

photon energy.



**CURSO DE POSGRADO**

# **TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES**

**INFORMACIÓN AMPLIADA**

# TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES



**Tipo de actividad:** Curso de posgrado

**Denominación:** Teoría avanzada del transporte cuántico de electrones.

**Destinatarios:** Estudiantes graduados que hayan aprobado Mecánica Cuántica I o materia equivalente al programa de Mecánica Cuántica I de la UNNE.

**Carga horaria:** 90 horas.

**Dictado del curso:** Inicia en septiembre.

**Inscripción:** al e-mail [sip.cursos@comunidad.unne.edu.ar](mailto:sip.cursos@comunidad.unne.edu.ar)

**Modalidad:** Presencial.

**Aranceles:**

- General: \$40.000
- Docentes ordinarios y alumnos de posgrado de FaCENA: \$20.000

**Fundamentación**

Este curso surge de la necesidad de cubrir formalismos fundamentales que permitan iniciar los trabajos de investigación en Física Teórica de vanguardia relativa al transporte cuántico de electrones y de ondas. En este curso se busca complementar los conocimientos teóricos en conjunción con las aplicaciones tecnológicas. Para ello se tomarán temas que no son cubiertos en detalle en otros cursos. En cuanto sea posible, el énfasis de los distintos tópicos se adaptará los campos de investigación de cada uno de los alumnos, principalmente a través de problemas de resolución individual.

En términos conceptuales este curso se extienden los conceptos desarrollados en los cursos de Mecánica Cuántica, Termodinámica y Mecánica estadística para explicar propiedades de la Materia Condensada que impactan en los desarrollos conceptuales y las tecnologías actuales.

**Contenidos**

# TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES



Unidad 1: Formalismo de la función respuesta

Formalismo de la función respuesta en un sistema mecánico simple: Oscilador armónico forzado, Función respuesta (Kramers-Kronig). Osciladores acoplados, Función de Green y Función Respuesta. Aparición del rozamiento. Transición de fase dinámica.

Unidad 2: Función respuesta en sistemas cuánticos.

Hamiltonianos tight-binding, self-energy. Funciones de Green. Cadena infinita de sitios: expresiones analíticas para la self-energy, relación de dispersión. Método de decimación. Densidad de estados. Fermi Golden Rule. Estados extendidos. Eco mesoscópico. Defecto en una Cadena lineal: estados localizados.

Unidad 3: Transporte de estado estacionario.

Transporte balístico de estado estacionario en nano estructuras. Cuantización de la conductancia. Uso de las funciones de Green en el transporte cuántico de electrones. Fórmula de Fisher-Lee. Formalismo de Scattering, transmitancia y reflectancia. Evaluación de corrientes. Respuesta lineal y Formalismo de Onsager.

Unidad 4: Dinámica Cuántica.

4.1 Ecuación de Schrodinger dependiente del tiempo. Métodos numéricos para la resolución de la ecuación de Schrodinger. Propagación temporal: método Trotter-Suzuki.

4.2 Sistemas de dos niveles. Cruces evitados. Oscilaciones de Rabi. Dinámica adiabática y correcciones no adiabáticas: fórmula de Landau-Zener. Hamiltonianos periódicos y teoría de Floquet.

Unidad 5: Transporte en sistemas periódicamente modulados.

5.1. Cuentas simples. Transporte a partir de una doble barrera: analítico y dinámico. Formalismo de Scattering, transmitancia y reflectancia. Transporte de estado estacionario en nano estructuras. Fórmula de Fisher-Lee revisitada.

5.2. Sistemas forzados con campo intenso. Sistema de dos niveles con excitación periódica. Aproximación de onda rotante: oscilaciones de Rabi.

# TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES



Unidad 6: Hamiltonianos no Hermitianos:

Hamiltonianos no-Hermitianos. Extensión al plano complejo. Autovectores por izquierda y por derecha. Hamiltonianos PT-simétricos y puntos excepcionales. Biortogonalidad. Expansión de la función de Green.

## Objetivos

Desarrollar en profundidad contenidos conceptuales que no se abordan en los cursos estándar de la licenciatura en Cs. Físicas asociados a la teoría avanzada del transporte cuántico y dinámica de electrones. Principalmente, este curso se enfoca en un formalismo teórico que usa Funciones de Green para la descripción del transporte. Si bien se trata de un curso teórico, se espera que los estudiantes asimilen los contenidos en conexión con experimentos y aplicaciones tecnológicas de relevancia actual para así justificar algunas de las novedosas propiedades de nuevos materiales y dispositivos (electrónicas, térmicas, mecánicas y magnéticas)

Se busca que los estudiantes desarrollen competencias en:

- 1- Resolución de problemas y desarrollo de análisis e interpretación profunda de los resultados conceptuales.
- 2- Desarrollo de códigos numéricos sencillos para la integración temporal de ecuaciones dinámicas, aplicados a la dinámica cuántica de electrones. Habilidades a desarrollar: Revisión de los códigos; análisis de coherencia entre los resultados obtenidos y el análisis físico previo; visualización y análisis de datos.
- 3- Habilidades de presentación, discusión y explicación de los problemas. Tales competencias servirán para poner al estudiante en condiciones de iniciar investigación original para explicar experimentos o hacer desarrollos teóricos originales en estos campos.

## Metodología de enseñanza

Se trabajarán los trabajos prácticos en grupos de a dos o excepcionalmente en forma individual. Cada una de las guías contendrá tanto ejercicios teóricos como ejercicios prácticos, con un alto grado de contenidos conceptuales, los cuales promoverán la discusión entre pares y la consolidación de los conceptos enseñados en la teoría. A su vez, la guía de ejercicios prácticos se

# TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES



enfocará en la resolución de problemas de relevancia actual.

La carga horaria semanal se distribuirá en exposiciones presenciales de 6 hs distribuidas en dos clases teórico-prácticas semanales.

## Instancias de evaluación y aprobación

La metodología de evaluación está centrada en una evaluación sumativa. Consiste en la entrega de siete trabajos prácticos, en grupos de a dos, los cuales serán previamente discutidos con los docentes responsables. Al final del curso presentarán temas integradores, de entrega individual, previa discusión con los docentes responsables. Esta última instancia será presentada de manera oral con la ayuda de diapositivas y/o simulaciones.

## Docentes:

- Fernández, Lucas Jonatan. Doctor en Física. (Coordinador)
- Ramos, Alba Yanina. Doctora en Física.

## Bibliografía General

"Quantum Transport: Atom to Transistor", Supriyo Datta, Cambridge U. Press (2006).

"Electronic Transport in Mesoscopic Systems", Supriyo Datta. Cambridge Univ. Press (1996).

"Tight-Binding methods in quantum transport through molecules and small devices": from the coherent to de decoherent description " H.M. Pastawski and E. Medina, Revista Mexicana Física 47 supp.1 (1-23) (2001).

"Introduction to Graphene-Based Nanomaterials: From Electronic Structure to Quantum Transport" 2nd Edition by Luis E. F. Foa Torres, Stephan Roche, Jean-Christophe Charlier Cambridge U. Press (2020).

Lessons from Nanoelectronics: A New Perspective on Transport, Supriyo Datta, Purdue University (2017).

Charles Kittel Quantum Theory of Solids, John Wiley & Sons (1963).

# TEORÍA AVANZADA DEL TRANSPORTE CUÁNTICO DE ELECTRONES



J. M. Ziman, Principles of the Theory of Solids, Cambridge University Press (1972).

E. N. Economou, Green's Functions in Quantum Physics, Springer (2006)