col. (2019). «A dominant population of optically invisible massive galaxies in the early Universe». En: *Nature* 572.7768, págs. 211-214. DOI: [10.1038/s41586-019-1452-4](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1452-4). URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1452-4>.

A Esquema

Planteamientos a contestar

1. **Introducción: Luces y sombras del modelo cosmológico estandar.**
 - 1.1 Modelo cosmológico estandar, breve descripción y principales logros.
 - 1.2 Naturaleza de la materia oscura, teorías y principales ventajas y desventajas de éstas
 - 1.3 Evolución jerárquica de galaxias en la cosmología estandar.
 - 1.3.1 Descripción y teoría.
 - 1.3.2 Simulaciones.
 - 1.3.3 Predicciones, Problemas y Observaciones. Hasta que punto esos problemas se pueden solucionar en el modelo estándar.
 - 1.4 El papel actual de la física barionica como heroe al rescate a los problemas de la cosmología estándar.
 - 1.5 Papel de los modelos cosmológicos ante los mismos problemas y observaciones.
 - 1.6 ¿En qué punto nos encontramos? ¿Por qué no encontramos candidatos a la CDM? Resumen.
2. **Impossible Early Galaxy Problem.**
 - 2.1 Descripción del problema de Steinhardt y col., 2016.
 - 2.1.1 Plateamiento de las observaciones analizadas.
 - 2.1.2 Contexto teórico usado en la comparación, ¿es válido?
 - 2.1.3 Relación con otros problemas observados (Impossible Early Quasar Problem, Agujeros negros medianos)
 - 2.2 ¿Cómo abordamos el problema?
 - 2.2.1 Los tres posibles frentes: Observaciones mal interpretadas, Papel de la física Bariónica no considerado, Modelo Cosmológico fallido.
 - 2.2.2 Soluciones planteadas en Steinhardt y col., 2016.
 - 2.2.3 Soluciones de otros autores: Las observaciones están mal interpretadas Behroozi y Silk, 2018, el modelo cosmológico es erróneo ($R_h=c$)...
 - 2.2.4 Otros trabajos que apoyan y rechazan las hipótesis de Steinhardt y col., 2016
3. **Observaciones**
 - 3.1 Observaciones basadas en el ratio luminosidad - masa halo
 - 3.1.1 Descripción de las observaciones de Bouwens y col., 2015b.

- 3.1.2 Modelo usado por Steinhardt y col., 2016 para la conversión luz-halo. Descripción del modelo *abundance matching* que enlaza luminosidad con masa estelar. Consideración del enlace entre masa estelar y masa de halo por $M_{\odot} \sim 70M_{\star}$.
- 3.1.3 Medidas de (Behroozi y col., 2019) y planteamiento de Behroozi y Silk, 2018 en el que plantea el error de Steinhardt y col., 2016. Análisis de ratio del ratio masa bariónica masa estelar. Rangos de error entre la relación SMHM. Método aplicado a las observaciones de Bouwens y col., 2015b.
- 3.1.4 Papel de nuevas observaciones en redshift altos (Wang y col., 2019).
- 3.2 Observaciones basadas en el *cluster analysis*.
 - 3.2.1 Descripción de las observaciones de Hildebrandt y col., 2009. Resumen de la metodología.
 - 3.2.2 Posibles errores cometidos en la medida de estas y su incertidumbre.
 - 3.2.3 Dependencia del modelo cosmológico.
 - 3.2.4 Dependencia del volumen de galaxias observadas. ¿Qué pasa si existen muchas más galaxias de las consideradas?
- 3.3 El papel de nuevas observaciones: *JWST*

4. El papel de la Física Bariónica

- 4.1 Planteamientos de Steinhardt y col., 2016 y efectos en las medidas.
- 4.2 Una física variante puede implicar una evolución de los ratios de luminosidad, masa estelar y masa de halo.
- 4.3 ¿Cómo considerar estos nuevos ingredientes? El papel de los modelos semi-analíticos

5. El modelo cosmológico

- 5.1 Descripción de la cosmología usada por Steinhardt y col., 2016.
- 5.2 Resultados con la variación de parámetros usados.
- 5.3 Simulaciones: Descripción de las Bolshoi y resultados con otras.
- 5.4 ¿Qué pasaría si la teoría considerada no fuera correcta?
 - 5.4.1 Consideración de otra naturaleza de la materia oscura: WDM, FDM.
 - 5.4.1.1 Descripción
 - 5.4.1.2 Papel en la evolución galáctica
 - 5.4.1.3 Simulaciones y resultados
 - 5.4.2 Variaciones de la teoría: MOND, $R_h=c, \dots$
 - 5.5.1 Descripción
 - 5.5.2 Papel en la evolución galáctica
 - 5.5.3 Simulaciones y resultados

6. ¿Y ahora qué? Como seguimos a partir de aquí.