

The Impossible Early Galaxy Problem

Santiago Arranz Sanz

June 2019

Chapter 1

Luces y sombras del modelo cosmológico estándar

- 1.1 Modelo cosmológico estándar, 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 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.

Bibliography

- Peter Behroozi and Joseph Silk. The most massive galaxies and black holes allowed by Λ cdm. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 477(4):5382–5387, 04 2018. ISSN 0035-8711. doi: 10.1093/mnras/sty945. URL <https://doi.org/10.1093/mnras/sty945>.
- Peter Behroozi, Risa H Wechsler, Andrew P Hearin, and Charlie Conroy. Universemachine: The correlation between galaxy growth and dark matter halo assembly from $z = 0$ -10. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 488(3):3143–3194, 2019.
- RJ Bouwens, GD Illingworth, PA Oesch, J Caruana, B Holwerda, R Smit, and S Wilkins. Reionization after planck: the derived growth of the cosmic ionizing emissivity now matches the growth of the galaxy uv luminosity density. *The Astrophysical Journal*, 811(2):140, 2015a.
- RJ Bouwens, GD Illingworth, PA Oesch, M Trenti, I Labbé, L Bradley, M Carollo, PG van Dokkum, V Gonzalez, B Holwerda, et al. Uv luminosity functions at redshifts $z = 4$ to $z = 10$: 10,000 galaxies from hst legacy fields. *The Astrophysical Journal*, 803(1):34, 2015b.
- 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.
- Steven L Finkelstein, Russell E Ryan Jr, Casey Papovich, Mark Dickinson, Mimi Song, Rachel S Somerville, Henry C Ferguson, Brett Salmon, Mauro Giavalisco, Anton M Koekemoer, et al. The evolution of the galaxy rest-frame ultraviolet luminosity function over the first two billion years. *The Astrophysical Journal*, 810(1):71, 2015a.
- Steven L Finkelstein, Mimi Song, Peter Behroozi, Rachel S Somerville, Casey Papovich, Miloš Milosavljević, Avishai Dekel, Desika Narayanan, Matthew LN Ashby, Asantha Cooray, et al. An increasing stellar baryon fraction in bright galaxies at high redshift. *The Astrophysical Journal*, 814(2):95, 2015b.
- 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.
- H Hildebrandt, J Pielorz, T Erben, L van Waerbeke, P Simon, and P Capak. Cars: the cfhtls-archive-research survey-ii. weighing dark matter halos of lyman-break galaxies at $z = 3$ –5. *Astronomy & Astrophysics*, 498(3):725–736, 2009.
- 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.
- Ravi K Sheth, HJ Mo, 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, 2001.
- Charles L Steinhardt and Josh S Speagle. A uniform history for galaxy evolution. *The Astrophysical Journal*, 796(1):25, 2014.
- Charles L Steinhardt, Peter Capak, Dan Masters, and Josh S Speagle. The impossibly early galaxy problem. *The Astrophysical Journal*, 824(1):21, 2016.
- T. Wang, C. Schreiber, D. Elbaz, Y. Yoshimura, K. Kohno, X. Shu, Y. Yamaguchi, M. Pannella, M. Franco, J. Huang, C. F. Lim, and W. H. Wang. A dominant population of optically invisible massive galaxies in the early universe. *Nature*, 572(7768):211–214, 2019. doi: 10.1038/s41586-019-1452-4. URL <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1452-4>.

Appendix 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 et al. [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 et al. [2016].
 - 2.2.3 Soluciones de otros autores: Las observaciones están mal interpretadas Behroozi and Silk [2018], el modelo cosmológico es erróneo ($R_h=c$)...
 - 2.2.4 Otros trabajos que apoyan y rechazan las hipótesis de Steinhardt et al. [2016]
3. **Observaciones**
 - 3.1 Observaciones basadas en el ratio luminosidad - masa halo
 - 3.1.1 Descripción de las observaciones de Bouwens et al. [2015b].
 - 3.1.2 Modelo usado por Steinhardt et al. [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 et al., 2019] y planteamiento de Behroozi and Silk [2018] en el que plantea el error de Steinhardt et al. [2016]. Análisis de ratio del ratio masa bariónica masa estelar. Rangos de error entre la relación SMHM. Método aplicado a las observaciones de Bouwens et al. [2015b].

- 3.1.4 Papel de nuevas observaciones en redshift altos [Wang et al., 2019].
- 3.2 Observaciones basadas en el *cluster analysis*.
 - 3.2.1 Descripción de las observaciones de Hildebrandt et al. [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 et al. [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 et al. [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.**