

LENTE TÉRMICA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS TEÓRICOS QUE DESCREVEM O EFEITO E SEUS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Acadêmico: Pedro Henrique Librelato Bohm

E-mail: ra125225@uem.br

Orientador: Prof. Dr. Nelson Guilherme Castelli Astrath

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Maringá-PR

Física da Matéria Condensada/Propriedades Térmicas da Matéria Condensada

Palavras-chave: Espectroscopia de Lente Térmica; Fenômenos Fototérmicos; Materiais Vítreos;

1. RESUMO

O presente projeto foi executado com o objetivo de estudar e comparar os diferentes modelos existentes da Espectroscopia de Lente Térmica, bem como fazer simulações numéricas que abordem aspectos de tais modelos. Além da revisão da literatura sobre o assunto, para as simulações, foi utilizado o programa "Wolfram Mathematica". Como resultado, foram obtidas simulações que fielmente reproduzem as condições descritas pelas equações diferenciais do modelo de Shen, apontando a precisão desse modelo em descrever o efeito quando comparado aos demais.

2. INTRODUÇÃO

As técnicas fototérmicas têm, no quadro científico atual, se apresentado como métodos eficientes para análise das propriedades físicas e termo-ópticas de materiais. A interação laser/amostra é a responsável pelos principais fenômenos que compõem tais técnicas, como é o caso da espectroscopia de lente térmica (ELT). Com uma montagem de alta sensibilidade, a ELT foi o alvo de estudo deste projeto. Simulações no programa "Mathematica" foram realizadas a fim de comparar os diferentes modelos teóricos da ELT e a sua relação com os dados obtidos experimentalmente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O Efeito de Lente Térmica

Proposto inicialmente por Gordon e colaboradores [1], a ELT se caracteriza como um modelo teórico que busca explicar a mudança no índice de refração de um material quando submetido a uma variação de temperatura, por exemplo. O material, ao absorver a energia luminosa de um feixe laser, gera um gradiente de índice de refração que pode divergir ou convergir um feixe de prova que passa pela região excitada da amostra.

Após o modelo proposto por Gordon et al, vários pesquisadores propuseram modelos para aprimorar a ELT, como Sheldon e colaboradores [2], em sua abordagem aberrante, e Swofford no modelo do duplo-feixe casado.

Em 1992, o modelo aberrante de ELT no modo de duplo-feixe descasado foi proposto por Shen e colaboradores [1]. Nessa montagem, os feixes se dispõem sobre a amostra com raios diferentes, possibilitando o processamento dos sinais de LT com uma maior sensibilidade. Conseqüentemente, esse modelo mais atual foi o principal alvo das simulações do presente projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelo de Shen: Equação de Difusão do Calor

Para a resolução do modelo teórico alvo deste projeto, se fez necessária a solução da equação de difusão do calor, em coordenadas cilíndricas, levando em conta o perfil de temperatura do feixe do laser sobre a amostra, $T(r,z,t)$, definida por

$$\frac{\partial T(r,z,t)}{\partial t} - D \nabla^2 T(r,z,t) = Q(r,z,t) \quad (1)$$

Com condições de contorno definidas, a solução de tal equação pode ser realizada utilizando as transformadas integrais de Laplace-Fourier-Henkel, obtendo o resultado

$$T(r,z,t) = \frac{P \beta}{2 k \pi t_c} \Phi \int_0^t e^{\frac{-2r^2/\omega^2}{(1+\frac{2\tau}{t_c})}} \frac{d\tau}{(1+\frac{2\tau}{t_c})} \quad (2)$$

4.2 - Simulações

Temperatura

Foi realizada a simulação da distribuição de temperatura do laser, conforme Eq. (2), com os parâmetros: $\beta = 504 \text{ 1/K}$; $\Phi = 1.85$; $P = 0.02 \text{ mW}$; $k = 1.7 \text{ J s}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\omega = 7.6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$; $D = 6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$; $t_c = \omega^2/(4 D)$.

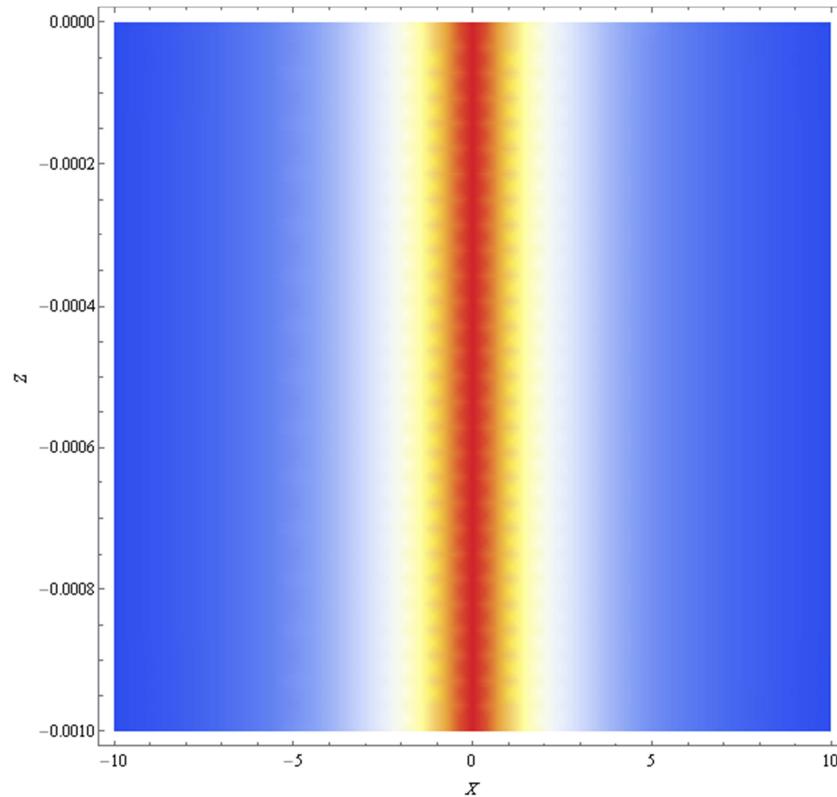


Figura I. Gráfico simulado da distribuição de temperatura de um feixe de laser usado no experimento.

Intensidade

O sinal da LT é detectado através da variação da fase do feixe de prova (Φ_{TL}) como

$$\Phi_{TL}(r, t) = \frac{\theta}{t_c} \int_0^t \frac{1}{1 + \frac{2\tau}{t_c}} \left(1 - e^{-\frac{2m\tau}{(1 + \frac{2\tau}{t_c})}}\right) d\tau$$

Tal variação, proveniente do efeito térmico descrito pela simulação anterior, afeta o campo elétrico do feixe (E), o que gera uma variação na intensidade $I(t)$ como

$$I(t) = |E|^2$$

$$I(t) = I(0) \left(1 - \frac{\theta}{2} \tan^{-1} \left(\frac{4 m V t}{2t(1 + 2m + V^2) + ((1 + 2m)^2 + V^2)t_c} \right)\right)^2$$

Foi realizada a simulação dessa intensidade, segundo os parâmetros: $t_c = 10^{-2}$ ms, $m=25$, $V = 7$, $I(0) = 1 \text{ mW m}^{-2}$, e θ variando 0.1 à 0.3:

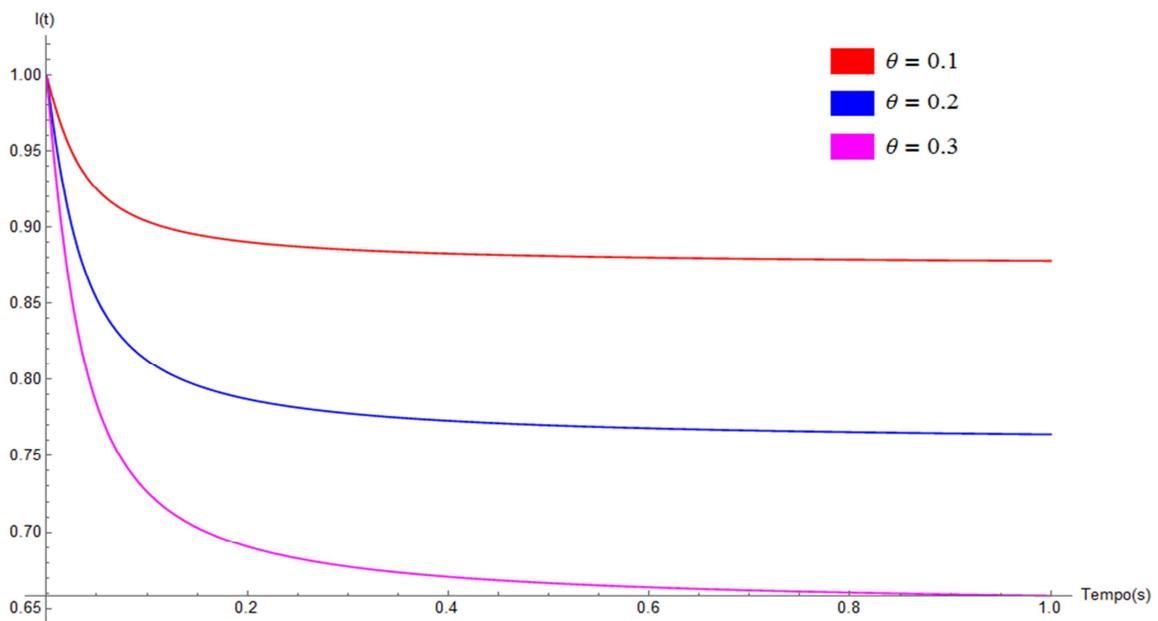


Figura II. Simulação do transiente do sinal da LT. O parâmetro θ varia para cada gráfico.

Como se pode notar pela figura II, a variação do parâmetro θ causa uma diferente variação na amplitude do transiente de cada simulação.

CONCLUSÕES

Diante exposto, é possível concluir que o objetivo de estudar os diferentes modelos teóricos da ELT, bem como simular numericamente seus efeitos, foi cumprido com êxito. Além disso, os resultados das simulações apontam que o modelo apresentado da ELT, explica de maneira satisfatória o fenômeno térmico observado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao CNPq e a Fundação Araucária pelo financiamento deste projeto.

REFERÊNCIAS

[1] J. W. Berrar, Investigação das Propriedades Ópticas, Térmicas e Fotoativas de Co- rantes DPP por meio da Espectroscopia de Lente Térmica Resolvida no Tempo. Dis- ertação de mestrado em física, Universidade Estadual de Maringá, 2022

[2] PEDREIRA P. R. B. Desenvolvimento de um Protótipo de Lente Térmica Resolvida no Tempo Para Estudos de Líquidos em Condições Transitórias em

32º Encontro Anual de Iniciação Científica
12º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



23 e 24 de Novembro de 2023

Tempo Real. Tese (Doutorado em Física). Programa de Pós Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá, 2005.