

Plan 277 Lic. en Fí-sica

Asignatura 44054 FÍSICA DEL ESTADO SOLIDO

Grupo 1

Presentación

Propiedades térmicas de sólidos. Estados electrónicos: Metales, aislantes y semiconductores, propiedades de transporte. Fenómenos cooperativos: Ferroeléctricos, magnetismo, superconductores. Sólidos reales: Defectos puntuales, dislocaciones.

Programa Básico

Objetivos

El descubrimiento de la mecánica cuántica incrementó el deseo de explicar el comportamiento de los sólidos a partir de ecuaciones basadas en los constituyentes de la materia a nivel atómico. En los primeros años este análisis se restringió a metales en forma cristalina, por lo que este campo comenzó bajo el nombre de Física de los Metales. El término Física del Estado Sólido se adoptó con la creación de la División de Física del Estado Sólido de la Sociedad Americana de Física en 1947; los áreas de trabajo, aparte de los metales, incluían otros materiales cristalinos como por ejemplo los cristales iónicos. Una década más tarde el nombre previo se había quedado corto porque el campo de estudio incluía además de materiales sólidos cristalinos, materiales como el helio líquido, los cristales líquidos, los polímeros, etc. En 1963 apareció la primera revista con el título "Condensed Matter Physics", término que fue ganando adeptos. En abril de 1978, la División de Física del Estado Sólido de la Sociedad Americana de Física decidió cambiar su nombre y adoptar el de División de Física de la Materia Condensada. En este marco y desde un punto de vista actual la Física del Estado Sólido es principalmente la física de los sólidos cristalinos, sistemas en los que es posible incidir partiendo de conceptos físicos fundamentales en la relación estructura propiedades. Por esta razón, no es habitual incluir en nuestros programas académicos de

esta asignatura los materiales amorfos o los líquidos. El principal objetivo de la Física del Estado Sólido (FES) es explicar las propiedades de los sólidos cristalinos en términos de sus constituyentes a nivel atómico y de las interacciones entre ellos. La mayor parte de las propiedades que se estudian pueden ser potencialmente entendidas en términos de la ecuación de Schrödinger enunciada para un sistema de núcleos atómicos y electrones que interactúan a través de fuerzas electrostáticas. Se puede considerar que hay al menos cuatro aspectos generales, fundamentales en Física del Estado Sólido:

1. La aplicación de los principios de la mecánica cuántica en un sistema de muchas partículas.
2. La simetría de translación.
3. El concepto de excitaciones elementales o excitaciones colectivas del cristal: fonones, electrones, excitones, plasmones, etc.
4. La presencia de imperfecciones, impurezas, vacantes, intersticiales, dislocaciones, etc. que definen el paso del estudio del sólido ideal al sólido real.

La mecánica cuántica constituye la base de nuestro conocimiento de los sólidos, de la misma manera que es la base de nuestro conocimiento de los átomos. En cierto sentido, la FES puede considerarse que suministra un excelente terreno de prueba para consolidar y profundizar los principios y métodos de la mecánica cuántica. En la Física del Estado Sólido la interacción entre teoría y experimento ha jugado y sigue jugando un papel fundamental. Los sistemas bajo estudio siempre son demasiado complicados para entenderlos completamente desde el plano teórico. Una vez que la experiencia ha determinado la naturaleza del fenómeno tiene la teoría la posibilidad de explicarlo. Desde otro punto de vista, muchos experimentos no se pueden interpretar sin una base teórica adecuada. En esta asignatura los estudiantes de Física, mediante el uso de gran parte de los conocimientos que han ido adquiriendo a lo largo de su carrera, se enfrentan a un problema real. Interpretar el comportamiento de los materiales cristalinos en términos de sus constituyentes. Es este un objetivo muy interesante y que en cierto modo es una culminación de los estudios en Física al enfrentar al alumno a una situación real

1. Introducción y revisión de conceptos.
 - 1.1. Introducción: La Física del Estado Sólido
 - 1.2. Revisión de conceptos.
 - 1.2.1. Sólidos cristalinos, cuasicristalinos y amorfos
 - 1.2.2. Concepto de estructura cristalina: red y base estructural
 - 1.2.3. Simetría de translación
 - 1.2.4. Celdilla primitiva y unidad. Redes de Bravais. Representación matricial
 - 1.2.5. Notaciones cristalográficas: Índices de Miller
 - 1.2.6. La red recíproca. Propiedades. Zonas de Brillouin.
 - 1.2.7. Difracción de rayos X
 - 1.2.8. El enlace cristalino. Energía de Cohesión. Tipos de enlaces
 - 1.2.9. El cristal real: defectos puntuales, estadística de los defectos puntuales, dislocaciones.

2. Niveles electrónicos en un potencial periódico cristalino: teoría de bandas. Metales, aislantes y semiconductores.
 - 2.1. Teorías de Drude y Sommerfeld. Fallos de estos modelos.
 - 2.2. Planteamiento cuántico del problema: Funciones de onda monoeléctricas
 - 2.3. Teorema de Bloch
 - 2.3.1. Reducción a la primera zona de Brillouin
 - 2.3.2. Condiciones de contorno: recuento del número de estados
 - 2.4. Electrones en un potencial periódico débil
 - 2.4.1. Esquemas de bandas en tres dimensiones. Representación y ejemplos prácticos.
 - 2.5. El método de ligaduras fuertes.
 - 2.6. Métodos para el cálculo de la estructura de bandas
 - 2.7. La superficie de Fermi.
 - 2.7.1. Topología de la superficie de Fermi
 - 2.7.2. Conexión ente la superficie de Fermi, las zonas de Brillouin y las bandas de energía. Carácter metálico, aislante o semiconductor de los sólidos.
 - 2.8. Más allá de la aproximación de electrones independientes.
 - 2.8.1. Introducción
 - 2.8.2. El modelo de Hartree.
 - 2.8.3. Mejoras al modelo de Hartree: ecuaciones de Hartree-Fock en el caso de electrones libres.
 - 2.8.4. Apantallamiento electrostático.
 - 2.8.5. Colisiones electrón-electrón.

3. Modelo Semiclásico en las propiedades dinámicas de los electrones
 - 3.1. Introducción
 - 3.2. Ecuaciones semiclásicas para el movimiento de los electrones de conducción. Validez de las hipótesis.
 - 3.3. Velocidad y masa efectiva de los electrones.
 - 3.4. Huecos: Concepto y utilidad
 - 3.5. Movimiento semiclásico de un electrón en presencia de un campo magnético.

4. Semiconductores
 - 4.1. Dopado de los semiconductores
 - 4.2. Niveles de energía de los átomos de impurezas en un semiconductor
 - 4.3. Densidad de estados electrónicos en semiconductores
 - 4.4. Concentración de portadores en semiconductores intrínsecos y extrínsecos. Nivel de Fermi.

5. Propiedades de transporte
 - 5.1. Ecuación de Boltzmann en la teoría semiclásica. Aproximación tiempo de relajación.
 - 5.2. Conductividad eléctrica de los metales
 - 5.3. Conductividad térmica: Ley de Wiedemann-Franz
 - 5.4. Efectos termoeléctricos
 - 5.5. Efectos termomagnetoeléctricos: Efecto Hall
 - 5.6. Ecuaciones de transporte en semiconductores

6. Determinación de la superficie de Fermi
 - 6.1. Introducción
 - 6.2. Resonancia ciclotrónica
 - 6.3. Efecto pelicular anómalo
 - 6.4. Propagación de ultrasonidos en metales
 - 6.5. Efecto Hass-Van Alphen.

7. Fallos en el modelo estático
 - 7.1. Introducción
 - 7.2. Fallos en las propiedades de equilibrio

7.3. Fallos en las propiedades de transporte
7.4. Fallos en la interacción radiación-materia

8. Ondas en la red

8.1. Introducción

8.2. Teoría clásica de las dinámicas de las redes. Aproximación armónica.

8.3. Vibraciones en modelos simplificados. Modelos unidimensionales

8.4. Modos acústicos y ópticos en redes tridimensionales

8.5. El espectro de la red, densidad de estados

8.6. Propiedades ópticas en el infrarrojo de cristales iónicos

8.7. Cadena monoatómica en mecánica cuántica: el concepto de fonón.

8.8. Determinación experimental de las relaciones de dispersión.

9. Propiedades Térmicas de los aislantes

9.1. Calor específico reticular.

9.2. Modelos aproximados de Einstein y Debye.

9.3. Fusión de los sólidos. Criterio de Lindemann

9.4. Anarmonicidad: dilatación térmica. El parámetro de Grüneisen

9.5. Interacción fonón-fonón

9.6. Conductividad térmica en aislantes y semiconductores intrínsecos.

10. Más allá de la aproximación tiempo de relajación.

10.1 Mecanismos de dispersión de los electrones en los sólidos

10.2. Regla de Matthiesen

10.3. Conductividad residual: Dispersión de un electrón por una impureza

10.4. Conductividad ideal: Dispersión de los electrones con la red.

10.5. Apéndice: El hamiltoniano de Fröhlich

11. Fenómenos cooperativos: Magnetismo, Ferroelectricidad y Superconductividad.

11.1. Diamagnetismo y Paramagnetismo.

11.2 Descripción clásica de los fenómenos cooperativos.

Características de los materiales ferromagnéticos, antiferromagnéticos y ferrimagnéticos

11.3 Descripción fenomenológica de la superconductividad.

Aspectos experimentales: descubrimiento de la superconductividad. Temperatura crítica, corrientes persistentes, propiedades magnéticas: efecto Meissner. Calor específico. Efecto isotópico. Teoría de London. Generalidades sobre el par de Cooper. Nuevos Materiales Superconductores.

Programa Práctico

La asignatura no incluye prácticas de laboratorio

Evaluación

Examen escrito.

Bibliografía

* C. KITTEL, "Introducción a la Física del Estado Sólido" Ed. Reverté (1975)

* N. W. ASHCROFT, N. D. MERMIN. "Solid State Physics", Holt, Rinehart and Winston (1975).
