

---

## **PROJETO DE PESQUISA**

### **Programa de Iniciação Científica e Tecnológica – CBPF**

Nome do Orientador e Coordenação (Pesquisador/Tecnologista/Pós-doc):

**Leonardo Ospedal Prestes Rosas (pós-doutorando na coordenação COSMO-CBPF)**

---

Nome do pesquisador ou tecnologista e Instituição de Pesquisa Externa: (Coorientador ou Colaborador externo, se houver):

Nome do Supervisor e Coordenação: (Pesquisador/Tecnologista):

**Sergio Jose Barbosa Duarte (pesquisador da COSMO-CBPF)**

---

Título do Projeto:

**Física de Plasmas nas fronteiras do Modelo Padrão**

---

Palavra-chave: **relações de dispersão, plasma, interações efetivas.**

---

Área de conhecimento: **Física de Plasma (teoria).**

---

Pré-requisitos desejáveis (se houver): **Eletromagnetismo de Maxwell e noções básicas de ondulatória.**

---

Pré-requisitos obrigatórios (se houver): **conhecimentos de cálculo diferencial e integral, bem como de equações diferenciais.**

---

Possibilidade de orientação remota:

Sim       Não

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2025

## PROJETO:

### Introdução e contextualização

Apesar da Eletrodinâmica de Maxwell estar descrevendo bem uma série de fenômenos do nosso cotidiano, ainda existem algumas situações em que precisamos modificá-la para levar em conta novos graus de liberdade, acomodar uma nova física além do Modelo Padrão ou considerar descrições efetivas em meios materiais.

Por exemplo, ao considerarmos correções quânticas ao Eletromagnetismo de Maxwell, descritas no âmbito da Teoria Quântica de Campos (via Eletrodinâmica Quântica), obtemos a eletrodinâmica não-linear de Euler-Heisenberg. Além disso, o limite de baixas energias de teorias mais fundamentais também podem conduzir para eletrodinâmicas modificadas, como ocorre nos casos das eletrodinâmicas de Born-Infeld e Carroll-Field-Jackiw, que podem ser obtidas via Teoria de Cordas.

Há que se ressaltar também o renovado interesse em eletrodinâmicas modificadas devido a descoberta de novos materiais na Matéria Condensada e ao levar em conta efeitos coletivos. Por exemplo, destacamos os supercondutores, meios magnéticos quirais, materiais de Dirac, semimetais de Weyl, grafeno, isolantes topológicos, cristais líquidos e meios de plasma.

Neste projeto, propõe-se estudar alguns cenários de eletrodinâmicas modificadas em meios de plasma, analisando as relações de dispersão, os modos de propagação e as propriedades óticas do meio na presença de campos elétrico ou magnético externos. Para realizar isso, devemos introduzir relações constituintes não-triviais, ou pela adição de novas fontes/correntes e acoplamentos com campos efetivos na matéria, alterando as equações de Maxwell, estado ou fluido. A construção de lasers cada vez mais potentes tem motivado ainda mais o estudo de plasma e investigações sobre efeitos coletivos nas interações fóton-fóton e fóton-plasma, conduzindo para novas teorias efetivas e extensões do Eletromagnetismo de Maxwell. Por outro lado, em objetos astrofísicos, podemos ter a formação de plasma e presença de campos magnéticos intensos, sendo outros cenários favoráveis para investigarmos a propagação do fóton e relações de dispersão modificadas.

### Objetivos

- 1) Classificação de alguns meios materiais de acordo com suas relações constituintes, equações de fluido e de estado.
- 2) Descrição de ondas eletromagnéticas em meios materiais.
- 3) Estudo das relações de dispersão, índices de refração e velocidade de grupo.
- 4) Estudo de efeitos óticos na presença de campos elétricos ou magnéticos externos.
- 5) Efeitos coletivos e modos de propagação em meios de plasma.
- 6) Análises de extensões do Eletromagnetismo de Maxwell como teorias efetivas em

meios materiais.

- 7) Aplicações de plasmas na Astrofísica e em laboratórios terrestres com laser.

## Metodologia

Ocorrerão reuniões semanais entre o(a) bolsista, o supervisor e eventuais colaboradores para discussões, apresentações dos materiais e resultados parciais, bem como possíveis encaminhamentos e aplicações do projeto.

## Resultados esperados

Com a execução do projeto, espera-se que o(a) estudante esteja preparado(a) para início de pesquisa científica e com uma boa formação acadêmica para eventual ingresso no mestrado. Além disso, o presente projeto contempla uma temática de atual relevância e multidisciplinar, possibilitando a continuação dos estudos com investigações em diferentes cenários na Física de Partículas e Astrofísica.

## Referências bibliográficas

Alguns livros básicos e artigos de revisão encontram-se listados abaixo.

- 1) A. Zangwill, *Modern Electrodynamics*, Cambridge University Press, 2013.
- 2) D.J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, Prentice-Hall, 1999.
- 3) M. Mansuripur, *Classical Optics and Its Applications*, Cambridge University Press, 2009.
- 4) I.G. Toptygin, *Electromagnetic Phenomena in Matter*, Wiley-VCH, 2015.
- 5) G.R. Fowles, *Introduction to Modern Optics*, Dover Publications, 1975.
- 6) F.F. Chen, *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, Springer, 2016.
- 7) J.A. Bittencourt, *Fundamental of Plasma Physics*, Springer, 2004.
- 8) R. Battesti e C. Rizzo, Magnetic and electric properties of a quantum vacuum, arXiv:1211.1933.
- 9) A. Di Piazza *et al*, *Extremely high-intensity laser interactions with fundamental quantum systems*, arXiv:1111.3886.
- 10) D.A. Uzdensky e S. Rightley, *Plasma Physics of Extreme Astrophysical Environments*, arXiv:1401.5110.
- 11) M. Marklund e P.K. Shukla, *Nonlinear collective effects in photon-photon and photon-plasma interaction*, arXiv:hep-ph/0602123.

Outros livros e artigos científicos mais específicos devem ser indicados ao longo do desenvolvimento do projeto.