



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Horizontes aislados y dinámicos: física de agujeros negros

Descripción general (resumen y metodología):

Los agujeros negros son objetos de fundamental importancia en astrofísica, con profundas implicaciones en áreas como la gravedad, la física matemática, la relatividad numérica y la física de ondas gravitacionales. Tradicionalmente, el análisis de los agujeros negros en la Relatividad General se ha basado en nociones globales como la del horizonte de eventos, cuya definición depende de la estructura causal completa (no local) del espaciotiempo. Si bien esta perspectiva global ha sido muy fructífera, presenta desafíos considerables al abordar situaciones dinámicas, como el colapso gravitacional o la fusión de agujeros negros. Además, los marcos tradicionales basados en la estacionariedad global son a menudo demasiado restrictivos para describir agujeros negros realistas, posiblemente distorsionados, en espaciotiempos dinámicos.

Por ello, es esencial entender la física local de agujeros negros a través de horizontes aislados y horizontes dinámicos dentro de una descripción cuasi-local. Este enfoque ofrece una manera unificada de analizar tanto agujeros negros en equilibrio, modelados por horizontes aislados, como agujeros negros en evolución, descritos por horizontes dinámicos. Los horizontes aislados capturan las propiedades de los agujeros negros que han alcanzado un estado de equilibrio, incluso si el espaciotiempo circundante es dinámico. Por su parte, los horizontes dinámicos describen la evolución temporal de estos objetos, como ocurre durante su formación o fusión. Este marco ha permitido avances significativos, incluyendo la generalización de las leyes de la mecánica de agujeros negros, nuevos métodos para el cálculo de la entropía en gravedad cuántica, y herramientas prácticas para simulaciones numéricas.

Este trabajo de fin de grado explorará los conceptos matemáticos y físicos subyacentes de los horizontes aislados y dinámicos, con el objetivo de reproducir y comprender cálculos clave relacionados con su mecánica y propiedades, tal como se presentan en el artículo de revisión. Además, si el desarrollo del trabajo lo permite, se considerará la posibilidad de implementar simulaciones sencillas que ilustren el comportamiento de horizontes dinámicos en espaciotiempos representativos, utilizando herramientas simbólicas y/o numéricas. Aunque el enfoque principal del trabajo no es computacional, este análisis podría aportar una visualización complementaria de los conceptos tratados.

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

Objetivos planteados:

Los objetivos principales de esta tesis consistirán en:

- * Alcanzar una comprensión teórica sólida sobre las definiciones y propiedades matemáticas de los horizontes aislados y dinámicos a través de ciertas cantidades geométricas que los definen.
- * Reproducir la derivación teórica de leyes de la mecánica de agujeros negros, como son la ley de aumento del área para horizontes dinámicos, donde se debe entender la relación entre el cambio en el área del horizonte y el flujo de energía a través de él, incluyendo contribuciones de materia y energía gravitacional; las leyes de balance de momento angular y energía; definiciones y cálculos de la masa y el momento angular para horizontes aislados; transición de horizontes dinámicos a horizontes aislados a medida que un agujero negro alcanza el equilibrio.

Bibliografía básica:

1. Abhay Ashtekar, Badri Krishnan, Isolated and dynamical horizons and their applications, Living Rev. Rel. 7 10 (2004)
2. Badri Krishnan, Quasi-local black hole horizons, In: Ashtekar, A., Petkov, V. (eds) Springer Handbook of Spacetime. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg.
3. José Luis Jaramillo, An introduction to local Black Hole horizons in the 3+1 approach to General Relativity, International Journal of Modern Physics D 20, (11) 2169-2204 (2011)

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

La tesis combinará el análisis teórico y si es posible la implementación numérica, poniendo especial énfasis en la manipulación tensorial abstracta inherente al marco de horizontes aislados y dinámicos.

- * Comenzar con un estudio detallado de las definiciones y propiedades geométricas de los horizontes aislados y dinámicos, incluyendo conceptos como superficies nulas, expansión, cizalladura y gravedad de superficie.

- * Derivación teórica de la ley de aumento del área para horizontes dinámicos, incluyendo el concepto de flujo de energía gravitacional.

- * Estudiar la mecánica de los horizontes dinámicos, donde se estudiará el balance de momento angular y los cambios en las propiedades del horizonte debido a flujos de materia y energía. Las definiciones de momento angular del horizonte y gravedad de superficie efectiva serán cruciales.

- * Investigar las definiciones de la masa del horizonte y el momento angular y cómo estas cantidades se definen intrínsecamente en la geometría del horizonte utilizando integrales tensoriales.

- * Si el tiempo lo permite, analizar espaciotiempos simples y conocidos que contienen horizontes aislados y dinámicos, como la solución de Vaidya o secciones de las métricas de Schwarzschild o Kerr. Verificar las propiedades de estos horizontes y, si es posible, reproducir el cálculo de la masa o el momento angular en estos casos específicos.

- * Si el tiempo lo permite, muchos de estos cálculos se implementarán numéricamente utilizando paquetes numéricos como xAct y xTensor, y se explorará la posibilidad de realizar simulaciones sencillas del comportamiento de horizontes dinámicos en modelos simplificados (como Vaidya o colapso esférico), siempre que su implementación no desborde el enfoque teórico principal del trabajo.

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:

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: ROSA TORO DIOS

Correo electrónico: rosatd2002@correo.ugr.es