

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Estructura de la materia	Física del Estado Sólido	4º	1º	6	Obligatoria
PROFESORES <sup>(1)</sup>			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)		
Créditos teóricos:			<b>Todos:</b> Dpto. Física Aplicada, Edificio de Física, Facultad de Ciencias <b>Ángel Delgado Mora:</b> 1ª planta, despacho nº 9, tel. 958243209, <a href="mailto:adelgado@ugr.es">adelgado@ugr.es</a> <b>María Luisa Jiménez Olivares:</b> 1ª planta, despacho nº 2, tel. 958242743, <a href="mailto:jimenez@ugr.es">jimenez@ugr.es</a>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>María Luisa Jiménez Olivares</b></li> </ul>					
Créditos prácticos:			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS <sup>(1)</sup>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ángel Delgado Mora:</b> Grupo C1.</li> </ul>			<a href="#">Ángel Vicente Delgado Mora</a> <a href="#">María Luisa Jiménez Olivares</a>		

GRADO EN EL QUE SE IMPARTE	OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR
Grado en Física	Grado en Química

PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)
Es recomendable tener cursadas las siguientes asignaturas: Física General I y II Técnicas Experimentales Básicas Mecánica y Ondas Termodinámica Electromagnetismo Física Estadística

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" (<http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ncg7121/>!)



## Física Cuántica

Tener conocimientos adecuados sobre:

- Bases de la Física Cuántica
- Mecánica Clásica
- Electricidad y Magnetismo

Termodinámica y Física Estadística

## BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)

Estructura cristalina de los sólidos.  
Descripción de la interacción radiación-cristal.  
Fonones.  
Propiedades térmicas de los sólidos.  
Estados electrónicos.  
Estructura de bandas. Propiedades de transporte.  
Fenómenos cooperativos. Superconductividad.

## COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

- Generales  
CT1 Capacidad de análisis y síntesis.  
CT3 Comunicación oral y/o escrita.  
CT6 Resolución de problemas.  
CT8 Razonamiento crítico.  
CT10 Creatividad.
- Específicas  
CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.  
CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.  
CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.  
CE7: Trasmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.

## OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

- Conocimiento de la estructura de los sólidos, con especial atención a sus simetrías de traslación y puntual. Visión espacial de estructuras periódicas
- Comprensión de las nociones básicas de scattering o dispersión de la radiación por un sólido ordenado. Técnicas de rayos X, electrones y neutrones
- Nociones de métodos de determinación de estructuras
- Comprensión de la fenomenología de las vibraciones de red como aspecto esencial de la Física de los sólidos
- De la Mecánica Clásica de las oscilaciones y ondas a las ondas en medios periódicos
- Un salto esencial: formulación cuántica y concepto de fonón
- La dispersión no es siempre elástica: determinación experimental del espectro de fonones
- Energía de las vibraciones de red: capacidad calorífica de los sólidos
- Los electrones como partículas de transporte de carga en los sólidos. Teoría clásica: modelo de Drude
- Comprensión de la importancia del principio de Pauli: modelo de Sommerfeld del gas de electrones libres
- La noción de banda como herramienta esencial en la descripción de la estructura electrónica
- Aplicaciones: conocimiento de los mecanismos básicos de conducción eléctrica y térmica, efecto Hall y fenómenos termoeléctricos
- Conocimientos básicos sobre el magnetismo en la materia



- La superconductividad como fenómeno. Nociones sobre su explicación cuántica.

## TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

### TEMARIO TEÓRICO:

#### **Tema 0. Introducción**

1. Objeto y definición de la Física del Estado Sólido. 2. Breve historia de su desarrollo. 3. Interés y necesidad de su estudio.

#### **Tema 1. Estructura cristalina de los sólidos**

1. Simetría de traslación: red y estructura. 2. Base y celda. Celda primitiva. 3. Operaciones de simetría. Clasificación de las redes cristalinas. 4. Red recíproca. 5. Posiciones en el cristal. Índices de Miller. 6. Ejemplos de estructuras cristalinas. 7. Determinación de estructuras por difracción. 8. Ecuación general de difusión (o “scattering”). 9. Zonas de Brillouin. 10. La ecuación de Bragg. 11. Scattering por un cristal real: factor de forma y factor de estructura.

#### **Tema 2. Fonones. Propiedades térmicas de los sólidos**

1. Introducción. 2. Vibraciones de una red lineal monoatómica. Dispersión. 3. Vibraciones de una red tridimensional con base monoatómica. Modos normales. 4. Base diatómica: ramas acústica y óptica. 5. Redes tridimensionales con base poliatómica. 6. Cuantificación y fonones. 7. Scattering inelástico de neutrones por fonones. 8. Scattering inelástico de radiación electromagnética. 9. Calor específico de la red. 10. Recuento del número de modos. 11. Ley T<sup>3</sup> de Debye.

#### **Tema 3. Teoría de electrones libres en metales**

1. Características experimentales y modelo de electrones libres. 2. Niveles de energía y densidad de estados. 3. Distribución de Fermi-Dirac. Energía de Fermi. 4. Calor específico electrónico.

#### **Tema 4. Teoría de bandas. Metales, aislantes y semiconductores**

1. Introducción. 2. Teorema de Bloch. Función de onda de Bloch. 3. Zonas de Brillouin. Representaciones zonales de bandas. 4. Aproximación de electrones casilibres. Cálculo de bandas. 5. El método de ligaduras fuertes (tight binding model). 6. Número de estados en una banda. Metales, aislantes y semiconductores.

#### **Tema 5. Fenómenos de transporte**

1. Introducción. 2. Conductividad eléctrica (DC y AC) del gas de electrones libres. Modelo de Sommerfeld. 3. Conductividad térmica. 4. Colisiones electrón-fonón: efecto de la temperatura sobre las conductividades eléctrica y térmica. 5. Efecto Hall y magnetorresistencia. 6. Efectos termoeléctricos. 7. Dinámica del electrón en la red: órbitas en el espacio k. 8. Masa efectiva del electrón. 9. Huecos. 10. Teoría semiclásica de la conducción. Aproximación tiempo de relajación. 11. Aplicación al cálculo de conductividades.

#### **Tema 6. Superconductividad**

1. Fenómenos experimentales asociados a la superconductividad. 2. Teorías fenomenológicas de la superconductividad: London y Ginzburg-Landau. 3. Teoría microscópica o BCS. 4. Superconductores de alta temperatura. 5. Aplicaciones de los superconductores.

#### **Tema 7. Magnetismo**

1. Introducción: origen del magnetismo atómico. 2. Diamagnetismo. 3. Paramagnetismo atómico: ley de Curie. 4. Paramagnetismo de Pauli. 5. Teoría del campo medio de Weiss. 6. La interacción de canje de Heisenberg. 7. Orden magnético: ferromagnetismo, ferrimagnetismo y antiferromagnetismo. 8. Ondas de spin. 9. Histéresis, dominios y paredes de Bloch.



## TEMARIO PRÁCTICO:

### Seminarios/Talleres

- Cuasicristales
- Nociones de grupos puntuales y espaciales cristalográficos.
- Vectores de red recíproca y planos de red.
- Producción de rayos X, electrones y neutrones.
- Métodos experimentales utilizados en difracción.
- Ecuación de movimiento de un átomo en una red tridimensional en aproximación armónica.
- Sobre la simetría del tensor elástico y las direcciones de propagación.
- Dilatación de sólidos
- Propiedades ópticas de los sólidos
- Resonancia magnética nuclear
- Imanes permanentes. Fabricación y propiedades
- Historia de la superconductividad
- 

### Prácticas de Laboratorio

1. Difracción de rayos X
2. Difracción de electrones
3. Microscopio de emisión de campo
4. Fonones en una red cristalina. Demostración de laboratorio usando analogías eléctricas
5. Superconductividad
6. Conductividad eléctrica y térmica de metales
7. Determinación de la banda prohibida del germanio
8. Efecto Hall en semiconductores
9. Efecto Hall en metales
10. Fotoconductividad
11. Luminiscencia de sólidos

### Prácticas de Campo

## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

#### Textos avanzados:

- \*W.A. Harrison, *Solid State Theory*, Dover, N. York, 1979
- \*W. Jones, N.H. March, *Theoretical Solid State Physics*, Dover, N. York, 1973
- C. Kittel, *Quantum Theory of Solids*, Wiley, N. York, 1963

#### Textos de nivel intermedio:

- \*C. Kittel, *Introducción a la Física del Estado Sólido*, Reverté, Barcelona, 1993
- \*N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics*, HRW Int. Eds., Philadelphia, 1981
- \*H. Ibach, *Solid State Physics: An Introduction to Theory and Experiment*, Springer, Berlín, 1991. \*G. Burns, *Solid State Physics*, Academic Press, Boston, 1990
- \*J.S. Blakemore, *Solid State Physics*, W.B. Saunders, Philadelphia, 1974
- \*H.M. Rosenberg, *El estado sólido*, Alianza Universidad, Madrid, 1991

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- \*J. Piqueras, J.M. Rojo, *Problemas de introducción a la física del estado sólido*, Alhambra, Madrid, 1980.
- \*L. Mihály, M.C. Martín, *Solid state physics: problems and solutions*, Wiley, N. York, 1996.



- \*H.J. Goldsmid, Problemas de física del estado sólido, Reverté, Barcelona, 1975.

#### ENLACES RECOMENDADOS

<http://web.mit.edu/redingtn/www/netadv/solidstate.html>  
<http://www.physics.udel.edu/~bnikolic/teaching/phys624/lectures.html>

#### METODOLOGÍA DOCENTE

Antes de la exposición de cada tema, los estudiantes tendrán su material docente, en el que se especificará el trabajo a realizar por su parte, para alcanzar los objetivos específicos del tema. Cada alumno sabrá qué trabajo personal debe hacer (resolución de ejercicios y cuestiones, seminarios, ampliación, etc.) y cómo debe mostrar la labor realizada. El tema siempre concluirá con resolución de cuestiones y ejercicios de comprobación de conocimientos.

Se procurará una amplia participación del estudiante en la tarea de laboratorio, huyendo, hasta donde sea posible, del tradicional guión de prácticas, sustituido por materiales a disposición, objetivos y sugerencia de ejecución. Se prestará mucha atención a la calidad y rigor de los informes de laboratorio. El control de la actividad de “copiar y pegar” será esencial para no desvirtuar la contribución de las prácticas al aprendizaje.

También se pretende potenciar el papel de la exposición de seminarios, huyendo de actitudes de mera descarga de información desde la red. Este es igualmente un comportamiento a evitar.

#### EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

La evaluación se realizará a partir de los exámenes, en los que los estudiantes tendrán que demostrar las competencias adquiridas, la realización de prácticas de laboratorio y la entrega y/o exposición de trabajos y problemas propuestos. Se valorará especialmente la participación, iniciativa, originalidad y calidad del trabajo realizado por el alumno, tanto en los exámenes como en los trabajos realizados. La superación global de la asignatura no se logrará sin un conocimiento uniforme y equilibrado de toda la materia.

La evaluación continua se realizará a partir de la calificación obtenida en las siguientes actividades:

1. Examen de teoría y problemas Calificación máxima: 7 puntos. Calificación mínima en esta parte para superar la asignatura: 3 puntos.
2. Prácticas de laboratorio: 2 puntos.
3. Trabajos: 1 punto.

La evaluación de la convocatoria extraordinaria se realizará a partir de la calificación obtenida en las siguientes actividades:

1. Examen de teoría y problemas Calificación máxima: 7 puntos. Calificación mínima en esta parte para superar la asignatura: 3 puntos.
2. Prácticas de laboratorio: 2 puntos.
3. Trabajos: 1 punto.

Para esta convocatoria extraordinaria se habilitará un plazo en el que el alumno podrá realizar las actividades de los apartado 3 en caso de no haberlos realizado anteriormente.

La evaluación única final, tanto en la convocatoria ordinaria como extraordinaria, consistirá en una prueba única con los contenidos de la asignatura

Siguiendo las recomendaciones de la CRUE y del Secretariado de Inclusión y Diversidad de la UGR, los sistemas de adquisición y de evaluación de competencias recogidos en esta guía docente se aplicarán conforme al principio de



diseño para todas las personas, facilitando el aprendizaje y la demostración de conocimientos de acuerdo a las necesidades y la diversidad funcional del alumnado.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA "NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA"

- Prueba escrita basada en la resolución de problemas teórico-numéricos de todo el programa, fijada el mismo día y hora y realizada en las mismas aulas que la prueba escrita para evaluación continua (convocatorias ordinaria y extraordinaria).

INFORMACIÓN ADICIONAL

Guía Docente aprobada por el Departamento de Física Aplicada en sesión de Consejo de Departamento de fecha 13 de junio de 2017.

