

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

FUNDAÇÃO Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1996 – São Luís – Maranhão

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE FÍSICA

1. DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Curso	FÍSICA		
Disciplina	ESTADO SÓLIDO I	Código	DEFI0141
Carga Horária	60 H/A	Créditos	4.0.0
Pré-Requisito(s)	FÍSICA MODERNA I		

2. EMENTA

Estruturas Cristalinas, Difração em Cristais e a Rede Recíproca, Ligação Cristalina, Vibrações da Rede, Propriedades Térmicas, Gás de Fermi e Elétrons Livres, Bandas de Energia, Superfícies de Fermi, Semicondutores.

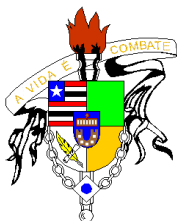
3. OBJETIVOS

- 3.1. Analisar modelos simples para estudar propriedades exibidas por átomos e moléculas em seus arranjos regulares no interior de cristais.
- 3.2. Estudar princípios que servem para explicar o funcionamento de vários dispositivos.

4. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

4.1. ESTRUTURA CRISTALINA

- 4.1.1 Disposição periódica de átomos.
 - 4.1.1.1 Vetores de translação e redes cristalinos.
 - 4.1.1.2 Operação de simetria.
 - 4.1.1.3 A base e a estrutura cristalina.
 - 4.1.1.4 Célula da rede primitiva.
- 4.1.2 Tipos fundamentais de redes.
 - 4.1.2.1 Tipos de redes bidimensionais.
 - 4.1.2.2 Tipos de redes tridimensionais.
- 4.1.3 Sistemas de índices para os planos cristalinos.
- 4.1.4 Estruturas cristalinas simples.
 - 4.1.2.3 Estrutura do cloreto de sódio.
 - 4.1.2.4 Estrutura do cloreto de céσιο.
 - 4.1.2.5 Estrutura hexagonal com agrupamento compacto(hcp).
 - 4.1.2.6 Estrutura do diamante.
 - 4.1.2.7 Estrutura cúbica do sulfeto de zinco
 - 4.1.2.8 Estrutura hexagonal do sulfeto de zinco (Wurtzita).
- 4.1.5 Ocorrência de estruturas cristalinas não ideais.
 - 4.1.5.1 Agrupamento aleatório e politipismo.
- 4.1.6 Vidros
- 4.1.7 Coleção de dados sobre estruturas cristalinas.



4.2 DIFRAÇÃO EM CRISTAIS E A REDE RECÍPROCA

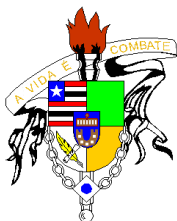
- 4.2.1 O feixe incidente.
- 4.2.2 Raio x.
- 4.2.3 Nêutrons.
- 4.2.4 Elétrons.
- 4.2.5 Lei de Bragg.
- 4.2.6 Métodos experimentais de difração.
 - 4.2.6.1 Método de Laue.
 - 4.2.6.2 Método do cristal giratório.
 - 4.2.6.3 Método do pó.
- 4.2.7 Dedução da amplitude da onda espalhada.
 - 4.2.7.1 Análise de Fourier.
 - 4.2.7.2 Vetores da rede recíproca.
 - 4.2.7.3 Condições de difração.
- 4.2.8 Zonas de Brillouin.
 - 4.2.8.1 Rede recíproca da rede sc.
 - 4.2.8.2 Rede recíproca da rede bcc.
 - 4.2.8.3 Rede recíproca da rede fcc.
- 4.2.9 Análise de Fourier da base.
 - 4.2.9.1 Fator de estrutura da rede bcc.
 - 4.2.9.2 Fator de estrutura da rede fcc.
 - 4.2.9.3 Fator de estrutura atômico.
- 4.2.10 Dependência da linhas de reflexão com a temperatura.

4.3 LIGAÇÃO CRISTALINA

- 4.3.1 Cristais dos gases inertes.
 - 4.3.1.1 Interação de Van der Waals-London.
 - 4.3.1.2 Interação repulsiva.
 - 4.3.1.3 Constante de equilíbrio da rede.
 - 4.3.1.4 Energia de coesão.
 - 4.3.1.5 Compressibilidade e módulo de compressibilidade.
- 4.3.2 Cristais iônicos.
 - 4.3.2.1 Energia eletrostática ou Energia de Madelung.
 - 4.3.2.2 Avaliação da constante de Madelung.
- 4.3.3 Cristais covalentes.
- 4.3.4 Cristais metálicos
- 4.3.5 Cristais com ligação hidrogênio.
- 4.3.6 Raios atômicos.
 - 4.3.6.1 Raios covalentes tetraédricos.
 - 4.3.6.2 Raios iônicos.

4.4 FÔNONS I. VIBRAÇÕES DA REDE

- 4.4.1 Vibração das redes monoatômicas.
 - 4.4.1.1 Primeira zona Brillouin.
 - 4.4.1.2 Velocidade de grupo.
 - 4.4.1.3 Comprimento de onda longa ou limite contínuo.
 - 4.4.1.4 Dedução do limite da força pela experiência.



- 4.4.2 Redes com dois átomos em cada célula primitiva.
- 4.4.3 Quantização das vibrações da rede.
- 4.4.4 Quantidade de movimento dos fônons.
- 4.4.5 Espalhamento inelástico de neutrôns ou fônons.

4.5 FÔNONS II. PROPRIEDADES TÉRMICAS

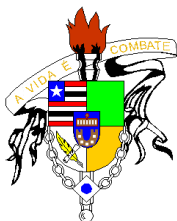
- 4.5.1 Capacidade calorífica da rede.
 - 4.5.1.1 Distribuição de Planck.
 - 4.5.1.2 Modelo de Einstein.
 - 4.5.1.3 Enumeração dos modos normais.
 - 4.5.1.4 Densidade dos modos a uma dimensão
 - 4.5.1.5 Densidade de modos em três dimensões
 - 4.5.1.6 Exemplo: resultado geral para $D(\omega)$
 - 4.5.1.7 Modelo de Debye para capacidade calorífica da rede.
 - 4.5.1.8 Lei T^3 de Debye.
 - 4.5.1.9 Capacidade calorífica de vidros e sólidos amorfos.
- 4.5.2 Interações anarmônicas em cristais
 - 4.5.2.1 Expansão térmica.
- 4.5.3 Condutividade térmica.
 - 4.5.3.1 Resistividade térmica da rede
 - 4.5.3.2 Processos umklapp
 - 4.5.3.3 Imperfeições

4.6 GÁS DE FERMI E ELÉTRONS LIVRES

- 4.6.1 Níveis de energia e densidade de orbitais em uma dimensão.
- 4.6.2 Efeito da temperatura sobre a distribuição de Fermi-Dirac.
- 4.6.3 Gás de elétrons livres em três dimensões.
- 4.6.4 Capacidade calorífica do gás de elétrons.
 - 4.6.4.1 Capacidade calorífica experimental dos metais.
- 4.6.5 Condutividade elétrica e Lei de Ohm.
 - 4.6.5.1 Resistividade elétrica experimental dos metais.
- 4.6.6 Movimento em campos magnéticos.
 - 4.6.6.1 Efeito Hall.
- 4.6.7 Condutividade térmica dos metais.
 - 4.6.7.1 Razão entre a condutividade térmica e a condutividade elétrica.

4.7 BANDAS DE ENERGIA

- 4.7.1 Modelo do elétron quase livre.
 - 4.7.1.1 Origem da lacuna de energia.
 - 4.7.1.2 Módulo da lacuna de energia.
- 4.7.2 Funções de Bloch.
- 4.7.3 Modelo de Kronig-Penney.
- 4.7.4 Equações de ondas de um elétron num potencial periódico.
 - 4.7.4.1 Reformulação do Teorema de Bloch.
 - 4.7.4.2 Quantidade de movimento do elétron no cristal.
 - 4.7.4.3 Solução da equação central.
 - 4.7.4.4 Aproximação da rede vazia.



4.7.4.5 Solução aproximada na vizinhança do contorno da zona.

4.7.5 Número de orbitais numa banda.

4.7.5.1 Metais isolantes.

4.8 CRISTAIS SEMICONDUTORES

4.8.1 Lacuna da banda.

4.8.2 Equações do movimento.

4.8.2.1 Dedução completa de $h\mathbf{k}=\mathbf{F}$.

4.8.2.2 Buracos.

4.8.2.3 Massa efetiva.

4.8.2.4 Base física da massa efetiva.

4.8.2.5 Massas efetivas em semicondutores.

4.8.2.6 Silício e Germânio.

4.8.3 Concentração de portadores intrínsecos.

4.8.3.1 Mobilidade na região intrínseca.

4.8.4 Condutividade de impurezas.

4.8.4.1 Ionização térmica de doadores e receptores.

4.8.4.2 Mobilidade em presença de impurezas.

4.8.5 Efeitos termoelétricos em semicondutores.

4.8.6 Semimetais.

4.8.7 Semicondutores amorfos.

4.8.8 Junções p-n.

4.8.8.1 Retificação.

4.8.8.2 Células solares e detectores fotovoltaicos.

4.8.8.3 Barreiras de Schottky.

4.8.8.4 Osciladores com efeito Gunn.

4.9 SUPERFÍCIES DE FERMI E METAIS

4.9.1 Esquema da zona reduzida.

4.9.2 Esquema da zona periódica.

4.9.3 Construção das superfícies de Fermi.

4.9.4 Orbitais eletrônicos, orbitais dos buracos e orbitais abertos.

4.9.5 Cálculo das bandas de energia.

4.9.5.1 Método da ligação compacta para as bandas da energia.

4.9.5.2 Método de Wigner-Seitz.

4.9.5.3 Energia de coesão.

4.9.5.4 Pseudopotenciais.

4.9.6 Métodos experimentais para estudos da superfícies de Fermi.

4.9.6.1 Quantização das órbitas num campo magnético.

4.9.6.2 Efeito de Haas-van Alphen.

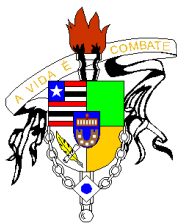
4.9.6.3 Órbitas extremantes.

4.9.6.4 Superfície de Fermi do Cobre.

4.9.6.5 Exemplo: superfície de fermi do ouro.

4.9.6.6 Colapso magnético.

4.9.7 Resistividade elétrica.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

FUNDAÇÃO Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1996 – São Luís – Maranhão

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE FÍSICA

5. BIBLIOGRAFIA

5.1 BÁSICA:

KITTEL, C., Introdução à Física do Estado Sólido, 5ª Edição, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978.
LEITE, R.C. e CASTRO. A.R.B., “Física do Estado Sólido”, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, 1978.

5.2 APOIO:

BLAKEMORE, J.S., “Solid State Physics”, 2ª Edição, Cambridge, University Press, Cambridge, 1989.
ASHCROFT, N.W. and MERMIN, N.D., “Solid State Physics”, CBS Publishing Asia LTDA, China, 1988.
CHRISTMAM, J.R., “Fundamentals of Solid State Physics”, Wiley, New York, 1988.

Aprovado em Assembléia Departamental

Em: 22/04/94