UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2024/2025

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-008-2024/2025

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Correspondencia fluido/gravedad: termodinámica y fenómenos de transporte

Descripción general (resumen y metodología):

La holografía se basa en una dualidad que relaciona teorías cuánticas de campos en d dimensiones con teorías de gravedad en d+1 dimensiones. Una de estas dualidades es la conocida como correspondencia Anti de Sitter/Conformal Field Theory (AdS/CFT), que relaciona teorías de gravedad clásica en espacio de AdS, con teorías cuánticas de campos con simetría conforme [1]. En la práctica, estas dualidades se aplican de modo que se intenta encontrar el modelo de gravedad que sea dual a la teoría cuántica de campos que queremos resolver.

La hidrodinámica es un enfoque útil cuando se estudian fenómenos físicos de sistemas fuera del equilibrio [2]. Esta aproximación es válida cuando el recorrido libre medio de las partículas es mucho más corto que el tamaño característico del sistema. Los ingredientes básicos son las relaciones constitutivas: expresiones del tensor energía-momento y de las corrientes de carga en términos de magnitudes del fluido (densidad de carga, velocidad del fluido, etc), organizados en un desarrollo en derivadas llamado desarrollo hidrodinámico. El estudio de los coeficientes de transporte que aparecen en este desarrollo es muy importante para una descripción completa de las propiedades térmicas de sistemas físicos fuera del equilibrio, como es el caso del Plasma de Quarks y Gluones, o de ciertos fenómenos en materia condensada como es el caso del efecto Hall. Los coeficientes de transporte se pueden clasificar en dos tipos, según contribuyan (disipativos) o no contribuyan (no-disipativos) a la producción de entropía del sistema. Algunos ejemplos de coeficientes disipativos son la conductividad eléctrica, o las viscosidades volumétrica y de cizalla. Los coeficientes no-disipativos son inducidos por anomalías cuánticas, y algunos ejemplos son las conductividades quirales magnéticas y vórtice [3, 4, 5].

En este TFG se estudiarán la termodinámica y las propiedades de transporte de diversos modelos holográficos de gravedad en 5 dim en el espacio de Anti de Sitter, con acoplamiento de diferentes tipos de campos gauge, lo que permitirá el estudio de soluciones de tipo agujero negro con diversas propiedades. Las técnicas matemáticas a desarrollar son los métodos basados en la correspondencia AdS/CFT. Se trata de una dualidad postulada en [9], entre una teoría de Yang-Mills Supersimétrica, y una teoría de gravedad débilmente acoplada en el espacio de AdS, y que permite traducir problemas difíciles de Teoría Cuántica de Campos en ejercicios sencillos de gravedad clásica. En particular, se obtendrán las ecuaciones de movimiento clásicas para el sistema gravitatorio en 5 dim. En primer lugar se buscarán soluciones de tipo agujero negro, con condiciones de contorno adecuadas, i.e. regularidad cerca del horizonte de sucesos del agujero negro. Esto permitirá estudiar la termodinámica del sistema. El cálculo de los coeficientes de transporte se llevará a cabo mediante el uso de técnicas como la correspondencia fluido/gravedad [10], o el uso de fórmulas de Kubo [11]. Algunos trabajos relacionados con el estudio propuesto en este TFG son [12, 13, 14].

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

Objetivos planteados:

1) Estudio de la termodinámica de modelos de gravedad en 5 dim con acoplamiento de diversos tipos de campos gauge. Se estudiará la dependencia de las diferentes magnitudes termodinámicas (presión, densidad de energía, densidad de entropía y densidad de partículas) con la temperatura y el potencial químico.

2) Estudio de las propiedades hidrodinámicas de los modelos: conductividad eléctrica DC, y conductividades quirales. En función de la dificultad del problema, se puede sustituir el cálculo de algunas de estas conductividades por otras diferentes, como es el caso de las viscosidades volumétrica y de cizalla.

Bibliografía básica:

[1] “Gauge/gravity duality”, M. Ammon, J. Erdmenger, Cambridge University Press: United Kingdom, 2015.

[2] “Lectures on hydrodynamic fluctuations in relativistic theories.” P. Kovtun, J. Phys. A45 (2012) 463001.

[3] “The Chiral Magnetic Effect.” K. Fukushima, D. Kharzeev, H.J. Warringa, Phys.Rev.D78:074033 (2008).

[4] “Chiral Magnetic Effect in Heavy Ion Collisions”, J.~Liao, Nucl. Phys. A956, 99 (2016).

[5] “Triangle anomaly in Weyl semi-metals.” G. Basar, D. Kharzeev, H.U. Yee, Phys.Rev. B89(2014) 035142.

[6] “Anomalous magnetoresponse and the Stückelberg axion in holography”, A. Jimenez-Alba, K. Landsteiner, L. Melgar, Phys. Rev. D 90 (2014) 126004.

[7] “Anomalous conductivities in the holographic Stückelberg model”, N. Rai, E. Megías, arXiv:2301.00361 [hep-th].

[8] “Effective holographic theories of momentum relaxation and violation of conductivity bound”, Goutraux B, Kiritsis E and Li W J JHEP 1604 (2016) 122.

[9] “The Large Nc limit of superconformal field theories and supergravity”. J.M. Maldacena, Adv. Theor. Math. Phys.2: 231-252 (1998) e Int. J. Theor. Phys. 38: 1113-1133 (1999).

[10] “Fluid dynamics of dynamics of R-charged black holes.” J. Erdmenger, M. Haack, M Kaminski, A. Yarom, JHEP 0901:055 (2009).

[11] “Anomalous transport from Kubo formulae.” K. Landsteiner, E. Megías, F. Pena-Benitez, Lect. Notes Phys. 871 (2013) 433-468.

[12] “Holographic gravitational anomaly and chiral vortical effect.” K. Landsteiner, E. Megías, L. Melgar, F. Pena-Benitez, JHEP 1109 (2011) 121.

[13] “Holographic Gravitational Anomaly in First and Second Order Hydrodynamics.” E. Megías and F. Pena-Benitez, JHEP 1305, 115 (2013).

[14] “Anomalous transport and massive gravity theories.” E. Megías, J. Phys. Conf. Ser. 804 (2017) 1, 012029.

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:

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:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico: