

Introducción al Transporte Cuántico: Nanoelectrónica, Superconductividad y Espintrónica

Este curso de 7 semanas ofrece una visión general sobre temas actuales y relevantes relacionados con el transporte cuántico, la superconductividad y el transporte de spin desde una perspectiva teórica, siempre buscando la conexión con los experimentos. Primero, se introducirán conceptos básicos para diferenciar entre transporte clásico y cuántico, haciendo breves incursiones en métodos teóricos como el formalismo de las matrices de scattering, ecuaciones cinéticas semiclásicas y el formalismo de Keldysh. Con estos formalismos, se abordarán inicialmente problemas relacionados con el transporte de spin en materiales magnéticos o sistemas con acoplamiento spin-órbita. Luego, se estudiará el transporte en sistemas híbridos superconductores y se profundizará en el formalismo cuasiclásico en sistemas desordenados, lo que permitirá una formulación universal del transporte basada en el modelo de sigma no lineal. Para finalizar el curso, se discutirá la física de los qubits superconductores y circuitos cuánticos, terminando con el ejemplo del transmon, el qubit superconductor utilizado en las computadoras cuánticas de última generación.

Responsables: Sebastian Bergeret (Centro de Física de Materiales (CSIC), San Sebastián, España), Sofia Favre, Daniel Ariosa, Nicolás Wschebor.

Programa Detallado: Total 7 Semanas, a 6 horas por semana.

1. Módulo 1. Transporte clásico y cuántico (1 semana)
 - a. Transporte semiclásico
Ecuación de Boltzmann semiclásica.
 - b. Transporte cuántico
Aproximación de scattering, Formalismo de Landauer-Büttiker
 - c. Desorden e interferencia
Ecuaciones de difusión, localización débil, corrientes persistentes

2. Módulo 2. Transporte dependiente del spin: Spintrónica (1,5 semanas)
 - a. Difusión y relajación del espín
 - b. Efectos magnetoeléctricos debido al acoplamiento spin-órbita
Efectos spin-Hall y spin-galvánico
 - c. Formulación covariante $SU(2)$ de las ecuaciones de transporte en presencia de acoplamiento spin-órbita

3. Módulo 3. Transporte en estructuras superconductoras (2,5 semanas)
 - a. Breve introducción a la superconductividad
 - b. Efecto de Josephson
 - c. Teoría cuasiclásica de superconductividad
Breve introducción al modelo de sigma no-lineal
 - d. Sistemas híbridos superconductor/ferromagneto: spintrónica superconductor

Módulo 4. Introducción a los qubit superconductores (1 semana)

- a. Circuitos LC cuánticos
- b. Del "Cooper-pair box" al transmon

Módulo 5. Presentación de seminarios breves (1 semana)

Horario: 6 horas semanales.

Créditos sugeridos: 7

Aprobación: Entrega periódica de ejercicios. Presentar al menos la solución de un ejercicio en un breve seminario durante la semana 7 del curso.

Examen: Se rendirá un examen oral sobre todo el curso.

Bibliografía:

Libros

- [1] Y. N. Nazarov, & Y. M. Blanter. *Quantum Transport* (2009), Cambridge University Press
- [2] M. Tinkham. *Introduction to superconductivity*(2004). Courier Corporation.
- [3] T. T. Heikkilä. *The Physics of Nanoelectronics* (2013), Oxford University Press
- [4] A. Kamenev. *Field Theory of non-equilibrium Systems* (2023), Cambridge University Press.

Artículos que se discutirán en el curso

Blanter, Ya M., and Markus Büttiker. "Shot noise in mesoscopic conductors." *Physics reports* 336.1-2 (2000): 1-166.

Lambert, C. J., and R. Raimondi. "Phase-coherent transport in hybrid superconducting nanostructures." *Journal of Physics: Condensed Matter* 10.5 (1998): 901.

Sinova, Jairo, et al. "Spin hall effects." *Reviews of modern physics* 87.4 (2015): 1213-1260.

Žutić, Igor, Jaroslav Fabian, and S. Das Sarma. "Spintronics: Fundamentals and applications." *Reviews of modern physics* 76.2 (2004): 323.

Bergeret, F. S., Anatoly F. Volkov, and Konstantin B. Efetov. "Odd triplet superconductivity and related phenomena in superconductor-ferromagnet structures." *Reviews of modern physics* 77.4 (2005): 1321-1373.

Bergeret, F. Sebastian, et al. "Colloquium: Nonequilibrium effects in superconductors with a spin-splitting field." *Reviews of Modern Physics* 90.4 (2018): 041001.

Martinis, John M., et al. "Rabi oscillations in a large Josephson-junction qubit." *Physical review letters* 89.11 (2002): 117901.

Koch, Jens, et al. "Charge-insensitive qubit design derived from the Cooper pair box." *Physical Review A—Atomic, Molecular, and Optical Physics* 76.4 (2007): 042319.

Konschelle, François, Ilya V. Tokatly, and F. Sebastián Bergeret. "Theory of the spin-galvanic effect and the anomalous phase shift ϕ_0 in superconductors and Josephson junctions with intrinsic spin-orbit coupling." *Physical Review B* 92.12 (2015): 125443.