UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-129-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Efectos infrarrojos en teorías gauge

Descripción general (resumen y metodología):

El estudio de las simetrías asintóticas ha revelado una conexión profunda e inesperada entre la estructura infrarroja de las teorías gauge y gravitatorias y las simetrías del espacio-tiempo en el infinito. En espacio-tiempo asintóticamente plano, el grupo de simetrías es más amplio que el grupo de Poincaré y está descrito por el grupo de Bondi–van der Burg–Metzner–Sachs (BMS), que incluye un conjunto infinito-dimensional de traslaciones dependientes del ángulo, conocidas como supertraslaciones [1,2]. Más recientemente, esta estructura se ha generalizado para incluir super-rotaciones y grupos de simetría infinito-dimensionales en teorías gauge, donde las denominadas transformaciones gauge grandes permanecen no triviales en el infinito [4,6]. A nivel cuántico, estas simetrías se traducen en identidades de Ward y en una degeneración infinita del vacío.

Un avance fundamental en este campo ha sido el descubrimiento de que estas simetrías asintóticas están íntimamente relacionadas con los teoremas soft que describen la emisión de partículas sin masa de baja energía. Los teoremas soft, obtenidos originalmente por Steven Weinberg a partir de las propiedades analíticas de las amplitudes de colisión [3], determinan el comportamiento universal de dichas amplitudes en el límite en el que la energía de un fotón, gluón o gravitón externo tiende a cero. Weinberg dedujo de sus teoremas que una teoría con una partícula sin masa de espín 1 debe ser una teoría de Maxwell, que una teoría con una partícula sin masa de espín 2 es necesariamente la relativicad general de Einstein y que las partículas sin masa de espín mayor que 2 no tienen interacciones con las de espín menor o igual a 2. La extensión para varias partículas sin masa de espín 1 implica una teoría de Yang-Mills [4,5] y para partículas sin masa de espín 3/2 implica supersimetría [4]. Más aún, en conexión son las simetrías asintóticas, se observó que el teorema soft dominante para gravitones puede interpretarse como la identidad de Ward asociada a las supertraslaciones BMS [6,7], mientras que el teorema soft dominante para fotones surge de las identidades de Ward correspondientes a las simetrías gauge grandes en electrodinámica [8]. Correspondencias similares se extienden a teoremas soft subdominantes y a otras teorías gauge.

Estos últimos resultados han conducido a la formulación del llamado triángulo infrarrojo [9], que conecta simetrías asintóticas, teoremas soft y los llamados efectos de memoria. Dentro de este marco, cada vértice del triángulo proporciona una descripción equivalente de la misma física infrarroja subyacente: las simetrías asintóticas generan cargas conservadas en el infinito nulo, las identidades de Ward asociadas reproducen los teoremas soft y sus manifestaciones clásicas aparecen como efectos memoria observables [10]. Esta perspectiva ha enriquecido de manera significativa nuestra comprensión de la invariancia gauge, las leyes de conservación y la estructura de los procesos de dispersión en teorías con partículas sin masa. También dan lugar a una nueva interpretación de las divergencias infrarrojas en estas teorías.

En el TFG, se revisarán los métodos modernos de cálculo de amplitudes on-shell y los teoremas soft y se estudiará la relación con las simetrías asintóticas en electromagnetismo y gravedad. Los métodos serán revisión detallada de bibliografía, realización de cálculos analíticos, análisis crítico y discusiones con el tutor.

Tipología: Trabajos bibliográficos sobre el estado actual de una temática relacionada con el Grado.

Objetivos planteados:

Los objetivos de este TFG son: (i) que la estudiante comprenda el origen matemático de algunos de estos desarrollos recientes, (ii) que sea capaz de reproducir los cálculos fundamentales involucrados en su demostración y (iii) que entienda la relevancia de los resultados y sus posibles aplicaciones.

Para ello tendrá que poner en práctica, en un contexto no trivial, los conocimientos adquiridos durante el grado sobre mecánica cuántica, electromagnetismo, relatividad general y teoría cuántica de campos.

El desarrollo de este trabajo le permitirá introducirse en conceptos y técnicas de física teórica que han sido desarrollados en los últimos años y han despertado gran interés en la comunidad científica.

Bibliografía básica:

1. H. Bondi, M. G. J. van der Burg y A. W. K. Metzner, Gravitational waves in general relativity. VII. Waves from axi-symmetric isolated systems, Proceedings of the Royal Society A 269 (1962) 21–52..
2. R. K. Sachs, Gravitational waves in general relativity. VIII. Waves in asymptotically flat space-times, Proceedings of the Royal Society A 270 (1962) 103–126.
3. S. Weinberg, Infrared photons and gravitons, Physical Review 140 (1965) B516–B524.
4. P. Benincasa, F. Cachazo, Consistency conditions on the S-Matrix of massless particles, arXiv:0705.4305.
5. R. Fonseca, C. Hernández-García, J.M. Lizana, M. Pérez-Victoria, Gauge theories from scattering amplitudes with minimal assumptions, arXiv:2511.21664.
6. A. Strominger, On BMS Invariance of Gravitational Scattering, Journal of High Energy Physics 07 (2014) 152, arXiv:1312.2229.
7. T. He, V. Lysov, P. Mitra y A. Strominger, BMS Supertranslations and Weinberg's Soft Graviton Theorem, Journal of High Energy Physics 05 (2015) 151, arXiv:1401.7026.
8. T. He, P. Mitra, A. P. Porfyriadis y A. Strominger, New Symmetries of Massless QED, Journal of High Energy Physics 10 (2014) 112, arXiv:1407.3789.
9. A. Strominger, Lectures on the Infrared Structure of Gravity and Gauge Theory, Princeton University Press (2018), arXiv:1703.05448.
10. S. Pasterski, Asymptotic Symmetries and Electromagnetic Memory, Reports on Progress in Physics 84 (2021) 084901, arXiv:2105.02335.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

La estudiante ya ha cursado las asignaturas optativas Física Matemática, Relatividad General y Teoría de Campos y Partículas, con lo que está bien preparada para abordar el TFG. En la medida de lo posible, se recomienda avanzar antes de Navidad en la lectura de referencias básicas y el aprendizaje de técnicas de cálculo on-shell.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

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

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: mpv@ugr.es

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

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

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: PAULA REQUENA CARLUCCI

Correo electrónico: paularequenac@correo.ugr.es