



UFAM

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

AV. GAL. RODRIGO OTÁVIO JORDÃO RAMOS, 3000 – JAPIIM CEP: 69077-000 - MANAUS-AM, FONE/FAX (92) 3305-2829

**CONTEÚDO PROGRAMÁTICO**

**DISCIPLINA:**  
**MECÂNICA QUÂNTICA II**

**CÓDIGO:**  
**IEF352**

CARGA HORÁRIA	TEÓRICA	PRÁTICA	TOTAL
SEMANAL	04	-	04
TOTAL	60	-	60

**Nº DE CRÉDITOS:**  
4.4.0

**PRÉ-REQUISITOS**  
**MECÂNICA QUÂNTICA I**

**CÓDIGO:**  
**IEF342**

**EMENTA**

1. Momento Angular; 2. Partícula no Potencial Central; 3. Spin do Elétron; 4. Adição de Momento Angular; 5. Métodos Aproximativos; 6. Partículas Idênticas; 7. Teoria de Espalhamento.

**OBJETIVO**

Resolver a equação de Schrödinger em sistemas tridimensionais, efetuar adição de momentos angulares, aplicar a teoria de perturbação independente do tempo a sistemas simples.

**CURSO PARA OS QUAIS É OFERECIDA:**

LICENCIATURA EM FÍSICA	
BACHARELADO EM FÍSICA	OBR

INDICAR SE É: OBR – OBRIGATÓRIA  
OPT - OPTATIVA

## PROGRAMA

### 1. MOMENTO ANGULAR

- 1.1. Definição na mecânica clássica
- 1.2. Relações de comutações
- 1.3. Generalização do momento angular
  - 1.3.1. Definições dos operadores  $J_{\pm}$  e  $J^2$
  - 1.3.2. Relações de comutações
  - 1.3.3. Notações dos autovalores dos operadores  $J^2$  e  $J_z$
  - 1.3.4. Ação dos operadores  $J_{\pm}$  sobre os estados dos operadores  $J^2$  e  $J_z$
  - 1.3.5. Representação matricial do operador momento angular
- 1.4. Representações de  $L^2$  e  $L_z$  em coordenadas esféricas
- 1.5. Equações de autovalores e autofunções dos operadores  $L^2$  e  $L_z$ 
  - 1.5.1. Os harmônicos esféricos
  - 1.5.2. Relações de ortogonalidade e completeza
  - 1.5.3. Algumas propriedades dos harmônicos esféricos
  - 1.5.4. Funções de onda de uma partícula sem spin
    - a) Equação radial
    - b) Equação angular
    - c) Probabilidades
- 1.6. Momento angular e rotação
  - 1.6.1. Operador de rotação infinitesimal
  - 1.6.2. Operadores de rotação
  - 1.6.3. Rotação de observável
- 1.7. Uma partícula carregada em um campo magnético uniforme
  - 1.7.1. Movimento da partícula classicamente
  - 1.7.2. Hamiltoniano e relações de comutações
  - 1.7.3. Transformações de Gauge
  - 1.7.4. Autovalores do Hamiltoniano: Níveis de Landau
  - 1.7.5. Evolução temporal

### 2. PARTÍCULA NO POTENCIAL CENTRAL

- 2.1 Estados estacionários
  - 2.1.1. Separação de variáveis
  - 2.1.2. Equação radial
  - 2.1.3. Comportamento da solução da função radial na origem
  - 2.1.4. Números quânticos e degenerescência
- 2.2. Movimento do centro de massa para um sistema com duas partículas
  - 2.2.1. Tratamento clássico
  - 2.2.2. Separação de variáveis na mecânica quântica
    - a) Observáveis associados com o centro de massa e massa reduzida
    - b) Autovalores e autofunções do Hamiltoniano
- 2.3. Partícula ligada numa esfera de potencial: *Esfera dura*
- 2.4. Oscilador harmônico tridimensional

## **2.5. Átomo de Hidrogênio**

2.5.1. Equação radial

2.5.2. Solução da equação radial: Polinômio de Laguerre

2.5.3. Valores Médios

2.5.4. Raio de Bohr

2.5.5. Funções de onda e relações com os orbitais

## **3. SPIN DO ELÉTRON**

3.1 Experiência de Stern-Gerlach

3.2 Relações de comutações

3.3 Matrizes de Pauli

3.4 Descrição não-relativística de uma partícula de spin  $\frac{1}{2}$ : Spinor

3.5 Função de onda do elétron no átomo de Hidrogênio

3.6 Cálculo de probabilidades

3.7 Operador de rotação para uma partícula de spin  $\frac{1}{2}$

3.8 Rotações de Euler

## **4. ADIÇÃO DE MOMENTO ANGULAR**

4.1 Soma de dois spins  $S = \frac{1}{2}$

4.2 Auto-estados singleto e tripleto

4.3 Coeficientes de Clebsch-Gordan

4.4 Adição de harmônicos esféricos

4.5 Operador vetor: Teorema de Wigner-Eckart

4.6 Fator giromagnético

4.7 Evolução de dois momentos angulares  $\mathbf{J}_1$  e  $\mathbf{J}_2$  acoplados por uma interação

4.8 Acoplamento spin-órbita

4.9 Soma de um spin-1/2 e momento angular

4.10 Soma de dois spins  $S=1$

## **5. MÉTODOS APROXIMATIVOS**

5.1 Teoria de perturbação independente do tempo

5.1.1 Caso não degenerado

5.1.2 Caso degenerado

5.1.3 Análise da convergência

5.2 Aplicações

5.1.1. Efeito Stark

5.1.2. Acoplamento spin-órbita

5.1.3. Efeito Zeeman anômalo

5.1.4. Efeito relativístico nos átomos hidrogenóides: Estrutura hiperfina

5.3 Teoria da perturbação dependente do tempo

5.3.1 Taxa de transição

5.3.2 Radiação dos átomos: regra de ouro, regra de seleção e taxa de transição.

5.3.3 Deslocamento Doppler

5.3.4 Efeito Mössbauer

5.4 Método variacional

5.5 Aproximação semiclássica (WKB)

## 6. PARTÍCULAS IDÊNTICAS

- 6.1 Equação de Schrödinger para um sistema de N partículas
- 6.2 Simetria por troca de partículas: Princípio de exclusão de Pauli
- 6.3 Determinante de Slater
- 6.4 O átomo de Hélio
  - 6.4.1. Teoria de perturbação: Modelo de Heisenberg
  - 6.4.2. Método variacional
- 6.5 Molécula de H<sub>2</sub>
- 6.6 Férmions e bósons em uma caixa
- 6.7 Energia de Fermi

## 7. TEORIA DE ESPALHAMENTO

- 7.1 Importância do fenômeno da colisão
- 7.2 Espalhamento por um potencial
- 7.3 Definição de seção de choque
- 7.4 Equação de Schrödinger-Lippmann
- 7.5 Cálculo de seção de choque usando corrente de probabilidade
- 7.6 O Teorema Ótico
- 7.7 Seção de choque inelástico
- 7.8 Fórmula de alcance efetivo
- 7.9 A aproximação de Born
- 7.10 Espalhamento de partículas idênticas
- 7.11 Espalhamento coerente e as condições de Bragg
- 7.12 Espalhamento ressonante
- 7.13 Espalhamento Coulomb (Rutherford)
- 7.14 Efeito fotoelétrico
- 7.15 Espalhamento Compton

## BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- C. COHEN-TANNOUDJI, B. DIU E F. LALOË, *Quantum Mechanics*, Vol. I, John Wiley & Sons, 1977.
- S. GASIOROWICZ, *Física Quântica*, Guanabara Dois, 1979.
- D. J. GRIFFITHS, *Introduction to Quantum Mechanics*, Prentice-Hall, 1995
- R. SHANKAR, *Principles of Quantum Mechanics*, 2ª edição, Plenum Press, 1994
- R. W. ROBINETT, *Quantum Mechanics: Classical results, modern systems and visualized examples*, Oxford University Press, 1997