



III EVENTO INTEGRADO PROCIEMA

Redes da Vida, como tudo está conectado

Formulação covariante das equações de Maxwell e a simetria dual

Eixo Temático 5: Estudos e Pesquisas em Física

Matheus Bomfim M. Botelho¹, Gabriel Leite Braga², Ronaldo Silva Thibes³, Luizdarcy de Matos Castro⁴

Resumo

Este trabalho tem como temática central a formulação covariante das equações de Maxwell e a análise de sua simetria dual no contexto do eletromagnetismo clássico. O objetivo é apresentar a formulação tensorial das equações de Maxwell, evidenciando sua invariância relativística, e discutir as implicações da simetria dual, bem como as modificações introduzidas pela hipótese da existência de monopolos magnéticos. A pesquisa possui caráter teórico, fundamentando-se em revisão bibliográfica de obras clássicas e da literatura especializada em eletromagnetismo e relatividade restrita. Inicialmente, são apresentados os conceitos matemáticos e físicos necessários para a construção da formulação covariante, incluindo transformações de Lorentz, quadrivetores, o espaço-tempo de Minkowski, a notação tensorial e o tensor eletromagnético. Em seguida, desenvolve-se a escrita covariante das equações de Maxwell e realiza-se a análise da simetria dual, considerando tanto o caso convencional, na ausência de monopolos magnéticos, quanto o cenário em que essas partículas são admitidas. Os resultados mostram que a formulação tensorial permite reunir as quatro equações de Maxwell escritas na forma diferencial em duas equações tensoriais, tornando explícita sua invariância sob transformações de Lorentz, evidenciando que os campos elétrico e magnético constituem duas manifestações de uma única entidade — o campo eletromagnético — e proporcionando uma descrição mais compacta e unificada do eletromagnetismo. Além disso, verifica-se que a simetria dual é plenamente preservada na ausência simultânea de cargas elétricas e magnéticas ou, de forma mais geral, quando se admite a existência de monopolos magnéticos. Em contrapartida, em sistemas reais em que existem apenas cargas elétricas livres, a simetria dual é quebrada, evidenciando uma assimetria nas equações de Maxwell. Esses resultados mostram a importância da abordagem

¹ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

*e-mail: 202310263@uesb.edu.br

² Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

*e-mail: 202010496@uesb.edu.br

³ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Itapetinga, Bahia, Brasil

*e-mail: thibes@gmail.com

⁴ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

*e-mail: luizdarcy.castro@uesb.edu.br

covariante para a compreensão da estrutura matemática e física da teoria eletromagnética e reforçam sua relevância para o estudo de teorias de campo relativísticas e para a formação em Física Teórica.

Palavras-chave: Equações de Maxwell, Formulação Covariante, Tensor Eletromagnético, Relatividade Restrita, Simetria Dual.

Referências

GRIFFITHS, David J. *Introduction to electrodynamics*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

JACKSON, John David. *Classical electrodynamics*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

JESUS, Anderson L. de; SCHMIDT, Alexandre G. M.; PORTUGAL, Licinio L. S. Introdução à física do monopolo magnético: uma abordagem clássica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 45, e20220335, 2023. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0335.

LEMO, Nivaldo A. *Mecânica analítica*. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

MIGNACO, Juan A. *Electromagnetic duality, charges, monopoles, topology, ... Brazilian Journal of Physics*, v. 31, n. 2, p. 235-245, 2001.

REITZ, John R.; MILFORD, Frederick J.; CHRISTY, Robert W. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1982.



PROEX
Pró-Reitoria de Extensão
e Assuntos Comunitários



CCFIS
Colegiado de Física

CCMAT
Colegiado de Matemática
Vitória da Conquista

PROCIEMA
PROGRAMA DE ENSINO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
PROGRAMA DE EXTENSÃO