

Fecha de aprobación: 19/06/2023

Guía docente de la asignatura

**Física del Estado Sólido (2671141)**

<b>Grado</b>	Grado en Física	<b>Rama</b>	Ciencias				
<b>Módulo</b>	Estructura de la Materia	<b>Materia</b>	Física del Estado Sólido				
<b>Curso</b>	4º	<b>Semestre</b>	1º	<b>Créditos</b>	6	<b>Tipo</b>	Obligatoria

**PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES**

Se recomienda haber cursado Mecánica Clásica, Electromagnetismo, Física Estadística, Física Cuántica

**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 ASOCIADAS A MATERIA/ASIGNATURA****COMPETENCIAS GENERALES**

- CG01 - Capacidad de análisis y síntesis
- CG03 - Comunicación oral y/o escrita
- CG06 - Resolución de problemas
- CG08 - Razonamiento crítico
- CG10 - Creatividad
- CG13 - Conocimiento de una lengua extranjera

**COMPETENCIAS ESPECÍFICAS**

- CE01 - Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- CE02 - Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.
- CE05 - Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje



matemático.

- CE07 - Transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.

## RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Objetivos)

- 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

## PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

### 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. Clasificación de las redes cristalinas. 4. Red recíproca. 5. Posiciones en el cristal. Índices de Miller. 6. Zonas de Brillouin. 7. Ejemplos de estructuras cristalinas. 8. Ecuación de Bragg.

#### 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. Vibraciones de redes lineales diatómicas: 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: modelo de Born y von Karman.

#### Tema 3. Estructura electrónica de los sólidos

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. Limitaciones del modelo de electrones libres. 5. Electrones independientes: teorema de Bloch y bandas de energía. 6. Métodos



de cálculo de bandas. 7. Ejemplos de estructura de bandas. Conductores, aislantes, semiconductores.

#### **Tema 4. Fenómenos de transporte en sólidos**

1. Introducción. 2. Fenómenos de transporte en el gas de electrones libres. Modelo de Drude. 3. Dinámica del electrón en la red: modelo semiclásico. 4. Masa efectiva. Huecos. 5. Teoría semiclásica de la conducción. Aproximación tiempo de relajación.

#### **Tema 5. 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.

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

1. Introducción. El fenómeno de la superconductividad. 2. Propiedades termodinámicas. 3. Ecuaciones de London. Longitud de penetración. 4. Modelo de Ginzburg-Landau. 5. Teoría microscópica: BCS. 6. Corrientes túnel y efectos Josephson. 7. Superconductividad a alta temperatura.

### **PRÁCTICO**

#### Prácticas de Laboratorio

1. Difracción de rayos X
2. Difracción de electrones
3. Fonones en una red cristalina. Demostración de laboratorio usando analogías eléctricas
4. Superconductividad
5. Conductividad eléctrica y térmica de metales
6. Efecto de la temperatura sobre la conductividad de los metales
7. Determinación de la banda prohibida del germanio
8. Efecto Hall en semiconductores
9. Efecto Hall en metales
10. Fotoconductividad
11. Histéresis ferromagnética
12. Resonancia magnética nuclear

### **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:

- \*N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, Solid State Physics, HRW Int. Eds., Philadelphia, 1981
- \*J.S. Blakemore, Solid State Physics, W.B. Saunders, Philadelphia, 1974
- \*G. Burns, Solid State Physics, Academic Press, Boston, 1990
- \*A.J. Dekker, Solid State Physics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1965
- \*R.P. Huebener, Conductors, Semiconductors, Superconductors. An Introduction to Solid State Physics. Springer, Cham, 2016
- \*H. Ibach, H. Lüth, Solid-State Physics. An Introduction to Principles of Materials Science, Springer, Dordrecht, 2009
- \*C. Kittel, Introducción a la Física del Estado Sólido, Reverté, Barcelona, 1993



- \* C. Kittel, P. McEuen, Introduction to solid state physics, John Wiley & Sons, Hoboken, 2005.
- \*H.M. Rosenberg, El estado sólido, Alianza Universidad, Madrid, 1991
- \*S.H. Simon, The Oxford Solid State Basics, Oxford University Press, Oxford, 2013

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- \*H.J. Goldsmid, Problemas de física del estado sólido, Reverté, Barcelona, 1975
- \*F. Han, Problems in solid state physics with solutions, World Scientific, N. Jersey, 2012
- \* Meléndez Martínez, J.J., Problemas resueltos de física de los sólidos, Paraninfo, Madrid, 2017
- \*L. Mihály, M.C. Martin, Solid state physics: problems and solutions, Wiley, N. York, 1996
- \*J. Piqueras, J.M. Rojo, Problemas de introducción a la física del estado sólido, Alhambra, Madrid, 1980

### ENLACES RECOMENDADOS

- <https://ocw.mit.edu/courses/8-231-physics-of-solids-i-fall-2006/download/>
- <https://ocw.mit.edu/courses/6-730-physics-for-solid-state-applications-spring-2003/>
- <http://www.physics.udel.edu/~bnikolic/teaching/phys624/lectures.html>
- <https://ocw.mit.edu/courses/8-512-theory-of-solids-ii-spring-2009/>
- <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia>
- <https://www.youtube.com/watch?v=fBo9qRtA83k>

### METODOLOGÍA DOCENTE

- MD01 - Lección magistral/expositiva

### EVALUACIÓN (instrumentos de evaluación, criterios de evaluación y porcentaje sobre la calificación final)

#### EVALUACIÓN ORDINARIA

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

1. Examen de teoría y problemas. Este examen contribuirá con un 70% a la nota final. Es requisito indispensable para superar la asignatura alcanzar una calificación mínima en esta actividad de 3.5 puntos sobre 10.
2. Prácticas de laboratorio: 20% de la nota final.
3. Test en la plataforma PRADO con resolución de un problema al final de cada uno de los temas impartidos. Calificación máxima de esta actividad: 10% de la nota final



### EVALUACIÓN EXTRAORDINARIA

Se realizará a partir de la calificación obtenida en las siguientes actividades:

1. Examen de teoría y problemas. Este examen contribuirá con un 80% a la nota final. Es requisito indispensable para superar la asignatura alcanzar una calificación mínima en esta actividad de 3.5 puntos sobre 10.
2. Prácticas de laboratorio: 20%. Para la realización de esta prueba, el/la estudiante deberá realizar uno de los experimentos del laboratorio de prácticas seleccionado al azar. A continuación, presentará oralmente un informe de la práctica realizada. Alternativamente, podrá elegir que se le evalúen los informes realizados durante la evaluación continua.

### EVALUACIÓN ÚNICA FINAL

1. Examen de teoría y problemas. Este examen contribuirá con un 80% a la nota final. Es requisito indispensable para superar la asignatura alcanzar una calificación mínima en esta actividad de 3.5 puntos sobre 10.
2. Prácticas de laboratorio: 20% de la nota final. Para la realización de esta prueba, el/la estudiante deberá llevar a cabo uno de los experimentos del laboratorio de prácticas seleccionado al azar. A continuación, presentará oralmente un informe de la práctica realizada.

### INFORMACIÓN ADICIONAL

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.

