UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-147-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Reducción dimensional en Teoría Cuántica de Campos: Temperatura finita y modelos de Kaluza-Klein

Descripción general (resumen y metodología):

La reducción dimensional constituye un concepto fundamental en la física teórica contemporánea, permitiendo simplificar la dinámica de una teoría cuántica de campos al estudiar su comportamiento en espacios donde alguna de las dimensiones está compactificada o "enrollada". Este trabajo se centra en analizar este fenómeno a través de dos marcos conceptuales profundamente interconectados: la teoría de campos a temperatura finita y los modelos de Kaluza-Klein.

En el primer bloque, correspondiente a la temperatura finita (en el formalismo del tiempo imaginario), se estudiará cómo la introducción de una temperatura no nula equivale matemáticamente a considerar que la dimensión temporal se cierra sobre sí misma en un círculo, cuyo tamaño es inversamente proporcional a dicha temperatura. Físicamente, esto provoca que las excitaciones térmicas de mayor energía dejen de ser relevantes para describir el sistema a grandes distancias, dando lugar a un proceso de reducción dimensional donde la teoría original en cuatro dimensiones colapsa de forma natural en una teoría estadística clásica en tres dimensiones.

Este mecanismo ofrece el puente perfecto para estudiar el segundo bloque del trabajo: los modelos de Kaluza-Klein. En estas teorías, son las dimensiones espaciales adicionales las que se asumen compactificadas en una geometría circular pequeña. El estudiante analizará la analogía directa entre ambos formalismos, entendiendo cómo la pérdida efectiva de una dimensión (ya sea temporal debido a la temperatura o espacial debido a la geometría) sigue las mismas leyes matemáticas de integración de grados de libertad de alta energía para dar lugar a una teoría efectiva en menos dimensiones.

El trabajo tendrá un enfoque fundamentalmente teórico. La metodología partirá del estudio del formalismo de la integral de camino en mecánica cuántica, utilizándolo como base para su posterior extensión y aplicación a la teoría cuántica de campos. Se realizarán cálculos analíticos explícitos, estudiando cómo aparece el espectro de excitaciones en espacios compactos y analizando detalladamente de qué manera el límite geométrico de estos espacios conduce a las teorías efectivas en dimensiones reducidas.

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

Objetivos planteados:

- Comprender el mecanismo físico y matemático de la reducción dimensional originada por la compactificación de coordenadas espaciotemporales.
- Estudiar el formalismo del tiempo imaginario para derivar de forma analítica el proceso de reducción dimensional térmica en el límite de alta temperatura.
- Analizar los fundamentos de los modelos de Kaluza-Klein, estableciendo de manera explícita su equivalencia matemática con la formulación térmica.
- Realizar cálculos analíticos en espacios compactificados para ilustrar cómo la integración sistemática de los grados de libertad de alta energía genera la acción de una teoría efectiva en dimensiones reducidas.

Bibliografía básica:

1. M. Laine and A. Vuorinen, Basics of Thermal Field Theory: A Tutorial on Perturbative Computations, Springer, 2016.
2. J. I. Kapusta and C. Gale, Finite-Temperature Field Theory: Principles and Applications, Cambridge University Press, 2006.
3. M. D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press, 2014.
4. A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press, 2010.
5. T. Appelquist, A. Chodos, and P. G. Freund, Modern Fractional Quantum Field Theory and Kaluza-Klein Theories, Addison-Wesley, 1987.
6. M. Quirós, New ideas in symmetry breaking, TASI Lectures (arXiv:hep-ph/0302189).

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

- Se recomienda tener una base sólida en Física Estadística y Mecánica Cuántica, así como soltura en el manejo de herramientas de Física Matemática (especialmente análisis de variable compleja, integración funcional y álgebra lineal).
- Es altamente conveniente haber cursado, o estar cursando, asignaturas relacionadas con la Física de Partículas o la Teoría Cuántica de Campos, si bien los formalismos específicos de compactificación temporal y espacial se desarrollarán progresivamente desde cero durante el trabajo.
- Dado el carácter teórico del trabajo, se requiere autonomía para abordar textos de literatura especializada, capacidad de abstracción para seguir derivaciones formales y disposición para realizar cálculos analíticos explícitos.
- Se aconseja mantener reuniones periódicas con el tutor para revisar los avances analíticos, resolver dudas técnicas y garantizar que no se pierde la interpretación física subyacente a los desarrollos matemáticos de la reducción dimensional.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JAVIER FUENTES MARTÍN

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA TEÓRICA

Correo electrónico: javier.fuentes@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: ALEJANDRO RUBIO AVI

Correo electrónico: alavii@correo.ugr.es