



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
COORDENADORIA ESPECIAL DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA
PLANO DE ENSINO*

* plano de ensino adaptado, em caráter excepcional e transitório, para substituição de aulas presenciais por aulas em meios digitais, enquanto durar a pandemia do novo coronavírus – COVID-19, em atenção à Portaria MEC 344, de 16 de junho de 2020 e à Resolução 140/2020/CUn, de 24 de julho de 2020.

SEMESTRE 2020.1

I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA:

| CÓDIGO | NOME DA DISCIPLINA | Nº DE HORAS-AULA SEMANAIS | | TOTAL DE HORAS-AULA SEMESTRAIS |
|-------------|--------------------|---------------------------|----------|--------------------------------|
| | | TEÓRICAS | PRÁTICAS | |
| MPF310019** | Mecânica Quântica | 4 | 0 | 72 |

** plano a ser considerado equivalente, em caráter excepcional e transitório na vigência da pandemia COVID-19, à disciplina FQM7102

| HORÁRIO | | MODALIDADE |
|------------------------|-----------------|--------------------|
| TURMAS TEÓRICAS | TURMAS PRÁTICAS | Emergencial Remoto |
| 41010071MP – 6.0820(4) | | |

II. PROFESSOR(ES) MINISTRANTE(S)

Evy Augusto Salcedo Torres

e-mail: evy.salcedo.torres@ufsc.br

III. PRÉ-REQUISITO(S)

| CÓDIGO | NOME DA DISCIPLINA |
|--------|--------------------|
| ----- | ----- |

IV. CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA

Mestrado em Ensino de Física, Polo Araranguá

V. EMENTA

Fundamentos conceituais e formais da Mecânica Quântica. Princípio da superposição. Estados e observáveis. Medição. Sistemas com variáveis bivalentes. Emaranhamento, descoerência e informação quântica. Aplicações

VI. OBJETIVOS

Objetivo Geral:

- Entender a emergência da Quântica como teoria Física e sua ruptura com conceitos clássicos.
- Analisar as diversas interpretações da Mecânica Quântica.
- Utilizar ferramentas computacionais para analisar problemas simples de Mecânica Quântica.
- Comparar os prós e contras dos formalismos matemáticos utilizados na Mecânica Quântica e verificar qual deles seria mais adequado de ser apresentados em disciplinas de ensino médio visando a explicação de conceitos e experimentos contemporânea da Mecânica Quântica

Objetivos Específicos:

- Discutir os resultados experimentais que motivaram o advento da Mecânica Quântica.
- Analisar a proposta de L. De Broglie e a reinterpretação de D. Bohm sobre ondas pilotos e os conflitos com a interpretação de Copenhagen de N. Bohr.
- Discutir sobre as outras interpretações dadas à Mecânica Quântica.
- Introduzir a equação de Schrödinger como uma descrição ondulatória da Mecânica Quântica Discutir as diferenças com a proposta de D. Bohm.
- Discutir o princípio de incerteza como sendo natural a uma teoria ondulatória: A partícula livre e o pacote de Ondas.
- Utilizar a equação de Schrödinger para analisar problemas simples com potenciais unidimensionais.

- Estudar a descrição Quântica de uma partícula carregada sujeita a um potencial central.
- Discutir o resultado da descrição quântica do oscilador harmônico.
- Discutir a equivalência entre a descrição matricial e a descrição ondulatória da Mecânica Quântica: A tentativa de unificação de Schrödinger, Dirac e Von Neumann.
- Introduzir a notação de Dirac como natural para a descrição de experimentos famosos como os de interferência e o experimento de Stern-Gerlach.
- Discutir o Paradoxo EPR e inequações de Bell.
- Discutir os conceitos básicos de ótica quântica a fim de entender a física envolvida na teleportação e computação quântica

VII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

1. A Velha teoria Quântica

1.1. Antecedentes históricos

- A radiação do corpo negro
 - O resultado de Kirchoff
 - O resultado experimental de Stefan e a teoria de Boltzmann.
 - A teoria de Wien
 - A teoria de Rayleigh e Jean: Catástrofe ultravioleta.
 - A teoria do Planck: a quantização da energia
- Efeito Fotoelétrico.
- Efeito Compton.
- Dispersão de Raios X.

1.2. O problema do átomo de hidrogênio: Teoria Quântica Antiga

- Técnicas espectroscópicas
- O espectro dos átomos.
- Modelo de Thomson do átomo.
- O experimento de Geiger e Marsden
- Modelo atômico de Rutherford.
- Modelo atômico de Bohr.
- Regras de quantização de Wilson e Sommerfeld

2. A Mecânica Quântica Ondulatória

2.1. A teoria de de Broglie

- A hipóteses.
- A onda piloto
- Confirmação experimental da hipóteses de de Broglie
- Relações de incerteza segundo de Broglie
- Interpretação das regras de quantização de Wilson-Sommerfeld.
- A difração de elétrons onde poderão perguntar sobre os
- A reformulação de Bohm
- Medidas fracas
- Sobre a realidade da função de onda

2.2. A equação de Schrödinger

- De Hamilton a Schrödinger, uma equação para de Broglie
- A equação de Schrödinger dependente do tempo
- As regras de quantização de Wilson-Sommerfeld a partir da equação de Schrödinger
- A interpretação probabilística de Born
- Um pouco de formalismo matemático:
 - Separação de variáveis
 - Estados estacionários
 - Ortogonalidade dos auto estados de energia.
 - Valor médio

2.3. Aplicações da equação de Schrödinger

- Partículas sujeitas a potenciais unidimensionais simples
 - A Partícula livre.
 - Partícula numa caixa.

- Poço de potencial.
- Barreira de potencial
- b) O átomo de hidrogênio
- c) O oscilador Harmônico

3. A Mecânica Matricial

3.1. Formulação Matricial de Heisenberg, Born, Jordan

- a) A abordagem de Einstein ao problema do corpo Negro
- b) A abordagem de Heisenberg ao problema emissão atômica
- c) As regras de comutação
- d) As equações de movimento de Heisenberg
- e) A relação entre a formulação matricial e ondulatória

3.2. Álgebra de Dirac: a notação de Bra-Ket

- a) Polarização
 - Luz como onda
 - ✓ Polarização Linear e Circular
 - ✓ Da polarização ao espaço de estados
 - Luz como Fótons
 - ✓ Polarização de um único fóton
 - ✓ Medida da polarização
- b) Formalismo, introdução
 - Norma, notação de Bra-Ket
 - Ortogonalidade, ortonormalidade
 - Completeza
 - Operadores de projeção, medida
 - ✓ Operador de projeção
 - ✓ Medidas e Valores próprios

3.3. Medidas sem interação

- a) Resultados experimentais
 - Raios de luz clássicos e partículas no experimento de Mach-Zehnder
 - Fótons no interferômetro de Mach-Zehnder
 - Descrição formal, operadores unitários
 - Outros experimentos
 - ✓ Efeito Zeno quântico
 - ✓ experimentos de seleção retardada
 - ✓ Do interferômetro de Mach-Zehnder ao computador quântico
 - ✓ Como as medidas sem interação são medidas sem interação
 - ✓ medição em quântica

3.4. Formalismo, aprofundado

- a) Espaço de Hilbert
 - A função de onda e vetores de espaço
 - produto escalar
 - Revisando a mecânica matricial
 - Formulação abstrata
 - Da formulação abstrata à uma representação concreta
- b) Operadores
 - Operadores Hermitiano, observáveis
 - Propriedades dos operadores Hermitiano.
 - Relações de incerteza
 - Operador unitário
 - Evolução temporal dos operadores
 - Operador de projeção
 - Representação espectral
 - Medidas
- c) Postulados da Mecânica Quântica

3.5. Emaranhamento, EPR e inequação de Bell

- a) Teorema de não clonagem

- b) Criptografia quântica
- c) Teleportação quântica
- d) Computação quântica
 - Conceitos básicos de Qubit e registradores
 - Portas quânticas e computadores quânticos
 - Sobre a possibilidade de se construir um computador quântico

3.6. Informação quântica

3.7. Interpretações da Mecânica Quântica

- a) Anotações iniciais
 - Sobre a problemática
 - Dificuldade na representação das interpretações
- b) Revisão rápida às diversas interpretações
 - Interpretação de Copenhague
 - Interpretação do Ensemble
 - Interpretação de Bohm
 - Interpretação dos muitos mundos
 - Interpretação da historia consistente
 - Teorias de colapso
 - Outras interpretações

VIII. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

1. Aulas expositivas disponibilizadas como vídeos acessíveis através da internet em alguma plataforma de compartilhamento de vídeo.
2. Desenvolvimento de exercícios manuscritos visando a apreensão dos conceitos teóricos.
3. Apresentação de seminários com o objetivo de incentivar a discussão em sala de aula virtual (como Lives).
4. [Uso de experimentos virtuais desenvolvidos pela University of St Andrews](#), do [LibreText](#) e do [PhET](#)

IX. METODOLOGIA E INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

O aproveitamento nos estudos será avaliado mediante:

- Participação nas aulas Síncronas (Lives), conforme

$$NAS = \left(\frac{\text{Total de participações}}{\text{Total de aulas síncronas}} \right) * 10$$

durante as lives os estudantes participaram de discussões referentes às aulas anteriores

- Realização dos experimentos virtuais
- Apresentação de 2 seminários durante o semestre (Unidades 1 e 2), valendo notas de 0 a 10 cada um.
- Soluções de duas Listas de exercício, valendo notas de 0 a 10 cada uma

A nota final, NF, será calculada segundo

$$NF = 0,1 * NAS + 0,3 * NEV + 0,4 * NS + 0,2 * NL$$

onde NEV é a média das nota dos experimentos virtuais, NS é a média das nota dos seminários e, NL é a média das nota das listas.

X. CRONOGRAMA TEÓRICO/PRÁTICO

| AULA (semana) | DATA | ASSUNTO |
|---------------|------------|---|
| 1ª | 05/09/2020 | O átomo de hidrogênio. |
| 2ª | 12/09/2020 | Apresentação dos seminários |
| 3ª | 19/09/2020 | Discussão sobre a formulação Matricial de Heisenberg, Born, Jordan. Introdução à notação de Dirac mediante a análise da polarização da luz. Álgebra de Dirac: a notação de Bra-Ket. |
| 4ª | 26/09/2020 | Experimentos virtuais. O oscilador harmônico |
| 5ª | 03/10/2020 | Lista 01 |

| | | |
|-----|------------|--|
| 6ª | 10/10/2020 | O interferômetro de Mach-Zehnder. Experimento Virtual com o interferômetro de Mach-Zehnder |
| 7ª | 17/10/2020 | Outros sistemas com variáveis bivalentes. Revisão mais acurada do formalismo da álgebra de Dirac. Operadores hermitianos. Relações de incerteza, medida e comutatividade dos operadores. |
| 8ª | 24/10/2020 | Lista 02 |
| 9ª | 31/10/2020 | Emaranhamento, EPR e inequação de Bell. Introdução à informação quântica. Introdução à Computação quântica |
| 10ª | 07/11/2020 | Seminários 02 |

XI. Feriados previstos para o semestre 2020.1:

| DATA | |
|------------|-----------------------|
| 07/09/2020 | Aniversário da Cidade |
| 12/10/2020 | Sexta Feira Santa |
| 28/10/2020 | Dia não letivos |
| 02/11/2020 | Páscoa |
| 20/04/2020 | Dia não letivos |

XII. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

- 1) Caruso, F; Oguro V. **Física Moderna**, Rio de Janeiro, Campus/Elsevier, 2006.
- 2) Leite Lopes, J. **A Estrutura Quântica da Matéria**. Rio de Janeiro. Editora da UFRJ, 2005.
- 3) Griffiths, David. **Mecânica Quântica**. 2ª edição. São Paulo, Pearson, 2011.
- 4) Eisberg, R.; Resnick, R. **Física Quântica. Átomos, Moléculas, Núcleos e Partículas**. São Paulo, Campus/Elsevier, 1979.
- 5) Pessoa Jr., O. **Conceitos de Física Quântica**, Volume I. 1ª edição, São Paulo, Livraria da Física, 2003.
- 6) Pessoa Jr., O. **Conceitos de Física Quântica**, Volume II. 1ª edição, São Paulo, Livraria da Física, 2006.
- 7) GRECA, I. M.; HERSCOVITZ, V. E. **Introdução à Mecânica Quântica**, Textos de Apoio ao Professor de Física, n.13 (2002)
- 8) Holzner, S. **Quantum Physics for Dummies**. Indiana, Wile Publishing Inc., 2009.
- 9) Bouwmeester, D.; Ekert, A. K.; Zeilinger, A. **The Physics of Quantum Information, Quantum Cryptography, Quantum Teleportation, Quantum Computation**.
- 10) NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica**, Blucher, 2002.

XIII. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- 1) FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. **vol. III. Lições de Física de Feynman**, Bookman, 2008.
- 2) MCINTYRE, D.; MANOGUE, C. A; TATE, J. **Quantum Mechanics: A Paradigms Approach**, Addison-Wesley, 2012.
- 3) PIZA, A.F.R. de Toledo, **Mecânica Quântica**, EDUSP, 2a. ed., 2009.
- 4) STYER, D. F. **The Strange World of Quantum Mechanics**, Cambridge UP, 2000.