

**Universidad Nacional de Rio Cuarto**  
**Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales**

**FORMULARIO PARA LA PRESENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE ASIGNATURAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**CARRERA:** Licenciatura en Física

**PLAN DE ESTUDIOS:**

**ASIGNATURA:** Especialidad II: "Transporte Electrónico en nanodispositivos"

**CÓDIGO:** 2256

**DOCENTE RESPONSABLE:** Hernán L. Calvo

**EQUIPO DOCENTE:** Hernán L. Calvo (Doctor en Física)

**AÑO ACADÉMICO:** 2015

**REGIMEN DE LA ASIGNATURA:** Cuatrimestral

**RÉGIMEN DE CORRELATIVIDADES:**

<b>Aprobada</b>	<b>Regular</b>
2247 – Métodos Matemáticos de la Física	2252 – Especialidad I
2250 – Mecánica Cuántica I	

**CARGA HORARIA TOTAL:** 112 hs

**TEÓRICAS:** 4 hs

**PRÁCTICAS:** 4 hs

**LABORATORIO:** –

**CARÁCTER DE LA ASIGNATURA:** Obligatoria

## **A. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ASIGNATURA**

Primer cuatrimestre de quinto año.

## **B. OBJETIVOS PROPUESTOS**

Introducir, discutir e interpretar el transporte electrónico en la escala mesoscópica, con especial énfasis en los modelos y técnicas de resolución. En particular, se busca brindar al alumno conceptos bien establecidos dentro de la temática de materia condensada y fortalecer su formación en nuevas técnicas de resolución de problemas de interés actual.

## **C. CONTENIDOS BÁSICOS DEL PROGRAMA A DESARROLLAR**

Formalismo de matriz de scattering y aplicación a sistemas dependientes del tiempo. Bombeo adiabático. Técnicas de resolución basadas en funciones de Green para una partícula y adaptación al transporte balístico. Sistemas fuertemente interactuantes en el régimen de bloqueo de Coulomb y sistemas modulados periódicamente.

## **D. FUNDAMENTACIÓN DE LOS CONTENIDOS**

El carácter mesoscópico de los dispositivos a estudiar implica un régimen de transporte que no puede ser descrito por las leyes clásicas del electromagnetismo. Basado en los triunfos de la mecánica cuántica, el transporte electrónico a escala mesoscópica representa un problema apasionante tanto desde el punto de vista teórico como experimental. En este contexto, es necesario revisar los conceptos adquiridos en los cursos de Mecánica Cuántica y Termodinámica estadística, para volcarlos luego en formalismos específicos a estos sistemas. Como punto de partida se toma el transporte electrónico en el régimen balístico, donde la corriente de carga depende fuertemente de las propiedades (cuánticas) del sistema que se tienen en cuenta en la matriz de scattering, implicando ello modificaciones a, por ejemplo, la ley de Ohm. Luego se pasa a una metodología compatible con la matriz de scattering que acelera la resolución e interpretación de los efectos que ocurren en dicha escala. Finalmente se introduce la problemática de la interacción Coulombiana entre partículas en sistemas altamente confinados, con métodos y aproximaciones afines.

## **E. ACTIVIDADES A DESARROLLAR**

**CLASES TEÓRICAS:** Se expondrán los contenidos de la materia junto con las herramientas necesarias para la resolución de ejemplos prácticos.

**CLASES PRÁCTICAS:** Se resolverán ejercicios prácticos donde se ejemplifiquen los conceptos desarrollados en el teórico y a su vez se discutirán en detalle resultados que complementan la parte teórica.

**CLASES DE TRABAJOS PRÁCTICOS DE LABORATORIO: –**

## **F. NÓMINA DE TRABAJOS PRÁCTICOS**

- F1. Física del estado sólido (repaso).
- F2. Matriz de scattering.
- F3. Modelo tight-binding y funciones de Green.
- F4. Teoría de Floquet.
- F5. Aproximación diagramática en régimen estacionario.
- F6. Expansión en frecuencia y bombeo adiabático.

**G. HORARIOS DE CLASES:** Martes de 09:00 a 13:00 y de 14:00 a 18:00.

**HORARIO DE CLASES DE CONSULTAS:** A convenir con los alumnos.

#### **H. MODALIDAD DE EVALUACIÓN:**

- **EVALUACION FINAL:** Trabajo final a ser expuesto en forma oral. El trabajo consistirá en la aplicación de los contenidos brindados en el curso para la resolución de un problema específico a ser desarrollado por el alumno.
- **CONDICIONES DE REGULARIDAD:** Asistencia del 80% a todas las actividades del curso.
- **CONDICIONES DE PROMOCIÓN:**

### **PROGRAMA ANALÍTICO**

#### **A. CONTENIDOS**

**Unidad 1:** *Conceptos preliminares en física del estado sólido.*

Gas de electrones bidimensional (2DEG). Semiconductores. Estructura de bandas. Masa efectiva y densidad de estados. Conductancia y transmisión.

**Unidad 2:** *Formalismo de matriz de scattering.*

Formalismo de Landauer-Büttiker. Función de transmisión y matriz de scattering. Conductancia en sistemas multi-terminales. Decoherencia. Extensión a sistemas conducidos periódicamente. Bombeo adiabático. Emisividad y fórmula de Brouwer.

**Unidad 3:** *Método tight-binding y funciones de Green.*

Discretización de la ec. de Schrödinger. Sistemas cerrados y abiertos. Ecuación de Dyson. Cálculo de self-energy por técnicas de decimación. Relación de dispersión, densidad de estados, transmitancia y conductancia. Fórmula de Fisher-Lee. Propagador temporal y método de Trotter-Suzuki.

**Unidad 4:** *Teoría de Floquet.*

Propiedades generales. Evolución temporal para Hamiltonianos de Floquet. Teoría de Floquet generalizada. Ejemplos: Destrucción coherente de tunneling, bombeo mono-paramétrico, sistemas cuánticos conducidos por campos circularmente polarizados.

**Generalización del formalismo de matriz de scattering.**

**Unidad 5:** *Transporte en Puntos cuánticos.*

Fenomenología y fabricación. Descripción cualitativa. Régimen de bloqueo de Coulomb. Espectroscopía. Transporte cuantizado de carga. Experimentos. Modelo de Anderson. Vibraciones. Modelo de Anderson-Holstein. Bloqueo de Frank-Condon.

**Unidad 6:** *Real-time diagrammatic approach.*

Segunda cuantización. Álgebra de superoperadores. Ecuación de Liouville-von Neumann. Matriz densidad reducida. Ecuación maestra generalizada. Teorema de Wick. Tunneling secuencial y cotunneling.

### Unidad 7: *Expansión adiabática.*

Ecuación cinética instantánea y adiabática. Expansión en el acople a los reservorios. Cálculo diagramático del Kernel instantáneo y adiabático. Separación secular. Bombeo adiabático en puntos cuánticos. Funciones de respuesta y conexión con la fórmula de Brouwer. Interpretación geométrica (fase de Berry). Corrientes de carga y espín.

## B. CRONOGRAMA DE CLASES

Semana	Teóricos	Prácticos	Fechas
1	U. 1	–	17/03
2 – 3	U. 2	F1 y F2	24/03* – 31/03
4 – 6	U. 3	F2 y F3	07/04 – 14/04 – 21/04
7	U. 4	F3	28/04
8	U. 5	F4	05/05
9 – 11	U. 6	F5	12/05 – 19/05 – 26/05
12 – 14	U. 7	F5 y F6	02/06 – 09/06 – 16/06

\*De ser posible, la clase programada para el día 24/03, que corresponde a un feriado, se recuperará en algún otro día de esa misma semana o siguiente.

## C. BIBLIOGRAFÍA

**Electronic transport in Mesoscopic systems.** S. Datta, Cambridge University Press, 1997.

**Green's functions in Quantum Mechanics.** E. N. Economou, Springer Series in solid-state sciences, 3rd edition, 2006.

**Semiconductor nanostructures: Quantum States and Electronic Transport.** T. Ihn, Oxford University press, 2010.

**Lectures on Quantum Mechanics.** G. Baym, Lecture Notes & Supplements in Physics Ser., 1974.

– *Literatura relacionada* –

- M. Büttiker and M. Moskalets, "Scattering theory of dynamic electrical transport," Lect. Notes Phys. **690**, 33 (2006).
- P.W. Brouwer, "Scattering approach to parametric pumping," Phys. Rev. B **58**, 10135 (1998).
- H.M. Pastawski and E. Medina, "Tight-binding methods in quantum transport through molecules and small devices," Rev. Mex. Fis. **47**, 1 (2001).
- S. Kohler, J. Lehmann and P. Hänggi, "Driven quantum transport on the nanoscale," Phys. Reports **406**, 379 (2005).
- J. Splettstoesser, Adiabatic pumping through quantum dots, PhD Thesis, Ruhr-Universität Bochum, 2007.
- F. Reckermann, Transport theory through single molecules, PhD Thesis, RWTH Aachen University, 2010.