UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-136-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Grupos de Lie, simetría gauge y la estructura del Modelo Estándar

Descripción general (resumen y metodología):

Las simetrías desempeñan un papel central en la formulación moderna de las leyes fundamentales de la física. En particular, las simetrías continuas descritas por grupos de Lie proporcionan el lenguaje matemático que permite construir teorías gauge, como la electrodinámica cuántica, la teoría electrodébil y la cromodinámica cuántica. El Modelo Estándar de la física de partículas se basa precisamente en el grupo gauge
SU(3)_C x SU(2)_L x U(1)_Y,
cuya estructura determina las interacciones fundamentales entre quarks, leptones, bosones gauge y el campo de Higgs.
El objetivo de este trabajo es estudiar cómo los conceptos básicos de grupos y álgebras de Lie permiten entender la construcción de las teorías de Yang-Mills y, en particular, la estructura gauge del Modelo Estándar. Se comenzará con una introducción a los grupos de Lie relevantes en física de partículas, sus álgebras asociadas, generadores, representaciones y constantes de estructura. A continuación, se analizará cómo la exigencia de invariancia gauge local conduce a la introducción de derivadas covariantes, campos gauge y tensores de campo, culminando en la formulación general de las teorías de Yang-Mills.
El trabajo tendrá un enfoque principalmente teórico, combinando el estudio guiado de textos de teoría cuántica de campos, física de partículas y grupos de Lie aplicados a la física, junto con cálculos explícitos sencillos. Entre estos cálculos se incluirán ejemplos concretos para U(1), SU(2) y SU(3), la construcción de derivadas covariantes, la obtención del tensor de campo no abeliano y la interpretación de las representaciones de quarks, leptones y bosones gauge dentro del Modelo Estándar. Finalmente, si el desarrollo del trabajo lo permite, se introducirá brevemente la idea de gran unificación, mostrando cómo grupos más grandes como SU(5) o SO(10) pueden contener al grupo gauge del Modelo Estándar como subgrupo.

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

Objetivos planteados:

- Introducir los conceptos básicos de grupos de Lie, álgebras de Lie, generadores, constantes de estructura y representaciones, con énfasis en U(1), SU(2) y SU(3).
- Estudiar el principio de simetría gauge local y su relación con la introducción de campos gauge y derivadas covariantes.
- Formular las teorías de Yang-Mills, destacando la diferencia entre teorías abelianas y no abelianas.
- Analizar la estructura del grupo gauge del Modelo Estándar, SU(3)_C x SU(2)_L x U(1)_Y, y su relación con las interacciones fuerte, débil y electromagnética.
- Estudiar cómo las partículas del Modelo Estándar se organizan en representaciones del grupo gauge.
- Realizar cálculos explícitos sencillos que ilustren la construcción del tensor de campo, la derivada covariante y las transformaciones gauge.
- Introducir, como posible extensión final, la idea de gran unificación y el encaje del grupo gauge del Modelo Estándar en grupos simples como SU(5) o SO(10).

Bibliografía básica:

1. H. Georgi, Lie Algebras in Particle Physics, Westview Press, 1999.
2. W.-K. Tung, Group Theory in Physics, World Scientific, 1985.
3. T.-P. Cheng and L.-F. Li, Gauge Theory of Elementary Particle Physics, Oxford University Press, 1984.
4. M. D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press, 2014.
5. M. E. Peskin & D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press, 1995.
6. M. Maggiore, A Modern Introduction to Quantum Field Theory, Oxford University Press, 2005.
7. C. Quigg, Gauge Theories of the Strong, Weak, and Electromagnetic Interactions, Princeton University Press, 2013.
8. R. Slansky, Group Theory for Unified Model Building, Physics Reports 79 (1981) 1-128.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

- Se recomienda tener una base sólida en mecánica cuántica y estar familiarizado con el uso de operadores, espacios vectoriales y simetrías.
- Es conveniente haber cursado o estar cursando asignaturas relacionadas con teoría cuántica de campos, física de partículas o física nuclear y de partículas, aunque los conceptos necesarios se reforzarán durante el desarrollo del trabajo.
- Resulta especialmente útil tener cierta familiaridad con los aspectos básicos de grupos y representaciones que aparecen en física: generadores, conmutadores, representaciones matriciales, números cuánticos y descomposición de estados en multipletes. No se presupone un dominio avanzado de estos temas, que se revisarán y aplicarán progresivamente durante el trabajo.
- También será útil manejar con soltura herramientas de álgebra lineal, en particular matrices, autovalores, cambios de base y diagonalización, por su papel en la descripción de simetrías y representaciones.
- El trabajo requiere autonomía en el estudio de literatura especializada, capacidad para seguir desarrollos matemáticos y disposición para realizar cálculos explícitos.
- Se recomienda mantener reuniones periódicas con los tutores para discutir los avances, resolver dudas conceptuales y ajustar el alcance del trabajo según el ritmo e intereses del estudiante.

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: JOSE ALBERTO CORPAS FLORES

Correo electrónico: jacorpasf@correo.ugr.es