UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-027-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Interacción neutrino-núcleo

Descripción general (resumen y metodología):

Los neutrinos y antineutrinos pueden ser observados solo a partir de los efectos de su interacción con la materia, especialmente con los núcleos atómicos componentes de la mayoría de los detectores utilizados para identificar estas partículas. Se han utilizado varios métodos de detección. Super Kamiokande consiste en un gran volumen de agua rodeado de fototubos que detectan la radiación Cerenkov emitida cuando un neutrino entrante crea un electrón o un muón en el agua. El Observatorio de Neutrinos de Sudbury era similar, pero usaba agua pesada como medio de detección. También se han utilizado detectores que consistían en grandes volúmenes de cloro o galio, basados en la detección de excesos de argón o germanio, respectivamente, originados por los neutrinos que interactúaban con la sustancia original. Otros basados en centelleadores líquidos o sólidos (MINOS, Borexino o NOνA). Por último, la propuesta de detección de neutrinos mediante el efecto termoacústico es el fundamento de las colaboraciones ANTARES, IceCube y KM3NeT. En cualquier caso, es clara la importancia de tener una teoría suficientemente sólida que sea capaz de describir las reacciones neutrino-núcleo, de las cuales se puede obtener también información muy importante sobre la estructura interna nuclear. El conocimiento de la distribución de quarks en el nucleón es uno de los resultados que se han podido obtener de experimentos de dispersión de neutrinos de alta energía contra núcleos. La descripción de la sección eficaz de la reacción neutrino-núcleo conlleva varios niveles de dificultad, ya que el neutrino, considerado puntual, interacciona con un sistema compuesto de nucleones, que a su vez, están formados por quarks y gluones. Por ello, el tratamiento ideal para abordar este problema sería partir de la interacción neutrino-quark. Sin embargo, dado que a día de hoy una descripción del núcleo en términos de quarks es totalmente inviable, es necesario pues utilizar un modelo basado en datos empíricos para poder estimar la sección eficaz neutrino-núcleo. Para energías mayores de 100 GeV, se estaría en el llamado régimen de libertad asintótica, donde la interacción entre el neutrino y la materia es descrita de forma precisa teniendo en cuenta que en este régimen el neutrino interacciona con los quarks directamente, que se pueden considerar prácticamente libres. Entre 1 y 100 GeV, es necesario un modelo que describa la interacción en términos de estados ligados de quarks. Aquí nos restringiremos al caso en el que la energía de los neutrinos sea menor que 1 GeV. Por tanto, el objetivo de este trabajo es estudiar la sección eficaz neutrino-núcleo, en un régimen de energía en el que los nucleones se pueden considerar los elementos fundamentales de la estructura nuclear. El marco teórico será la teoría cuántica relativista. Es por ello que se hará inicialmente una introducción a aspectos fundamentales de esta teoría, como son la métrica del espacio de Minkowski y el álgebra de las matrices de Dirac.

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

Objetivos planteados:

1. Introducción a la métrica del espacio de Minkoswki y al álgebra de Clifford.
2. Estudio de la interacción débil y de la dispersión neutrino-leptón: cálculo de la sección eficaz.
3. Estudio del proceso de dispersión neutrino-nucleón: cálculo de la sección eficaz.
4. Estudio de la dispersión neutrino-núcleo: desarrollo multipolar del elemento de matriz de

transición que interviene en la expresión de la sección eficaz.

Bibliografía básica:

[1] F. Halzen und D. Martin, „Quarks and Leptons“, J. Wiley and Sons, New York (1984).
[2] J.D. Bjorken und S. D. Drell, „Relativistic Quantum Mechanics“, Mc Graw-Hill, New York (1964).
[3] M. Sajjad Athar et al., „Neutrinos and their interactions with matter“. Prog. Part. Nucl. Phys. 129 (2023) 104019.
[4] D.J.H. Garling. „Clifford Algebras: An Introduction“ (London Mathematical Society Student Texts, Bandnummer 78). 1. Aufl. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK: Cambridge University Press, 2011. ISBN: 978-1-107-09638-7.
[5] L.B. Szabados, Minkowski Space from Quantum Mechanics“, Foundations of Physics 54 (2024) 25.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MARTA ANGUIANO MILLÁN

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

Correo electrónico: mangui@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: MARTA MACHETTI MORILLAS

Correo electrónico: martamorillas4@correo.ugr.es