

**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 Euclidiano, 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 quártica). 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 Teory, 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. Serman, 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>18/04 Sexta-feira - Feriado (Paixão de Cristo)</p> <p>(17/04 (quinta-feira): possibilidade de aula presencial e/ou atividade no formato online e/ou assíncronas-a definir)</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><b>Entrega da 1ª lista de exercícios.</b></p> <p>21/04 Tiradentes - Feriado (segunda-feira)</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>01/05 Dia to Trabalho – Feriado (quinta-feira)</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><b>Entrega da 2ª lista de exercícios.</b></p>

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
	<b>Definição do tema do Seminário de cada estudante</b>
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 fótons.
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.  <b>Entrega da 3ª lista de exercícios.</b>
16.06 a 20.06	O teorema de Wick. Teorias de campos com interação: a teoria com auto-interação quártica; 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 4ª lista de exercícios.</p>
14.07 a 18.07	<b>Seminários. Finalização dos portfólios.</b>
21.07 a 25.07	<p><b>Segunda Chamada: 22/07/25</b></p> <p><b>Resultados Finais, Avaliação dos Portfólios e Avaliação Final do Curso: 24/07/25</b></p>

## 9. ATENDIMENTO AO ESTUDANTES

Instituto de Física – Gabinete 517-D

Ramal: +55 71 3283 6699

e-mail: [luciano.abreu@ufba.br](mailto:luciano.abreu@ufba.br)

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