UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Doble Grado en Física y Matemáticas

CÓDIGO DEL TFG: 295-028-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Teoría cuántica de la radiación: Interacción radiación materia y aplicaciones

Descripción general (resumen y metodología):

El estudio de la interacción entre la radiación y la materia es una de las partes más interesantes de la Mecánica Cuántica, ya que nos lleva a comparar una teoría de muchos cuerpos, que es la que describe el campo electromagnético, con una teoría de un solo cuerpo, que es la Mecánica Cuántica tradicional. Y fue precisamente gracias a este estudio que a partir de los años 30 del siglo pasado se comenzó a esbozar la teoría de la segunda cuantización y a estudiar el problema de la cuantización de los sistemas relativistas. El desarrollo de la cuantización de las variables dinámicas de una partícula, que culminó con la teoría de Schrödinger, condujo a una comprensión general de los fenómenos relacionados con un
número fijo de cuerpos en movimiento no relativista. Tras 1926, año en que vio la luz la ecuación de Schrödinger, se llevaron a cabo numerosos intentos para tratar de trasladar las ideas de la cuantización a nuevos campos de la física aún poco comprendidos. La teoría, tal y como era, no satisfacía los requisitos de la relatividad y aún no ofrecía una explicación coherente de los fenómenos en los que los átomos interactuaban con un campo de radiación. El primer objetivo fue resuelto por Dirac pocos años después, proporcionando una ecuación invariante desde el punto de vista relativista cuyas predicciones, como la existencia de las antipartículas y la descripción completa del átomo de hidrógeno, confirmaron su corrección. Seguía sin resolverse el problema de una teoría que englobara completamente la radiación y que, en consecuencia, pudiera proporcionar una explicación completa de los fenómenos electromagnéticos.

Todo ello condujo al desarrollo de la teoría cuántica de campos, que constituye el paradigma moderno de la física de partículas y de las interacciones electromagnéticas. En particular, la interacción entre la radiación y la materia condujo al desarrollo de la Electrodinámica Cuántica (QED). En el periodo comprendido entre 1926 y 1932, en el que la teoría de la electrodinámica cuántica tomó forma de manera completa, se desarrollaron las ideas y los métodos de la cuantización del campo electromagnético que luego condujeron de forma coherente a la QED. Estos métodos son los que queremos estudiar con detalle en este trabajo. Para abordar de manera rigurosa una teoría cuántica de la radiación, es necesario partir de ecuaciones covariantes bajo el grupo de Poincaré, que describen la interacción entre la materia y la luz, y posteriormente proceder a cuantificarlas de manera covariante.

Usaremos un formalismo híbrido, no completamente relativista, que contiene, sin embargo, los conceptos fundamentales de la cuantización del campo electromagnético libre, suficientes para explicar muchos de los fenómenos relacionados con la interacción entre la radiación y la materia. El precio que hay que pagar por esta simplificación es la pérdida de la aparente invariancia relativista de la teoría. Las bases del modelo matemático que utilizaremos están ya descritas en el artículo de 1926 de Born, Heisenberg y Jordan, en el que intentan ya extender al campo electromagnético libre las nuevas ideas de la cuantización. El campo libre se descompone en series de Fourier de ondas progresivas. De este modo, los coeficientes del desarrollo se tratarán como variables dinámicas del sistema, a las que, automáticamente, se les asignarán operadores que actúan sobre el espacio de estados del campo electromagnético; este proceso se denomina segunda cuantización del campo
libre. Con una elección adecuada de los operadores, el campo electromagnético resultará descompuesto en una superposición de osciladores desacoplados, de los cuales el fotón representará una oscilación. De este modo, a lo largo de este trabajo, demostraremos cómo es

posible ofrecer una interpretación correcta y sencilla de aquellos fenómenos (como la emisión espontánea) que, de otro modo, quedarían sin comprender en una teoría cuántica de la materia. Finalmente se analizarán, entre otros problemas, las características del espectro energético del átomo de hidrógeno utilizando las correcciones que la teoría de Dirac proporciona para la dinámica del electrón en el campo del protón.

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

Objetivos planteados:

1. Estudio bibliográfico previo: desarrollo histórico.
2. Cuantización del campo electromagnético.
3. Estudio de la interacción entre el campo electromagnético y la materia.
4. Aplicaciones.

Bibliografía básica:

[1] A. Galindo and P. Pascual, Quantum Mechanics II. Ed. Eudema.
[2] W. Heitler, The Quantum Theory of Radiation, 3rd ed. Oxford Univ. Press, Oxford (1954).
[3] W. Heisenberg, P. Jordan and M. Born , On Quantum Mechanics II, Z.Phys, 35, 557 (1926).
[4] P. A. M. Dirac, The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation, Proc. Roy. Soc., 1927.

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: PABLO NOVO ROMERO

Correo electrónico: pablonr2003@correo.ugr.es