

Conexión entre el campo de densidad y velocidades peculiares en cosmología. Una herramienta de gran utilidad en la descripción de formación de estructura.

En las últimas cinco décadas, la teoría de perturbaciones cosmológicas ha tenido un progreso significativo, producto de los avances tecnológicos en las observaciones y el esfuerzo de diversos grupos de investigación que han optimizado sus modelos teóricos [Dodelson, Huterer, Mukhanov, Scoccimarro, Weinberg] y computacionales [Angulo, Fonseca(2023), Scoccimarro] para describir, de forma muy aproximada, cómo ha evolucionado el campo de densidad, dando lugar a las estructuras significativas que observamos en el universo [Scoccimarro]. En este sentido, este trabajo busca presentar un aspecto fundamental y actual en la descripción de la formación de estructura, que consiste en conectar el campo de velocidades peculiares con el campo de densidad y cómo este se puede emplear como un trazador del campo de materia y por lo tanto representar a la evolución de las inhomogeneidades, representadas como δ (densidad de contraste), en un universo en expansión bajo el paradigma Λ CDM (Lambda-Cold Dark Matter) [Dodelson, Huterer, Peebles].

De manera que, inicialmente, se presentan las ecuaciones de movimiento que enmarcan el fluido cosmológico, basadas en la Teoría General de la Relatividad [Misner, Scoccimarro], la cual es la teoría de gravedad que gobierna el universo, y en la ecuación de Boltzmann, que describe el comportamiento estadístico de sus constituyentes [Dodelson, Scoccimarro]. Así, asumiendo como punto de partida que la fuente de gravedad dominante es materia no interactuante (materia oscura fría), describiremos el régimen lineal de las ecuaciones [Fonseca (2024), Peebles, Shoji, Somogyi] y mostraremos la conexión de estos campos (densidad y velocidad), a través del factor de crecimiento $f(\Omega)$ [Peebles]; definido como $d \ln D / d \ln a$, en donde D determina la evolución lineal de las perturbaciones de densidad, a es el factor de escala y considerando únicamente los modos crecientes en la descripción de formación de estructura, desde un enfoque no relativista, el factor de crecimiento dependerá únicamente del parámetro de densidad Ω [Peebles]. Así pues, se discutirá la importancia de este factor en la cosmología moderna, y cómo de manera muy general, a partir de las observaciones y/o datos sintéticos [Carr, Carrick, Courtois, Howlett], puede inferirse para brindar información relevante sobre las no linealidades que son fuente vital en la teoría sobre formación de estructura a gran escala y a su vez cómo puede reconstruirse el campo de densidad y, eventualmente, cómo fijar restricciones sobre la cosmología [Carrick]. Finalmente, se presentará una serie de conclusiones en donde evidenciaremos de forma clara (desde el modelo teórico), la importancia de la introducción del campo de velocidades peculiares y su conexión al campo de densidad, considerando un fluido cosmológico de materia oscura y bariónica [Fonseca2, Shoji]. Ello acompañado de aspectos generales que se identifican en la estructura y manipulación de datos que involucran algunos catálogos de velocidades peculiares a bajo redshift que son trabajados por algunos de los grupos de investigación líderes en este campo [Howlett].

1. Angulo, R. and Hahn, O. (2022). Large-Scale Dark Matter Simulations. Springer Science and Business Media LLC.
2. Carr, A., Davis, T.M., Scolnic, D. et al. (2022). The Pantheon+ analysis: Improving the redshifts and peculiar velocities of Type Ia supernovae used in cosmological analyses. Publications of the Astronomical Society of Australia, 39, e046. doi:10.1017/pasa.2022.41.
3. Carrick, J., Turnbull, S.J., Lavaux, G. and Hudson, M.J. (2015). Cosmological parameters from the comparison of peculiar velocities with predictions from the 2M++ density field. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 450(1), pp.317-332. Oxford University Press (OUP). doi:10.1093/mnras/stv547.
4. Courtois, H.M., Dupuy, A., Guinet, D., Baulieu, G., Ruppin, F. and Brenas, P. (2023). Gravity in the local Universe: Density and velocity fields using CosmicFlows-4. Astronomy & Astrophysics. https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2023/aa45331-22.html
5. Dodelson, S. and Schmidt, F. (2020). Modern Cosmology. Elsevier Science.
6. Fonseca, D. and Castañeda, L. (2023). Revisión a la teoría de perturbaciones cosmológicas. Introducción a CLASS (The Cosmic Linear Anisotropy Solving System). eSPECTRA.
7. Fonseca, D. and Castañeda, L. (2024). A Brief Review of First-Order Cosmological Perturbations Including Baryonic Matter From an Eulerian Perspective. Momento, (69), pp. 17–46. doi: 10.15446/mo.n69.111610.
8. Howlett, C., Said, K., Lucey, J.R., Colless, M., Qin, F., Lai, Y., Tully, R.B. and Davis, T.M. (2022). The Sloan Digital Sky Survey peculiar velocity catalogue. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 515(1), pp.953-976. Oxford University Press (OUP). doi:10.1093/mnras/stac1681.
8. Huterer, D. (2023). A Course in Cosmology: From Theory to Practice. Cambridge: Cambridge University Press.

9. Misner, C.W., Thorne, K.S. and Wheeler, J.A. (1973). Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman.
10. Peebles, J. (1980). The Large-Scale Structure of the Universe. Princeton: Princeton University Press.
11. Mukhanov, V.F., Feldman, H.A. and Brandenberger, R.H. (1992). Theory of cosmological perturbations. Physics Reports, 215(5-6), pp.203-333.
12. Bernardeau, F., Colombi, S., Gaztanaga, E. and Scoccimarro, R. (2002). Large-Scale Structure of the Universe and Cosmological Perturbation Theory. Amsterdam: Elsevier.
13. Shoji, M. and Komatsu, E. (2009). Third-order perturbation theory with nonlinear pressure. Physical Review D, 700, July. The American Astronomical Society.
14. Somogyi, G. and Smith, R.E. (2010). Cosmological perturbation theory for baryons and dark matter: One-loop corrections in the renormalized perturbation theory framework. Physical Review D, 18, January. American Physical Society.
15. Weinberg, S. (2008). Cosmology. Oxford: Oxford University Press Inc.

Nivel de formación

Doctorado

Autor primario: FONSECA MORENO, Diego Fernando (Universidad Nacional de Colombia)

Coautores: CASTAÑEDA COLORADO, Leonardo (Docente); GÁRCIA, Luz Ángela (Universidad ECCI)

Presentador: FONSECA MORENO, Diego Fernando (Universidad Nacional de Colombia)