



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Uso de Métodos de la Física de Partículas para el Cálculo de Observables Clásicos en Gravedad

Descripción general (resumen y metodología):

Los métodos modernos basados en el uso de observables físicos (on-shell methods en inglés) han impulsado de forma significativa el campo de la física de partículas en la última década [1]. Las técnicas computacionales tradicionales, basadas en la teoría cuántica de campos y en los diagramas de Feynman, presentan una elevada redundancia; la simplicidad de las amplitudes de dispersión finales suele ser el resultado de cancelaciones complejas entre numerosas contribuciones. En cambio, los enfoques on-shell evitan la necesidad de trabajar con campos y diagramas de Feynman al centrarse directamente en los observables físicos. Esto conlleva una notable simplificación de los cálculos, proporcionando una vía más directa hacia los resultados finales.

La adopción de métodos on-shell ha permitido realizar una amplia gama de nuevos cálculos, muchos de los cuales superan las técnicas anteriores más avanzadas y se han convertido en herramientas indispensables en la física de partículas moderna. Un desarrollo particularmente relevante es la aplicación reciente de estos métodos al cálculo de observables clásicos en interacciones gravitatorias [2-4]. Sistemas compuestos por objetos compactos en rotación —como agujeros negros— emiten ondas gravitacionales durante los procesos de espiralización y fusión, señales que han sido detectadas experimentalmente. Estas ondas gravitacionales ofrecen información sobre el Universo primitivo y sobre una posible física más allá del Modelo Estándar.

La predicción precisa del espectro de ondas gravitacionales representa un desafío considerable, que requiere integrar diversas técnicas, desde la relatividad numérica hasta la teoría de campos efectiva en el régimen post-Minkowskiano. De forma sorprendente, avances recientes han revelado que los métodos on-shell provenientes de la física de partículas pueden desempeñar un papel crucial en este contexto (véase [5] para una revisión reciente y [6] para un ejemplo de vanguardia). Este trabajo ofrece una visión general de estos desarrollos y de sus implicaciones.

La metodología empleada será la habitual para este tipo de trabajos:

Revisión bibliográfica de la literatura relevante, comenzando con las características fundamentales de los métodos on-shell aplicados en física de partículas [1], revisiones sobre su aplicación al cálculo de observables clásicos en gravedad [5], y posteriormente la literatura original pertinente [2-4,6].

El estudiante reproducirá todos los cálculos relevantes, y se establecerán reuniones quincenales con los tutores para discutir tanto las ideas generales como los detalles técnicos de los cálculos.

Las dos últimas reuniones estarán destinadas a definir y revisar la estructura del trabajo final y de la presentación.

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

Objetivos planteados:

- Describir los fundamentos de los métodos modernos de amplitudes on-shell en física de partículas.
- Exponer los conceptos principales y reproducir los resultados más relevantes dentro del formalismo KMOC para obtener observables clásicos en gravedad a partir de amplitudes de dispersión.

- Discutir aplicaciones modernas del método al cálculo de ondas gravitacionales emitidas por sistemas binarios en rotación.

Bibliografía básica:

- [1] "Scattering amplitudes for all masses and spins", N. Arkani-Hamed, T.C. Huang, Y.T. Huang, JHEP11 (2021) 070, [1709.04891].
- [2] "Amplitudes, Observables, and Classical Scattering", D.A. Kosower, B. Maybee, D. O'Connell, JHEP02 (2019) 137, [1811.10950].
- [3] "Observables and amplitudes for spinning particles and black holes", B. Maybee, D. O'Connell, J. Vines, JHEP12 (2019) 156 [1906.09260].
- [4] "Waveforms from amplitudes", A. Cristofoli, R. Gonzo, D.A. Kosower, D. O'Connell, Phys. Rev. D106 (2022) 5, 056007 [2107.10193].
- [5] "The SAGEX review on scattering amplitudes Chapter 13: Post-Minkowskian expansion from scattering amplitudes", N.E.J. Bjerrum-Bohr, P.H. Damgaard, L. Plante, P. Vanhove, J. Phys. A55 (2022) 44, 443014 [2203.13024].
- [6] "On-shell approach to scalar hair in spinning binaries", A. Falkowski, P. Marinellis, JHEP05 (2025) 045 [2411.12909].

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Se recomienda haber cursado las asignaturas de Mecánica Cuántica y Relatividad General.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JOSÉ SANTIAGO PÉREZ

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: jsantiago@ugr.es

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

Nombre y apellidos: Javier López Miras

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: jlmiras@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: PABLO GAITAN RUZ

Correo electrónico: pgaitanruz@correo.ugr.es