

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE FÍSICA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA GERAL

DISCIPLINA: TEORIA QUÂNTICA DOS CAMPOS I - FIS550

CARGA HORÁRIA: : 60 HS

PROFESSOR: LUCIANO MELO ABREU

PROGRAMA DA DISCIPLINA TEORIA QUÂNTICA DOS CAMPOS I

SEMESTRE 2025.1

1. JUSTIFICATIVA

A disciplina Teoria Quântica dos Campos I é oferecida para suprir a necessidade de uma introdução aos conceitos fundamentais da área de Partículas e Campos (e suas correlatas) dos estudantes de nível de pós-graduação que pretendem realizar investigações na mencionada área da Física.

Não obstante, esta disciplina também pode mostrar-se útil a aqueles estudantes que desejam realizar atividades em outras áreas de pesquisa, tendo em vista o atual status de relevância e universalidade que a Teoria de Campos adquiriu para a Física.

Considera-se como pré-requisitos básicos para a audiência desta disciplina: conhecimentos em Relatividade (abordagem covariante) e em Mecânica Quântica (disciplinas Mecânica Quântica I e II em nível de Pós-Graduação).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta disciplina é proporcionar uma introdução aos fundamentos básicos da Teoria Quântica dos Campos, permitindo assim a compreensão da necessidade da noção de campo no entendimento dos fenômenos próprios da física de altas energias, bem como a sua utilidade na análise dos fenômenos físicos descritos por sistemas com número infinito de graus de liberdade.

Como objetivos específicos, tem-se

- Possibilitar a fundamentação teórica a respeito dos conceitos e objetos básicos próprios da teoria quântica dos campos descritos no conteúdo programático.
- Oportunizar as condições de identificação, análise e interpretação dos objetos de estudo.
- Possibilitar a aplicação dos conhecimentos adquiridos em situações diversas envolvendo os objetos de estudo.
- Permitir a construção de alicerces sólidos e necessários ao prosseguimento e aprofundamento dos estudos da teoria quântica dos campos.

3. EMENTA

Equações de onda; Mecânica Quântica Relativística: Problemas Interpretativos; a Teoria Clássica dos Campos: Formalismo Lagrangiano; o Teorema de Noether e Simetrias; Quantização de Campos Livres; o Campo Escalar Real e Complexo; o Campo de Dirac; o Campo Eletromagnético; Campo de Proca; Campos em Interação: a Matriz S e as Fórmulas de Redução; Teoria de Perturbação; Diagramas de Feynman; Processos Elementares da Eletrodinâmica Quântica.

4. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

Tendo em vista a heterogeneidade da audiência, optamos por iniciar o curso com uma breve revisão sobre Relatividade Restrita (abordagem covariante e utilizando noções de Teoria de Grupos) e Mecânica Quântica Relativística.

Parte 0: Revisão de Relatividade Especial e de tópicos relevantes.

Espaço Euclideano, Transformações de Galileu. Transformações de Lorentz e o Espaço de Minkowski. Notação covariante. Métrica. Escalares, Vetores e Tensores. Noção de grupos; o grupo das rotações; os grupos de Lorentz e de Poincaré e suas representações.

Parte 1: Introdução à Mecânica Quântica Relativística.

Revisão da 1a. Quantização e da Equação de Schrödinger: Densidade e Conservação da Probabilidade. Equação de Klein-Gordon: Solução da equação livre; probabilidade e energia

negativas. Equação de Dirac: Forma canônica, forma covariante; energias negativas, mar de Dirac; soluções da equação de Dirac livre. Forma covariante das equações de Maxwell.

Parte 2: Introdução à Teoria Clássica dos Campos.

Formulação lagrangiana para campos. Campo escalar real. Simetrias; o teorema de Noether: Correntes conservadas. O tensor Energia-momento. Campo escalar complexo: Invariâncias de calibre de 1a. e 2a. espécies. Campo eletromagnético; derivada covariante.

Parte 3: Quantização Canônica dos Campos.

- Campos escalares real e complexo: Formalismo hamiltoniano; Operadores de criação e aniquilação; relações de comutação; operador número; produto ordem normal; estados de partículas, interpretação estatística; operador de carga.
- Campo de Dirac: Formalismos lagrangiano e hamiltoniano; solução do problema de energias negativas; regras de anticomutação.
- Campo eletromagnético: problemas relacionados com a quantização do campo eletromagnético usando o formalismo canônico; os calibres de Coulomb e de Lorentz. A expansão do campo em modos normais. O vector de polarização, escolha de uma base polarizada linearmente. A quantização do campo e as relações de comutação canônicas. Cálculo da relação de comutação entre o potencial vector e o seu momento canonicamente conjugado e da expressão do hamiltoniano em função dos operadores criação e destruição de fótons.

Parte 4: Teorias de campo com interação

O cálculo de processos que envolvem partículas em interação. Revisão de conceitos sobre o operador evolução temporal em sistemas com interação. A matriz S - definição e aplicações (a teoria com auto-interação quântica). Produtos ordenados no tempo de operadores de campo. O teorema de Wick. O propagador de Feynman. Introdução às regras de Feynman. Fundamentos básicos da eletrodinâmica Quântica (QED). Regras de Feynman para QED. Aplicação ao das regras de Feynman ao processo de espalhamento.

5. METODOLOGIA

Acreditando-se que o conhecimento se processa a partir da interação sujeito-objeto-meio, as aulas são desenvolvidas através de exposição participativa, entremeada de discussões e construções em grupo, as quais são efetuadas partir de pesquisa bibliográfica, bem como leituras e estudos individuais e em grupos.

No decorrer do curso, várias ferramentas também são utilizadas como facilitadoras no processo de construção do conhecimento, como:

- **Uso do Portfólio:**

- instrumento revelador de significados e sentidos do estudante, que o induz a pensar, incentivando-o a registrar suas reflexões e impressões sobre temas de seu interesse, como também dúvidas na compreensão de determinados assuntos.
- Pode conter: anotações diárias, projetos, exemplos, relatórios, desenhos, provas, testes, esquemas, fotos, reflexões, planos e reflexões sobre os temas importantes tratados em sala de aula, estudos de caso pertinentes aos conteúdos em evidência, sínteses de discussões, mapas, produções escritas ou gravadas e outros.
- Portfolios digitais podem ser construídos a partir de um site (Google Sites), blog, ou arquivo em LATEX (plataforma overleaf).
- Avaliação: organização; documentação e demonstração do conhecimento do aluno sobre o conteúdo desenvolvido; presença de reflexões sobre os temas; evidências que demonstrem como o progresso aconteceu; demonstração do conhecimento obtido e a aplicação do mesmo; reflexões do aluno com os indícios ou indicadores do progresso em aprendizagens conceituais, atitudinais e procedimentais
- Webconferências e aulas interativas;
- Outras atividades colaborativas, adotando wikis, blogs, vídeos, podcast, etc.;
- Disponibilização de diversos materiais de apoio online.
- Disponibilização de horários de atendimento aos estudantes além dos encontros que contemplam a carga horária da disciplina, no intuito oportunizar mais um canal de discussões.

6. AVALIAÇÃO

Por considerar a avaliação um processo dinâmico, ao longo do período pretende-se perceber

o nível de domínio do conhecimento, conteúdos e participação nas discussões. Para isso a avaliação se baseará na capacidade de análise, síntese e argumentação em avaliações escritas, em seminários e outras atividades estabelecidas com o grupo em consonância com a metodologia proposta.

Concretamente, avaliação terá como base: média das listas de exercícios (peso 8), e seminário (peso 2). Contudo, o portfólio do estudante poderá ser avaliado como digno de nota adicional nas avaliações parciais.

O tema do seminário será determinado a partir das sugestões do estudante, com a anuência do professor.

7. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

Bibliografia básica:

- M. Peskin e D. Schroeder, Quantum Field Theory, Addison-Wesley, 1995.
- M. Maggiore, A Modern Introduction to Quantum Field Theory, Oxford University Press, 2005.
- Matthew D. Schwartz. Quantum Field Theory and the Standard Model. Cambridge University Press, (2014).
- L. H. Ryder, Quantum Field Theory, 2a. edição, Cambridge, 1985.

Bibliografia complementar:

- S. Weinberg, The Quantum Theory of Fields, Vols. 1 e 2, Cambridge University Press, 1995.
- C. Itzykson e J. Zuber, Quantum Field Theory, Dover, 2006.
- F. Mandl e G. Shaw, Quantum Field Theory, revised edition, Wiley, 1984.
- W. Greiner, J. Reinhardt, Field Quantization. Springer Berlin Heidelberg 1996.
- M. Gomes, Teoria Quântica dos Campos, Edusp, 2002.
- F. Gross, Relativistic Quantum Mechanics and Field Theory, John Wiley & Sons, 1993.
- P. Ramond, Field Theory : A Modern Primer, Addison Wesley, 2001
- J. D. Bjorken e S. D. Drell, Relativistic Quantum Fields, McGraw-Hill, 1965.

(Theoretical_and_Mathematical_Physics)

- A. Zee, Quantum Field Theory in a Nutshell, Princeton University Press, 2003.
- E. Zeidler, Quantum Field Theory I: Basics in Mathematics and Physics; Quantum Field Theory II: Quantum Electrodynamics, A Bridge Between Mathematicians and Physicists, Springer, 2006.

(<http://www.mis.mpg.de/zeidler/eberhard-zeidler.html>)

- V. P. Nair, Quantum Field Theory: a modern perspective, Springer, 2005.
- W. Siegel, Quantum Field Theory, Third Edition, <http://arxiv.org/abs/hep-th/9912205>, 2005.
- M. Srednicki, Quantum Field Theory, Cambridge University Press, 2007.
- O. Steinmann, Perturbative Quantum Electrodynamics and Axiomatic Field Theory, Texts and Monographs in Physics, Springer, 2000.
- A. Das, Field Theory – A Path Integral Approach, Second Edition, World Scientific, 2006.
- G. Sterman, An Introduction to Quantum Field Theory, Cambridge University Press, 1993.
- S. S. Schweber, An Introduction to Relativistic Quantum Field Theory, Dover Publications, 2005.
- Vários outros...

8. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
24.03 a 28.03	Apresentação do programada disciplina; Motivação: Por que estudar a Teoria Quântica dos Campos. Revisão de Relatividade Especial: Transformações de Lorentz e o Espaço de Minkowski. Notação contravariante e covariante. Métrica.

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
	<p>Escalares, Vetores e Tensores.</p> <p>27 e 28/03: Atividade extra: MasterClass em Física de Partículas</p> <p>27/03 → 09:00 Abertura; 09:15: Apresentação do MasterClass (Marcia Begalli (UERJ))</p> <p>10:15: Breve Introdução ao Modelo Padrão da Física de Partículas (Luciano Abreu (UFBA))</p> <p>11:00: Introdução ao Experimento ATLAS/LHC (Edmar Egidio Purcino De Souza (UFBA))</p>
31.03 a 04.04	<p>Revisão da 1a. Quantização e da Equação de Schrödinger; Densidade e Conservação da Probabilidade. Mecânica Quântica Relativística: Equação de Klein-Gordon: Solução da equação livre; probabilidade e energia negativas.</p>
07.04 a 11.04	<p>Equação de Dirac: Forma canônica; energias negativas, mar de Dirac; soluções da equação de Dirac livre; As matrizes gamma; Soluções da eq. de Dirac livre a momento nulo e não-nulo. Helicidade.</p>
14.04 a 18.04	<p>Equações de Maxwell na forma covariante, tensor do campo eletromagnético. Invariância de calibre; Equações de Proca.</p> <p><i>18/04 Sexta-feira - Feriado (Paixão de Cristo)</i></p> <p><i>(17/04 (quinta-feira): possibilidade de aula presencial e/ou atividade no formato online e/ou assíncronas-a definir)</i></p>
21.04 a 25.04	<p>A Mecânica Quântica Relativística versus a Teoria Quântica dos Campos. Teoria Clássica dos Campos: Formulação lagrangiana para campos; Formulação lagrangiana para campos: Campo escalar real.</p> <p>Entrega da 1ª lista de exercícios.</p> <p><i>21/04 Tiradentes - Feriado (segunda-feira)</i></p>
28.04 a 02.05	<p>Formulação lagrangiana para campos: Simetrias; o teorema de Noether: Correntes conservadas. O tensor Energia-momento. Campo escalar complexo; Invariâncias de calibre de 1a. e 2a. espécies. Derivada covariante. Formulação lagrangiana para campos: Campo eletromagnético; Campo de Proca.</p> <p><i>01/05 Dia do Trabalho – Feriado (quinta-feira)</i></p>
05.05 a 09.05	<p>Quantização Canônica dos Campos: Campo escalar real; Operadores de criação e aniquilação; relações de comutação; operador número.</p> <p>Entrega da 2ª lista de exercícios.</p>

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
	Definição do tema do Seminário de cada estudante
12.05 a 16.05	Quantização Canônica dos Campos: produto de ordenamento normal; estados de partículas, interpretação estatística. Campo escalar complexo; operador de carga.
19.05 a 23.05	Campo de Dirac: Formalismos lagrangeano e hamiltoniano; solução do problema de energias negativas.
26.05 a 30.05	Campo de Dirac: regras de anticomutação; a conexão entre o spin e a estatística; Simetrias discretas relevantes.
02.06 a 06.06	Campo eletromagnético: problemas relacionados com a quantização do campo eletromagnético usando o formalismo canônico; os calibres de Coulomb e de Lorentz. A expansão do campo em modos normais. O vector de polarização, escolha de uma base polarizada linearmente. A quantização do campo e as relações de comutação canônicas. Hamiltoniano em função dos operadores criação e destruição de fôtons.
09.06 a 13.06	Teorias de campos com interação: O cálculo de processos que envolvem partículas em interação. Revisão de conceitos sobre o operador evolução temporal em sistemas com interação. A matriz S - definição e aplicações. Produtos ordenados no tempo de operadores de campo. Entrega da 3^a lista de exercícios.
16.06 a 20.06	O teorema de Wick. Teorias de campos com interação: a teoria com auto-interação quárтика; O propagador de Feynman. Introdução às regras de Feynman. Aplicação das regras de Feynman ao processo de espalhamento no âmbito de teorias de campo escalares. <i>19.06 Corpus Christi – Feriado (quinta-feira)</i>
23.06 a 27.06	Teoria de Yukawa. Fundamentos básicos da eletrodinâmica Quântica (QED). Regras de Feynman para QED. <i>24.06 São João – Feriado (terça-feira)</i> <i>(Semana com possibilidade de afastamento para participação em evento (possibilidade de aula presencial e/ou atividade no formato online e/ou assíncronas-a definir)</i>
30.06 a 04.07	Teorias de campos com interação: Aplicação das regras de Feynman da QED a processos de espalhamento.

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
	<p><i>02.07 Independência do Brasil na Bahia – Feriado (quarta-feira)</i></p> <p><i>(Semana com possibilidade de afastamento para participação em evento (possibilidade de aula presencial e/ou atividade no formato online e/ou assíncronas-a definir)</i></p>
07.07 a 11.07	<p>Teorias de campos com interação: Aplicação das regras de Feynman da QED a processos de espalhamento.</p> <p>Entrega da 4^a lista de exercícios.</p>
14.07 a 18.07	Seminários. Finalização dos portfólios.
21.07 a 25.07	<p>Segunda Chamada: 22/07/25</p> <p>Resultados Finais, Avaliação dos Portfólios e Avaliação Final do Curso: 24/07/25</p>

9. ATENDIMENTO AO ESTUDANTES

Instituto de Física – Gabinete 517-D

Ramal: +55 71 3283 6699

e-mail: luciano.abreu@ufba.br

Página WEB disponível em: <https://blog.ufba.br/lucianoabreu/>