



**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 I

CÓDIGO:
IEF342

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

Nº DE CRÉDITOS:
4.4.0

PRÉ-REQUISITOS
FÍSICA MODERNA II

CÓDIGO:
IEF322

EMENTA

1.Os limites da física clássica; 2. Onda e Partícula; 3. A Equação de Schrödinger em uma dimensão; 4.Ferramentas Matemática da Mecânica Quântica; 5.Postulados da Mecânica Quântica; 6. Sistemas de Dois Níveis; 7. Introdução à Segunda Quantização.

OBJETIVO

Compreender os conceitos básicos de mecânica quântica, conhecer a teoria ondulatória de Schrödinger e saber aplicá-la a sistemas unidimensionais, dominar o método dos operadores em mecânica quântica e a equação de Schrödinger em três dimensões.

CURSO PARA OS QUAIS É OFERECIDA:

LICENCIATURA EM FÍSICA	OPT
BACHARELADO EM FÍSICA	OBR

INDICAR SE É: OBR – OBRIGATÓRIA
OPT - OPTATIVA

PROGRAMA

1. OS LIMITES DA FÍSICA CLÁSSICA

- 1.1 Radiação do corpo negro
- 1.2 A fórmula de Planck
- 1.3 O efeito fotoelétrico
- 1.4 O efeito Compton
- 1.5 Difração de elétrons
- 1.6 O átomo de Bohr: os postulados
- 1.7 O problema onda-partícula

2. ONDA E PARTÍCULA

- 2.1 Ondas eletromagnéticas e fótons
 - 2.1.1 Relações de Plank-Einstein
 - 2.1.2 Dualidade Onda-Partícula: experimento de dupla fenda de Young
- 2.2 Ondas da matéria
 - 2.2.1 Relações de De Broglie
 - 2.2.2 Funções de Onda: Equação de Shrödinger
 - 2.2.3 Pacotes de ondas (transformada de Fourier)
 - 2.2.4 Relações de incerteza de Heisenberg
- 2.3 Partícula no potencial independente do tempo
 - 2.3.1 Separação de variáveis
 - 2.3.2 Estados estacionários
- 2.4 Operadores
 - 2.4.1 Operadores lineares
- 2.5 Equação de autovalores e autofunções
- 2.6 Superposição de estados estacionários

3. EQUAÇÃO DE SCHRODINGER EM UMA DIMENSÃO

- 3.1 Equação de continuidade
- 3.2 Valores esperados
- 3.3 Operador Momento Linear
- 3.4 Relações de comutação
- 3.5 Partícula livre
- 3.6 Partícula ligada numa caixa de potencial: autofunções e autovalores
 - 3.6.1 Postulado da expansão
 - 3.6.2 Paridade
 - 3.6.3 Valores esperados
- 3.7 Potencial degrau
- 3.8 Barreira de potencial: Tunelamento
 - 3.8.1 Matriz de transferência
- 3.9 Poço de potencial
- 3.10 Potencial Delta de Dirac
- 3.11 Oscilador harmônico: Polinômios de Hermite
- 3.12 Modelo Kronig-Penney: Banda de energia

4. FERRAMENTAS MATEMÁTICAS DA MECÂNICA QUÂNTICA

- 4.1. Espaço das funções de onda (Hilbert)
 - 4.1.1 Espaço de Hilbert como um espaço vetorial
 - 4.1.2 Definição de produto escalar
 - 4.1.3 Operadores lineares
 - 4.1.4 Base ortonormalizada

- 4.1.5 Relações de ortogonalidade e completeza
- 4.1.6 Funções Delta de Dirac
- 4.2. Espaço dos estados: Notação de Dirac**
 - 4.2.1 Espaço dos estados como um espaço vetorial
 - 4.2.2 Definição do estado *ket*
 - 4.2.3 Espaço dual: definição do estado *bra*
 - 4.2.4 Conexão com o espaço de Hilbert
 - 4.2.5 Produto escalar e tensorial
 - 4.2.6 Operadores lineares (adjunto, hermitiano, unitário)
- 4.3. Representações no Espaço dos Estados**
 - 4.3.1. Definição de uma representação
 - 4.3.2. Relações de ortogonalidade e completeza
 - 4.3.3. Representações dos *ket* e *bra*
 - 4.3.4. Produto escalar e tensorial
 - 4.3.5. Representação matricial de operadores
 - 4.3.6. Representação de operador adjunto
 - 4.3.7. Mudança de representação
 - 4.3.8. Traço de um operador
- 4.4. Equações de autovetores e autovalores: Observáveis**
 - 4.4.1 Representação matricial
 - 4.4.2 Propriedade fundamental dos autovalores e autovetores de operadores hermitianos
 - 4.4.3 Definição de um observável
 - 4.4.4 Relação de comutação entre dois operadores
 - 4.4.5 Observáveis comutáveis
 - 4.4.6 Transformação unitária
 - 4.4.7 Funcional de um operador
 - 4.4.8 Comutadores envolvendo funcionais de operadores
 - 4.4.9 Relação de Glauber
- 4.5. Representações das coordenadas e momentos**
 - 4.5.1 Definições
 - 4.5.2 Ortogonalidade e completeza
 - 4.5.3 Componentes de estados *ket* e *bra*
 - 4.5.4 Produto escalar
 - 4.5.5 Mudança da representação da coordenada para o momento
 - 4.5.6 Equação de Schrodinger na representação dos momentos
 - 4.5.7 Operadores posição **R** e momento **P**
- 4.6. Produto tensorial no espaço de estados**
 - 4.6.1. Produto tensorial de operadores
 - 4.6.2. Autovalores e autovetores de operadores estendidos: Produto tensorial de estados *ket* e *bra*
 - 4.6.3. Aplicação: Potencial em duas dimensões

5. POSTULADOS DA MECÂNICA QUÂNTICA

- 5.1** Descrição do estado na mecânica clássica (espaço de fase)
- 5.2** Descrição quântica do estado de um sistema (1º postulado)
- 5.3** Descrição de observáveis (2º postulado)
- 5.4** Medida de um observável (3º postulado)
- 5.5** Decomposição espectral (4º postulado)
- 5.6** Redução do pacote de onda (5º postulado)
- 5.7** Evolução temporal do estado de um sistema (6º postulado)
- 5.8** Evolução temporal do valor médio de um observável
- 5.9** Teorema de Ehrenfest: Limite Clássico

- 5.10 Estado misto: Operador densidade
- 5.11 Representações da Mecânica Quântica
 - 5.11.1 Representação de Schrodinger
 - 5.11.2 Representação de Heisenberg
 - 5.11.3 Representação da Interação: Operador de Dyson

6. SISTEMAS DE DOIS NÍVEIS

- 6.1. Experimento Stern-Gerlach
- 6.2. Espaço de estados do spin-1/2
 - 6.2.1. Base do operador $S_z = \mathbf{S} \cdot \mathbf{z}$
 - 6.2.2. Base geral do operador $S_n = \mathbf{S} \cdot \mathbf{n}$
 - 6.2.3. Relações de ortogonalidade e completeza
 - 6.2.4. Matrizes de Pauli
 - 6.2.5. Propriedades das matrizes de Pauli
- 6.3. Preparação de estados
- 6.4. Medida de spin
- 6.5. Evolução temporal do estado de spin-1/2 no campo magnético uniforme
 - 6.5.1. Hamiltoniano interação (Zeeman)
 - 6.5.2. Precessão de Larmor
 - 6.5.3. Probabilidade de transição
- 6.6. Evolução temporal do estado de spin-1/2 no campo magnético variável
 - 6.6.1 Hamiltoniano de um campo oscilatório
 - 6.6.2 Equação do movimento
 - 6.6.3 Valores médios das componentes do spin
 - 6.6.4 Cálculo de probabilidade de transição
- 6.7. Estudo Geral de Sistemas de Dois Níveis
 - 6.7.1 Notações
 - 6.7.2 Conseqüência do acoplamento
 - 6.7.3 Estados estacionários
 - 6.7.4 Importante aplicação: Ressonância
 - 6.7.5 Aspecto dinâmico: Oscilação entre dois estados estacionários
 - a) Evolução do estado vetor
 - b) Fórmula de Rabi
 - c) Exemplo de oscilação entre dois estados: Molécula da Amônia
- 6.8. Operador densidade de spin
 - 6.8.1. Definição
 - 6.8.2. Spin não polarizado
 - 6.8.3. Spin-1/2 no banho térmico
 - 6.8.4. Expansão do operador densidade
- 6.9. Efeito do acoplamento de estados estável e instável
 - 6.9.1. Notações (tempo de meia vida)
 - 6.9.2. Influência de um pequeno acoplamento
 - 6.9.3. Influência de um acoplamento arbitrário

7. INTRODUÇÃO À SEGUNDA QUANTIZAÇÃO

- 7.1. Importância do oscilador harmônico na física
- 7.2. Oscilador harmônico em uma dimensão: Conceitos gerais
- 7.3. Transformação canônica
 - 7.3.1. Definição geral na mecânica clássica
 - 7.3.2. Hamiltoniano na representação das coordenada e momento
 - 7.3.3. Operadores de bósons: operadores de criação e destruição de estados

- 7.3.4. Operador número e relações de comutações
- 7.3.5. Hamiltoniano na representação dos operadores de bósons
- 7.4. Autovalores do Hamiltoniano**
 - 7.4.1. Estado fundamental
 - 7.4.2. Comutação entre o Hamiltoniano e os operadores de bósons
- 7.5. Autoestados do Hamiltoniano**
 - 7.5.1. Espaço vetorial dos estados
 - 7.5.2. Relação de ortogonalidade e completeza
 - 7.5.3. Estado fundamental
 - 7.5.4. Estado vetor em termos do estado fundamental
 - 7.5.5. Função de onda no espaço das coordenadas: Polinômio de Hermite
 - 7.5.6. Evolução temporal
 - 7.5.7. Estados coerentes
- 7.6. Valores médios de operadores $A(X, P_x)$**
- 7.7. Oscilador em duas e três dimensões**
 - 7.7.1. Hamiltoniano em segunda quantização
 - 7.7.2. Relações de comutações
 - 7.7.3. Degenerescências
 - 7.7.4. Autovalores e auto-estados
 - 7.7.5. Auto-energias e autofunções

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