



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** El descubrimiento de la violación de CP y la construcción del Modelo Estándar

**Descripción general** (resumen y metodología):

La simetría CP (combinación de conjugación de carga C y paridad espacial P) ha sido históricamente considerada una propiedad fundamental de las leyes de la física de partículas. Su violación, descubierta experimentalmente en 1964 en los decaimientos de mesones K neutros, marcó un punto de inflexión en nuestra comprensión de las interacciones débiles. Este fenómeno no solo desafió las expectativas teóricas de la época, sino que abrió una vía crucial para entender el desequilibrio entre materia y antimateria en el universo.

El objetivo de este trabajo es estudiar el fenómeno de la violación de CP desde una doble perspectiva: histórica y teórica. Se revisarán tanto el descubrimiento experimental como las primeras respuestas teóricas, centradas en el modelo propuesto por Wolfenstein, que describía la violación de CP mediante nuevas interacciones a escala alta. Posteriormente, se analizará cómo la violación de CP se acomoda de manera natural dentro del Modelo Estándar a través de la matriz CKM, tal como propusieron Kobayashi y Maskawa, prediciendo la existencia de tres generaciones de quarks.

El enfoque será teórico y fenomenológico, combinando el estudio de artículos originales con el análisis de textos de teoría cuántica de campos. Se prestará atención a la estructura del sector de Yukawa del Modelo Estándar, a los mecanismos que permiten la violación de CP en este marco, y a cómo el modelo de Wolfenstein puede recuperarse como una descripción efectiva en cierto límite. Se incluirán cálculos explícitos que ilustren las diferencias conceptuales y técnicas entre ambos enfoques.

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

**Objetivos planteados:**

- Estudiar la referencia experimental original del descubrimiento de la violación de CP en los mesones K.
- Analizar la teoría de Fermi y su extensión por parte de Wolfenstein como primer intento teórico de describir la violación de CP.
- Estudiar el sector de Yukawa del Modelo Estándar y su implicación en la violación de CP mediante la matriz CKM.
- Comparar los enfoques de Wolfenstein y del Modelo Estándar, tanto desde el punto de vista conceptual como fenomenológico.
- Entender cómo el modelo de Wolfenstein puede interpretarse como un límite efectivo dentro del marco del Modelo Estándar.

**Bibliografía básica:**

1. L. Wolfenstein, Violation of CP Invariance and the Possibility of Very Weak Interactions, Physical Review Letters, 13 (1964) 562.
2. M. Kobayashi & T. Maskawa, CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction, Progress of Theoretical Physics, 49 (1973) 652.
3. M. Maggiore, A Modern Introduction to Quantum Field Theory, Oxford University Press, 2005.
4. S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Vol. 1, Cambridge University Press, 1995.

5. M. E. Peskin & D. V. Schroeder, An Introduction to Quantum Field Theory, Westview Press, 1995.  
6. M. D. Schwartz, Quantum Field Theory and the Standard Model, Cambridge University Press, 2014.

**Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

- Se recomienda tener una base sólida en mecánica cuántica, tanto en su formulación de Schrödinger como en la de operadores.
- Es muy útil haber cursado o estar cursando una asignatura de teoría cuántica de campos, aunque los fundamentos necesarios se reforzarán durante el trabajo.
- El trabajo exige autonomía, capacidad de lectura crítica de literatura especializada, y una actitud proactiva para profundizar en aspectos tanto conceptuales como técnicos.
- Se recomienda mantener reuniones periódicas con los tutores para discutir avances, resolver dudas y ajustar el enfoque del trabajo en función de los intereses y ritmo 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:** Adrián Moreno Sánchez

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA TEÓRICA

**Correo electrónico:** adri@ugr.es

**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:**

**Correo electrónico:**