

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA GERAL**  
**DISCIPLINA: PPGFIS0097 - TE - TEORIAS DE CAMPOS EFETIVAS DO MODELO**  
**PADRÃO**  
**CARGA HORÁRIA: 60 HS**  
**PROFESSOR: LUCIANO MELO ABREU**

**PLANO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DO COMPONENTE CURRICULAR**  
**TEORIAS DE CAMPOS EFETIVAS DO MODELO PADRÃO**  
**SEMESTRE LETIVO 2024.1**

## **1. JUSTIFICATIVA**

Este tópico mostra-se necessário para preenchimento da lacuna existente entre as disciplinas Teoria Quântica dos Campos I, II e III e os fundamentos necessários aos estudantes que desenvolverão estudos de pós-graduação em fenomenologia da Física de Altas Energias (em particular a Física de Partículas), a partir do uso do ferramental típico das teorias de campo efetivas vinculadas ao modelo padrão.

Considera-se como pré-requisitos básicos para a audiência desta disciplina: estudantes em final de mestrado e de doutorado (já tendo cursado Mecânica Quântica I e II), com conhecimento básico em Teoria Quântica dos Campos (TQC I e II).

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta disciplina é proporcionar uma introdução às teorias de campos efetivas utilizadas como alternativas teóricas na descrição da fenomenologia da Física de Altas Energias. Em particular, esta disciplina será devotada ao cenário das interações forte, fraca e eletromagnética.

Como objetivos específicos, tem-se

- Possibilitar a compreensão da necessidade e utilidade de formulação de alternativas teóricas (teorias efetivas) no intuito de descrever algumas das propriedades do Modelo Padrão na escala de baixas energias.
- Possibilitar a fundamentação teórica a respeito dos conceitos e fundamentos básicos que caracterizam as teorias de campos efetivas.
- 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 acerca da fenomenologia associada à Física de Altas Energias via uso da teoria de campos efetivas do modelo padrão.

### 3. EMENTA

➤ Ementa registrada no Sistema Acadêmico-SIGAA (consultado em fevereiro/2024):

Conceitos básicos do Modelo Padrão; Simetrias em baixas energias; Princípios dos modelos efetivos e das Teorias de Campos Efetivas; Teorias Efetivas Chirais: mésons e bárions; Teoria da Perturbação Quiral; Teoria Efetiva dos Quarks Pesados; unitarização; Teorias Efetivas para a Quebra da Simetria Eletrofraca.

### 4. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

#### 1. Princípios e Fundamentos das Teorias de Campos Efetivas (EFTs)

- Escalas na natureza
- O que é uma EFT?
- Exemplos: teoria de Euler-Heisenberg; teoria de Fermi; etc.
- Noções de Renormalização: operadores relevantes e irrelevantes; esquemas de regularização; regularização dimensional; Equações do Grupo de Renormalização; Exemplo: a função  $\beta$  e a constante de acoplamento na Eletrodinâmica Quântica e na Cromodinâmica

## Quântica

- Teorema do Desacoplamento; exemplos

### 2. Teoria da Perturbação Quiral (ChPT)

- Espectro do mésons
- Simetrias da QCD não-massiva; isospin; anomalias
- Quebra espontânea de simetria; teorema de Goldstone
- Condensados de quark escalar
- Lagrangiana Quiral (order  $p^2$ )
- Relações de Gell-Mann-Oakes-Renner; relação de Gell-Mann- Okubo
- Contagem de potências
- Exemplos: processo  $\pi \pi \rightarrow \pi \pi$ , etc.
- ChPT na order  $(p^2)^2$
- Constantes de baixa energia (LECs)
- Exemplos: massas dos bósons de Goldstone; fator de forma eletromagnético do pión, etc.

### 3. Teoria da Perturbação Chiral para Bárions (BChPT)

- Lagrangiana efetiva de menor ordem; Contagem de Potências; Relação de Goldberger-Treiman; Exemplos:  $\pi N \rightarrow \pi N$ , correção à massa dos nucleons, ...

### 4. Teoria Efetiva dos Quarks Pesados (HQET)

- Espectroscopia dos mésons pesados
- Simetria spin-sabor dos quarks pesados
- Lagrangiana(s) da HQET
- Constantes de decaimento dos mésons pesados
- Exemplos: correntes, constantes de decaimento na ordem dominante (LO), etc.
- Expansão  $1/m$  da HQET
- Desacoplamento na HQET
- Exemplos: transições  $B \rightarrow D$ , etc.
- Aplicação: HQET e ChPT  $\rightarrow$  a Teoria de Perturbação Quiral para mésons pesados (HMChPT)

### 5. Teoria de Perturbação Quiral para mésons pesados (HMChPT)

- A combinação de HQET e ChPT

- Lagrangiana efetiva de menor ordem (LO)
- Contagem de Potências
- Exemplos:  $D^* \rightarrow D \pi$ ,  $D \pi \rightarrow D \pi$ , etc.
- Lagrangiana efetiva: ordem subdominante (NLO)

#### 6. Teoria da Perturbação Quiral para Bárions Pesados (HBChPT)

- Lagrangiana efetiva de menor ordem; Contagem de Potências; Exemplos:  $\pi N \rightarrow \pi N$  na HBChPT, correção à massa dos nucleons, ...

#### 7. Outros Tópicos

- formalismo do gauge escondido; formalismos com simetria de sabor SU(4): exemplos e aplicações
- Aplicações à Física Atômica: estados ligados na QED; QED na aproximação não-relativística (NRQED): lagrangiana; contagem de potências; exemplos; NRQED perturbativa (pNRQED); exemplos: o deslocamento de Lamb, etc.
- Abordagem efetiva para os processos semileptônicos; decaimentos via força fraca; Teorias Efetivas para a Quebra da Simetria Eletrofraca
- Supercondutividade em uma abordagem efetiva
- Gravidade em uma abordagem efetiva
- ...

### 5. METODOLOGIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM

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, as ferramentas tecnológicas também são utilizadas como facilitadoras no processo de construção do conhecimento, como:

- Webconferências e aulas interativas ao vivo;

- Problematizações, temas geradores (que podem ocorrer em fóruns e chats, ou mesmo ao vivo);
- Outras atividades colaborativas, adotando wikis, blogs, vídeos, podcast, etc.;
- Disponibilização de diversos materiais de apoio online.

## **6. AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM**

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 atividades propostas semanalmente (peso 8) e seminário final (peso 2).

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

## **7. BIBLIOGRAFIA BÁSICA**

Princípios e Fundamentos das EFTs; Teoria de Perturbação dos Quarks Pesados (ChPT):

- Manohar, Aneesh V., and Mark B. Wise. Heavy Quark Physics. Cambridge, UK; New York City, NY: Cambridge University Press, 2000.
- Dobado, A., A. Gomez-Nicola, A. L. Maroto, J. P. Pelaez , Effective Lagrangians for the Standard Model, Springer, 1997.
- Heavy Quark Physics: A.V. Manohar, M.B. Wise, Heavy quark physics, Cambridge University Press, 2000.
- A. Grozin, Heavy Quark Effective Theory, Tracts in Modern Physics, Springer, 2004.

Bibliografia suplementar:

- T. Becher, Effective Field Theories, lecture notes, 2010.

- A. E. Blechman, "Advanced Topics in Effective Field Theory", disponível online: [http://www.physics.wayne.edu/~ablechman/eft/Homework\\_and\\_Lecture\\_Notes\\_files/lectures.pdf](http://www.physics.wayne.edu/~ablechman/eft/Homework_and_Lecture_Notes_files/lectures.pdf) (1998).
- T. Mannel, *Effective field theories in flavour physics*, Springer, 2005.
- M. Rho, *Chiral Nuclear Dynamics II*, 2nd Ed., From Quarks to Nuclei to Compact Stars, World Scientific Publishing Company, 2008.
- S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields Vol. II*, Cambridge University Press 1996.
- C. P. Burgess, "Introduction to effective field theory," *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* 57, 329 (2007) [arXiv:hep-th/0701053].
- G. Ecker, "Effective field theories," arXiv:hep-ph/0507056.
- M. Neubert, "Effective field theory and heavy quark physics," arXiv:hep-ph/0512222.
- A. Pich, "Effective field theory," arXiv:hep-ph/9806303.
- B. Martin, G. Shaw, *Particle Physics*, Wiley, 2008.
- Pascal Paganini, "Fundamentals of Particle Physics: Understanding the Standard Model", Cambridge University Press (2023).
- Alexey A Petrov and Andrew E Blechman, "Effective Field Theories". World Scientific Publishing Company (2014).
- M. E. Peskin and D. V. Schroeder, "An Introduction To Quantum Field Theory," Reading, USA: Addison-Wesley (1995)
- H. Georgi, "Effective field theory," *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* 43, 209 (1993).
- I. Z. Rothstein, "TASI lectures on effective field theories," arXiv:hep-ph/0308266.
- J. F. Donoghue, E. Golowich and B.R. Holstein, *Dynamics of the Standard Model* (Cambridge University Press, 1992).
- U.-G. Meissner (ed.) (1992) *Effective Field Theories of the Standard Model* (Singapore: World Scientific).
- A. G. Grozin, "Introduction to effective field theories. 1. Heisenberg-Euler effective theory, decoupling of heavy flavours," arXiv:0908.4392 [hep-ph].
- S. Scherer, "Introduction to chiral perturbation theory," *Adv. Nucl. Phys.* 27, 277 (2003) [arXiv:hep-ph/0210398].

- N. Brambilla, A. Pineda, J. Soto and A. Vairo, “Effective field theories for heavy quarkonium,” Rev. Mod. Phys. 77, 1423 (2005) [arXiv:hep-ph/0410047].
- S. Hartmann, "Effective Field Theories, Reductionism and Scientific Explanation", Studies in History and Philosophy of Modern Physics 32: 267-304 (2001).
- E. Castellani, "Reductionism, Emergence, and Effective Field Theories", Studies in History and Philosophy of Modern Physics 33: 251-267 (2002).
- M. Neubert, Heavy-quark symmetry, Phys.Rept.245:259-396,1994
- B. Grinstein, An introduction to heavy mesons, 6th Mexican School of Particles and Fields, Villahermosa, e-Print: hep-ph/9508227
- T. Mannel, Heavy-quark effective field theory, Rept.Prog.Phys.60:1113-1172,1997
- Abreu, Luciano M., Cabrera, Daniel, Llanes-Estrada, Felipe J., Torres-Rincon, Juan M. Charm diffusion in a pion gas implementing unitarity, chiral and heavy quark symmetries. Annals of Physics (Print). , v.326, p.2737 - 2772, 2011.
- Abreu, L. M., Cabrera, Daniel and Torres-Rincon, Juan M. Transport properties of bottomed mesons in a hot mesonic gas. Physical Review. D, v.87, n. 034019, 2013.
- ...

## 8. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
11.03 a 15.03	Apresentação do programada disciplina; Motivação: Por que estudar as EFTs. Princípios e Fundamentos das EFTs.
18.03 a 22.03	Princípios e Fundamentos das EFTs: formalismo; exemplos
25.03 a 29.03	Princípios e Fundamentos das EFTs: exemplos  <i>Aulas online (a definir): Reunião de Trabalho sobre Interações Nucleares e Hadrônicas</i>  <i>29/03 Sexta-feira - Feriado (Paixão de Cristo)</i>
01.04 a 05.04	Princípios e Fundamentos das EFTs: formalismo; exemplos

<i>Semana</i>	<i>ATIVIDADE</i>
	<i>Realização de aulas e atividades no formato online e/ou assíncronas (a definir): Colaboração e Participação em banca no IFUSP</i>
08.04 a 12.04	Princípios e Fundamentos das EFTs: exemplos
15.04 a 19.04	Princípios e Fundamentos das EFTs: exemplos
22.04 a 26.04	Teoria da Perturbação Quiral (ChPT): formalismo
29.04 a 03.05	Teoria da Perturbação Quiral (ChPT): aplicações <i>01/05 – Quarta-feira - Feriado (dia do trabalhador)</i>
06.05 a 10.05	Teoria da Perturbação Quiral (ChPT): aplicações
13.05 a 17.05	Teoria da Perturbação Quiral (ChPT): aplicações
20.05 a 24.05	Teoria da Perturbação Chiral para Bárions (BchPT): formalismo; aplicações
27.05 a 31.05	Teoria Efetiva dos Quarks Pesados (HQET): formalismo; aplicações <i>30/05 Quinta-feira: Feriado (Corpus Christi)</i>
03.06 a 07.06	Teoria Efetiva dos Quarks Pesados (HQET): aplicações
10.06 a 14.06	Teoria Efetiva dos Quarks Pesados (HQET): aplicações
17.06 a 21.06	Teoria de Perturbação Quiral para mésons pesados (HMChPT)
24.06 a 28.06	Teoria da Perturbação Quiral para Bárions Pesados (HBCChPT): formalismo; aplicações
01.07 a 05.07	Outros tópicos: formalismo do gauge escondido; formalismos com simetria de sabor SU(4): exemplos e aplicações <i>02/07 Terça-feira: Feriado (Independência da Bahia)</i>
<b>08.07 a 12.07</b>	<b>Seminários finais</b> <b>Segunda Chamada: 11/07/24</b> <b>Resultados Finais: 12/07/24</b>

## 9. ATENDIMENTO AO ESTUDANTES



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/>