

Título em Português: Introdução à Física de Partículas e à Teoria Quântica de Campos

Título em Inglês: Introduction to Particle Physics and Quantum Field Theory

Autor: Lucca Radicce Justino

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Attilio Cucchieri

Área de Pesquisa / SubÁrea: Física das Partículas Elementares e Campos

Agência Financiadora: FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Introdução à Física de Partículas e à Teoria Quântica de Campos

Lucca Radicce Justino

Orientador: Attilio Cucchieri

Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos

e-mail: lradicce@usp.br

Objetivos

Dada a importância das interações fundamentais e das partículas elementares para a Física, objetiva-se neste projeto o estudo da fenomenologia dessas partículas e do formalismo matemático, necessário para a compreensão dos campos quânticos, a partir dos conhecimentos da Mecânica Quântica Relativística, da Física de Partículas e da Teoria de Campos.

O estudo dirigido do aluno já foi iniciado em janeiro de 2021, a partir da leitura de dois temas em paralelo: Física de Partículas, com o livro *The Particle Hunters* [3]; e Teoria Quântica de Campos, com o livro *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur* [2]. Nos capítulos iniciais do primeiro livro é apresentado um panorama histórico das principais descobertas da Física Moderna e da Física de Partículas, desde o experimento de Millikan até a descoberta do méson pi e do múon, além do desenvolvimento tecnológico dos aceleradores de partículas. Nos capítulos seguintes, foram estudados os temas: partículas estranhas, interações fundamentais, classificação de partículas, e, por fim, leis de conservação. No estudo de Teoria Quântica de Campos, primeiramente, se fez uma revisão do Princípio da Mínima Ação. Em seguida, foram estudados o formalismo de operadores de criação e aniquilação do oscilador harmônico quântico, a representação do número de ocupação, o uso dos operadores de campo na segunda quantização e, por fim, a descrição de sistemas contínuos na teoria de campo clássica. Foram também resolvidos todos os exercícios propostos pelo texto.

Os tópicos a serem abordados, no estudo das partículas elementares, são: partículas com vida média muito curta, o modelo de quarks e, por fim, o Modelo Padrão, sintetizando em uma única teoria as interações fundamentais e as partículas elementares. Ainda no estudo da Física de Partículas, o livro *The Particle Hunters* [3] será complementado com capítulos do livro *Introduction to Elementary Particles* [4], em particular para o estudo das simetrias, das noções básicas do Cálculo de Feynman, das teorias de calibre no caso geral e, mais especificamente, no caso da Eletrodinâmica Quântica, da Teoria da Interação Fraca e da Cromodinâmica Quântica.

Já no estudo da Teoria Quântica de Campos, a leitura de *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur* [2] pretende chegar até o capítulo 15, abordando, entre outros, os temas: Mecânica Quântica Relativística (através da equação de Klein-Gordon), exemplos de Lagrangianas de campos clássicos, transformações na Mecânica Quântica, uma abordagem formal à simetria, quantização canônica, e campos de calibre.

Em seguida, o tema de teorias de calibre será estudado em um aprofundamento mais detalhado, usando os outros livros indicados nas Referências Bibliográficas e também, se necessário, artigos e livros mais especificamente relacionados a este tópico.

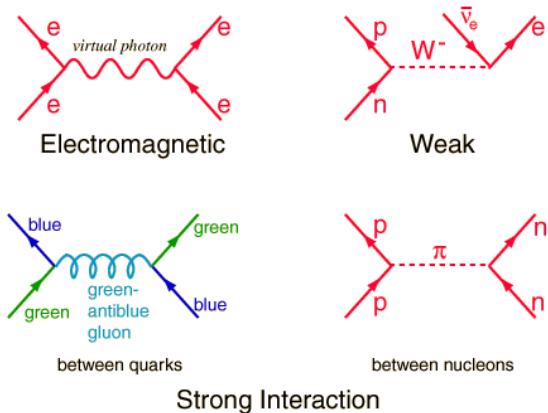


Figura 1: Diagramas de Feynman representando a troca de partículas virtuais das interações eletromagnética, fraca e forte. Disponível em: <http://hyperphysics.phyast.rgsu.edu/hbase/Particles/expar.html>. Acesso em: 12 de março de 2021.

Métodos e Procedimentos

O desenvolvimento do projeto proposto utilizará como referências principais a bibliografia fornecida abaixo. Haverá uma leitura total ou parcial destes livros, focando nos temas escolhidos, em ritmo compatível com a graduação do aluno. Durante o projeto, serão realizados relatórios contendo: os resumos dos tópicos citados, a verificação de resultados matemáticos, e a resolução de exercícios.

Resultados

No estudo da Teoria de Campos os tópicos estudados, até o presente momento, foram:

- Uma primeira tentativa de abordar a mecânica quântica relativística, através da equação de Klein-Gordon.
- Exemplos de Lagrangeanas. Como a associada a um campo escalar massivo (campo de Klein-Gordon), a uma fonte externa, de potencial ϕ^4 , a um campo escalar complexo, etc.
- Evolução temporal na mecânica quântica.
- Transformações contínuas na mecânica quântica.
- Simetria e teorema de Noether.

Já no estudo da Física de Partículas, foi concluída a leitura do livro *The Particle*

Hunters, onde foram abordados os seguintes temas:

- Partículas de vida curta.
- O eightfold way e o modelo de quarks.
- As descobertas dos quarks charm, top e bottom e do lepton tau.
- O Modelo Padrão de física de partículas, o bóson de Higgs e teorias além do Modelo Padrão.

Conclusões

O desenvolvimento do projeto está sendo realizado de acordo com o plano de trabalho proposto, com a previsão de aprofundar o estudo de teorias de calibre a partir de novembro.

Referências Bibliográficas

- [1] Ian JR Aitchison e Anthony JG Hey. *Gauge Theories in Particle Physics: A Practical Introduction: From Relativistic Quantum Mechanics to QED*, volume 1. CRC Press, 2012.
- [2] Tom Lancaster e Stephen J Blundell. *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur*. OUP Oxford, 2014.
- [3] Yuval Ne'Eman e Yoram Kirsh. *The Particle Hunters*. Cambridge University Press, 2 ed, 1996.
- [4] David J Griffiths. *Introduction to Elementary Particles*. John Wiley & Sons, 2 ed, 2020.
- [5] Lev Davidovich Landau. *The classical theory of fields*, volume 2. Elsevier, 2013.
- [6] Keihachiro Moriyasu. *An elementary primer for gauge theory*. World Scientific, 1983.

Introduction to Particle Physics and Quantum Field Theory

Lucca Radicce Justino

Supervisor: Attilio Cucchieri

University of São Paulo - São Carlos Institute of Physics

e-mail: lradicce@usp.br

Objectives

Given the importance of fundamental interactions and elementary particles for Physics, this project aims to study the phenomenology of these particles and the mathematical formalism, necessary for the understanding of quantum fields, based on the knowledge of Relativistic Quantum Mechanics, of Physics of Particles and Field Theory.

The guided study of the student started in January 2021, from the reading of two subjects in parallel: Particle Physics, with the book *The Particle Hunters* [3]; and Quantum Field Theory, with the book *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur* [2]. In the opening chapters of the first book, a historical overview of the most important discoveries in Modern Physics and Particle Physics is presented, from the Millikan's experiment to the discovery of the pi meson and the muon, in addition to the technological development of particle accelerators. In the following chapters, the following topics were studied: strange particles, fundamental interactions, particle classification, and finally, conservation laws. In the study of Quantum Field Theory, first, the Least Action Principle was reviewed. Next, the formalism of creation and annihilation operators of the quantum harmonic oscillator, the representation of the occupation number, the use of field operators in the second quantization and, finally, the description of continuous systems in classical field theory. All exercises proposed by the text were solved.

The next topics, in the study of elementary particles, are: particles with very short lifetime,

the quark model and, finally, the Standard Model, summarizing the fundamental interactions and elementary particles in a single theory. Still in the study of Particle Physics, the book *The Particle Hunters* [3] will be complemented with chapters from the book *Introduction to Elementary Particles* [4], in particular for the study of symmetries, the basis of Feynman Calculus, gauge theories in the general case and, more specifically, in the case of Quantum Electrodynamics, Weak Interaction Theory and Quantum Chromodynamics.

In the study of Quantum Field Theory, the reading of *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur* [2] intends go to up chapter 15, addressing, among others, the subjects: Relativistic Quantum Mechanics (by the Klein-Gordon equation), Lagrangian examples of classical fields, quantum mechanics transformations, a formal approach to symmetry, canonical quantization, and gauge fields.

Then, the topic of gauge theories will be studied in more detail, using the other books indicated in the References and also, if necessary, articles and books more specifically related to this subject.

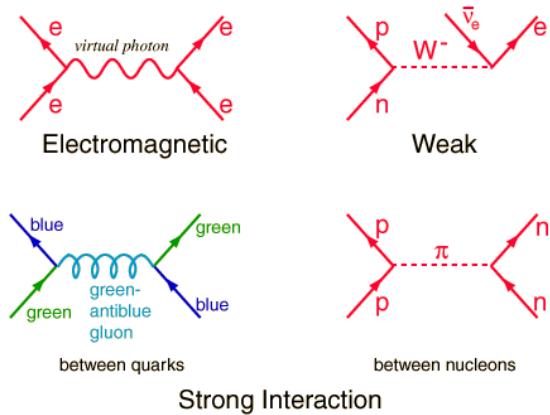


Figure 1: Feynman diagram representing the exchange of virtual particles of electromagnetic, weak and strong interactions. <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbase/Particles/expar.html>. Acesso em: 12 de março de 2021.

Materials and Methods

The development of the proposed project will use as main references the bibliography provided below. There will be a total or partial reading of these books, focusing on the chosen topics, at a pace compatible with the graduation of student. During the project, reports will be produced containing: the summaries of the topics mentioned, the verification of mathematical results, and the resolution of exercises.

Results

In the study of Field Theory, the topics studied so far were:

- A first attempt to relativistic quantum mechanics using the Klein-Gordon equation.
- Examples of Lagrangians. Like the associated with a massive scalar field (Klein-Gordon field), with an external source, of potential, a complex scalar field, etc.
- Time-evolution in quantum mechanics.
- Quantum mechanical continuous transformations.
- Symmetry and Noether's theorem.

In the study of Particle Physics, the reading of the book *The Particle Hunters* was completed, where the following topics were addressed:

- Short-lived particles.
- The eightfold way and the quark model.
- Discoveries of charm, top and bottom quarks and lepton tau.
- The Standard Model of particle physics, the Higgs boson, and theories beyond the Standard Model.

Conclusions

The development of the project is being carried out in accordance with the proposed work plan, with the prevision of advance the study of gauge theories starting in November.

References

- [1] Ian JR Aitchison e Anthony JG Hey. *Gauge Theories in Particle Physics: A Practical Introduction: From Relativistic Quantum Mechanics to QED*, volume 1. CRC Press, 2012.
- [2] Tom Lancaster e Stephen J Blundell. *Quantum Field Theory for the Gifted Amateur*. OUP Oxford, 2014.
- [3] Yuval Ne'Eman e Yoram Kirsh. *The Particle Hunters*. Cambridge University Press, 2 ed, 1996.
- [4] David J Griffiths. *Introduction to Elementary Particles*. John Wiley & Sons, 2 ed, 2020.
- [5] Lev Davidovich Landau. *The classical theory of fields*, volume 2. Elsevier, 2013.
- [6] Keihachiro Moriyasu. *An elementary primer for gauge theory*. World Scientific, 1983.