



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

|   |  |
|---|--|
| <b>Tutor/a:</b>                             | <b>Eugenio Megías Fernández</b>                            |
| <b>Departamento y Área de Conocimiento:</b> | <b>Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear</b> |
| <b>Correo electrónico:</b>                  | <b>emegias@ugr.es</b>                                      |
| <b>Cotutor/a:</b>                           | <b>Manuel Pérez-Victoria Moreno de Barreda</b>             |
| <b>Departamento y Área de Conocimiento:</b> | <b>Departamento de Física Teórica y del Cosmos</b>         |
| <b>Correo electrónico:</b>                  | <b>mpv@ugr.es</b>  |

|   |                |                                       |   |
|---|----------------|---------------------------------------|---|
| <b>Título del Trabajo:</b> <b>Estudio holográfico del tensor energía-momento y de la entropía de entrelazamiento en sistemas térmicos</b> |                |                                       |   |
| <b>Tipología del Trabajo:</b><br>(Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)                    | (Marcar con X) | 1. Revisión bibliográfica             | 4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio |
|   |                | 2. Estudio de casos teórico-prácticos | X 5. Elaboración de un proyecto                   |
|   |                | 3. Trabajos experimentales            | 6. Trabajo relacionado con prácticas externas     |

### Breve descripción del trabajo:

Las dualidades holográficas relacionan teorías cuánticas con teorías de gravedad en más dimensiones. En este trabajo se pretenden estudiar dos sistemas físicos sencillos a temperatura finita, en el marco de la correspondencia Anti de Sitter/Conformal Field Theory (AdS/CFT) [1]. Por una parte, estudiaremos la evolución temporal del flujo de calor y de la entropía de entrelazamiento en un sistema cuya temperatura inicial es una función  $T(x)$  con diferentes perfiles. La *entropía de entrelazamiento* mide cómo es intercambiada la información entre las diferentes partes de un sistema. Holográficamente se puede calcular a partir del área de una superficie mínima que se extiende hacia el "bulk" a partir de una cierta superficie predefinida  $A$  de la frontera, y constituye una generalización de la famosa fórmula de entropía de Bekenstein-Hawking para los agujeros negros [2, 3]. Por otra parte, el efecto Unruh consiste en que un observador acelerado percibe un vacío de Minkowski como un medio con una cierta temperatura finita  $T_U$ , que es proporcional al módulo de su aceleración [4, 5]. El estudio de estas dos situaciones físicas en holografía permitirá obtener propiedades universales de sistemas físicos sencillos fuera del equilibrio térmico. Se recomienda que el alumno curse las asignaturas Relatividad General, Teoría de Campos y de Partículas e Información Cuántica y Aplicaciones.

### Objetivos planteados:

- \* Se considerará un sistema infinito cuya temperatura a  $t=0$  es  $T(x)$ , con diferentes perfiles, en particular: 1) Una función escalón, 2) una función de tipo Gaussiano, 3) una función periódica; y otros posibles perfiles que sean de interés. Se estudiará:
- La evolución temporal del valor esperado del tensor energía-momento. Los componentes diagonales de dicho tensor darán cuenta de la evolución temporal de la densidad de energía y de la presión, mientras que las componentes fuera de la diagonal permitirán estudiar la corriente de energía entre dichos sistemas. Se estudiará la formación de estados estacionados con corriente neta de calor.
  - La evolución temporal de la entropía de entrelazamiento.
- \* Para el caso del efecto Unruh, se estudiará el tensor energía-momento y la entropía de entrelazamiento correspondiente a un agujero negro acelerado. Se hará uso del hecho de que la aceleración juega el papel de un potencial químico imaginario.

Campus  
Fuentenueva  
Avda. Fuentenueva  
s/n  
18071 Granada  
Tfno. +34-958242902  
fisicas@ugr.es

**Comisión Docente de Físicas**  
Facultad de Ciencias



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Facultad de  
Ciencias  
Sección de  
Físicas

### **Metodología:**

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 dual a la CFT en  $D = 1+1$  (1 dimensión espacial y 1 dimensión temporal), y se encontrarán soluciones de tipo agujero negro. Se estudiará la evolución temporal de estas soluciones, en concreto la propagación de “*ondas de choque*”. El estudio de la entropía de entrelazamiento se llevará a cabo mediante el cálculo del área mínima que se extiende en el bulk, con condiciones de contorno apropiadas en el borde del espacio de AdS. Algunos trabajos relacionados con el estudio propuesto en este TFG son [7, 8, 9].

### **Bibliografía:**

- [1] “Gauge/gravity duality”, M. Ammon, J. Erdmenger, Cambridge University Press: United Kingdom, 2015.
- [2] “Aspects of holographic entanglement entropy.” S. Ryu, T. Takayanagi, JHEP 0608 (2006) 045.
- [3] ”A corariant holographic entanglement entropy proposal.” V.E. Hubeny, M. Rangamani, T. Takayanagi, JHEP 0707 (2007) 062.
- [4] “Notes on black hole evaporation”, W.G. Unruh, Phys. Rev. D 14 (1976) 870.
- [5] “Unruh effect universality: emergent conical geometry from density operator”, G.Y. Prokhorov, O.V. Teryaev, V. I. Zakharov, JHEP 2003 (2020) 137.
- [6] “The Large  $N_c$  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] “Time evolution of entanglement for holographic steady state formation.” J. Erdmenger, D. Fernández, M. Flory, E. Megías, A.K. Straub, P. Witkowski, JHEP 1710 (2017) 034.
- [8] “Evolution of holographic entanglement entropy in an anisotropic system.” C. Ecker, D. Grumiller, S.A. Stricker, JHEP 1507 (2015) 146.
- [9] “Holographic entanglement entropy for charged accelerating AdS black holes.” M. Tavakoli, B. Mirza, Z. Sherkatghanad, Nucl. Phys. B (2019) 114620.

***A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG***

*Alumno/a propuesto/a:*

Granada, 18 de Mayo 2021

Sello del Departamento

Campus  
Fuentenueva  
Avda. Fuentenueva  
s/n  
18071 Granada  
Tfno. +34-958242902  
fisicas@ugr.es

**Comisión Docente de Físicas**  
Facultad de Ciencias