



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**INSTITUTO DE FÍSICA "LUIS RIVERA TERRAZAS"**

**PLAN DE ESTUDIOS:**

**DOCTORADO EN CIENCIAS  
(FÍSICA).**

**2012**

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

*Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado*

*Dirección General de Estudios de Posgrado*

Nombre del Posgrado: **DOCTORADO EN CIENCIAS (FÍSICA)**

Unidad Académica:	Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas"
Programa de Posgrado:	Doctorado en Ciencias (Física)
Título que se otorga:	Doctorado en Ciencias (Física)
Niveles contemplados en el mapa curricular: básico, formativo y optativas, por semestres	
Créditos mínimos y máximos para la obtención del grado:	60--72
Número de semanas por semestre	20 semanas

Código	Opción A (con exámenes generales aprobados)					Opción B (con exámenes generales aprobados en la 1ra. Oportunidad)					Opción C (con exámenes generales aprobados en la 2da. Oportunidad)				
	Asignaturas	HT	HP	TC	Requisitos	Asignaturas	HT	HP	TC	Requisitos	Asignaturas	HT	HP	TC	Requisitos
<b>1º Semestre</b>															
	• Optativa Inicio de tesis doctoral	6		12		• Seminario de preparación de exámenes generales • Presentación de examen general (1ra. Oportunidad)	6		12		• Seminario de preparación de exámenes generales • Presentación de examen general (1ra. Oportunidad)	6		12	
<b>2º Semestre</b>															
	• Optativa - Tesis doctoral - Presentación de Examen Preliminar	6		12		• Optativa Inicio de tesis doctoral	6		12		• Optativa Presentación de examen general (2da. Oportunidad)	6		12	
<b>3º Semestre</b>															
	• Optativa Tesis doctoral	6		12		• Optativa - Tesis doctoral - Presentación de Examen Preliminar	6		12		• Optativa Inicio de tesis doctoral	6		12	

4° Semestre														
	• Seminario de Tesis I Tesis doctoral	6		12		• Optativa -Tesis doctoral	6		12		• Optativa -Tesis doctoral -Presentación de Examen Preliminar	6		12
5° Semestre														
	• Seminario de Tesis II Tesis doctoral	6		12		• Seminario de Tesis I Tesis doctoral	6		12		• Seminario de Tesis I -Tesis doctoral	6		12
6° Semestre														
	Tesis Doctoral					• Seminario de Tesis II Tesis doctoral	6		12		• Seminario de Tesis II -Tesis doctoral	6		12
7° Semestre														
	Tesis doctoral					Tesis doctoral					Tesis doctoral			
8° Semestre														
	• Tesis doctoral • Presentación de examen de grado.					Tesis doctoral Presentación de examen de grado					Tesis doctoral Presentación de examen de grado			
	Total de créditos	30		60			36		72			42		72

HT: Horas teoría

HP: Horas práctica

TC: Total de créditos

*Cursos Optativos: El mapa curricular será estructurado por el Comité Académico y el asesor de cada estudiante. Las materias que se cursarán serán las que se juzguen convenientes para la formación integral del mismo. En el diseño del programa de materias optativas se buscará que no haya una sobreespecialización, para lo cual los estudiantes cursarán como mínimo una materia optativa especializada y dos generales. En el diseño del programa de las materias optativas, el estudiante cursará un mínimo de tres materias. En este programa el seminario de preparación de exámenes generales será una materia obligatoria según sea el caso. Adicionalmente se cursará el seminario de tesis I y Seminario de tesis II como materias obligatorias en el Doctorado.*

## **FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO**

### OBJETIVO

Aprender los conceptos básicos para el estudio de las propiedades de sólidos.

### CONTENIDO

- Simetría cristalina.
- Fonones en cristales, cuantización de vibraciones elásticas en cadenas discretas unidimensionales.
- Fonones en cristales isotrópicos, fonones acústicos y ópticos. Teoría de Debye.
- Electrones en cristales, Teorema de Bloch, bandas de energía.
- Modelo de Kronig-Penney.
- Modelo de electrones cuasi-libres.
- Modelo de amarre fuerte.
- Clasificación de sólidos: Metales dieléctricos, Semiconductores, Semimetales.
- Superficie de Fermi en metales.
- Interacción electrón-fonón, potencial de deformación.
- Dinámica de Electrones en un campo magnético.
- Cuantización de Landau en campos magnéticos.
- Diamagnetismo, Paramagnetismo, Oscilaciones de Haas-Van Alphen.
- Bandas de energía en semiconductores, semiconductores degenerados y no degenerados. Impurificación: donadores y aceptores.
- Excitones en semiconductores, absorción óptica.
- Estructuras artificiales, superredes, cristales fotónicos.
- Superconductividad.

### BIBLIOGRAFÍA

1. C. Kittel, *Quantum Theory of Solids* (Wiley, 1987).
2. A.A. Abrikosov, *Fundamentals of the Theory of Metals* (Elsevier Science Pub. Co., 1988).
3. N.W. Ashcroft and N.D. Mermin, *Solid State Physics* (Rinehart and Winston, 1976).
4. G. Burns, *Solid State Physics* (Academic Press, 1990).

## DINÁMICA NO LINEAL

### OBJETIVO

Aprender los conceptos y herramientas esenciales de la teoría de sistemas dinámicos y entender el origen del caos determinista en sistemas conservativos y disipativos; además, analizar la dinámica caótica y regular de modelos prototípicos y su aplicación a sistemas físicos.

### CONTENIDO

- Fundamentos de sistemas dinámicos.
- Flujos y mapeos (lineal vs no lineal).
- Análisis de estabilidad y bifurcaciones.
- Sistemas hamiltonianos.
- Resonancias no lineales.
- Mapeos de Poincaré.
- Caos en sistemas hamiltonianos.
- Teoremas de KAM y Poincaré-Birkhoff.
- Caos en sistemas disipativos.
- Atractores extraños, fractales y rutas al caos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. R.L. Ingraham, *A Survey of Nonlinear Dynamics. Chaos Theory* (World Scientific, 1991).
2. M. Tabor, *Chaos and Nonintegrability in Nonlinear Dynamics* (Wiley, 1989).
3. A.J. Lichtenberg and M.A. Lieberman, *Regular and Chaotic Dynamics* (Springer-Verlag, 1992).

## FÍSICA DE PARTÍCULAS Y CAMPOS

### OBJETIVO

Mostrar el estado actual de la Física de Partículas Elementales, con un énfasis en el uso de las simetrías, entendidas como uno de los principios físicos fundamentales que nos permite clasificar el espectro de partículas y de sus interacciones. También, el estudio de algunas técnicas de cálculo que permitan evaluar los procesos más simples que puedan tener una aplicación más amplia.

### CONTENIDO

- Perspectiva histórica.
- Clasificación de las partículas y fuerzas.
- Ecuaciones relativistas.
- Técnicas de cálculo.
- Electrones y fotones.
- Interacciones electrodébiles de leptones.
- Rompimiento espontáneo de la simetría.
- El modelo de Weinberg-Salam.
- Interacciones electrodébiles de quarks.
- Interacciones fuertes de quarks.
- Simetrías globales de sabor y modelos de hadrones.
- Simetrías discretas.
- Gran unificación y supersimetría.

### BIBLIOGRAFÍA

1. G.L. Kane, *Modern Elementary Particle Physics* (Addison Wesley, 1987).
2. I.J.R. Aitchison and A.J.G. Hey, *Gauge Theories in Particle Physics* (Institute of Physics Pub., 1989).
3. T.P. Cheng and L.F. Li, *Gauge Theory of Elementary Particle Physics* (Oxford University Press, 1984).

## **FÍSICA ATÓMICA Y MOLECULAR**

### OBJETIVO

Estudiar los fundamentos y métodos para el análisis cuántico de la estructura de sistemas atómicos y moleculares.

### CONTENIDO

- Teoría de grupos: Operaciones de simetría; clasificación de moléculas; cálculo de simetría; representaciones matriciales; representaciones irreducibles; el gran teorema de ortogonalidad; la reducción de representaciones; bases de simetría adaptada.
- Técnicas de Aproximación: Teoría de perturbaciones independiente del tiempo; teoría de perturbaciones para estados degenerados; solución variacional de la ecuación de Schrödinger; teorema de Hellmann-Feynman; teoría de perturbaciones dependiente del tiempo; razones de transición; probabilidades de transición de Einstein; vida media de un estado e incertidumbre en la energía.
- Espectros Atómicos y Estructura Atómica: Espectro del átomo de hidrógeno; reglas de selección; estructura fina y acoplamiento spín-órbita; nomenclatura espectroscópica; espectros de metales alcalinos; estructura del átomo de helio; el espectro del helio y el principio de Pauli; tabla periódica; energías de ionización; orbitales atómicos aproximados; campos autoconsistentes; átomos polielectrónicos.
- Tratamientos Moleculares: Aproximación de Born-Oppenheimer; el ión molecular de hidrógeno; el método de orbitales moleculares; el método de enlace de valencia; estructura de moléculas diatómicas; estructura de moléculas poliatómicas; sistemas  $\pi$ -conjugados; teoría del campo ligante; teorema de Jahn-Teller; complejos de metales de transición.
- Estructura Vibracional y Rotacional de Moléculas: Transiciones espectrales; rotación de moléculas; reglas de selección; vibración y rotación de moléculas diatómicas; vibración de moléculas poliatómicas; teoría de grupos y vibraciones moleculares; anarmonicidades.
- Estructura Electrónica de Moléculas: Reglas de selección; transiciones vibrónicas y principio de Franck-Condon; el espectro electrónico de moléculas poliatómicas; transiciones singulete-triplete; decaimiento de estados excitados; conservación de la simetría del orbital.

## BIBLIOGRAFÍA

1. P.W. Atkins and R.S. Friedman, *Molecular Quantum Mechanics* (Oxford University Press, 1996).
2. P.W. Atkins, *Quanta* (Oxford University Press, 1991).
3. I.N. Levine, *Quantum Chemistry*, 5th edition (Prentice-Hall, 2000).
4. F.L. Pilar, *Elementary Quantum Chemistry* (Dover, 2001).

## **MÉTODOS COMPUTACIONALES DE LA FÍSICA**

### OBJETIVO

Estudiar algunos de los métodos numéricos fundamentales para resolver problemas planteados en diversos campos de la Física, junto con su implementación en un lenguaje de programación estándar.

### CONTENIDO

- Introducción: Modelos computacionales del mundo real. Análisis dimensional. Conceptos de programación. Números reales y números de punto flotante. Errores y sus propagación.
- Análisis numérico básico: Sistemas de ecuaciones lineales, interpolación, sistemas de ecuaciones no lineales, integración numérica, y transformada rápida de Fourier. Aplicaciones: Estado estacionario y transitorio de un gas de electrones, la física de un canal corrugado, pérdida de energía de electrones en alambres cuánticos, dinámica de sistemas astrofísicos.
- Optimización: El problema del agente viajero y el algoritmo de hormiga. Problemas de minimización de energía.
- Problemas de autovalores: Diagonalización de matrices en mecánica clásica y cuántica. Estados de Mariposa de un electrón en un sólido. La física del canal corrugado-caso cuántico.
- Ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales: Métodos de bajo orden. Solución de las ecuaciones de Newton. Estabilidad y precisión. Métodos de alto orden. Problemas Stiff. Diferencias finitas y elemento finito. Aplicaciones: Dinámica de un reactor nuclear. Modelos de Bianchi para universos iniciales. Competencia entre poblaciones. La Ecuación de Schrödinger como ecuaciones de Euler de un fluido incompresible.
- Simulación, números aleatorios, y método de Monte Carlo: Distribución uniforme. Distribución normal. Generación de distribuciones arbitrarias. Aplicaciones: Distribuciones velocidad y materia de los sistemas astrofísicos, la física de un canal corrugado, y dinámica de un gas de electrones,

## BIBLIOGRAFÍA

1. D. Kahaner, C. Moler, and S. Nash, *Numerical Methods and Software* (Prentice Hall, 1989).
2. R.H. Landau and M.J. Paez-Mejia, *Computational Physics* (Wiley, 1997).
3. P.L. Devries, *A First Course in Computational Physics* (Wiley, 1994).
4. W.H. Press, *et al. Numerical Recipes in C++* (Cambridge University Press, 2002).

## MÉTODOS MATEMÁTICOS DE LA FÍSICA

### OBJETIVO

Proporcionar las herramientas matemáticas necesarias para un mejor desempeño en los otros cursos del posgrado en Física y en labores de investigación.

### CONTENIDO

- Cálculo variacional: Ecuación de Euler, una y varias variables independientes, multiplicadores de Lagrange, variaciones sujetas a restricciones.
- Teoría de grupos: Grupos continuos, momento angular orbital, grupos discretos.
- Ecuaciones Diferenciales y funciones especiales: Ecuaciones diferenciales ordinarias, ecuaciones diferenciales parciales, puntos singulares, solución por series, ecuaciones no-homogéneas, función de Green, función Gamma, funciones de Legendre.
- Transformadas integrales y ecuaciones integrales: Teoremas de convolución, función generatriz, Series de Neumann, Kernels separables, teoría de Hilbert-Schmidt, funciones de Green.

### BIBLIOGRAFÍA

1. G. Arfken and H.J. Weber, *Mathematical Methods for Physicists* (Harcourt/Academic Press, 2001).
2. M. Tinkham, *Group Theory and Quantum Mechanics* (McGraw-Hill, 1964).
3. J.F. Cornwell, *Group Theory in Physics* (London, Academic Press, 1984).
4. K.N. Srinivasa Rao, *Linear Algebra and Group Theory for Physicists* (New York, John Wiley & Sons, 1996).

**MATERIAS OPTATIVAS**  
**ESPECIALIZADAS**

## **ANÁLISIS DE SUPERFICIES**

### OBJETIVO

Dar una base profunda al estudiante de los conceptos teóricos y de las técnicas experimentales que le permitan entender rigurosamente los fenómenos que ocurren en las superficies de los materiales.

### CONTENIDO

- Introducción: ¿Qué es la superficie?. Técnicas de vacío y ultra alto vacío. Adsorción de superficie. Técnicas de análisis de superficies (limitaciones y ventajas).
- Cristalografía Superficial y Difracción: Difracción de electrones y red recíproca. Dominios, escalones y defectos. Difracción de electrones de baja energía (LEED): generalidades y métodos de transformada de Fourier. Elementos básicos de teorías de dispersión múltiple y aplicaciones. Efectos térmicos. Difracción de electrones reflejados de alta energía (RHEED): métodos de Rayos-X para determinación de la estructura superficial y aplicaciones.
- Espectroscopías Electrónicas: Espectroscopía de fotoelectrones producidos con rayos-X (XPS): Introducción, fuentes de fotones. XPS de niveles de los electrones en la coraza atómica. Radiación sincrotrónica. Efectos estructurales en XPS. Espectroscopía de electrones Auger (AES): Procesos básicos. Forma de línea y variación energética. Análisis de composición superficial. Efectos estructurales.
- Microscopías de Tunelamiento: Microscopía de barrido por tunelamiento. Microscopía de fuerza atómica.
- Estudio de Superficies Mediante Procesos Ópticos: Espectroscopía de átomos adsorbidos y moléculas: Dispersión Raman. Espectroscopía de Infrarrojo: absorbencia, reflectancia, ATR. Fotoluminiscencia.

### BIBLIOGRAFÍA

1. D.P. Woodruff, T. A. Delchar, *Modern Techniques of Surface Science*, 2nd edition (Cambridge University Press, 1994).
2. R.V. Stuart, *Vacuum Technology, Thin Films and Sputtering (an Introduction)* (Academic Press, 1982).
3. A. Zangwill, *Physics at Surfaces* (Cambridge University Press, 1988).
4. H. Ibach, ed., *Electron Spectroscopy for Surface Analysis (Topics in Current Physics)* (Springer-Verlag, 1977).
5. F.R. Aussenegg, A. Leitner and M. E. Lippitsch, eds., *Surface Studies with Lasers (Chemical Physics 33)* (Springer-Verlag, 1983).

## **CAOS EN SISTEMAS FÍSICOS**

### OBJETIVO

Aprender los fenómenos no lineales en la Física utilizando diferentes modelos y métodos de la teoría del Caos.

### CONTENIDO

- Sistemas dinámicos; lineales vs no lineales: Oscilaciones; espacio fase; variables de ángulo-acción; resonancias no lineales.
- Sistemas hamiltonianos: El péndulo forzado; el mapa estándar; secciones de Poincaré; criterios de movimiento caótico.
- Caracterizaciones del movimiento caótico: Teorema de KAM; entropía de Sinai-Kolmogorov; inestabilidad local; ergodicidad; interacción de resonancias.
- Aplicaciones a sistemas físicos: átomo de hidrógeno en campo magnético; el modelo de la red de Toda; el modelo de Fermi-Pasta-Ulam; descripción estadística de sistemas dinámicos.
- Modulación de frecuencia y amplitud: Resonancias laterales; difusión; difusión de Arnol'd.
- Dispersión regular y caótica: Caracterización y sistemas físicos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. S. H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos with Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering* (Addison-Wesley, Massachusetts, 1994).
2. J. Guckenheimer & Ph. Holmes, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems and Bifurcation of Vector Fields* (Springer-Verlag, New York, 1991).

# **CERÁMICAS**

## OBJETIVO

Profundizar los conocimientos sobre los procesos de preparación y control de las propiedades de los materiales cerámicos.

## TEMARIO

### **I) Química de Precursores Cerámicos**

- ✓ Alóxidos Metálicos.
- ✓ Sol–Gel.

### **II) Microestructura de las Cerámicas**

- ✓ Diagramas de Fases Cerámicas.
- ✓ Reacciones entre Sólidos.
- ✓ Crecimiento de Grano, Sinterización.
- ✓ Microestructura.

### **III) Propiedades de las Cerámicas**

- ✓ Térmicas.
- ✓ Ópticas.
- ✓ Deformación Plástica.
- ✓ Elasticidad.
- ✓ Tensiones Térmicas y de Composición.
- ✓ Conductividad Eléctrica.
- ✓ Propiedades Dieléctricas.
- ✓ Propiedades Magnéticas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. W. D. Kingery, H. K. Bowen, D.R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd edition (John Wiley & Sons, 1976).
2. D.R. Uhlmann, D.R. Ulrich, *Ultrastructure Processing of Advanced Materials* (John Wiley & Sons, 1992).

## CRISTALES FOTÓNICOS

### OBJETIVO

Aprender los conceptos y herramientas necesarias para el análisis de prototipos de cristales fotónicos, obteniendo así un panorama de los problemas actuales en el área.

### CONTENIDO

- Introducción: Cristales fotónicos.
- Electromagnetismo en medios dieléctricos: Ecuaciones de Maxwell; Electromagnetismo como un problema de eigenvalores; propiedades de escalado de las ecuaciones de Maxwell; comparación de electrodinámica y mecánica cuántica.
- Simetría y electromagnetismo del estado sólido: Uso de simetrías para la clasificación de los medios electromagnéticos; simetría traslacional (continua y discreta); estructura de bandas fotónicas; simetría rotacional y zonas irreducibles; separación de modos; invariancia bajo inversión temporal.
- Sistemas unidimensionales: Origen de los gaps fotónicos; modos evanescentes.
- Modos localizados en defectos: Estados de superficie.
- Sistemas bidimensionales: Estados de Bloch bidimensionales; tipos de redes; gaps completos; propagación fuera del plano de la periodicidad; localización de luz por defectos, estados de superficie.
- Sistemas tridimensionales: Cristales con gaps fotónicos completos; localización en defectos puntuales y lineales; localización en superficies.

### BIBLIOGRAFÍA

1. J. D. Joannopoulos, R. D. Meade & J. N. Winn, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light* (Princeton University Press, 1995).
2. N. W. Ashcroft & N. D. Mermin, *Solid State Physics* (Saunders College, Philadelphia, 1976).
3. J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (John Wiley & Sons, New York, 1962).

## **DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

### OBJETIVO

Profundizar los conocimientos sobre el fenómeno de difracción, en particular la relacionada con radiación de alta energía con el fin de determinar la estructura cristalina de diversos materiales.

### TEMARIO

#### **I) Naturaleza de los Rayos X.**

- ✓ Fuentes.
- ✓ Espectros continuos y característicos.
- ✓ Absorción.
- ✓ Difusión Compton.

#### **II) Difusión coherente y Difracción.**

- ✓ Difusión coherente por un átomo con varios electrones.
- ✓ Difusión coherente de un objeto con un arreglo desordenado de átomos.
- ✓ Difracción.
- ✓ Ecuación de Bragg y construcción de Ewald.
- ✓ Factor de estructura.
- ✓ Difusión anómala.

#### **III) Densidad Electrónica.**

- ✓ Aplicación de la serie de Fourier.
- ✓ Función de Patterson.

#### **IV) Métodos experimentales.**

- ✓ Métodos con polvos.
- ✓ Métodos con Monocristales.

#### **V) Paquetes computacionales.**

### BIBLIOGRAFÍA

1. D.B. Cullity, *Elements of X-ray diffraction* (Addison–Wesley, 1978).
2. B.K. Vainshtein, *Modern Crystallography I* (Springer–Verlag, 1981).

## **ESPECTROSCOPIA ÓPTICA DE SÓLIDOS**

### OBJETIVO

Estudiar los principios teóricos y técnicas experimentales para medir las propiedades ópticas de materiales sólidos.

### CONTENIDO

- Radiación electromagnética y fuentes de luz: Teoría de Maxwell de las ondas electromagnéticas; radiación por cargas aceleradas; transformada de Fourier y tratamiento de la radiación no-monocromática; radiación de cuerpo negro y lámparas de descarga eléctrica en gases; líneas espectrales; fuentes de luz laser; coherencia y correlación de luz.
- Instrumentación para el análisis espectral y la detección de la luz: Filtros ópticos; polarizadores y placas de fase; fibras y tubos ópticos; monocromadores de prisma y de rejilla; interferómetro de Fabry-Perot.
- La función dieléctrica de los sólidos: Constantes ópticas; relaciones de dispersión de Kramers-Kronig; contribuciones físicas a la función dieléctrica; la función dieléctrica para osciladores armónicos y para portadores libres; intensidad del oscilador y la regla de la suma; determinación experimental de la función dieléctrica.
- Espectroscopía en el visible y en el infrarrojo cercano: Descripción mecánico-cuántica de la absorción óptica; transiciones permitidas directas al borde de la banda de absorción; transiciones prohibidas y transiciones asistidas por fonón; absorción por excitones extendidos y localizados; absorción por defectos; luminiscencia por semiconductores y por defectos puntuales en aisladores.
- Espectroscopía por esparcimiento de la luz: Técnicas experimentales; espectroscopía por esparcimiento Raman y por esparcimiento de Brillouin.
- Espectroscopía Infrarroja: Fuentes de radiación; componentes ópticas y detectores; espectroscopía de Fourier; absorción para transiciones electrónicas y vibrónicas; absorción y reflexión de luz infrarroja en cristales; reflexión total atenuada; aplicaciones en Física de semiconductores; propiedades de los metales en el infrarrojo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. H. Kuzmany, *Solid State Spectroscopy: An Introduction* (Springer, 1998).
2. A. A. Kaplyanskii & R. M. McFarlane, *Spectroscopy of Solids Containing Rare Earth Ions* (Elsevier, 1987).
3. M. Cardona ed., *Light Scattering in Solids I*, 2nd edition (Springer, 1983).
4. W. M. Yen & P. M. Selzer, *Light Spectroscopy of Solids* (Springer-Verlag, 1986).

## ESPECTROSCOPIA LASER

### OBJETIVO

Estudiar los principios teóricos y técnicas experimentales para obtener información espectroscópica de átomos y moléculas por medio de láseres.

### CONTENIDO

- Teoría cuántica de la susceptibilidad óptica no lineal.
- Óptica no lineal en la aproximación de dos niveles.
- Espectroscopía laser por saturación.
- Espectroscopía Raman coherente.
- Transiciones ópticas coherentes.

### BIBLIOGRAFÍA

1. M. D. Levenson & S. S. Kano, *Introduction to Nonlinear Laser Spectroscopy* (Academic Press, 1988).
2. W. Deintroder, *Laser Spectroscopy* (Springer, 1998).
3. R. W. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, 1992).

## **ESTADO SÓLIDO AVANZADO**

### OBJETIVO

Dar al estudiante una base profunda de los conceptos teóricos que le permitan entender rigurosamente algunos fenómenos observados en los sólidos.

### CONTENIDO

- Dinámica de la red cristalina: Aproximación adiabática; constantes de fuerza interatómica y sus propiedades; ecuación de movimiento y solución; transformación a coordenadas normales; espectro de frecuencias y propiedades termodinámicas; cristales iónicos; constantes elásticas, piezoeléctricas y dieléctricas.
- Cálculo de bandas electrónicas: Teorema de Bloch; teoría de perturbación  $k \cdot p$ ; funciones de Wannier; simetrías cristalinas; grupos de simetría y representaciones; energía contra vector de onda en la zona reducida; método de amarre fuerte (principios fundamentales, método de Slater y Koster); método de pseudopotenciales.
- Magnetismo en sólidos: Diamagnetismo y Paramagnetismo, ley de Curie; Estructura magnética, intercambio; modelo de Hubbard; efecto Kondo; orden magnético; ferromagnetismo, magnones; antiferromagnetismo; teoría del campo medio.
- Superconductividad. Propiedades fundamentales; tipos de superconductores; teoría BCS; teoría de Ginzburg-Landau; efecto Josephson.

### BIBLIOGRAFÍA

1. A. Maradudin, *Elements of the Theory of Lattice Dynamics in Dynamical Properties of Solids*, (edited by G. K. Horton & A. A. Maradudin, Vol. 1, North Holland, Amsterdam, 1974).
2. Kittel, *Quantum Theory of Solids* (John Wiley and Sons, New York, 1987).
3. Allen Nussbaum, *Crystal Symmetry, Group Theory and Band Structure Calculations* (in Solid State Physics, edited by F. Seitz & D. Turnbull, Vol. 18, Academic Press, San Diego, 1996).
4. W. Harrison, *Pseudopotentials in the Theory of Metals* (Benjamin, Reading, Mass. 1966).
5. N. W. Ashcroft & D. Mermin, *Solid State Physics* (Saunders College Publishing, 1976).
6. M. Tinkham, *Group Theory and Quantum Mechanics* (McGraw-Hill, New York, 1964).
7. T. P. Sheahen, *Introduction to High Temperature Superconductivity* (Plenum, New York, 1994).

## **ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DE ÁTOMOS**

### OBJETIVO

Estudiar varios esquemas y métodos autoconsistentes aplicados al análisis de la estructura electrónica de átomos, haciendo particular énfasis en la incorporación de efectos relativistas.

### CONTENIDO

- El Modelo de Hartree-Fock (HF).
- Teoría HF para un sólo determinante.
- Átomos con grupos incompletos.
- Teoría HF relativista.
- Cálculos representativos.
- HF para electrones de valencia.
- Teoría del hamiltoniano efectivo para un electrón.
- Teoría del hamiltoniano efectivo para varios electrones.

### BIBLIOGRAFÍA

1. L. Szasz, *The Electronic Structure of Atoms* (Wiley, 1992).
2. R. Cowan, *The Theory of Atomic Structure and Spectra* (Los Alamos Press).
3. *Manual del Programa RCG (Programa para efectuar cálculos atómicos considerando efectos relativistas; Cowan, Los Alamos).*

## **ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DE SÓLIDOS**

### OBJETIVO

Aprender los conceptos necesarios para el estudio y análisis de la estructura electrónica de sólidos.

### CONTENIDO

- Modelo del electrón libre.
- Simetría y teoría de grupos. Grupos, subgrupos, conjugados y clases; transformación de funciones y de operadores; representaciones (reducción, similitud y caracteres); representaciones irreducibles; grupos espaciales.
- Red recíproca y series de Fourier.
- Funciones de Bloch y zonas de Brillouin. Grupo de traslaciones; vectores equivalentes y zona de Brillouin; base para la representación (funciones de Bloch); bandas.
- Zonas de Brillouin y bandas de energía. Propiedades de las zonas de Brillouin; bandas de energía: llenado de bandas, conductores, semiconductores y aislantes; superficies de Fermi, huecos, semiconductores y semimetales; masa efectiva.
- Métodos de cálculo de estructura de bandas. Método de Pseudopotencial (factores de forma, métodos empíricos y autoconsistentes); método de la masa efectiva o k.p. (masa efectiva, bandas de valencia en semiconductores tipo zincblenda y diamante); método Tight-Binding o LCAO (orbitales atómicos y parámetros de traslape, elementos del grupo IV, semiconductores II-VI y III-V).

### BIBLIOGRAFÍA

1. M. L. Cohen & J. R. Chelikowsky , *Electronic Structure and Optical Properties of Semiconductors* (Springer-Verlag, 1989).
2. Simon L. Altman, *Band Theory of Solids, an Introduction from the Point of View of Symmetry* (Claredon Press, 1991).
3. Peter Y. Yu & Manuel Cardona, *Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties* (Springer-Verlag, 1999).

## FÍSICO–QUÍMICA DE SUPERFICIES

### OBJETIVO

Aprender los fundamentos para la descripción de las interacciones que sufren las superficies con los sustratos y el medio ambiente, después de su crecimiento, así como también los mecanismos de crecimiento de superficies y análisis de superficies in–situ y ex–situ con algunas técnicas convencionales.

### CONTENIDO

- Introducción.
- Formación de superficies por diferentes técnicas.
- Mecanismos de formación de películas en diferentes superficies (teorías de Nucleación, crecimiento y coalescencia).
- Adhesión, coeficiente de pegado, observaciones de nucleación, centros de nucleaciones, temperatura de condensación.
- Teoría de quimisorción, interacciones Adsorbato–Adsorbato, comparación entre sustratos fcc y bcc.
- Caracterización de superficies in–situ por diferentes técnicas.
- Caracterización de superficies ex–situ por diferentes técnicas.

### BIBLIOGRAFÍA

1. K.L. Chopra, *Thin Film Phenomena* (Robert E. Krieger Publishing Co., New York, 1979).
2. Ludmila Ecketova, *Physics of Thin Films* (Plenum Press).
3. R. Gomer ed., *Interactions on Metal Surfaces* (Springer–Verlag, N.Y. 1975).
4. Grahm C. Smith, ed. P.J. Dobson, *Surface Analysis by Electron Spectroscopy* (Plenum Press, N.Y.)

## INTERACCIÓN RADIACIÓN–MATERIA

### OBJETIVO

Dar una base formal al estudiante de los conceptos físicos y de la herramienta matemática que le permitan entender rigurosamente los fenómenos de la interacción de la radiación con la materia.

### CONTENIDO

- Ley de la Radiación de Planck y los Coeficientes de Einstein: Cuantización de la energía del campo, ley de Planck, fluctuaciones en el número de fotones, coeficientes de Einstein, Teoría de procesos ópticos simples, teoría macroscópica y microscópica de la absorción, inversión de población.
- Mecánica Cuántica de la Interacción radiación–átomo: Hamiltoniano de interacción, razón de transición, las ecuaciones ópticas de Bloch y ecuaciones de razón, oscilaciones de Rabi, ensanchamientos: radiativos, de potencia, de colisión y Doppler.
- Campo de Radiación Cuantizado: Teoría del potencial para el campo electromagnético clásico, oscilador armónico cuántico, cuantización del campo, estados fotónicos coherentes, operador de densidad radiativa.
- Interacción del átomo con un campo cuantizado: Segunda cuantización del hamiltoniano atómico, razón de absorción y emisión fotónica, operador de intensidad fotónica, razón general para transiciones radiativas, sistema radiación–átomo dependiente del tiempo, representaciones de transformación Heisenberg y de interacción.
- Generación y Amplificación de la Luz: Ecuaciones de razón de un modo fotónico simple, soluciones del estado estacionario, estadísticas fotónicas de luz atenuada y aplicada, condición de láser, fluctuaciones en la luz láser.
- Fluorescencia Resonante y Dispersión de luz: sección transversal de dispersión, fluorescencia resonante de un átomo simple y de muchos átomos, dispersión Raman y Reyleigh.

### BIBLIOGRAFÍA

1. R. Loudon, *The quantum theory of light*, 2nd edition (Oxford University Press, 2000).
2. J.D. Jackson, *Classical Electrodynamics* 3rd edition (J. Wiley and Sons, 1998).
3. K. Huang, *Statistical Mechanics*, 2nd edition (J. Wiley and Sons, 1987).
4. E. MERZBACHER, *QUANTUM MECHANICS, 2ND EDITION (WILEY INTERNATIONAL EDITION, 1998).*

## INTRODUCCIÓN AL CAOS CUÁNTICO

### OBJETIVO

Discutir las tendencias actuales en el estudio de sistemas cuánticos complejos tales como átomos multielectrónicos, núcleos pesados, clusters atómicos y modelos de estado sólido, haciendo énfasis en tratamientos estadísticos basados en diferentes modelos de matrices aleatorias, incluyendo aquellos tales como los de partículas fermiónicas y bosónicas con interacción.

### CONTENIDO

- Propiedades genéricas de caos clásico: el mapeo estándar.
- Versión cuántica del mapeo estándar: el rotor pateado.
- Localización dinámica y supresión de la difusión clásica.
- Teoría de matrices aleatorias y la estadística espectral de Wigner-Dyson.
- Estadística espectral intermedia y estructura de eigenestados localizados.
- Matrices aleatorias de banda como modelo de caos cuántico localizado.
- Sistemas conservativos y matrices aleatorias de banda de Wigner.
- Caos cuántico en sistemas aislados de partículas fermiónicas y bosónicas interactuantes.
- Caos cuántico e inicio de termalización en sistemas aislados de pocas partículas con interacción.

### BIBLIOGRAFÍA

1. F. M. Izrailev, *Physics Reports* **196**, 299 (1990).
2. L. E. Reichl, *The Transition to Chaos* (Springer-Verlag, New York, 1992).

## **MATERIALES AMORFOS**

### OBJETIVO

Dar al estudiante los elementos teóricos fundamentales para el estudio de las propiedades físicas de los materiales amorfos, su caracterización y aplicaciones.

### CONTENIDO

- **ORDEN Y DESORDEN**
  - ✓ Orden estructural: cristalino, no-cristalino
  - ✓ Tipos de desorden: cuasicristales, el estado amorfo
  - ✓ Modelos estructurales
  
- **PROPIEDADES ESTRUCTURALES**
  - ✓ Factor de estructura y su transformada
  - ✓ Funciones de distribución
  - ✓ Caracterización por Difracción de Rayos X
  
- **PROPIEDADES TERMODINÁMICAS Y FABRICACIÓN**
  - ✓ Transición orden-desorden
  - ✓ Formación de vidrios y la transición vítrea
  
- **PROPIEDADES ELECTRÓNICAS Y DE TRANSPORTE DE MATERIALES DESORDENADOS**
  - ✓ Más allá de la Teoría de Bandas
  - ✓ Localización de Anderson, Transición de Mott
  - ✓ Conductividad eléctrica, conductividad por saltos, conductividad térmica
  
- **APLICACIONES**
  - ✓ Semiconductores altamente impurificados y amorfos
  - ✓ Celdas Solares
  - ✓ Electrofotografía, memorias ópticas
  - ✓ Materiales magnéticos desordenados

## BIBLIOGRAFÍA

1. J.M.Ziman, *Models of Disorder* (Cambridge University Press, 1979).
2. N.F. Mott and E.A. Davis, *Electron Processes in Non-Crystalline Materials* (Clarendon Press, Oxford, 1979).
3. N.F. Cusack, *The Physics of Structurally Disordered Matter* (Institute of Physics, Great Britain, 1987).
4. A.P. Sutton, *Electronic Structure of Materials* (Clarendon Press, Oxford, 1993).
5. J. Tauc Franc, *Amorphous and Liquid Semiconductors* (Plenum Press, London and New York, 1993).
6. A. Madan and M.P. Shaw, *The Physics and Applications of Amorphous Semiconductors* (Academic Press Inc., San Diego, 1988).
7. P.C. Taylor and S.G. Bishop, *Optical Effects in Amorphous Semiconductors* (American Institute of Physics, New York, 1984).
8. L.L. Kazmerski, *Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices* (Academic Press Inc., New York, 1980).

## **MATERIALES HETEROGÉNEOS**

### OBJETIVO

Proporcionar al estudiante un panorama actualizado de las tendencias de la investigación en el campo de los materiales compuestos, así como una introducción general a los conceptos, teorías, modelos físicos, técnicas matemáticas y aproximaciones necesarias para su estudio.

### CONTENIDO

- Clasificación General de materiales compuestos: Compositos granulares, aglomerados, laminados, etc.
- Propiedades mecánicas y estructura microscópica: Elementos de teoría de respuesta lineal. Microestructura y tensión, deformación, rigidez, dureza, relaciones de simetría de propiedades mecánicas.
- Propiedades físicas de materiales laminados: Aproximaciones locales y de campo promedio, aproximaciones no locales.
- Mesoestructura y propiedades mecánicas de materiales compuestos granulares.
- Propiedades térmicas de compósitos.
- Propiedades dieléctricas de compósitos granulares.
- Compósitos no sólidos: Micelas, espumas, aerosoles, geles, fluidos granulares.

### BIBLIOGRAFÍA

1. S.W. Tsai and H.T. Hahn, *Introduction to composite materials* (Technomic, 1980).
2. Yu. I. Dimitrienko, *Thermomechanics of composites under high temperatures* (Kluwer Academic Press, 1999).
3. C.A. English, J.R. Matthews, H. Rauh, A.M. Stoneham and R. Thetford eds. *Materials Modeling: From theory to technology* (Institute of Physics Publishing).
4. G. Grimvall, ed., *Thermophysical properties of materials* (North Holland, 1986).
5. R.M. Christensen, *Mechanics of composite materials* (Krieger Publishing Company, 1990).
6. D.A. McQuarrie, *Statistical Mechanics* (Harper Coillins, 1976).
7. S.K. Ma, *Modern Theory of Critical Phenomena*, Frontiers in Physics Series (The Benjamin/Cummings Publishing Company, Advanced Book Program, 1976).

## **MECÁNICA CUÁNTICA RELATIVISTA**

### OBJETIVO

Estudiar las Ecuaciones de Dirac y Klein-Gordon, las cuales son las extensiones relativistas de la ec. de Schrödinger de la mecánica cuántica no-relativista, para partículas de espín semientero y entero, respectivamente. Realizar cálculos que ilustran conceptos y técnicas útiles en interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes.

### CONTENIDO

- La ecuación de Dirac.
- Covariancia de la ecuación de Dirac.
- Soluciones a la ecuación de Dirac para una partícula libre.
- La transformación de Foldy-Wouthuysen.
- Teoría de Hoyos.
- Teoría de Propagadores.
- Aplicaciones.
- La ecuación de Klein-Gordon.

### BIBLIOGRAFÍA

1. J.D. Bjorken & S.D. Drell, *Relativistic Quantum Mechanics* (McGraw-Hill, 1964).
2. I.J.R. Aitchison and A.J.G. Hey, *Gauge Theories in Particle Physics* (Institute of Physics Pub., 1989).
3. S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields* (Cambridge University Press, 2000).

## **METALURGIA**

### OBJETIVO

Introducir a los estudiantes en los conocimientos básicos, tanto teóricos como experimentales de los procesos que estudia la Metalurgia.

### CONTENIDO

- I) Diagramas de fase.
  - ✓ Soluciones sólidas.
  - ✓ Sistemas eutécticos.
  - ✓ Sistemas peritéticos.
  - ✓ Solidificación fuera de equilibrio.
  
- II) Aplicaciones de los diagramas de fase.
  - ✓ Sistema Hierro—Carbono.
  - ✓ Aleaciones de Cobre.
  - ✓ Aleaciones de Mg.
  
- III) Deformaciones elásticas y plásticas.
  - ✓ Deformación plástica.
  - ✓ Relación tensión—deformación.
  - ✓ Fractura.
  - ✓ Ensayos de las prop. plásticas.
  - ✓ Resistencia al desgaste.
  
- IV) Procesos de recocido.
  - ✓ Difusión.
  - ✓ Recocido.
  - ✓ Recristalización.
  
- V) Endurecimiento por envejecimiento.
  - ✓ Endurecimiento por precipitación.
  - ✓ Endurecimiento por ordenamiento.
  - ✓ Endurecimiento por reacciones de difusión.
  
- VI) Tratamiento térmico del acero.
  - ✓ Estructuras de equilibrio.
  - ✓ Estructuras martensíticas.
  - ✓ Templado.

- VII) Corrosión y oxidación.
- ✓ Corrosión electroquímica.
  - ✓ Oxidación.
  - ✓ Control de la corrosión y de la oxidación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. P. Hansen, ed., *Physical Metallurgy*, 3a. edition (Cambridge University Press, 1996).
2. H. Chandler, *Metallurgy for the Non-Metallurgist* (The Materials Information Society, 1998).

## **MODELADO COMPUTACIONAL DE MATERIALES**

### OBJETIVO

Aprender los fundamentos del modelado computacional de materiales, para la solución de problemas de estructura estática, dinámica y energética de ese tipo de sistemas. Introducir al estudiante en el manejo de software moderno especializado para esos fines.

### CONTENIDO

- Introducción. Necesidad y alcance de la metodología.
- Métodos basados en la valencia de enlace.
- Optimización de la geometría vía minimización de la energía.
- Métodos de Dinámica Molecular.
  - ✓ Programa GULP. Programa CERIUS.
- Métodos de Montecarlo
  - ✓ Método de Metrópolis aplicado a la determinación de estructuras.
- Métodos de cálculo de estructura electrónica. Programas SIESTA, CRYSTAL.
- Casos de estudio.
  - ✓ Silicatos y materiales porosos.
  - ✓ Superconductores de alta Tc.
  - ✓ Irradiación de materiales. Programa MCNP.
  - ✓ Defectos puntuales en cristales.

### BIBLIOGRAFÍA

1. De. C.R.A. Catlow, *Computer Modelling in Inorganic Crystallography* (Academic Press, 1996).
2. D. Frenkel, B. Smit, *Understanding Molecular Simulation* (Academic Press, 1996).
3. *Manuales de los programas Gulp, Crystal, Cerius, MCNP.*

## **NANOESTRUCTURAS**

### OBJETIVO

Conocer las principales características de materiales cuyas propiedades están determinadas por sus dimensiones nanométricas.

### CONTENIDO

- Efectos de confinamiento. Generalidades.
  - ✓ Estados electrónicos .
  - ✓ Fonones.
  - ✓ Efectos de campo magnético y temperatura.
- Heteroestructuras.
- Superredes.
- Compuestos basados en Carbono. Fullerenos y nanotubos.
- Alambres y puntos cuánticos.
- Nanopartículas.

En cada tema –si es el caso-- se hablará de: Métodos de obtención, propiedades ópticas y magnéticas, etc., bajo distintas condiciones (temperatura, presión) así como fenómenos relevantes observados (bloqueo de Coulomb, etc.)

### BIBLIOGRAFÍA

1. B.K. Ridley, *Electrons and Phonons in Semiconductor Multilayers* (Cambridge University Press, USA, 1997).
2. M.S. Dresselhaus, *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes* (Academic Press, San Diego, 1995).
3. M.A. Duncan, *Advances in Metal and Semiconductor Clusters* (Jai Press, 1996).
4. S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems* (Cambridge University Press, UK, 1995).
5. L.L. Sohn, L.P. Kouwenhoven, G. Schön, eds., *Mesoscopic Electron Transport*, (Kluwer Pub., Netherlands, 1997).
6. Artículos de investigación.

## ÓPTICA MODERNA

### OBJETIVO

Estudiar las propiedades físicas de la luz, especialmente aquella producida por láseres, así como su propagación, interacción con elementos ópticos y su detección.

### CONTENIDO

- Óptica Geométrica y Física.
- Óptica de haces Gaussianos producidos por láseres.
- Óptica de Fourier.
- Óptica electromagnética.
- Polarización de la luz y óptica de cristales.
- Óptica de ondas guiadas.
- Óptica estadística.
- Detección óptica.

### BIBLIOGRAFÍA

1. B. R. Saleh & M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics* (John Wiley & Sons, 1991).
2. M. Born & E. Wolf, *Principles of Optics* (Pergamon Press, 1980).
3. E. Hecht & A. Zajac, *Optics* (Addison Wesley, 1986).

## ÓPTICA NO LINEAL

### OBJETIVO

Estudiar la interacción de luz láser muy intensa con materiales en donde las propiedades ópticas de éstos son modificadas por la luz.

### CONTENIDO

- Descripción de las interacciones ópticas no lineales por medio de la ecuación de onda.
- El efecto Kerr óptico y sus manifestaciones.
- Dispersión espontánea de la luz.
- Dispersión estimuladas de Brillouin, Rayleigh y Raman.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Robert W. Boyd, *Nonlinear Optics* (Academic Press, 1992).
2. P. N. Butcher & D. Cotter, *The Elements of Nonlinear Optics* (Cambridge University Press).
3. Y. R. Shen, *The Principles of Nonlinear Optics* (John Wiley & Sons, 1985).

## **POLÍMEROS**

### OBJETIVO

Familiarizar al estudiante con los principios fundamentales de la química y física de los materiales poliméricos. Al finalizar el programa el estudiante tendrá la herramienta esencial para entender la literatura, los procesos de fabricación y la síntesis de materiales poliméricos. Aprenderá también a relacionar la estructura del polímero con sus propiedades.

### CONTENIDO

- **Introducción**
  - ✓ Conceptos básicos en macromoléculas. Polímeros Industriales y su nomenclatura.
  
- **Métodos de Síntesis de Macromoléculas**
  - ✓ Resumen de los métodos de síntesis de macromoléculas.
  - ✓ Cinética de Polimerización por radicales libres.
  - ✓ Cinética de Policondensación.
  - ✓ Técnicas experimentales de polimerización.
  - ✓ Ejercicios.
  
- **Fisicoquímica de Macromoléculas**
  - ✓ Pesos moleculares y polidispersidad de las macromoléculas.
  - ✓ Determinación de pesos moleculares.
  - ✓ Soluciones macromoleculares.
  - ✓ Temperatura de transición vitria.
  - ✓ Temperatura de Fusión.
  - ✓ Ejercicios.
  
- **Exposición de Seminario**

### BIBLIOGRAFÍA

1. H. G. Elias, *Macromolecules* (Plenum press, New York, 1984).
2. H. G. Barth and J. W. Mays, eds. *Modern Methods of Polymer Characterization* (Wiley, New York, 1991).
3. D. G. Gray, B. R. Harkness, *Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers*. (Eds: V. P. Shibaev, L.Lam, Springer, New York 1994).
4. D. Acierno, W. brostow, A. A. Collier, *Liquid Crystals Polymers: from Structure to Applications* (Elsevier Applied Science, Londres, 1996).
5. Nicholas P. Cheremisinoff, *Handbook of Engineering Polymeric Materials* (Marcel Dekker, Inc., New York, 1997).
6. Franek, Z.J. Jedlinski, J. Majnusz. *Handbook of Polymer Synthesis*, Part B (Marcel Dekker, New York, 1992).

## **PROCESOS ESTOCÁSTICOS Y DERIVADOS FINANCIEROS**

### OBJETIVO

Presentar tópicos importantes de la teoría de procesos estocásticos y aplicarlos en particular a la teoría de derivados financieros. La teoría de procesos estocásticos permite estudiar el movimiento Browniano en N-dimensiones o, en general, el movimiento de partículas en mecánica clásica sujetas a interacciones aleatorias. Basados en dicha teoría se estudian los modelos matemáticos de los derivados financieros. Estos modelos permiten encontrar el precio justo de instrumentos derivados tales como opciones. El mercado internacional de derivados representa varios miles de billones de dólares. De allí el interés de organizaciones financieras en contratar matemáticos, físicos o especialistas en ciencias de la computación para crear nuevos derivados y estudiar sus respectivos modelos.

### CONTENIDO

- Variables aleatorias; movimiento Browniano; autosimilaridad estadística; teoremas límite; procesos físicos continuos y discretos.
- Movimiento térmico en una dirección; pulsos aleatorios; Funciones de correlación y densidad espectral; teorema de Wiener-Khinchine.
- Diferenciación estocástica; proceso de Wiener; proceso de Poisson; modelos para eventos estadísticos raros; integración estocástica; integral de Ito; lema de Ito; generalización a N-dimensiones.
- Ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE); modelos importantes de EDE; la función probabilidad de transición; las ecuaciones de Kolmogorov.
- Acciones, opciones y bonos (ejemplos); teorema del arbitraje; tipos de opciones europeas elementales; paridad Put-Call; modelos matemáticos para acciones.
- La ecuación de Black-Scholes (BS); eliminación del riesgo; soluciones de la ecuación de BS; los parámetros de riesgo: Delta, Gamma, Theta, Vega y Rho; volatilidad implícita; los modelos binomiales y trinomiales para valorar opciones.
- Algunas generalizaciones del modelo de BS; acciones americanas y sus modelos; modelos para opciones sobre muchas acciones; opciones exóticas: opciones barrera y opciones asiáticas.

- Bonos; valuación y curvas de rendimiento bajo tipos de interés conocidos; Tipos de interés aleatorios y valuación respectiva de bonos; opciones sobre bonos.
- Métodos numéricos para valorar acciones, opciones y bonos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. C. V. Heer, *Statistical Mechanics, Kinetic Theory and Stochastic Processes* (Academic Press, 1972).
2. John Hull, *Options, Futures and Other Derivatives* (Prentice-Hall, 1989).
3. P. Wilmott et al., *The Mathematics of Financial Derivatives* (Cambridge University Press, 1995).

## **PROPIEDADES OPTICAS DE MATERIALES**

### OBJETIVO

Dar al estudiante una base profunda de los conceptos teóricos y experimentales que le permitan entender rigurosamente las propiedades ópticas de materiales.

### CONTENIDO

- **Electrodinámica Macroscópica**
  - ✓ Determinación experimental de las constantes ópticas.
  - ✓ Relaciones de Kramers-Kronig.
  
- **La Función Dieléctrica**
  - ✓ Resultados experimentales.
  - ✓ Teoría microscópica de la función dieléctrica.
  - ✓ Singularidades de Van Hove.
  - ✓ Singularidades de Van Hove en  $\varepsilon_i$
  - ✓ Bordes de absorción directa e indirecta.
  
- **Excitones**
  - ✓ Efectos excitónicos en puntos críticos  $M_0$ .
  - ✓ Espectro de absorción de excitones.
  - ✓ Efectos excitónicos de puntos críticos  $M_1$  o excitones hiperbólicos.
  - ✓ Efectos excitones en puntos críticos  $M_3$ .
  
- **Absorción de red y Fonón-Polaritón**
  - ✓ Fonón-Polaritón.
  - ✓ Absorción de red y reflexión.
  - ✓ Absorción de red multifonónica.
  
- **Espectroscopías de modulación**
  - ✓ Reflectancia modulada y termoreflectancia.
  - ✓ Piezoreflectancia.
  - ✓ Electroreflectancia (efecto Franz-Keldysh).
  - ✓ Fotoreflectancia.
  - ✓ Espectroscopía de reflectancia diferencial.

- **Espectroscopía Infrarroja de Materiales Heterogéneos (Compósitos)**
  - ✓ Transmisión y reflexión.
  - ✓ Reflectancia total atenuada (ATR).
  - ✓ Espectroscopía de absorción reflexión.
  - ✓ Reflectancia difusa de infrarrojo por transformada de Fourier.
  - ✓ Espectroscopía Fotoacústica.
  
- **Propiedades Ópticas de Películas Delgadas Policristalinas Semiconductoras**
  - ✓ Técnicas experimentales para determinar las constantes ópticas.
  - ✓ Transmisión y reflectancia a incidencia normal.
  - ✓ Elipsometría.
  - ✓ Los efectos de la rugosidad de la superficie e inhomogeneidades.
  - ✓ Modelos de las propiedades ópticas de los semiconductores policristalinos.
  - ✓ Coeficiente de absorción de semiconductores monocristalinos.
  - ✓ Semiconductores policristalinos como una mezcla de materiales amorfos y cristalinos.
  - ✓ El modelo de Dow-Redfield.
  - ✓ Aplicaciones del modelo de Dow-Redfield a semiconductores policristalinos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. P.Y. Yu and M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors*, 2nd edition (Springer, Berlin, 1996).
2. H. Ishida, ed., *Characterization of Composite Materials* (Butterworth-Heinemann, Boston, 1994).
3. L.L. Kazmerski, ed., *Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices* (Academic Press, 1980).
4. J.I. Pankove, *Optical Processes in Semiconductors* (Dover, 1971).
5. A.S. Davidov, *Teoría de Sólidos* (Ed. MIR, Moscú, 1981).
6. N.M. Ashcroft and D. Mermin, *Solid State Physics* (New York, 1976).

## **PROPIEDADES ÓPTICAS DE SUPERFICIES E INTERFACES**

### OBJETIVO

Introducir a los estudiantes en el estudio de las propiedades de superficies e interfaces de sistemas convencionales. El curso se enfoca a entender la física de las cuasipartículas llamadas plasmones, fonones y excitones, sin campo externo aplicado y tomando en cuenta los efectos de campos aplicados.

### CONTENIDO

- Las ecuaciones de la electrodinámica clásica: Ecuaciones de Maxwell en el vacío; campos y fuentes; ecuaciones de Maxwell en medios materiales; condiciones de contorno.
- La función respuesta: Las relaciones de Kramers-Kronig; teoría microscópica de la función dieléctrica; modelo local; modelo hidrodinámico; modelo de Hopfield y Thomas.
- Polaritones de superficie: Aproximación local; estudios no-locales.
- Sistemas bidimensionales y películas delgadas: Polaritones confinados.
- Respuesta óptica local y no-local: Reflexión de luz por una superficie; reflexión de luz por sistemas multicapas.
- Efectos de campos magnéticos externos en las propiedades ópticas de superficies: Tensor dieléctrico; magnetopolaritones de superficie y volumen; respuesta óptica.
- Propiedades ópticas de magnetopolaritones en sistemas multicapas: Respuesta óptica; reflexión de luz.

### BIBLIOGRAFÍA

1. J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, 3rd edition (Wiley, 1998).
2. *Electromagnetic Waves, Recent developments in research, Vol. 1, Spatial Dispersion in Solids and Plasmas* (Edited by P. Halevi, North Holland, 1992).
3. M. Born & E. Wolf, *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light* (Cambridge University Press, 1980).
4. Peter Y. Yu & Manuel Cardona, *Fundamentals of Semiconductors* (Springer, New York, 1996).
5. H. Luth, *Surfaces and Interfaces of Solids*, 2nd edition (Springer-Verlag, 1993).

## **PROPIEDADES ELÁSTICAS DE MATERIALES**

### OBJETIVO

Estudiar las leyes físicas de la mecánica de los medios continuos, particularmente las bases de la mecánica y termodinámica de deformaciones elásticas. Los estudiantes deberán aprender a describir las deformaciones dinámicas y estáticas usando las características principales de los medios continuos: vector de desplazamiento, tensor de deformaciones y tensor de tensión. Este curso es la base para el estudio de la física de plasticidad y resistencia de materiales.

### CONTENIDO

- Cinemática de medios continuos. Aproximaciones de Lagrange y Euler.
- Deformaciones elásticas y plásticas de sólidos.
- Vector de elongación y tensor de elongación.
- El tensor de tensiones. Ley de Hook. Diferentes tipos de deformaciones en medios continuos.
- Cuerpos isotrópicos. La ecuación de equilibrio.
- Deformaciones elásticas de varillas, esferas y cilindros huecos.
- Deformaciones de cuerpos elásticos en contacto.
- Ondas elásticas en un medio isotrópico. Ondas transversales y longitudinales.
- Reflexión de ondas elásticas por una superficie.
- Vibraciones elásticas de una esfera y una cavidad.
- Ondas elásticas en cristales.
- Ondas de Rayleigh.
- Vibraciones de varillas y placas.
- Defectos mecánicos en sólidos. Dislocaciones.
- El vector de Burger de una dislocación.
- Deformaciones elásticas cerca de dislocaciones.
- Ondas elásticas en medios periódicos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. L.D. Landau and I.M. Lifshitz, *Theory of Elasticity* (Pergamon Press).
2. J.W. S. Rayleigh, *The Theory of Sound* (Dover).

## **PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE MATERIALES**

### OBJETIVO

Proporcionar al estudiante los fundamentos de la teoría cinética de transporte de carga en materiales conductores.

### CONTENIDO

- Teoría electrónica de la conductividad. Ley de Ohm.
- Tiempo de recorrido libre.
- Función de distribución electrónica.
  - ✓ Valores medios de cantidades físicas.
- Clasificación de materiales de acuerdo con su conductividad.
- Concentración de portadores en equilibrio térmico.
- Estadística de electrones y huecos en semiconductores.
- Fenómenos cinéticos en semiconductores.
  - ✓ Ecuaciones cinéticas de Boltzmann.
  - ✓ Tiempo de relajación.
  - ✓ Densidad de corriente eléctrica y densidad de flujo de energía.
  - ✓ Conductividad de semiconductores.
  - ✓ Efectos galvanomagnéticos.
  - ✓ Efecto de Hall en un material con diferentes tipos de portadores de carga.
  - ✓ Efectos termoeléctricos.
  - ✓ Análisis general de los fenómenos cinéticos.
- Teoría de dispersión de portadores de carga.
  - ✓ Sección transversal efectiva de dispersión.
  - ✓ Relación entre tiempo de relajación y sección transversal efectiva.
  - ✓ Dependencia de la movilidad de los portadores de carga en función de la temperatura.
- Ecuación de Continuidad.
- Mecanismos de recombinación.
- Recombinación y arrastre de los portadores de carga fuera de equilibrio.
- Recombinación superficial.
- Determinación experimental de la conductividad eléctrica de diferentes materiales.

### BIBLIOGRAFÍA

1. P.S. Kireev, *Semiconductor Physics* (MIR Publication, Moscow, 1975).
2. K. Seeger, ed., *Semiconductor Physics: an Introduction*, 7th edition (Springer-Verlag, Berlin, 1999).
3. R.A. Smith, *Semiconductors* (Cambridge University Press, London, 1978).

## QUÍMICA CUÁNTICA COMPUTACIONAL

### OBJETIVO

Estudiar las soluciones cuánticas de la estructura electrónica de sistemas atómicos y moleculares, además de algunas de sus propiedades físicas y químicas, utilizando el programa Gaussian para ejemplificar los cálculos correspondientes.

### CONTENIDO

- Funciones de Onda y operadores asociados a sistemas de muchos electrones.
- Aproximación de Hartree-Fock.
- Aproximaciones semiempíricas.
- Optimización de geometrías moleculares.
- Correlación electrónica y su tratamiento: Métodos de Interacción de Configuración (CI) y Campo Autoconsistente Multi-Configuracional (MCSCF), entre otros.
- Teoría de Funcionales de la Densidad.
- Ejemplos de aplicación en compuestos químicos de interés.

### BIBLIOGRAFÍA

1. A. Szabo, N. Ostlund, *Modern Quantum Chemistry* (Dover, 1996).
2. J. Foresman, A. Frisch, *Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods* (Gaussian, Inc., 2000).
3. *Manuales de Gaussian 92, 94 y 98.*

## **QUÍMICA CUÁNTICA DE SÓLIDOS**

### OBJETIVO

Aprender los fundamentos teóricos de los métodos de cálculo de las propiedades electrónicas de los sistemas cristalinos, así como también la utilización de algunos de los principales programas de cómputo actuales que llevan a cabo tales procedimientos.

### CONTENIDO

#### **Parte I Métodos Básicos.**

- El potencial cristalino y expansiones de ondas planas.
- Teoría de electrones casi libres.
- Método de Enlace Fuerte (TB).
  - ✓ Programa de Hoffman.
  - ✓ Obtención de Propiedades: DOS, bandas, etc.
- Aproximación del Campo Cristalino.

#### **Parte II Métodos Avanzados**

- OPW.
- Teoría de los pseudopotenciales.
- Teoría de Hartree—Fock en Sólidos.
  - ✓ Programas CRYSTAL.
  - ✓ Método de la supercelda.
- La Teoría DFT en Sólidos.
  - ✓ Búsqueda Car-Parrinelo.
  - ✓ Programa SIESTA.
- Métodos Híbridos.
  - ✓ Aproximaciones Muffin-tin. APW.
  - ✓ Programa LMTO.

#### **Parte III Casos de Estudio**

- Cristales Puros.
- Impurezas locales en cristales.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Quinn, *Quantum Chemistry of Solids* (Oxford).
2. Manuales de los programas: CRYSTAL92, Hoffman, LMTO-ASA, SIESTA y artículos allí citados.
3. Yussuff, *Electronic Band Structure and its Applications* (Springer).

## RELATIVIDAD GENERAL Y COSMOLOGÍA

### OBJETIVO

Presentar las ideas y algunos de los resultados básicos de la relatividad general, incluyendo el formalismo matemático necesario así como la aplicación de esta teoría en la formulación de modelos cosmológicos. Los temas incluidos permiten dar un tratamiento coherente de la gravitación einsteniana, enfocado a los efectos clásicos y a los modelos cosmológicos.

### CONTENIDO

- Las leyes de la física en la relatividad especial: Análisis tensorial; mecánica relativista, electrodinámica e hidrodinámica.
- Las leyes de la física en espacio-tiempo curvo: Geometría riemanniana; electrodinámica y fluidos perfectos.
- Gravitación einsteniana: Las ecuaciones de Einstein, límite Newtoniano, pruebas clásicas, la solución interior de Swarzschild.
- Cosmología: Espacios tridimensionales homogéneos e isótropos; métricas de Robertson-Walker; modelos cosmológicos anisótropos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. B.F. Schutz, *A First Course in General Relativity* (Cambridge University Press, 1985).
2. L. P. Hughston & K. P. Tod, *An Introduction to General Relativity* (Cambridge University Press, 1990).
3. H. Stephani, *General Relativity*, 2nd edition, (Cambridge University Press, 1990).
4. L. D. Landau & E. M. Lifshitz, *The Classical Theory of Fields*, 4th edition (Pergamon Press, 1975).
5. C. W. Misner, K. S. Thorne & J. A. Wheeler, *Gravitation* (Freeman, 1973).
6. S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology* (Wiley, 1972).

## SEMICONDUCTORES

### OBJETIVO

Estudiar de los principios físicos específicos de sistemas semiconductores, con una introducción a heteroestructuras semiconductoras.

### CONTENIDO

- Introducción: Semiconductores homogéneos; estadística de portadores en exceso; teoría de la unión p-n; contactos metal-semiconductor y superficies; compuestos semiconductores.
- Electrones y vibraciones de la red: Estructuras de bandas electrónicas; fonones e interacción electrón-fonón.
- Propiedades físicas de heteroestructuras: Introducción a pozos cuánticos y superredes; confinamiento cuántico de portadores y fonones.
- Sistemas de baja dimensionalidad: Sistemas bidimensionales; alambres y puntos cuánticos.

### BIBLIOGRAFÍA

1. P. Y. Yu and M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors*, 2nd edition (Springer-Verlag Berlin, 1999).
2. G. Bastard, *Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures* (John Wiley and Sons, New York, 1988).
3. *Highlights in Condensed Matter Physics and Future Prospects*, edited by L. Esaki, NATO ASI Series, Vol. 285 (Plenum, 1992).
4. B. K. Ridley, *Quantum Processes in Semiconductors*, 4th edition (Oxford University Press, New York, 1999).
5. K. Seeger, *Semiconductor Physics*, 7th Edition (Springer-Verlag Berlin, 1999).

## SISTEMAS COMPLEJOS

### OBJETIVO

Presentar algunos tópicos importantes de la teoría de Sistemas Complejos, los que se caracterizan por su interesante evolución temporal con muchos grados de libertad. El concepto de fractal estadístico es fundamental para muchos de estos sistemas, y asimismo lo es el concepto de solitón que se encuentra en una serie de fenómenos coherentes.

### CONTENIDO

- Fractales: Fractales originados en sistemas dinámicos, ejemplos; tipos de dimensiones fractales (multifractalidad); sistemas con dimensión baja y alta; fractales originados en procesos estocásticos; movimiento Browniano; movimiento Browniano fraccional; autosimilaridad estadística; integración estocástica (integral de Ito y lema de Ito); ecuaciones diferenciales estocásticas.
- Solitones: Ecuaciones de evolución no lineales y solitones; propiedades básicas de la ecuación de KdV; la transformada de dispersión inversa (TDI); la TDI en la ecuación KdV; estructura Hamiltoniana de sistemas integrables.
- Sistemas extendidos: Sistemas con infinitos grados de libertad; ejemplos de mapeos acoplados; ejemplos de autómatas celulares; ecuación de Ginzburg-Landau discreta y caos multidimensional.

### BIBLIOGRAFÍA

1. J. Feder, *Fractals* (PL Press, 1988).
2. H. Peitgen, *Fractals* (Springer-Verlag, 1992).
3. Lieberman, *Regular and Chaotic Motion* (Springer, 1992).
4. M. Tabor, *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics* (John Wiley, New York, 1989).

## **SISTEMAS MESOSCÓPICOS**

### OBJETIVO

Dar a conocer a los estudiantes las características del transporte electrónico en sistemas mesoscópicos, nanoestructuras y sistemas de bajas dimensiones. El punto más importante del curso son los efectos cuánticos como localización de Anderson, efecto cuántico de Hall, efecto de Aharonov-Bohm, bloqueo Coulombiano, etc. El estudio de estos efectos es indispensable para entender los principios de operación de dispositivos electrónicos modernos.

### CONTENIDO

- Estados electrónicos en semiconductores. Diagrama de bandas de heterouniones.
- Densidad de estados electrónicos en cero, uno, dos y tres dimensiones.
- Transporte electrónico clásico, ecuación de Boltzmann.
- Efecto de tamaño en la aproximación clásica para la conductividad de una placa metálica delgada.
- Efecto Hall clásico. Magnetoresistencia.
- Cuantización de estados electrónicos en un campo magnético. Niveles de Landau.
- El efecto de Haas-van Alfen.
- El efecto Aharonov-Bohm.
- El efecto Hall cuántico.
- Cuantización de la conductancia: Contacto puntual.
- Conductores desordenados. Localización de Anderson.
- Correcciones a la conductancia debido a la localización débil.
- Fluctuaciones de la conductancia.

### BIBLIOGRAFÍA

1. S. Datta, *Electronic Transport in Mesoscopic Systems* (Cambridge, 1995).
2. S.W.J. Beenakker and H. Van Houten, *Quantum Transport in Semiconductor Nanostructures* in *Solid State Physics*, vol. 44 (1991).
3. A.A. Abrikosov, *Introduction to the Theory of Normal Metals*, 2nd edition (1996).
4. M.J. Kelly, *Low-Dimensional Semiconductors. Materials, Physics, Technology, Devices* (Clarendon Press, Oxford, 1995).

## SUPERCONDUCTORES

### OBJETIVO

Aprender las propiedades fundamentales de los materiales superconductores y las teorías más importantes sobre la superconductividad.

### CONTENIDO

- Fenómenos fundamentales.
- Descripción fenomenológica, ecuaciones de London.
- Teoría de Ginzburg-Landau.
- Electrones, fonones, interacción electrón-fonón.
- Teoría BCS. Consecuencias y comparación con resultados experimentales.
- Tunelamiento, efecto Josephson.
- Superconductores de alta temperatura crítica.

### BIBLIOGRAFÍA

1. C.P. Poole, Jr., H.A. Farach, and R.J. Creswick, *Superconductivity* (Academic Press, San Diego, 1995).
2. T.P. Sheahen, *Introduction to High-Temperature Superconductivity* (Plenum, New York, 1994).
3. J.R. Schrieffer, *Theory of Superconductivity* (Benjamin/Cummings, Reading, Mass., 1983).
4. M. Tinkham, *Introduction to Superconductivity* (McGraw-Hill, New York, 1975).
5. J.C. Phillips, *Physics of High-Tc Superconductors* (Academic Press, Boston, 1989).

## **SUPERFICIES E INTERFACES DE MATERIALES**

### OBJETIVO

Dar una base formal al estudiante que le permita entender los fenómenos que ocurren en las superficies.

### CONTENIDO

En este curso se tratan los siguientes tópicos especializados de la ciencia de superficies:

- Termodinámica estadística de interfaces.
- Estructura atómica de interfaces.
- Métodos experimentales en la ciencia de superficies.
- Estructura electrónica de interfaces.
- Adsorción y segregación.
- Transporte atómico y procesos de crecimiento en superficies.
- Efectos superficiales de largo alcance en sistemas semiconductores e iónicos.
- Oxidación y otras reacciones de superficie.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Desjonqueres, Spanjaard, *Concepts in Surface Physics* (Springer—Verlag, 1993).
2. A. Zangwill, *Physics at Surface* (1988).
3. M. Prutton, *Intro to Surface Physics* (1994).
4. J. Hudson, *Surface Science* (1992).
5. J.M. Blakely ed., *Surface Physics of Materials* (Academic, 1975).

## TEORÍA CUÁNTICA DE CAMPOS

### OBJETIVO

Presentar la Teoría Cuántica de Campos como un ingrediente esencial para el estudio de las interacciones fundamentales en la naturaleza. Introducir el concepto de renormalización y puntualizar su gran importancia en la discusión de la estructura dinámica de las interacciones fuerte y electrodébil.

### CONTENIDO

- Repaso de cuantización canónica: Campos escalares, fermiónicos y vectoriales.
- Formalismo LSZ: Elementos de la matriz S.
- Métodos funcionales: Integrales de camino.
- Aspectos formales de correcciones radiativas.
- Teoría de Renormalización.
- Renormalización y simetría: Acción efectiva.
- Grupo de Renormalización.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Peskin, *An Introduction to Quantum Field Theory* (Addison-Wesley, 1995).
2. Ryder, *Introduction to Quantum Field Theory*, 2nd edition (Cambridge University Press, 1996).
3. S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields* (Cambridge University Press, 2000).
4. M. Veltman, *Notes on Field Theory* (University of Michigan).

## TEORÍA DE FENÓMENOS CRÍTICOS

### OBJETIVO

Introducir al estudiante en el uso de los conceptos, técnicas y teorías asociadas con la descripción de las transiciones de fase y de los fenómenos que ocurren en sistemas que se encuentran en condiciones cercanas a un punto crítico, así como un panorama de las principales aplicaciones de éstos.

### CONTENIDO

- Generalidades: Puntos críticos y parámetros de orden; propiedades termodinámicas y exponentes críticos; fluctuaciones del parámetro de orden; teoría de campo promedio.
- Modelos y conceptos básicos: Modelos hamiltonianos clásicos; hamiltonianos de bloque; transformaciones de Kadanoff; formas de Landau-Ginsburg.
- Aproximación gaussiana: Valor más probable y distribuciones; teoría de Landau-Ginsburg; aproximación gaussiana para bajas temperaturas; longitudes de correlación; fluctuaciones y dimensionalidad.
- Escalamiento: Longitudes de correlación y escalamiento; transformaciones de escala y dimensionalidad.
- Grupo de renormalización: Transformaciones asociadas.
- Puntos fijos y exponentes críticos: Puntos fijos y su entorno; energías libres.
- Grupos de renormalización para modelos simples: Fórmula de recursión de Wilson; ímite de dimensión finita; modelos bidimensionales de Ising.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Shank Keng Ma, *Modern Theory of Critical Phenomena* (Benjamin, 1976).
2. C. Domb and M. S. Green, *Phase Transitions and Critical Phenomena* (Academic Press, 2001).
3. H. E. Stanley, *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena* (Oxford University Press, 1987).
4. J.J. Binney, N.J. Dowrick, A.J. Fischer, and M.E.J. Newman, *The Theory of Critical Phenomena* (Oxford University Press, 1992).

## **TEORÍA DE LÍQUIDOS**

### OBJETIVO

Introducir al estudiante a una de las aplicaciones de la Física Estadística de gran interés y actividad actual de investigación, como lo es la teoría de líquidos, siendo ésta la teoría clásica que estudia las propiedades de fluidos densos en equilibrio. En los fluidos densos incluimos los gases muy concentrados y los líquidos.

### CONTENIDO

- Revisión de termodinámica clásica: Leyes de la termodinámica; gases imperfectos; ecuaciones empíricas de estado; principio de estados correspondientes.
- Ensamblados estadísticos: Conjunto microcanónico; conjunto canónico; conjunto gran canónico.
- Gases Imperfectos: Ecuación de estado virial; aproximación de campo promedio; diagramas de Mayer.
- Teoría de funciones de distribución: Funciones de distribución; factor de estructura; función radial de distribución; funciones de correlación; relación con los experimentos.
- Teoría de líquidos: Ecuación de Ornstein-Zernike; función de correlación directa; aproximación de Kirkwood; aproximación de Percus-Yevick; aproximación esférica media MSA; aproximación de cadena hipertejida HNC.
- Aplicaciones: Líquidos simples; soluciones iónicas; coloides; sales fundidas; fluidos no homogéneos; compósitos granulares.

### BIBLIOGRAFÍA

1. D. A. McQuarrie, *Statistical Mechanics* (Harper & Row, 1976).
2. G. S. Rushbrook, *Aspects of the Equilibrium Theory of Liquids* (Escuela Latinoamericana de Física, UNAM, 1974).
3. N. T. Kovalenko & I. Z. Fisher, *Methods of Integral Equations in Statistical Theory of Liquids* (Dover, 1990).
4. Hansen & McDonald, *Theory of Simple Liquids* (Academic Press, 1990).

## **TEORÍA DE MUCHOS CUERPOS**

## OBJETIVO

Aprender a utilizar el método diagramático de cálculo de las funciones de Green para el estudio de propiedades de sistemas de muchos cuerpos.

## CONTENIDO

- Introducción: La ecuación de Schrödinger en primera y segunda cuantización; campos.
- Formalismo para temperatura igual a cero: La función de Green y la teoría del campo; Teorema de Wick y diagramas de Feynman; Aproximación de Hartree-Fock para un sistema de fermiones; gas de Fermi; respuesta lineal y modos colectivos.
- Formalismo para temperatura finita: Teoría del campo a temperatura finita; sistemas físicos a temperatura finita; funciones de Green de tiempo real.
- Aplicaciones a la superconductividad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. A. L. Fetter, J. D. Walecka, *Quantum Theory of Many-Particle Systems* (McGraw-Hill, New York, 1971).
2. G. D. Mahan, *Many-Particle Physics* (Plenum, New York, 1990).
3. R. D. Mattuck, *A Guide to Feynman Diagrams in the Many-Body Problem* (McGraw-Hill, New York, 1976).

## TEORÍA GENERAL DE GRUPOS

### OBJETIVO

Presentar los elementos básicos de la Teoría de Grupos, tanto para grupos continuos como discretos. Proveer al estudiante de las herramientas matemáticas para entender a profundidad el papel que juegan las simetrías en la Física. Enriquecer los conceptos de los cursos básicos y optativos, así como preparar al estudiante para los temas de investigación.

### CONTENIDO

- Grupos y simetrías en mecánica cuántica: Definiciones; grupos discretos; operadores unitarios; rotaciones.
- Algebra del momento angular: Representaciones irreducibles del grupo de rotaciones; adición de momento angular; coeficientes de Clebsch-Gordon; teorema de Wigner-Eckart.
- Propiedades fundamentales de grupos de Lie: Estructura general; conmutadores; grupos semi-simples; grupos compactos; invariantes de Casimir.
- Algunos grupos de Lie: Generadores de  $SU(n)$  y  $U(n)$ ; subálgebras y aplicaciones de  $SU(3)$ .
- Representaciones del grupo de permutaciones y Young Tableaux: Representaciones irreducibles de  $SU(n)$ ; dimensiones y subgrupos de  $SU(n)$ .
- Caracteres de Grupos: Lema de Schur; relaciones de ortogonalidad; clases de equivalencia; productos directos; integración sobre grupos.
- Clasificación de Cartan de álgebras de Lie: Vectores de raíces; normalización de Cartan-Weyl; diagramas de Dynkin.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Greiner & Muller, *Quantum Mechanics: Symmetries* (Springer).
2. M. Hamermesh, *Group Theory* (Wiley).
3. H. Georgi, *Lie Algebras*.
4. M. Veltman, *Notes on Field Theory* (University of Michigan).

## TEORÍAS DE NORMA EN LA FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES

### OBJETIVO

Presentar las Teorías de Norma como el paradigma actual para describir las interacciones fundamentales en la naturaleza. Estudiar la renormalización de las mismas, y las aplicaciones en modelos de partículas elementales.

### CONTENIDO

- Simetrías en Teoría de Campos.
- Cuantización de Teorías de Norma.
- Cromodinámica Cuántica.
- Anomalías perturbativas.
- Teorías de Norma con rompimiento espontáneo de la simetría.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Peskin, *An Introduction to Quantum Field Theory* (Addison-Wesley, 1995).
2. Ryder, *Introduction to Quantum Field Theory*, 2nd edition (Cambridge University Press, 1996).
3. S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields* (Cambridge University Press, 2000).
4. M. Veltman, *Notes on Field Theory* (University of Michigan).

## **TERMODINÁMICA DE PROCESOS IRREVERSIBLES**

### OBJETIVO

Introducir al estudiante en la utilización de los conceptos generales, teorías, modelos físicos, técnicas matemáticas y aproximaciones de la Termodinámica y Física Estadística de procesos irreversibles, para proporcionarle un panorama actualizado de las principales aplicaciones de estas herramientas.

### CONTENIDO

- Fundamentos de termodinámica estadística: Teorema de Liouville; teoría de ensambles; funciones de partición; potenciales termodinámicos; funciones de distribución; condiciones de equilibrio; sistemas cerrados y sistemas abiertos.
- Principios generales de la termodinámica estadística de procesos irreversibles: Termodinámica de primer orden; producción y balance de entropía; ecuaciones fenomenológicas; fuerzas y flujos termodinámicos; teorema de reciprocidad de Onsager; fluctuaciones y reversibilidad.
- Gases ideales cuánticos: Distribuciones de Bose-Einstein y Fermi-Dirac; gases cuánticos altamente degenerados; condensación de Bose-Einstein; funciones termodinámicas de sistemas de bosones y sistemas de fermiones.
- Sistemas de partículas interactivas y con estructura: Gases moleculares a baja densidad; separación de grados de libertad internos; calores específicos de sólidos; teorías de Born y de Von Karman.
- Aplicaciones generales importantes: Gases de una y varias componentes; propiedades térmicas de materiales; teoría de bandas electrónicas; gases electrónicos densos en metales; sistemas electrónicos de dimensionalidad reducida; heteroestructuras semiconductoras; coexistencia de fases en compósitos; transiciones de fase de primero y segundo orden; modelos de aleaciones; superficies e interfaces; fenómenos termoeléctricos, estados estacionarios y sistemas biológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. W. Yourgrau, A. Van der Merwe & G. Raw, *Treatise on Irreversible and Statistical Thermophysics* (Dover Publications, Inc., 1982).
2. Yu. I. Dimitrienko, *Thermomechanics of composites under high temperatures* (Kluwer Academic Press, 1999).
3. S. R. de Groot & P. Mazur, *Non-equilibrium Thermodynamics* (Dover Publications, Inc., 1984).
4. D.A. McQuarrie, *Statistical Mechanics* (Harper Coillins, 1976).
5. S.K. Ma, *Modern Theory of Critical Phenomena*, Frontiers in Physics Series (The Benjamin/Cummings Publishing Company, Advanced Book Program, 1976).
6. D. Chandler, *Introduction to Modern Statistical Mechanics* (Oxford University, 1987).

# **TERMODINÁMICA ESTADÍSTICA DE MATERIALES**

## OBJETIVO

Conocer y aplicar la teoría de ensambles a los sistemas relevantes de la Ciencia de Materiales.

## CONTENIDO

### **I. Fundamentos de termodinámica estadística**

- ✓ Condiciones de equilibrio, sistemas cerrados y abiertos.
- ✓ Ensamblés, sistemas ergódicos.
- ✓ Ejemplos: sistemas aislados, dipolos no interactuantes.
- ✓ Funciones de distribución, factores de Gibbs y Boltzmann.
- ✓ Funciones de partición.
- ✓ Relación de las funciones de partición con las cantidades termodinámicas.
- ✓ Ejemplos: modelo de Debye, sólido de Einstein.
- ✓ Distribuciones de Fermi—Dirac y de Bose—Einstein.
- ✓ Presión, funciones de energía libre, relaciones de Maxwell.
- ✓ Funciones de energía libre y funciones de partición.
- ✓ Probabilidad para un conjunto de estados.
- ✓ Condiciones de equilibrio en términos de  $U$ ,  $H$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $W$ .
- ✓ Fluctuaciones y elección del ensamble.

### **II. Aplicaciones**

- ✓ Gas ideal y mezclas de gases.
- ✓ Termodinámica estadística de electrones en cristales, gas denso, metales, efectos en la estructura de bandas, semiconductores.
- ✓ Coexistencia de fases y transiciones de fases.
- ✓ Modelos de soluciones y aleaciones.
- ✓ Interfaces y superficies.
- ✓ Polímeros y soluciones de polímeros.
- ✓ Defectos puntuales en cristales.

## BIBLIOGRAFÍA

Texto recomendado: Kittel & Kroemer, *Thermal Physics*.

Otros textos:

1. D. Chandler, *Introduction to Modern Statistical Mechanics* (Oxford University, 1987).
2. Hill, *Introduction to Statistical Thermodynamics*.
3. Gokcen, *Statistical Thermodynamics of Alloys*.
4. Swalin, *Thermodynamics of Solids*.
5. Gaskell, *Metallurgical Thermodynamics*.
6. C.H.P. Lupis, *Chemical Thermodynamics of Materials* (Prentice-Hall, 1993)