

Disciplina: TE824 - Teoria Quântica do Magnetismo e Spintrônica

Professor Responsável: César Augusto Dartora
cadartora@eletrica.ufpr.br

Modalidade: Teórica

Nível: Pós-Graduação(M/D)

Carga Horária: 60 horas de aula (04 horas-aula/semana)

Créditos: 04

Conhecimentos Desejáveis:

- Teoria Eletromagnética: Equações de Maxwell e Ondas;
- Análise de Fourier: Séries e Transformadas;
- Fundamentos de Física Moderna;

Objetivos da Disciplina:

Familiarizar o aluno com as bases teóricas do magnetismo em escala nanométrica, apresentar um panorama geral da teoria quântica do magnetismo, suas consequências e principais aplicações. Ao final o aluno deverá compreender a origem do magnetismo nos materiais, a transição do magnetismo macroscópico para a escala nanométrica e compreender o fenômeno de GMR e os princípios físicos de funcionamento de dispositivos aplicáveis à eletrônica e spintrônica.

Ementa Resumida: O programa básico está descrito abaixo de forma resumida, podendo ser alterado de acordo com a demanda no decorrer do curso:

- 1-Fundamentos de Mecânica Quântica: Teoria do Momento Angular e Spin, Interação de Troca, Modelo de Heisenberg;
- 2-Teoria Clássica do Magnetismo, Susceptibilidade Magnética, Teorema de Bohr-van Leeuwen;
- 3-Termodinâmica do Magnetismo: Dia, Para e Ferromagnetismo; Anti-Ferromagnetismo; Nanomagnetismo;
- 4-Transições de Fase, Ondas de Spin e Mágns;
- 5-Transporte Quântico e Spintrônica: Teoria de Landauer, Fenômenos de Magnetorresistência, GMR e Conceitos básicos da Spintrônica.

Programa Detalhado:

- 1 Fundamentos de Mecânica Quântica, Teoria do Momento Angular e Spin;
 - 1.1 Postulados da mecânica quântica e espaços vetoriais de Hilbert: Bras e Kets, Operadores observáveis e operadores unitários;
 - 1.2 Hamiltonianas, Equação de Schroedinger, Teoria de Momento Angular e Sistemas de Spin $1/2$;
 - 1.3 Partículas idênticas: Bósons, Férmions e Estatística Quântica;
 - 1.4 Noções da teoria do estado sólido: estrutura de bandas dos materiais e propriedades físicas;
 - 1.5 Interação de troca e o Modelo de Heisenberg;
- 2 Teoria Clássica do Magnetismo
 - 2.1 Equações de Maxwell, Momento de dipolo magnético, Magnetização e Susceptibilidade Magnética;
 - 2.2 Efeitos do Magnetismo na Propagação de Ondas: Anisotropia, Efeito Kerr, Rotação de Faraday;
 - 2.3 Modelo de Langevin e a Falha da Mecânica Clássica: Teorema de Bohr van Leeuwen;
- 3 Termodinâmica do Magnetismo: Dia, Para e Ferromagnetismo;
 - 3.1 Diamagnetismo: susceptibilidade diamagnética de Landau;
 - 3.2 Paramagnetismo: susceptibilidade paramagnética de Langevin, Pauli e Van Vleck;
 - 3.3 Ferromagnetismo: Modelo de Heisenberg, Temperatura Curie;
 - 3.4 Anti-Ferromagnetismo e Vidros de Spin;
 - 3.5 Nanomagnetismo;
- 4 Transições de Fase, Ondas de Spin e Mágns;
 - 4.1 Modelo de Landau para transições de fase;
 - 4.1 Temperatura Curie e Temperatura Néel;
 - 4.2 Ondas de spin em ferromagnetos: mágns;
- 5 Transporte Quântico e Spintrônica: Fenômenos de Magneto-resistência, GMR e Conceitos básicos da Spintrônica
 - 5.1 Nanomagnetos Moleculares e Fenômenos de Superparamagnetismo;
 - 5.2 Transporte Quântico e a teoria de Landauer
 - 5.3 Magnetoresistência, GMR em estruturas multi-camadas e junções de tunelamento magnéticas;
 - 5.4 Spintrônica: Conceitos básicos, efeito Hall de spin, aplicações e desafios;

Recursos Didáticos:

- Aulas expositivas teóricas em quadros de giz/branco;
- Aulas expositivas teóricas em transparências ou slides;
- Solução de Exercícios;

Avaliação:

- Provas Escritas: haverá duas provas sendo uma em meados do período letivo e outra ao final do semestre. Somente será considerada a maior nota;
- Lista de Exercícios: estão previstas listas de exercícios que deverão ser entregues de acordo com um calendário previamente estipulado;

Em princípio a nota final será dada pela seguinte fórmula:

$$NF = 0.3 \times ML + 0.7 \times MP,$$

NF \Rightarrow nota final,

MP \Rightarrow média das provas,

ML \Rightarrow média das listas de exercícios.

$$MP = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad ; \quad ML = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_i$$

sendo P_1 e P_2 as notas nas provas escritas, L_i as notas das listas de exercícios e N o número de listas de exercícios (em princípio $N = 3$).

Bibliografia Recomendada:

- [1] D. C. Mattis, *The Theory of Magnetism* (Harper and Row Publishers, New York, 1965);
- [2] Robert M. White, *Quantum Theory of Magnetism* (Springer-Verlag, Berlin, 1983);
- [3] A.P. Guimarães, *Introdução ao Nanomagnetismo*, Monografia CBPF MO-002/06, 2006.
- [4] C.A. Dartora, Notas de Aula *Magnetismo e Spintronica*.