

MÉTRICA ÓPTICA EFETIVA DE MEIOS NÃO LINEARES EM 2 DIMENSÕES

Matheus Ito de Moura e Motta¹ (IC), Danilo Henrique Spadoti (PQ)²
^{1,2}Universidade Federal de Itajubá,

Palavras-chave: Álgebra Tensorial. Eletromagnetismo. Meios Bidimensionais. Meios não lineares.

Introdução

Os estudos de materiais com propriedades ópticas não-lineares, historicamente, têm sido predominantemente voltados a meios tridimensionais em vista da ausência de materiais bidimensionais relevantes e, por conseguinte, da ausência da análise experimental do assunto. Contudo, com o advento do grafeno, novos campos de estudo foram descobertos e novas aplicações foram desenvolvidas.

Diante disso, este trabalho buscou analisar teoricamente as propriedades ópticas de materiais não-lineares aplicadas em meios bidimensionais, deduzindo equações tensoriais para a propagação de raios de luz em meios bidimensionais (2+1) com características não lineares.

Metodologia

Para à elaboração deste trabalho, a princípio, em preparação para a dedução das equações de propagação em meios bidimensionais não-lineares, foram estudados as teorias da Relatividade Restrita e Relatividade para embasamento teórico e familiarização para com Álgebra Tensorial na descrição de equações físicas.

Obtido o entendimento e domínio da Álgebra Tensorial, foi pesquisada na teoria disponível, possíveis aplicações do estudo da propagação luminosa em duas dimensões e em meio não lineares, além de estudar trabalhos disponíveis relacionados à área de interesse da pesquisa.

Desse modo, com tais conhecimentos adquiridos, foi efetuada a redução dimensional das equações de Maxwell para duas dimensões, utilizando o Método de Hadamard, as quais foram reescritas através do formalismo tensorial. Em seguida, foi aplicado o Teorema de Hadamard para reduzir as equações diferenciais parciais de Maxwell a um problema algébrico de autovalores, obtendo a seguir, a Matriz de Fresnel, a qual permitiu a definição das equações de velocidade de fase e de grupo para propagação luminosa e a determinação da métrica óptica efetiva.

Resultados e discussão

Foi possível determinar a Matriz de Fresnel contendo os parâmetros dielétricos do meio, a forma como tais parâmetros variam, além de informações sobre a propagação da onda.

E da Matriz de Fresnel, foram deduzidas as equações da velocidade de fase e de grupo para ondas propagadas no meio em questão. Para o caso da dedução da equação de velocidade de fase, foi possível identificar a ocorrência do fenômeno de birrefringência, e, no caso de um meio magneto-elétrico, o fenômeno da propagação unidirecional, a quais têm possíveis aplicações para o campo das telecomunicações.

Ainda para o caso magneto-elétrico, é possível controlar a propagação de luz no meio, permitindo a propagação total ou nula no material, fenômeno conhecido como opacidade controlada.

Por fim, a redução dimensional da teoria eletromagnética permitiu a determinação do comportamento da métrica efetiva óptica segundo as constantes dielétricas do meio para o caso mais geral possível, e a comprovação da sua assinatura Lorentziana, permitindo o estudo de modelos de gravitação para materiais bidimensionais e a análise de fenômenos ópticos de interesse segundo o comportamento das métricas ópticas obtidas.

Conclusões

Dado o exposto, no que tange a determinação dos mecanismos de propagação de luz em meios não lineares bidimensionais, são notáveis as diversas aplicações possíveis, no campo das telecomunicações, sobretudo relacionadas à propagação de sinais de informação nos meios propostos, e no estudo dos fenômenos de birrefringência, propagação unidirecional e opacidade controlada.

Além disso, abre-se a possibilidade de previsão e compreensão de fenômenos eletromagnéticos relacionados ao eletromagnetismo tridimensional através

do modelo bidimensional simplificado, proposto no trabalho.

Agradecimento

À Universidade pelo ambiente criativo e amigável que proporciona.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Danilo Henrique Spadoti pelo empenho e dedicação na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eduardo Bittencourt pela oportunidade e paciência na elaboração deste trabalho.

Ao CNPq, pela oportunidade, suporte e incentivo.

Referências

Novoselov K. S. et al. *Science* **306**, 666 (2004).

Zhao T., Hu M., Zhong R., Gong S., Zhang C., and Liu S., in *42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)* (2017) pp. 1–2.

Varma S. J et al. *Advanced Optical Materials* **5**, 1700713 (2017).

Feng M., Zhan H., and Chen Y., *Applied Physics Letters* **96**, 033107 (2010).

Seyler K. L. et al. *Nature Nanotechnology* **10**, 407 (2015).

Klein J., et al. *Nano Letters* **17**, 392 (2017).

You J., et al. *Nanophotonics* **8**, 63 (2019).

Richter J. M. et al. *Nature Communications* **8**, 376 (2017).

Karvonen L. et al. 10334 (2015).

Wang Y. et al. *Laser Physics* **26**, 065104 (2016).

Wang G. et al. *Phys. Rev. Lett.* **114**, 097403 (2015).

McDonald K. T., *Electrodynamics in 1 and 2 spatial dimensions* (2019).

Boito D., de Andrade L. N. S., de Sousa G. and Gama R, London, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **42**, e20190323 (2020).

Wheeler N., “electrodynamics” in 2-dimensional spacetime (1997).

Lapidus I. R., *American Journal of Physics* **50**, 155 (1982).

Foster J., Nightingale J. D., *A Short Course in General Relativity*, Springer; 3rd (2006)

Adler R., Bazin M., *An Introduction to General Relativity*, McGraw-Hill; 1st (1965)

De Lorenci V. A., Klippert R. and Teodoro D. H., Birefringence in nonlinear anisotropic dielectric media, *PHYSICAL REVIEW D* **70**, 124035 (2004)

You J.W et al. Nonlinear optical properties and applications of 2D materials: theoretical and experimental aspects, *Nanophotonics* 2019; 8(1): 63–97 (2018)

Saleh B., Teich M., *Fundamentals of Photonics*. New York, Wiley, (1991)

Kerr J. A new relation between electricity and light: dielectrified media birefringent. *Lond Edinb Dublin Philos Mag J Sci* 1875;50:337–48. (1875)

Varma S. et al. 2D TiS₂ layers: a superior nonlinear optical limiting material. *Adv Opt Mater* 2017;5:1700713 (2018)