FICHA IDENTIFICATIVA

Datos de la Asignatura

Código	34263
Nombre	Física del Estado Sólido
Ciclo	Grado
Créditos ECTS	7.5
Curso académico	2024 - 2025

Titulación(es)

Titulación	Centro	Curso	Periodo
1105 - Grado en Física	Facultad de Física	4	Primer cuatrimestre
1928 - Doble Grado en Física y Matemáticas	Doble Grado en Física y Matemáticas	5	Primer cuatrimestre

Materias

Titulación	Materia	Carácter
1105 - Grado en Física	15 - Ampliación de Física	Obligatoria
1928 - Doble Grado en Física y Matemáticas	5 - Quinto Curso (Obligatorio)	Obligatoria

Coordinación

Nombre	Departamento
CROS STOTTER, ANA	175 - Física Aplicada y Electromagnetismo
SANCHEZ ROYO, JUAN FRANCISCO	175 - Física Aplicada y Electromagnetismo

RESUMEN

En la asignatura se hace amplio uso de las herramientas desarrolladas en las asignaturas de Mecánica, Electromagnetismo, Termodinámica, Física Cuántica y Física Estadística. De hecho, en la asignatura de Física Cuántica, se estudian algunos aspectos fundamentales de Estado Sólido, como el teorema de Bloch, la existencia de bandas de energía (modelo de Kronig-Penney) y las relaciones de dispersión, las condiciones periódicas de Born-von Karman, la masa efectiva o el concepto de hueco. También se estudia el modelo de Drude de conducción en un metal. Estos conceptos se presuponen conocidos, aunque algunos de ellos se repasan en la Física del Estado Sólido con un enfoque algo diferente, en el contexto del tema correspondiente. Muchos de los conceptos desarrollados en Mecáncia Cuántica son importantes en la asignatura de Estado Sólido, en particular en el estudio de los semiconductores, y en la comprensión de los fenómenos cooperativos.

El desarrollo de la asignatura analiza la periodicidad a largo alcance y las simetrías a que da lugar. Se estudian los distintos sistemas cristalinos y se ven ejemplos de estructuras de interés fundamental y tecnológico. Se analiza el fenómeno de la difracción de rayos X en cristales, introduciendo la red recíproca y las zonas de Brillouin y describiendo algunos métodos de resolución de estructuras.
Se aborda la dinámica de la red, obteniéndose las relaciones de dispersión e introduciendo el concepto de fonón. Las propiedades térmicas de los sólidos están íntimamente relacionadas con los fonones. Se define la densidad de estados de fonón, que servirá de base para la determinación de una serie de propiedades térmicas como la capacidad calorífica, la expansión térmica o los efectos de anarmonicidad.
La estructura electrónica de los sólidos es esencial para conocer el comportamiento electrónico y óptico. Se abordan dos modelos, el de la aproximación cuasi-libre, válido para metales, y el de la aproximación de electrones fuertemente ligados, válido para aislantes. Se analiza la estructura de bandas en la primera zona de Brillouin y se introduce el concepto de puntos críticos. Estos conocimientos se aplican al análisis de algunas estructuras de bandas de materiales de interés y sus densidades de estados, relacionando sus características con las propiedades ópticas y eléctricas del material.

El estudio de los conductores aborda la descripción semiclásica del transporte electrónico, discutiendo por qué unos materiales conducen la electricidad y otros no. Se revisa el modelo de Drude haciendo énfasis en sus debilidades y en la necesidad de introducir la estadística de Fermi para describir el gas de electrones. Asimismo, se estudia la contribución de los electrones a la conducción térmica.
Los semiconductores son la base de gran parte de la tecnología electrónica actual. Después de recordar algunos conceptos que se han introducido en la asignatura de Física Cuántica, como el concepto de hueco y de masa efectiva, se determina la concentración de electrones en un semiconductor y la evolución de la energía de Fermi en función de la temperatura. Se estudian los semiconductores dopados.

Las propiedades magnéticas de la materia se abordan describiendo la teoría cuántica del diamagnetismo y del paramagnetismo. El ferromagnetismo, junto con otras variantes de orden magnético, es un fenómeno cooperativo, cuya descripción requiere introducir la denominada interacción de intercambio. Se discute la teoría del campo medio tanto del ferromagnetismo como del antiferromagnetismo.
Por último, se da una visión general del fenómeno de la superconductividad, partiendo de algunos experimentos esenciales para luego hacer una descripción fenomenológica de sus propiedades. Se expone de manera simplificada el origen de la superconductividad y se analizan los distintos tipos de superconductores.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Relación con otras asignaturas de la misma titulación

No se han especificado restricciones de matrícula con otras asignaturas del plan de estudios.

Otros tipos de requisitos

Física General, Mecánica y Ondas, Física Cuántica, Termodinámica y Física Estadística, Óptica, Electromagnetismo, Matemáticas, Métodos Matemáticos.

COMPETENCIAS (RD 1393/2007) // RESULTADOS DEL APRENDIZAJE (RD 822/2021)

1105 - Grado en Física

- Poseer y comprender los fundamentos de la Física en sus aspectos teóricos y experimentales, así como el bagaje matemático necesario para su formulación.
- Saber aplicar los conocimientos adquiridos a la actividad profesional, saber resolver problemas y elaborar y defender argumentos, apoyándose en dichos conocimientos.
- Resolución de problemas: Ser capaz de evaluar claramente los órdenes de magnitud, de desarrollar una percepción de las situaciones que son físicamente diferentes pero que muestran analogías, permitiendo, por lo tanto, el uso de soluciones conocidas a nuevos problemas.
- Comprensión teórica de fenómenos físicos: tener una buena comprensión de las teorías Físicas más importantes (estructura lógica y matemática, apoyo experimental, fenómenos físicos descritos).
- Modelización y resolución de problemas: Ser capaz de identificar los elementos esenciales de un proceso/situación y de establecer un modelo de trabajo del mismo. Ser capaz de realizar las aproximaciones requeridas con el objeto de reducir un problema hasta un nivel manejable. Pensamiento crítico para construir modelos físicos.
- Cultura General en Física: Haberse familiarizado con las áreas más importantes de la Física y con enfoques que abarcan y relacionan diferentes áreas de la Física, así como relaciones de la Física con otras ciencias.
- Investigación básica y aplicada: Adquirir una comprensión de la naturaleza de la investigación Física, de las formas en que se lleva a cabo, y de cómo la investigación en Física es aplicable a muchos campos diferentes, por ejemplo la ingeniería; habilidad para diseñar procedimientos experimentales y/o teóricos para: (i) resolver los problemas corrientes en la investigación académica o industrial; (ii) mejorar los resultados existentes
- Destrezas generales y específicas en lenguas extranjeras: Haber mejorado el dominio del inglés (o de otra lengua extranjera de interés) a través de: acceso a bibliografía fundamental, comunicación oral y escrita (inglés científico-técnico), cursos, estudios en el extranjero, reconocimiento de créditos en universidades extranjeras etc.
- Búsqueda de bibliografía: Ser capaz de buscar y utilizar bibliografía en Física y otra bibliografía técnica, así como cualquier fuente de información relevante para trabajos de investigación y desarrollo técnico de proyectos.
- Capacidad de aprendizaje: Ser capaz de iniciarse en nuevos campos de la Física y de la ciencia y tecnología en general, a través del estudio independiente.
- Comunicación oral y escrita: Ser capaz de transmitir información, ideas, problemas y soluciones mediante la argumentación y el razonamiento propios de la actividad científica, utilizando los conceptos y herramientas básicas de la Física.

- Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio.
- Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio.
- Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.
- Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado.
- Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (RD 1393/2007) // SIN CONTENIDO (RD 822/2021)

- Conocimiento de los conceptos básicos de simetría relacionados con la estructura cristalina.
- Conocimientos de difracción de rayos X.
- Entender las ecuaciones básicas de la dinámica de los sólidos.
- Entender el origen de fenómenos físicos como las propiedades térmicas, eléctricas o ópticas.
- Comprender el origen del magnetismo y la superconductividad.
- Manejo de las herramientas matemáticas y conceptos físicos necesarios para abordar un tema de investigación en Estado Sólido.
- Desarrollar la capacidad de identificar problemas e idear estrategias para su resolución.
- Desarrollar la capacidad de planificar y organizar el propio aprendizaje, basándose en el trabajo individual a partir de la bibliografía y otras fuentes de información.
- Evaluar la importancia relativa de las diferentes causas que intervienen en un fenómeno físico.
- Identificar los elementos esenciales de una situación compleja, realizar las aproximaciones necesarias para construir modelos simplificados que lo describan y poder así entender su comportamiento en otras situaciones.
- Ser capaz de efectuar una puesta al día de la información existente sobre un problema concreto,ordenarla y analizarla críticamente.
- Fomentar la capacidad para trabajar en grupo.

DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

1. Estructura cristalina

Sólidos cristalinos y amorfos: orden a corta y larga distancia. Redes cristalinas. Red de Bravais y motivo de una estructura cristalina. Simetrías. Estructuras cristalinas significativas.

2. Difracción en estructuras periódicas

Red recíproca. Primera zona de Brillouin. Dispersión de la luz por electrones y átomos. Difracción por redes periódicas: condición de interferencia de Laue y esfera de Ewald. Interpretación de Bragg de la condición de Laue. Factor de estructura. Problema de la fase. Dispositivos experimentales.

3. Dinámica de la red

Aproximaciones adiabática y armónica. Cadena lineal con un átomo y dos átomos en la celda unidad: ramas acústicas y ópticas. Ejemplos de relación de dispersión real en un sólido. Vector de ondas de las vibraciones de la red. Efectos Brillouin y Raman para el estudio de los modos acústicos y ópticos.

4. Propiedades térmicas de los sólidos

Insuficiencia de la física clásica en la descripción del calor específico. Concepto de fonón. Relaciones de dispersión de fonones y densidad de estados. Excitación térmica de fonones: energía térmica y calor específico. Aproximación de Debye para el sólido armónico. Efectos anarmónicos. Dilatación térmica. Conductividad térmica.

5. Estructura electrónica. Teoría de bandas

Ecuación de Schrödinger del electrón en un potencial periódico: teorema de Bloch. Aproximación del electrón cuasi-libre. Aproximación del electrón fuertemente ligado. Dispersión de las bandas en la primera zona de Brillouin: metales y semiconductores. Densidad de estados: puntos críticos o singularidades de Van Hove. Ejemplos de estructuras de bandas de sólidos reales. Relación con sus propiedades eléctricas y ópticas.

6. Metales

Teoría semiclásica del transporte electrónico. Contribución de bandas llenas y parcialmente llenas al transporte. Modelo de Drude y problemas asociados. Electrones quasi-libres: energía de Fermi, densidad de estados y superficie de Fermi. Contribución electrónica al calor específico en un metal. Modelo de Sommerfeld.

7. Semiconductores

Estructura de bandas de un semiconductor en torno al gap: masas efectivas y concepto de hueco. Nivel de Fermi y su dependencia en temperatura. Concentración de electrones y huecos en un semiconductor intrínseco. Impurezas dadoras y aceptoras. Dependencia en temperatura del nivel de Fermi y concentración de portadores en un conductor dopado. Modelo de Drude en un semiconductor. Dispersión por fonones e impurezas.

8. Magnetismo

Momento magnético de un átomo. Diamagnetismo y paramagnetismo. La interacción de intercambio. Hamiltoniano de spin para el ferromagnetismo. Teoría del campo medio del ferromagnetismo y antiferromagnetismo. Dominios y ciclos de histéresis.

9. Superconductividad

Propiedades básicas. Electrodinámica. Consideraciones termodinámicas. Descripción microscópica. Supercorrientes. Resistencia nula y efecto Meissner. Corriente y campos críticos.

VOLUMEN DE TRABAJO

ACTIVIDAD	Horas	% Presencial
Clases de teoría	60,00	100
Prácticas en laboratorio	15,00	100
Preparación de actividades de evaluación	20,00	0
Preparación de clases de teoría	47,50	0
Preparación de clases prácticas y de problemas	45,00	0
TOTAL	**187,50**	

METODOLOGÍA DOCENTE

Clases teóricas: Se establecerán las bases del Estado Sólido, introduciendo los aspectos fundamentales y derivando sus propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas.

Clases de problemas: Se realizan ejercicios que complementan las clases teóricas, en las que se procurará introducir magnitudes físicas reales que nos permitan conocer el orden de magnitud de los diferentes parámetros físicos que dan cuenta de sus propiedades.

Sesiones de laboratorio: Las prácticas de laboratorio se realizarán en grupos reducidos. Los estudiantes trabajan en grupo en la toma de datos y la discusión de los resultados, en un análisis preliminar.

EVALUACIÓN

El sistema de evaluación considera tanto la asimilación de los aspectos explicados en las clases de teoría y problemas como en el laboratorio. El examen escrito (80%) evaluará la comprensión de los aspectos teórico-prácticos y el formalismo de la asignatura, tanto mediante preguntas teóricas como a través de cuestiones conceptuales y numéricas. También incluirá problemas que valoren la capacidad de aplicación de los conceptos estudiados y la capacidad crítica respecto a los resultados obtenidos. La nota del laboratorio (20%) se basa en una evaluación continua de los cuestionarios entregados y del trabajo realizado en el laboratorio.

Se puede aumentar el peso de la evaluación continua en un 10% adicional mediante la resolución de los problemas y las tareas que se indiquen. En ese caso, el peso de la nota del examen será del 70%. Para la nota final se considerará el itinerario que más favorezca al alumno (con evaluación continua adicional o sin ella).

La asignatura se superará con una nota media igual o superior a 5, que se obtendrá de ponderar las distintas contribuciones (examen, laboratorio y, en su caso, evaluación continua adicional) con el criterio que se ha indicado. Para realizar esta ponderación la nota mínima del examen y del laboratorio deberán ser de 4 puntos sobre 10.

REFERENCIAS

Básicas

- Solid State Physics, N. W. Ashcroft y N. D. Mermin, Holt-Saunders Int. Edt., 1976.
- Solid-Stated Physics: An introduction to principles of Materials Science, H. Ibach y H. Lüth, Springer, 2003.
- The Oxford Solid State Basics, Steven H. Simon, Oxford University Press (2013).
- Física del estado sólido. Ejercicios resueltos. Jesús Maza, Jesús Mosqueira y José Antonio Veira. Universidad de Santiago de Compostela.

Complementarias

- Solid State Physics, G. Burns, Academic Press, 1990.
- Solid State Physics, H. E. Hall, John Wiley & Sons, 1982.
- Quantum Theory of Solids, C. Kittel, Wiley, 1987.