

## **“Novos Cenários para o Eletromagnetismo”**

(Pesquisador proponente: José Abdalla Helayél-Neto)

### **Palavras-chave:**

*Eletrodinâmicas pós-Maxwellianas  
Relações de dispersão modificadas  
Portais eletromagnéticos para a gravidade quântica  
Novas categorias de fótions  
Fótions, fotinos e áxions.*

O chamado limite de GZK estabelece que raios cósmicos ultra-energéticos, provenientes de regiões extra-galácticas, não deveriam atingir e ser observados na Terra, por argumentos fundamentados na Teoria da Relatividade Restrita. Entretanto, observações astrofísicas recentes confirmam a detecção destes objetos. Esta constatação abre uma ampla discussão sobre a plausibilidade de se propor possíveis extensões da Relatividade Especial.

Em particular, toda uma linha de trabalhos iniciada por G. Amelino-Camelia, J. Magueijo e L. Smolin culminou com a chamada Doubly Special Relativity (DSR), uma extensão da Relatividade Restrita que incorpora na sua estrutura dois invariantes (dois absolutos): a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , e uma escala de energia, a energia de Planck,  $E_{Pl}$ . A DSR permite introduzir modificações na Cinemática Relativística para justificar o porquê da violação do limite de GZK na observação de raios cósmicos ultra-energéticos na Terra.

Paralelamente, uma ampla área de investigação em Teoria Quântica de Campos vem sendo proposta e muito debatida, onde se introduzem vetores e tensores de fundo – anisotropias espaço-temporais – responsáveis pela violação da simetria de Lorentz, o que traz imediatas mudanças nas equações de Maxwell da Eletrodinâmica, e introduz resultados teóricos, como a birrefringência e o dicroísmo do vácuo quântico e a anisotropia da radiação de fundo. A partir de mecanismos intrínsecos ligados a modos tensoriais do setor bosônico de cordas fundamentais, ocorrendo a energias extremas, em uma escala intermediária entre a Grande-Unificação e a escala de Planck, efeitos de violação da simetria de Lorentz são induzidos e podem ser comunicados a energias acessíveis aos experimentos em laboratórios e aceleradores. Por outro lado, condensação de férmions em cenários dominados pela supersimetria pode também induzir anisotropias que assinalam

pequeníssimos desvios da simetria relativística. Chega-se, assim, a interessantes extensões de fenômenos eletromagnéticos com propriedades físicas muito peculiares do vácuo, que pode exibir fenômenos como birrefringência, dicroísmo e reintroduz o debatido fenômeno da “luz cansada” (tired light).

Propomo-nos, centralmente, a realizar um estudo das propriedades físicas de uma ampla categoria de modelos eletromagnéticos além-Maxwell, detendo-nos, sobretudo, na investigação detalhada de uma vasta classe de relações de dispersão fotônicas, que podem revelar fenômenos detectáveis e, assim, orientar a reconstrução de modelos que contenham nova física não incorporada no Modelo-Padrão das Interações Fundamentais.

Dentro deste cenário, um segundo objetivo deste Projeto é apresentar um levantamento de recentes extensões não-Maxwellianas do Eletromagnetismo, originadas de alguma Física mais fundamental, além do Modelo-Padrão, que podem estar levando em conta aspectos da gravitação quântica, da supersimetria ou das dimensionalidades, mais baixas (2D e 3D) ou mesmo mais altas (5D). Contabilizamos atualmente 59 extensões pós-Maxwellianas, que podem ser agrupadas em 4 categorias: extensões nos limites do Modelo-Padrão, extensões além do Modelo-Padrão, extensões não-lineares e extensões em baixas e mais altas dimensionalidades. Com a disponibilização dos mais recentes e futuros LASERs com potências nas faixas dos PeV e EeV, fica mais próxima a quebra do vácuo, abrindo-se um caminho para a investigação de sua estrutura.

O material a ser elaborado como resultado do Projeto poderá se constituir em notas-de-curso a serem introduzidas como textos de apoio em disciplinas de cursos de Graduação, tendo potencial também para culminar com um trabalho original a ser enviado para publicação em periódico, já que as questões de pesquisa acima elencadas são objeto de estudos em andamento em Dissertações, Teses e em projetos de pós-doutorandos atuando em nosso Grupo de Pesquisa “Teoria de Campos e Partículas Elementares”.

Como referência, seguem abaixo os links de um ciclo de palestras intitulado “**Novas Tendências do Eletromagnetismo**”, que podem oferecer uma visão panorâmica do que vem surgindo na literatura atual no âmbito das extensões não-Maxwellianas da teoria eletromagnética.

## “Novas Tendências do Eletromagnetismo”

### 1. “O período clássico”

**Parte 1:**

[https://www.youtube.com/watch?v=5cYxqHS\\_B-M](https://www.youtube.com/watch?v=5cYxqHS_B-M)

**Parte 2:**

<https://www.youtube.com/watch?v=DmFzyf1uVCg>

### 2. “O encontro do Eletromagnetismo com a Mecânica Quântica”

<https://youtu.be/9bYuiNIRxzM>

### 3. “O Encontro do Eletromagnetismo com o Modelo-Padrão”

<https://www.youtube.com/watch?v=pTvk6vXrYjY>

### 4. “O reencontro do Eletromagnetismo com a não-linearidade e novas dimensionalidades”

<https://youtu.be/48hqJdKfDWw>

## Literatura de Referência Inicial

1. R. Aloisio, P. Blasi, P. L. Ghia and A. F. Grillo,  
“Probing the structure of space-time with cosmic rays”  
Phys. Rev. **D62** (2000) 053010.

2. J. Magueijo and L. Smolin,  
“Lorentz invariance with an invariant energy scale”  
Physical Review Letters. **88** (2001) 190403;

G. Amelino-Camelia  
“Doubly Special Relativity”  
Nature **418** (6893) (2002) 34.

3. T. Jacobson, S. Liberati and D. Mattingly  
“Threshold effects and Planck scale Lorentz violation: combined  
constraints from high energy astrophysics”  
Phys. Rev. **D67** (2003) 124011;

A. P. Baêta Scarpelli, H. Belich and J. A. Helayël-Neto  
“Aspects of causality and unitarity and comments on vortex-like  
configurations in a Abelian model with a Lorentz-breaking term”  
Phys. Rev. **D67** (2003) 085021.

4. R. C. Myers and M. Pospelov  
“Ultraviolet modifications of dispersion relations in effective field theories”  
Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 211601.
5. S. Liberati  
“Tests of Lorentz invariance: a 2013 update”  
Class. Quantum Grav. **30** (2013) 133001;  
H. Belich, L. D. Bernal, P. Gaete and J. A. Helayël-Neto  
“The photino sector and a confining potential in a supersymmetric  
Lorentz symmetry-violating model.”  
Eur. Phys. J. **C73** (2013) 2632.
6. A. K. Canguly and M. K. Jaiswal  
“Lorentz-symmetry violating low energy dispersion relations from a  
dimension-five photon scalar mixing operator”  
Phys. Rev. **D90** (2014) 026002.
7. F. W. Stecker  
“Testing Lorentz symmetry using high-energy Astrophysics observations”  
Symmetry **9** (2017) 201.
8. M. Reece  
“Photon masses in the landscape and swampland”  
arXiv: 1808.09966 [hep – th].
9. L. Bonetti, L. R. dos Santos Filho, J. A. Helayël-Neto and A. Spallicci  
“Photon sector analysis of Super- and Lorentz-symmetry breaking:  
effective photon, masses, bi-refringence and dissipation”  
Eur. Phys. J. **C78** (2018) 811.
10. J.-J. Wei and X.-F. Wu  
“Testing fundamental Physics with astrophysical transients”  
Front. Phys. **16(4)** (2021) 44300.
11. G. Panotopoulos,  
“Building (1+1) holographic superconductors in the presence of  
non-linear electrodynamics”  
Chin. J. Phys. **69** (2021) 295.

12. A. D. A. M. Spallicci, G. Sarracini, O. Randriamboarison and J. A. Helayël-Neto  
“Testing the Ampère-Maxwell law on the photon mass and Lorentz-Poincaré-symmetry violation with MMS multi-spacecraft data”  
Eur. Phys. J. Plus **139** (2024) 6, 551. arXiv:2205.02487 [hep-ph].
13. J. P. da Silva Melo e J. A. Helayël-Neto  
“Do éter questionado por Dirac ao Modelo-Padrão: a diacronia da violação da simetria de Lorentz”  
Rev. Bras. Ens. Fís. **45** (2023) e20220211.