

**Proposta de disciplina do PPGFis  
FIP00003 - Magno Valerio Trindade Machado**

---

- **Semestre:** 2024/1
  - **Carga horária semanal:** 4
  - **Créditos:** 4
  - **Pré-requisitos:**
  - **Professor/Responsável:** Magno Valerio Trindade Machado
- 

## **Súmula**

Formalismo geral da Mecânica Quântica não relativística; dinâmica da evolução temporal; propagadores; simetrias e leis de conservação; funções de Green; expansão perturbativa para problemas estacionários; métodos aproximados para problemas dependentes do tempo; teoria de espalhamento; Mecânica Quântica Relativística.

## **Objetivos**

Aprofundar aspectos formais da Mecânica Quântica não relativística, introduzir o tratamento relativístico da dinâmica quântica de uma partícula e propiciar um primeiro contato com a quantização do campo eletromagnético e seus efeitos na matéria. Conectar os aspectos formais com exemplos de conteúdo físico relevante, observados no laboratório.

## **Programa**

1 Fundamentos da Teoria da Medida em Mecânica Quântica

1.1 Introdução: noções de probabilidade clássica e a probabilidade na Mecânica Quântica; exemplo do experimento de Stern Gerlach

1.2 A medida em Mecânica Quântica

1.3 Algebra da medida, filtros, funções de transformação

## 1.4 Probabilidades

## 2 Vetores de Estado, Operadores e Transformações Unitárias

### 2.1 Introdução :conexão entre a álgebra de filtros e os espaços vetoriais complexos

### 2.2 Espaços dos Kets

### 2.3 Espaços dos Bras e o Produto Interno

#### 2.3.1 Conexão entre os filtros da álgebra da medida e os Operadores; conceito de Observável

#### 2.3.2 Projetores: definições e propriedades

#### 2.3.3 Algebra dos Projetores

#### 2.3.4 Observáveis de espectro discreto e contínuo

### 2.4 Kets de Base e Representações Matriciais

#### 2.4.1 Sistema de spin 1/2

#### 2.4.2 Espinores não relativísticos e as matrizes de Pauli

#### 2.4.3 Operadores com a mesma base de autovetores: conceito de observáveis compatíveis

#### 2.4.4 A relação de incerteza a partir de observáveis incompatíveis; novamente: sistema de spin 1/2

### 2.5 Mudança de Base

#### 2.5.1 O Operador de Transformação

#### 2.5.2 Autokets de posição e momento; o operador de translação

#### 2.5.3 A função de onda na representação de posição

#### 2.5.4 A função de onda na representação de momento

## 3 Dinâmica Quântica

### 3.1 Evolução temporal: operador evolução temporal

### 3.2 As descrições de Schroedinger, de Heisenberg e de Interação

### 3.3 Mecânica Quântica em segunda quantização e o o vácuo quântico:

- 3.2.1 o oscilador harmônico simples e a solução algébrica do problema;
- 3.2.2 o oscilador harmônico forçado e o novo estado de vácuo; estados coerentes;
- 3.2.3 problema de muitos osciladores e o espaço de Fock para bósons e férmions; princípio de exclusão; determinante de Slater
- 3.2.4 exemplos de Hamiltonianos em segunda quantização
- 3.4 Formulação de Feynman da MQ por Integrais de Caminho
  - 3.4.1 Introdução
  - 3.4.2 O Propagador e a Amplitude de Probabilidade
  - 3.4.3 Integrais de Caminho
  - 3.4.4 Exemplo da partícula livre
  - 3.4.5 Flutuação quântica
  - 3.4.6 A equação de Schroedinger para o propagador
  - 3.4.7 A relação entre o propagador e a função de Green
  - 3.4.8 A difração por uma fenda simples
- 3.5 Métodos Semi-Clássicos
  - 3.5.1 A Aproximação WKB
  - 3.5.2 O método de ponto de sela
  - 3.5.3 Métodos Semi-Clássicos em Integrais de Caminho: o determinante de Van Vleck e o teorema de Levit-Smilanski
  - 3.5.4 Expansão perturbativa do propagador de Feynman
- 3.6 Integrais de Caminho e a Mecânica Estatística
  - 3.6.1 O Operador Densidade
  - 3.6.2 Evolução temporal do Operador Densidade
  - 3.6.3 Operador Densidade Reduzido e a Decoerência

3.6.4 Mecânica Estatística Quântica

3.6.5 Relação com Integrais de Caminho

4 Simetrias

4.1 Simetrias e leis de conservação

4.1.1 Simetrias na Física Clássica

4.1.2 Simetrias na MQ

\*4.2 Os Fundamentos da Teoria de Grupos

4.2.1 Definição de grupo

4.2.2 Grupo Abelian

4.2.3 Ordem de um grupo

4.2.4 Subgrupo

4.2.5 Elementos conjugados

4.2.6 Classe conjugada

4.2.7 Subgrupo conjugado

4.2.8 Subgrupo invariante

4.2.9 Subgrupo Abelian

4.2.10 Subgrupo invariante trivial

4.2.11 Grupos simples e semi-simples

4.2.12 Homomorfismo

4.2.13 Isomorfismo

4.2.14 Grupos contínuos

4.2.15 Grupos matriciais

4.2.16 Grupo de produto direto

- 4.2.17 Representações de Grupos
- 4.2.18 Representações irredutíveis
- 4.3 Grupo de Lie; gerador do grupo a partir dos elementos; algebra dos geradores
- 4.4 Translações finitas: novamente o operador translação
- 4.5 Rotações
  - 4.5.1 Teoria do momento angular
  - 4.5.2 Representações irredutíveis do grupo de rotações
  - 4.5.3 O Grupo  $SU(2)$ 
    - 4.5.3.1 Relação do grupo  $SU(2)$  e o  $O(3)$
    - 4.5.3.2 Parametrização de Cayley-Klein
    - 4.5.3.3 Parametrização de Euler (ângulos de Euler)
  - 4.5.4 Invariância rotacional
  - 4.5.5 Transformações de vetores de estado sob rotações
- 4.6 Simetrias Discretas
  - 4.6.1 Paridade
  - 4.6.2 Reversão temporal
- 5 Teoria de Espalhamento
  - 5.1 Estados ligados e estados de espalhamento
    - 5.1.1 Função de Green no espaço de posição
    - 5.1.2 Função de Green no espaço de momento
    - 5.1.3 Equação de Lippmann-Schwinger
    - 5.1.4 Soluções de espalhamento de entrada (incoming scattering state) e espalhamento de saída (outgoing scattering state)
    - 5.1.5 Definição da amplitude de espalhamento e a relação com o potencial

- 5.1.6 Definição da seção de choque diferencial
- 5.2 Ondas parciais e deslocamentos de fase
  - 5.2.1 Exemplo: seção de choque elástica
  - 5.2.2 Relação entre deslocamento de fase e o potencial
- 5.3 Teoria de Formal de Espalhamento
  - 5.3.1 Equação de Lippmann-Schwinger abstrata
  - 5.3.2 Definição do operador de onda de Moller
  - 5.3.3 Definição do operador de transição  $T$  ; relação de  $T$  com o operador de onda de Moller
  - 5.3.4 Matriz- $T$  on-shell e off-shell
  - 5.3.5 Relação da matriz- $T$  com a amplitude de espalhamento
  - 5.5.6 Definição do operador de espalhamento  $S$  e da matriz- $S$
  - 5.5.7 Relação entre a matriz- $S$  e a matriz- $T$
  - 5.5.8 Relação de  $S$  com o operador de onda de Moller e a demonstração da unitariedade de  $S$ .
  - 5.5.9 Teorema óptico
- 5.4 A aproximação de Born
  - 5.4.1 Exemplo: o potencial de Yukawa
  - 5.4.2 Exemplo: o potencial de Coulomb e a seção de choque de Rutherford

\* = tópico facultativo

## Método de Trabalho

Aulas expositivas, discussão e resolução de problemas propostos nas listas de exercícios. Apresentação formal de publicações de experimentos que confirmam os aspectos quânticos da matéria.

## Avaliação

A disciplina terá cinco unidades, uma por cada capítulo, conforme o programa. Haverá uma lista de exercícios por cada capítulo. Além da participação em aula, a avaliação consistirá na média das listas resolvidas, entregues no tempo apropriado. O conceito final seguirá conforme a tabela:

Conceito A: média acima de 9,0

Conceito B: média entre 7,5 e 8,9

Conceito C: média entre 6,0 e 7,4

Conceito D: média abaixo de 6,0

## Bibliografia

J. J. Sakurai and J. Napolitano, Modern Quantum Mechanics, 2nd Edition. Published by Addison-Wesley (2011 Pearson Education Inc.).

Leonard I. Schiff, Quantum Mechanics, 3rd Edition. Published by McGraw Hill Book Company (1968 International Student Edition).

W. Greiner; Relativistic Quantum Mechanics, Wave Equations, 3rd Edition. Springer Verlag (2000).

K. Gottfried, Tung-Mow Yan; Quantum Mechanics: Fundamentals, 2nd Edition. Springer Verlag (2004).

Xiao-Gang WEN, Quantum Field Theory of Many-Body Systems, 1st Edition. Published by Oxford University Press (2004 Oxford U. Press).

## Observações