

INTRODUCCIÓN A LAS FASES TOPOLÓGICAS DE LA MATERIA

Posgrado en Ciencias (Física) 2024-2

Horas por semana: 3

I. MOTIVACIÓN

- Teoría de bandas. Definición de metales, semimetales, semiconductores y aislantes.
- Efecto Hall cuántico (von Klitzing). Niveles de Landau en sistemas bidimensionales.

II. FÓRMULA TKNN

- Esquema de interacción en mecánica cuántica
- Fórmula de Kubo
- Fórmula TKNN para la conductividad Hall y motivación topológica: primer número de Chern.

III. FASE DE BERRY

- Evolución adiabática cíclica
- Curvatura de Berry
- Monopolo de Berry en el espacio de parámetros
- Fase de Berry en bandas de Bloch
- Dinámica electrónica en un campo eléctrico externo (velocidad anómala)

IV. IDEAS Y MÉTODOS PROVENIENTES DE ALTAS ENERGÍAS

- Invariancia bajo transformaciones de Lorentz a nivel fundamental.
- Sondeo teórico y experimental de validez de simetría de Lorentz durante los últimos 20 años. El Modelo Estándar Extendido.
- Aparición en materia condensada de contribuciones del SME tanto a nivel efectivo como en la aproximación de bajas energías (linearizada) de los modelos de amarre fuerte.
- La ecuación de Dirac: fermiones de Majorana, Weyl y Dirac.
- Simetrías C, P, T
- La degeneración de Krammers.
- Soluciones de energía cero: la solución de Jackiw-Rebbi como una realización del Modelo de Su, Schrieffer, Heeger.
- Introducción a teorías de Chern-Simons en $2 + 1$ dimensiones

V. TEORIA EFECTIVA DE RESPUESTA ELECTROMAGNETICA

- Idea simple general en base a las simetrías.
- Idea básica de la integración de fermiones en el Hamiltoniano linearizado en torno a los puntos de cruce (Puntos de Dirac).
- Las variables fermiónicas: números de Grassmann, Cambios de variables: la medida, aparición del determinante y de la traza
- Las anomalías.
- Ejemplos de la acción efectiva

VI. LA ELECTRODINÁMICA AXIÓNICA PARA MEDIOS MAGNETOELÉCTRICOS (MME)

- El efecto magnetoeléctrico
- Acoplamiento axiónico constante por regiones
- La función de Green con simetría plana. Caso estático y dependiente del tiempo.
- Generalización a simetría esférica y cilíndrica
- Algunas aplicaciones
 1. Carga frente a un medio magnetoeléctrico: Monopolos magnéticos imágenes.
 2. Efecto magnetoeléctrico producido por objetos macroscópicos: esfera frente a MME plano. Condensador semiesférico rodeado de una capa de MME.
 3. El efecto Casimir
 4. La radiación Cherenkov hacia atrás en medios naturales.

VII. MODELOS DE RED DE AISLANTES TOPOLÓGICOS

- Modelo Su-Schrieffer-Heeger (SSH)
 - Hamiltoniano $k \cdot p$
 - Red unidimensional bipartita
 - Fase de Zak (winding number)
- Aislante de Chern (modelo Haldane)
 - Hamiltoniano $k \cdot p$
 - Red bidimensional bipartita
 - Estados de borde
- Modelo Kane-Mele (prototipo de aislante topológico 2D)
 - Hamiltoniano $k \cdot p$
 - Red bidimensional bipartita con espín

- Estados de borde
- Fu-Kane-Mele (prototipo de aislante topológico en 3D)
 - Hamiltoniano $k \cdot p$
 - Red de diamante con espín
 - Estados de borde

Bibliografía

- Shen, Shun-Qing, 2017. Topological Insulators, ed. Springer, Singapore.
- E. Burstein, A. H. MacDonald and P. J. Stiles, 2013. Contemporary Concepts of Condensed Matter Science, Topological Insulators, Volume 6, Editado por Marcel Franz y Laurens Molenkamp.
- Grigory Tkachov, 2016. Topological Insulators: The Physics of Spin Helicity in Quantum Transport, ed. Taylor & Francis, USA.
- B. Andrei Bernevig & Taylor L. Hughes, 2013. Topological Insulators and Topological Superconductors, ed. Princeton University Press, USA.
- Dirac, Majorana, and Weyl fermions, Palash B. Pal American Journal of Physics 79, 485 (2011).
- Topological field theory of time-reversal invariant insulators, Xiao-Liang Qi, Taylor L. Hughes, and Shou-Cheng Zhang, Phys. Rev. B 78, 195424 (2008)
- Kazuo Fujikawa, Hiroshi Suzuki, 2004. Path Integrals and Quantum Anomalies. Oxford Science Publications.
- János K. Asbóth, László Oroszlány, András Pályi, 2016. A Short Course on Topological Insulators, ed. Springer, Germany.
- Alexander Altland and Lars Fritz, 2012. Primer on topological insulators.