



Propuesta de Trabajo Fin de Grado del Doble Grado en Física y Matemáticas (curso 2022-2023)

<i>Responsable de tutorización:</i>	Eugenio Megías Fernández
<i>Correo electrónico:</i>	<i>emegias@ugr.es</i>
<i>Departamento:</i>	Física Atómica, Molecular y Nuclear
<i>Área de conocimiento:</i>	Física Atómica, Molecular y Nuclear

<i>Responsable de cotutorización:</i>
<i>Correo electrónico:</i>
<i>Departamento:</i>
<i>Área de conocimiento:</i>

(Rellenar sólo en caso de que la propuesta esté realizada a través de un estudiante)
Estudiante que propone el trabajo:

Título: Correspondencia AdS/CFT: anomalías cuánticas e hidrodinámica
Número de créditos: 6 ECTS 12 ECTS

Tipología del trabajo (marcar una o varias de las siguientes casillas):

1. Revisiones y/o trabajos bibliográficos sobre el estado actual de aspectos específicos relacionados con la titulación
2. Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática de la titulación, a partir del material disponible en los centros
3. Trabajos experimentales, de toma de datos de campo, de laboratorio, etc.
4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio
5. Elaboración de un informe o un proyecto en el ámbito del grado de naturaleza profesional
6. Trabajos relacionados con las prácticas externas

Descripción y resumen de contenidos:

La holografía se basa en una dualidad que relaciona teorías cuánticas de campos en d dimensiones con teorías de gravedad en $d+1$ dimensiones. En este trabajo se pretenden estudiar algunas propiedades termodinámicas e hidrodinámicas de un sistema físico fuertemente acoplado, a temperatura y densidad finitas, en el marco de la correspondencia Anti de Sitter/Conformal Field Theory (AdS/CFT) [1]. La hidrodinámica es un enfoque útil para estudiar gran variedad de 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 del Plasma de Quarks y Gluones, así como de ciertos sistemas en materia condensada. Los coeficientes de transporte se pueden clasificar en dos tipos:

- i) **Disipativos:** aquellos que dan lugar a una contribución a la producción de entropía del sistema, y por tanto son responsables de efectos no-reversibles, i.e. no son invariantes bajo inversiones temporales. Algunos ejemplos son la conductividad eléctrica, viscosidades de compresión y de cizalla, etc.
- ii) **No disipativos:** aquellos que no contribuyen a la producción de entropía, y por tanto dan lugar a propiedades de transporte en equilibrio. Ejemplos son: conductividad quiral magnética, y conductividad quiral de vórtice.

Los efectos no disipativos están inducidos por anomalías cuánticas, que son responsables de que las corrientes de energía y de carga del sistema no estén conservadas. En particular, el efecto quiral magnético consiste en la generación de una corriente de carga paralela a un campo magnético externo aplicado sobre el sistema [3]. Se espera que este tipo de efectos se produzcan en colisiones de iones pesados [4], así como en algunos sistemas de materia condensada [5].

Actividades a desarrollar:

A partir de un modelo holográfico de gravedad en 5 dim en el espacio de Anti de Sitter, con acoplamiento de un campo gauge y un término de Chern-Simons que dará cuenta de la anomalía quirial, se pretenden estudiar las propiedades de transporte disipativo y anómalo del sistema. Las técnicas matemáticas a desarrollar son los métodos basados en la correspondencia AdS/CFT. Se trata de una dualidad postulada en [6], 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 estudio de soluciones de tipo agujero negro boosteado en una dirección [7]. Algunos trabajos relacionados con el estudio propuesto en este TFG son [8, 9].

Se recomienda que el alumno curse las asignaturas "*Relatividad General*" y "*Teoría de Campos y Partículas*".

Objetivos planteados

1) Estudio de la termodinámica del modelo, esto es, 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) Propiedades hidrodinámicas disipativas del modelo: estudio de la viscosidad de cizalla.

3) Propiedades hidrodinámicas no disipativas del modelo: estudio de la conductividad quirial magnética.

Bibliografía

- [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] "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).
- [7] "Fluid dynamics of R-charged black holes." J. Erdmenger, M. Haack, M Kaminski, A. Yarom, JHEP 0901:055 (2009).
- [8] "Holographic gravitational anomaly and chiral vortical effect." K. Landsteiner, E. Megías, L. Melgar, F. Pena – Benitez, JHEP 1109 (2011) 121.
- [9] "Holographic Gravitational Anomaly in First and Second Order Hydrodynamics." E. Megías and F. Pena-Benitez, JHEP 1305, 115 (2013).

Firma del estudiante
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de tutorización
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

Firma del responsable de cotutorización (*en su caso*)
(solo para trabajos propuestos por estudiantes)

En Granada, a 16 de mayo de 2022