UNIVERSIDAD DE GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS

Propuesta TFG. Curso 2026/2027

GRADO: Grado en Física

CÓDIGO DEL TFG: 267-061-2026/2027

1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Efecto Hall cuántico y estructura electrónica en sistemas bidimensionales

Descripción general (resumen y metodología):

Resumen:

Uno de los grandes avances en la Física del Estado Sólido es el descubrimiento del efecto Hall cuántico, propiedad que emerge del acoplamiento de los efectos sobre los electrones del ordenamiento cristalino, el campo magnético y la coherencia cuántica.

La descripción de la estructura electrónica y de los fenómenos de transporte electrónico evolucionó en el s. XX desde el modelo clásico de Drude, posteriormente a modelos semiclásicos en los que la interacción con el potencial cristalino se describe cuánticamente mientras que la dinámica bajo campos externos se trata de forma semiclásica. Posteriormente, el estudio de materiales bidimensionales a baja temperatura sometidos a intensos campos magnéticos puso de manifiesto la necesidad de considerar de manera más rigurosa los efectos cuánticos del campo magnético sobre la estructura electrónica del sistema.

Por ejemplo, a diferencia del efecto Hall clásico, en este régimen de alto campo y baja temperatura, la conductividad Hall de materiales bidimensionales aparece cuantizada en múltiplos enteros de constantes fundamentales, lo cual ha permitido impulsar el desarrollo de nuevos materiales y dispositivos electrónicos de baja disipación.

Uno de los ejemplos más representativos es el espectro fractal de Hofstadter que resulta de la competencia entre periodicidad cristalina y periodicidad magnética [1]. En cristales convencionales, la observación experimental de este fenómeno requiere campos magnéticos extremadamente intensos debido al reducido tamaño de la celda cristalina, por lo que sólo pueden estudiarse de forma teórica. Sin embargo, en heteroestructuras bidimensionales basadas en grafeno pueden aparecer superredes de Moiré [2], cuya periodicidad espacial efectiva es mucho mayor y permite observar experimentalmente fenómenos relacionados con la mariposa de Hofstadter utilizando campos magnéticos accesibles.

El trabajo consistirá en una revisión bibliográfica de los fundamentos físicos del efecto Hall cuántico y su relación con la estructura electrónica de los sólidos, prestando especial atención a la descripción de electrones en redes cristalinas bidimensionales sometidas a campos magnéticos. Asimismo, se realizará una simulación numérica sencilla basada en el modelo de ligaduras fuertes de Hofstadter con el objetivo de estudiar la modificación del espectro electrónico y la aparición de la denominada mariposa de Hofstadter, así como su conexión con desarrollos recientes en materiales bidimensionales y superredes de Moiré [3, 4].

Metodología:

El trabajo se realizará en las siguientes etapas:

1. Revisión bibliográfica de los fundamentos de estructura electrónica, transporte cuántico y efecto Hall cuántico en materiales bidimensionales.

2. Revisión bibliográfica de trabajos experimentales realizados con grafeno, heteroestructuras y superredes de Moiré.
3. Implementación de una simulación numérica basada en el modelo de Hofstadter utilizando herramientas disponibles en [4], así como posible desarrollo de códigos propios para casos simples.

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

Objetivos planteados:

1. Revisar la evolución conceptual del efecto Hall clásico y cuántico y su relación con los fenómenos de transporte electrónico en sólidos.
2. Estudiar la descripción de electrones en redes cristalinas bidimensionales sometidas a campos magnéticos.
3. Implementar una simulación numérica del modelo de Hofstadter en una red cuadrada bidimensional con primeros vecinos.

Bibliografía básica:

[1] “Modern Condensed Matter Physics”, Steven M. Girvin and Kun Yang, Cambridge University Press, 2019
[2] Geim, A. K. & Novoselov, K. S. The rise of graphene. Nature Mater. 6, 183–191 (2007)
[3] D. R. Hofstadter, Energy levels and wave functions of Bloch electrons in rational and irrational magnetic fields, Phys. Rev. B 14, 2239 (1976)
[4] https://hofstadter.tools/

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: MARÍA LUISA JIMÉNEZ OLIVARES

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA APLICADA

Correo electrónico: jimenezo@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. <u>DATOS DEL ESTUDIANTE</u>:

Nombre y apellidos: JUAN MUÑOZ PARDO

Correo electrónico: juamunpar@correo.ugr.es