



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Transiciones de fase cosmológicas: ondas gravitacionales y agujeros negros primordiales

Descripción general (resumen y metodología):

El Modelo Estándar de Partículas es muy exitoso en la descripción de los procesos físicos hasta energías de unos cuantos Tera-electronvoltios. No obstante, existen problemas tanto a nivel experimental como teórico (materia oscura, problema de las jerarquías, etc) que indican que el Modelo Estándar es en realidad una teoría efectiva que debe completarse a energías más altas.

En este trabajo se pretende estudiar la física de las transiciones de fase cosmológicas en el marco de la Física más allá del Modelo Estándar de Partículas. El estudio se abordará con una teoría con dimensiones extra. El modelo que se usará constituirá una generalización del modelo de Randall-Sundrum [1]. Para cada tipo de campo, esta clase de modelos predice estados nuevos con masas más pesadas que las masas de las partículas conocidas hasta la fecha, y son los llamados modos de Kaluza-Klein. Además, estos modelos predicen un nuevo campo denominado radión [2].

Aparte de las transiciones de fase de QCD y Electrodébil, las teorías con dimensiones extra predicen la existencia de nuevas transiciones de fase de primer orden relacionadas con el radión [3], y su efectos podrían ser relevantes en cosmología ya que pueden generar de ondas gravitacionales [4], así como dar lugar a la formación de agujeros negros primordiales [5]. Estos fenómenos son más intensos en transiciones de fase con super-enfriamiento.

Este trabajo estará centrado en el estudio de la transición de fase del radión para un modelo con una o varias branas, desde una fase deconfinada a temperatura alta, a una fase confinada a temperatura baja. Se hará un estudio de los parámetros más relevantes de la transición de fase: temperaturas de nucleación y de recalentamiento, calor específico y duración de la transición; y se analizará su capacidad para generar de ondas gravitacionales detectables en los interferómetros presentes o futuros [6]. Asimismo, se estudiará la probabilidad de formación de agujeros negros primordiales, sus masas y abundancia, y la posibilidad de que estos objetos sean responsables de la materia oscura.

Las técnicas matemáticas a desarrollar son los métodos basados en las teorías de gravedad en dimensiones extra, con acoplamiento de un campo escalar. El estudio de la transición de fase exigirá una resolución numérica de la ecuación de movimiento del radión, que se comparará con ciertas aproximaciones analíticas, por ejemplo dentro de la aproximación de pared gruesa [7, 8]. Otros trabajos relacionados con el estudio propuesto en este TFG son [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

- 1) Estudio de la transición de fase del radión, desde una fase deconfinada a temperatura alta, a una fase confinada a temperatura más baja. Se hará un estudio de los parámetros más relevantes de la transición: temperaturas crítica, de nucleación y de recalentamiento, calor específico y tiempo de duración de la transición.
- 2) Se estudiará un mecanismo de formación de agujeros negros primordiales basado en la generación de inhomogeneidades durante el proceso de enfriamiento.
- 3) Se hará una predicción de: i) la intensidad y pico en frecuencia de la señal de ondas gravitacionales generadas por la transición, ii) masa y abundancia de agujeros negros primordiales, y iii) capacidad de los interferómetros actuales o futuros de detectar señales.

Bibliografía básica:

- [1] "A large mass hierarchy from a small extra dimension", L. Randall, R. Sundrum, Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 3370.
- [2] "Radion dynamics and electroweak physics", C. Csaki, M.L. Graesser, G.D. Kribs, Phys. Rev. D63 (2001) 065002.
- [3] "Holography and the electroweak phase transition", P. Creminelli, A. Nicolis, R. Rattazzi, JHEP 03 (2002) 051.
- [4] "Cosmological Phase Transitions in Warped Space: Gravitational Waves and Collider Signatures", E. Megías, G. Nardini, M. Quirós, JHEP 09 (2018) 095.
- [5] "Primordial black holes from strong first-order phase transitions", M. Lewicki, P. Toczek, V. Vaskonen, JHEP 09 (2023) 092.
- [6] "Detecting gravitational waves from cosmological phase transitions with LISA: an update", C. Caprini, et al., JCAP 03 (2020) 024.
- [7] "A Perturbative RS I Cosmological Phase Transition", D. Bunk, J. Hubisz, B. Jain, Eur. Phys. J. C78 (1) (2018) 78.
- [8] "Gravitational Imprints from Heavy Kaluza-Klein Resonances", E. Megías, G. Nardini, M. Quiros, Phys. Rev. D102 (5) (2020) 055004.
- [9] "Gravitational Wave Production by Collisions: More Bubbles", S. J. Huber, T. Konstandin, JCAP 0809 (2008) 022.
- [10] "Soft-wall stabilization", J. Cabrer, G. Gersdorff, M. Quirós, New J. Phys. (2010) 065012.
- [11] "On bubble collisions in strongly supercooled phase transitions", M. Lewicki, V. Vaskonen, Phys. Dark Univ. 30 (2020) 100672.
- [12] "Supercooling in radiative symmetry breaking: theory extensions, gravitational wave detection and primordial black holes", A. Salvio, JCAP 12 (2023) 046.
- [13] "Slaying axion-like particles via gravitational waves and primordial black holes from supercooled phase transition", A. Conani, L. Delle Rose, P.S. Bhupal Dev, A. Ghoshal, JHEP 12 (2024) 196.
- [14] "Complementary probes of warped extra dimension: colliders, gravitational waves and primordial black holes from phase transitions", A. Ghoshal, E. Megías, G. Nardini, M. Quirós, eprint arXiv:2502.03588 [hep-ph].

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Se recomienda que el alumno curse las asignaturas "Relatividad General" y "Teoría de Campos y Partículas".

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: EUGENIO MEGÍAS FERNÁNDEZ

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

Correo electrónico: emegias@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos: MANUEL MARÍA PÉREZ-VICTORIA MORENO DE BARREDA

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: mpv@ugr.es

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico: