

Formación y Evolución de Galaxias

Modalidad: materia de posgrado y seminario de posgrado

Responsable: Dra. Sofía A. Cora

Duración: cuatrimestral (primer cuatrimestre)

Carga horaria: 96 hrs. (4 hrs. clases teóricas semanales – 2 hrs. clases prácticas semanales)

Créditos que otorga: 6.5 puntos

Contacto: sacora@fcaglp.unlp.edu.ar, sofia.cora@gmail.com

Objetivo y contenido de la materia y del seminario

El objetivo de la Materia de Posgrado y Seminario de Posgrado “Formación y Evolución de Galaxias” es proporcionar una descripción de los procesos físicos y de las observaciones astronómicas que subyacen a nuestra comprensión actual de la formación y evolución de galaxias en un Universo dominado por materia oscura y energía oscura.

El contenido de la asignatura se enfoca en los principios generales involucrados en la construcción de modelos teóricos utilizados para interpretar los datos observacionales, considerando que estos principios no cambian tan rápidamente como los detalles de observaciones o modelos específicos, los cuales corren el riesgo de quedar desactualizados en poco tiempo en un campo de rápido desarrollo, como lo es la formación y evolución de galaxias. El contenido de la materia comprende una descripción general de los aspectos observacionales relacionados con la formación y evolución de galaxias; introducción de conceptos vinculados a la naturaleza y evolución del campo de densidad cosmológico, tanto en la materia oscura no colisional como en el gas colisional; descripción de la estructura, formación y evolución de galaxias individuales, y las propiedades estadísticas de la población de galaxias; descripción de las simulaciones numéricas de N-cuerpos e hidrodinámicas y de los modelos semi-analíticos utilizados para contribuir al entendimiento de la formación y evolución de galaxias. Las simulaciones y modelos permiten interpretar datos observacionales y realizar predicciones que podrán ser constatadas con resultados de futuras observaciones. Las clases prácticas requieren de estos conceptos para aplicar los programas de análisis de los resultados de modelos y simulaciones numéricas.

Modalidad de cursada y evaluación

- **Materia de posgrado:** La aprobación de la cursada exige la realización de todos los trabajos prácticos. La evaluación final será mediante la presentación de una monografía que se extienda en algunos de los puntos dictados en la materia.
- **Seminario de posgrado:** La aprobación de la cursada exige la realización de todos los trabajos prácticos. Además, los alumnos deberán realizar dos exposiciones durante las clases teóricas en las que presentarán artículos científicos sobre algún tema específico. La evaluación final consistirá en el sorteo de uno entre cinco artículos científicos presentados durante la cursada por todos los alumnos que cursen en esta modalidad. En caso de que los artículos presentados no lleguen a la totalidad de cinco, se considerará el desarrollo de algunos de los temas dictados.

Prácticas

Las clases prácticas consisten en la utilización de programas en python para analizar las propiedades de galaxias generadas a partir de datos observacionales y de simulaciones numéricas disponibles, con el fin de que se apliquen los conocimientos adquiridos en las clases teóricas y se aprenda tanto a manejar datos de modelos como a interpretarlos en comparación con resultados observacionales.

Programa

I. Introducción. Aspectos observacionales.

Observaciones astronómicas. Fotometría. Espectroscopía. Galaxias: clasificación de galaxias. Cúmulos de galaxias. Grupos de galaxias.

II. Propiedades estadísticas de la población de galaxias.

Propiedades estadísticas de la población de galaxias: efectos de selección de los relevamientos de galaxias. Función de luminosidad: derivación, correcciones K. Distancias cosmológicas. Volúmenes cosmológicos. Función de masa estelar. Distribución de tamaños. Relación masa-metalicidad. Distribución de color (relación color-magnitud). Dependencia de la función de luminosidad con el color, la morfología, y la densidad del ambiente. Dependencia con el ambiente de la relación color-magnitud, de la fracción de galaxias rojas, de la fracción de galaxias pasivas.

III. Galaxias a alto redshift

Conteos de galaxias. Evolución de la estructura y morfología de las galaxias. Redshifts fotométricos. Relevamientos de galaxias a $z=1$. Detección de galaxias muy distantes: Galaxias Lyman-Break, Lyman-alpha emitters. Galaxias con brotes estelares. Fuentes submilimétricas, objetos extremadamente rojos, galaxias rojas distantes. Formación estelar cósmica. Diagnósticos para estimar la tasa de formación estelar en galaxias: continuo UV, líneas de emisión nebulares, líneas prohibidas, continuo en el infrarrojo lejano. Función estelar de masa y su evolución. Evolución de la función estelar de masa de galaxias pasivas y formadoras de estrellas.

IV. Modelo cosmológico estándar

Introducción: modelo cosmológico estándar, estructura a gran escala del Universo, el fondo de radiación de microondas (CMB). El modelo estándar: introducción, principio cosmológico y sus consecuencias. Métrica de Robertson-Walker y sus propiedades cinemáticas: velocidades peculiares, distancias de diámetro angular y de luminosidad, termodinámica y ecuación de estado. Cosmología relativista: ecuación de Friedmann. Las densidades al tiempo presente. La evolución de las cantidades cosmológicas. La edad del Universo. Distancias cosmológicas. Parámetros cosmológicos.

V. Formación de estructura a gran escala

Condiciones iniciales. Perturbaciones cosmológicas: inestabilidad gravitacional, regímenes lineal y no-lineal. Crecimiento de las perturbaciones en el régimen lineal: Teoría Newtoniana de las pequeñas perturbaciones, tipo de perturbaciones, inestabilidad gravitacional (masa de Jeans), evolución de las perturbaciones bariónicas, evolución de la materia oscura no-colisional, fluido colisional vs. no-colisional, la longitud de Jeans del fluido colisional, *free streaming damping*, dispersión de velocidades de la materia oscura, longitud de Jeans de la materia oscura fría. Crecimiento de las perturbaciones en la materia oscura durante la era dominada por materia, bariones y materia oscura fría combinados. Campo de densidad lineal: propiedades estadísticas, campos gaussianos, evolución del espectro de potencias, la función de transferencia.

VI. Simulaciones numéricas cosmológicas

El campo de densidad cosmológico: varianza, espectro de potencial inicial, evolución del espectro de potencias, evolución no-lineal. Simulaciones cosmológicas de formación de galaxias: condiciones iniciales. Simulaciones de materia oscura: técnicas numéricas. Resultados claves de las simulaciones de N-cuerpos: distribución de materia oscura en gran escala. Cruce de capas y virialización. Densidad de los halos de materia oscura colapsados. Función de masa de halos. Función de masa de Press-Schechter. Subestructuras. Formación de los halos de materia oscura, el ensamble de los halos de materia oscura (árboles de fusión de halos).

VII. Calentamiento y enfriamiento del gas

Formación de halos de gas caliente: *shocks* por acreción. Equilibrio hidrostático. Temperatura virial. Enfriamiento radiativo en halos de gas caliente: procesos de enfriamiento, función de enfriamiento. Equilibrio de ionización. Función de enfriamiento en condiciones de equilibrio de ionización colisional. Tiempo de enfriamiento. Enfriamiento del gas y formación de galaxias. Modo caliente vs. modo frío.

VIII. Formación estelar

Formación estelar en galaxias. Sitios de formación estelar: nubes moleculares gigantes (propiedades observadas). Mecanismos que controlan la eficiencia de formación estelar: campos magnéticos, difusión ambipolar, turbulencia supersónica, auto-regulación. Formación de nubes moleculares gigantes: formación y destrucción de hidrógeno molecular, formación de la nube, inestabilidad térmica, inestabilidad gravitacional de disco, inestabilidad de Parker; brazos espirales; interacciones y fusiones de galaxias. Leyes empíricas de formación estelar. Formación estelar en modelos semi-analíticos de formación de galaxias.

IX. Feedback de supernovas

Retroalimentación energética (feedback) de supernovas. Ejección. Calentamiento del gas. Cargas de masa y relaciones de escala. Feedback de supernovas en simulaciones numéricas.

X. Galaxias activas y feedback de núcleos galácticos activos (AGN)

Población de galaxias activas: galaxias Seyfert, radio-galaxias, quasars y QSOs, blazars. Paradigma del agujero negro supermasivo: motor central, discos de acreción, emisión en el continuo, líneas de emisión, jets, regiones de líneas de emisión y toro oscurecedor, idea de unificación. Formación y evolución de AGN: crecimiento del agujero negro supermasivo, demografía de AGN, flujo de acreción caliente, flujo de acreción frío. Rol del AGN en la formación de galaxias: retroalimentación energética (feedback) radiativa, feedback mecánico.

XI. Galaxias Simulaciones numéricas de formación de galaxias

Modelos semi-analíticos de formación y evolución de galaxias y simulaciones hidrodinámicas.

XII. Características y formación de galaxias disco

Características de galaxias disco: perfil de brillo superficial, colores, estructura vertical del disco, halos estelares, barras y brazos espirales, contenido de gas (hidrógeno atómico y molecular), metalicidad del gas (perfiles de metalicidad), cinemática (curvas de rotación), relación de Tully-Fisher. La Vía Láctea. Formación de galaxias disco. Simulaciones numéricas de formación de galaxias disco: efecto de feedback de supernovas, discos galácticos, diversidad de galaxias (diversa historia de acreción/fusión; formación de barras), la Vía Láctea.

XIII. Características y formación de galaxias elípticas

Características de galaxias elípticas: perfil de brillo superficial, parámetros estructurales, formas de las isofotas, colores, propiedades cinemáticas, relaciones de escala, contenido de gas. Formación de galaxias elípticas: escenario de formación monolítica vs. escenario de formación jerárquica. Simulaciones numéricas de formación de galaxias elípticas.

XIV. Características y formación de galaxias enanas

Características de galaxias enanas: diagrama de escala de parámetros, dicotomía en diagrama de escala de parámetros efectivos. Simulaciones numéricas de formación de galaxias enanas.

Bibliografía

- Barbuy, B., Chiappini, C., Gerhard, O., 2018, *ARA&A*, 56, 223.
- Blanton, M. R., Moustakas, J., 2009, *ARA&A*, 47, 15.
- Cappellari, M., 2016, *ARA&A*, 54, 597.
- Carilli, C. L., Walter, F., 2013, *ARA&A*, 51, 105.
- Conroy, C., 2013, *ARA&A*, 51, 39.
- Conselice, C. J., 2014, *ARA&A*, 52, 291.
- D'Onghia, E., Fox, A. J., 2015, *ARA&A*, 54, 363.
- Kormendi, J., Ho, L. C., 2013, *ARA&A*, 51, 511.
- Longair, M. S., 2008, *Galaxy Formation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Madau, P., Dickinson, M., 2014, *ARA&A*, 52, 415.
- Maiolino, R., Mannucci, F., 2019, *A&ARv*, 27, 3.
- Mo, H., van den Bosch, F. C., White S. D. M., 2010, *Galaxy Formation and Evolution*, Cambridge; Nueva York: Cambridge University Press.
- Naab, T., Ostriker, O. J., 2017, *ARA&A*, 55, 59.
- Putman, M. E., Peek, J. E. G., Joung, M. R., 2012, *ARA&A*, 50, 491.
- Salucci, P., 2019, *A&ARv*, 27, 2.
- Shapley, A. E., 2011, *ARA&A*, 49, 5.
- Silk, J., Mamon, G. A., 2012, *RAA*, 917, 946.
- Somerville, R. S., Dave, R., 2015, *ARA&A*, 53, 51.
- Sparke, L. S., Gallagher III, J. S., *Galaxies in the Universe, an Introduction*, 2007, Cambridge; Nueva York: Cambridge University Press.
- Stark 2016, D. P., *ARA&A*, 54, 761.
- Tumlinson, J., Peebles, M. S., Werk J. K., 2017, *ARA&A*, 55, 38.
- Wechsler, R. H., Tinker, J. L., 2018, *ARA&A*, 56, 435.
- Weinberg, S., 1972, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley & Sons, Nueva York.