



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Tasas de emisión de un agujero negro en evaporación

Descripción general (resumen y metodología):

Los agujeros negros juegan un papel fundamental en astrofísica, con profundas implicaciones en física de altas energías, particularmente en áreas como la gravedad, la física matemática, la relatividad numérica, la física de ondas gravitacionales e incluso en cosmología temprana. La descripción clásica de los agujeros negros dentro de la Relatividad General nos dice que la masa de un agujero negro nunca disminuye. Sin embargo, Stephen Hawking demostró [1] que esto no es necesariamente el caso si uno considera correcciones cuánticas perturbativas. Argumentos muy generales demuestran que los agujeros negros en realidad emiten radiación térmica, con una temperatura inversamente proporcional a su masa. Si la energía total del sistema se conserva, es inevitable llegar a la conclusión de que los agujeros negros se evaporan. Simultáneamente, Don Page calculó las tasas de emisión de distintas partículas sin masa, llegando a la conclusión que, del total de partículas emitidas, el 81% son neutrinos (canal dominante), 17% fotones y 2% gravitones [2,3].

Este trabajo de fin de grado explorará los conceptos matemáticos y físicos subyacentes en la emisión de partículas durante la evaporación de un agujero negro. En concreto, las aproximaciones adoptadas, con el objetivo de reproducir y comprender cálculos clave relacionados con el proceso, así como su rango de validez. Por otro lado, si la evolución del trabajo lo permite, discutiremos qué modificaciones aparecen en este cálculo si uno tiene en cuenta que los neutrinos tienen masa (y si se trata de tipo Majorana o Dirac) [4]. Por otro lado, se considerarán herramientas numéricas desarrolladas recientemente [5] para validar los resultados analíticos aproximados. Aunque el enfoque principal del trabajo no es computacional, este análisis podría aportar una visualización complementaria de los conceptos tratados.

El trabajo de fin de grado combinará el análisis teórico y si es posible la implementación numérica, poniendo especial énfasis en el cálculo de las tasas de emisión de partículas de diferente espín.

- Comenzar con un estudio detallado de las definiciones y propiedades geométricas de la geometría de Schwarzschild.
- Definición de la ecuación de Teukolsky para partículas sin masa con espín 1/2, 1 y 2.
- Estudiar qué aproximaciones son necesarias para poder tratar el problema de forma analítica, y por qué son físicamente interesantes.
- Cálculo de los coeficientes de reflexión y transmisión.
- Cálculo de las probabilidades de emisión/absorción.
- Si el tiempo lo permite, estudiar los efectos de la masa de los neutrinos y su naturaleza de tipo Majorana o Dirac.
- Si el tiempo lo permite, analizar numéricamente (sin aproximaciones) los cálculos realizados analíticamente para poder validar las aproximaciones empleadas.

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

Objetivos planteados:

Los objetivos principales de este trabajo de fin de grado consistirán en:

- Alcanzar una comprensión teórica sólida sobre las definiciones y propiedades matemáticas de los agujeros negros sin carga y no rotantes.
- Derivar las ecuaciones de movimiento de campos sin masa con espín 1/2, 1 y 2 en espaciotiempos de agujeros negros.

- Reproducir la derivación teórica de las tasas de emisión de cada tipo de partícula.
- Estudiar qué ocurre para neutrinos masivos, y su naturaleza de tipo Majorana o Dirac.
- Familiarizarse con herramientas numéricas modernas adaptadas al cálculo de las tasas de emisión.

Bibliografía básica:

1. S. W. Hawking, "Particle Creation by Black Holes", Commun. Math. Phys. 43, 199--220 (1975).
2. Don N. Page, "Particle Emission Rates from a Black Hole: Massless Particles from an Uncharged, Nonrotating Hole", Phys. Rev. D 13, 198-206 (1976).
3. Yuber F. Perez-Gonzalez, "Page time of primordial black holes in the Standard Model and beyond", Phys. Rev. D 111, 083015 (2025).
4. Alexandre Arbey, Marco Calzà, Léa Malacher, Davide Pedrotti, Yuber F. Perez-Gonzalez, "BlackHawk v3.0: Hawking Radiation from Regular Black Holes", arXiv:2606.06355.
5. Daniel Bambeck, William A. Hiscock, "Effects of nonzero neutrino masses on black hole evaporation", Class. Quant. Grav. 22, 4247-4252 (2005).

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Haber cursado las asignaturas de Relatividad General y Teoría de Campos y Partículas.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JAVIER ANTONIO OLMEDO NIETO

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: javolmedo@ugr.es

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

Nombre y apellidos: BERT JANSSEN

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: bjanssen@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: