



Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas (curso 2022-2023)

Responsable de tutorización: José Ignacio Illana Calero

Correo electrónico: jillana@ugr.es

Departamento: Física Teórica y del Cosmos

Área de conocimiento: Física Teórica

Responsable de cotutorización:

Correo electrónico:

Departamento:

Área de conocimiento:

(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)

Estudiante que propone el trabajo: David Jesús Árbol Guerrero

Título: Geometría, cosmología y nucleosíntesis primordial

Número de créditos: 6 ECTS 12 ECTS

Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):

- 1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
- 2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
- 3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
- 4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
- 5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
- 6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

Descripción y resumen de contenidos:

El Modelo Estándar de la Cosmología establece que el universo comenzó con el *Big Bang*. Aparte de la expansión del universo y la existencia de la radiación de fondo de microondas, una de las principales pruebas que validan este modelo es la *nucleosíntesis primordial* (BBN), que predice las abundancias relativas de los núcleos más ligeros (deuterio, helio-3, helio-4 y litio-7), sintetizados en los tres primeros minutos conforme el universo se va enfriando [1]. Es impresionante que las observaciones confirman en general con gran precisión las predicciones [2], a pesar de que las abundancias relativas abarcan nueve órdenes de magnitud y solo existe un parámetro libre: la proporción entre bariones y fotones, o equivalentemente la densidad bariónica del universo. El resto está fijado por el Modelo Estándar de la Física de Partículas y por la Relatividad General, lo que supone un importante test de consistencia de nuestras teorías fundamentales. En la actualidad solo existe una discordancia en la abundancia del litio [2,3].

En este trabajo se estudiará la nucleosíntesis primordial. Se introducirá previamente el marco teórico en el que se desarrolla [4,5,6], se explicará en qué consiste y finalmente se derivarán sus predicciones tanto cualitativamente como también de forma más precisa con ayuda de un programa que implementa todas las reacciones nucleares necesarias [7]. El trabajo permitirá al alumno aplicar conocimientos adquiridos en diversas asignaturas de Física y Matemáticas.

Actividades a desarrollar:

1. Describir la *geometría* de nuestro modelo de universo (homogéneo e isótropo, según el principio cosmológico) basada en la métrica de Friedmann-Robertson-Walker. Estudiar la evolución temporal del factor de escala en distintas épocas y definir la edad del universo, el desplazamiento al rojo, el concepto de distancia y los parámetros cosmológicos.
2. Estudiar la *termodinámica* del universo en expansión en la época dominada por la radiación (los primeros cientos de miles de años, hasta el momento de la recombinación cuando el universo se hizo transparente a los fotones) usando las partículas del Modelo Estándar que se encuentran en equilibrio y son relativistas a una temperatura dada.
3. Describir la *historia térmica* del universo, identificando los sucesos más destacados (la desaparición de especies masivas, el desacoplamiento de los neutrinos, la recombinación, etc.).
4. Deducir en qué momento se produce la *nucleosíntesis*, cómo se desarrolla y de qué parámetros depende [2].
5. Utilizar el programa *PRIMAT* [7] para encontrar (i) la evolución de las abundancias con el tiempo, y (ii) las abundancias relativas finales como función de la densidad bariónica. Alterar el número efectivo de familias de neutrinos y discutir sus consecuencias.
6. Comparar los resultados con las observaciones. Discutir el *problema del litio*.

Objetivos planteados

Obtener las ecuaciones de Einstein para la métrica de Friedmann-Robertson-Walker

Comprender la termodinámica del universo en expansión

Localizar en el tiempo los hitos que han dado lugar al universo que hoy conocemos

Reproducir las abundancias de los núcleos primordiales y discutir la tensión con las observaciones

Bibliografía

[1] S. Weinberg, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, Basic Books, 1977.

[2] B.D. Fields, P. Molaro, S. Sarkar, *Big Bang Nucleosynthesis*, in *Review of Particle Physics*, Prog. Theor. Exp. Phys. **2020** (2020) 083C01.

[3] B.D. Fields, K.A. Olive, T.H. Yeh, C. Young, *Big-Bang Nucleosynthesis after Planck*, JCAP **03** (2020) 010.

[4] L. Bergström, A. Goobar, *Cosmology and Particle Astrophysics*, 2nd edition, Springer, 2004.

[5] E.W. Kolb, M.S. Turner, *The Early Universe*, Addison Wesley, 1990.

[6] G. Steigman, *Primordial Nucleosynthesis in the Precision Cosmology Era*, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. **57** (2007) 463.

[7] C. Pitrou *et al.*, *Precision big bang nucleosynthesis with improved Helium-4 predictions*, Phys. Rep. **04** (2018) 005; Mathematica code *PRIMAT* [<http://www2.iap.fr/users/pitrou/primat.htm>].

Firma del estudiante
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de tutorización
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de cotutorización *(en su caso)*
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

En Granada, a 17 de mayo de 2022