

Título em Português: Efeitos de abertura no sinal de Z-scan

Título em Inglês: Aperture effects on Z-scan signal

Autor: Lucius Borges de Souza

Instituição: Universidade de São Paulo

Unidade: Instituto de Física de São Carlos

Orientador: Tomaz Catunda

Área de Pesquisa /
SubÁrea: Física Atômica e Molecular

Agência Financiadora: FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Efeitos de abertura no sinal de Z-scan

Lucius Borges de Souza

Tomaz Catunda

Instituto de Física de São Carlos/ Universidade de São Paulo

luciusborges@usp.br

Objetivos

O objetivo desse trabalho é o estudo dos efeitos da abertura da íris do detector nas medidas de Varredura Z (Z-scan) na chamada configuração de fenda fechada. Essa configuração é extremamente sensível a variações de intensidade do feixe do laser por efeitos refrativos e absorptivos da amostra, sendo uma das principais técnicas para se medir o índice de refração não linear (n_2) de materiais.

Métodos e Procedimentos

Nesse trabalho, utilizamos as tradicionais configurações de Z-scan, fenda fechada ($0 < S < 1$) e fenda aberta ($S=1$). A técnica de Varredura Z consiste em estudar o comportamento no campo distante do feixe gaussiano de um laser ao passar pela amostra a ser estudada, correlacionando a variação de intensidade do campo em uma abertura no plano de observação (íris), com a variação de fase induzida pela incidência do laser ($\Delta\phi$). Normalizando o sinal do detector para cada posição da amostra pelo valor da intensidade sem o efeito não linear, obtemos as expressões demonstradas por Hermann e Wilson [2], onde $S = 1 - \exp(-2(r/w)^2)$ é o fator de abertura da íris:

$$T(S, x) = 1 + \frac{(1-S)^{\mu(x)} (\sin(\phi(S, x)) \Delta\phi_0 + \cos(\phi(S, x)) q_0) - q_0}{(1+x^2) S} \quad (1)$$

O primeiro modelo de Varredura Z apresentado por Sheik-Bahae[1] considerava uma abertura infinitesimal ($S=0$) e a maior parte dos trabalhos utilizavam a sua expressão teórica para ajustar os dados experimentais, juntamente com a sua expressão de correção para aberturas finitas dada pela equação:

$$\Delta T_{pv} = 0.406 \Delta\phi_0 (1-S)^{0.25} \quad (2)$$

Para obter resultados precisos por meio de ajustes das curvas experimentais, observamos a importância de usar o modelo de Hermann-Wilson em vez do modelo de Sheik-Bahae, uma vez que a forma das curvas obtidas pela Equação 1 mudam à medida que a abertura S aumenta.

Resultados

A Figura 1 demonstra os valores de ΔZ_{pv} e ΔT_{pv} em função do fator de abertura S para uma simulação computacional feita com a Eq. (1). As simulações demonstraram que as duas quantidades diminuem à medida que S aumenta, e mais importante, que $\Delta T_{pv}(S)$ apresenta um desvio com relação à expressão apresentada por Sheik-Bahae[1].

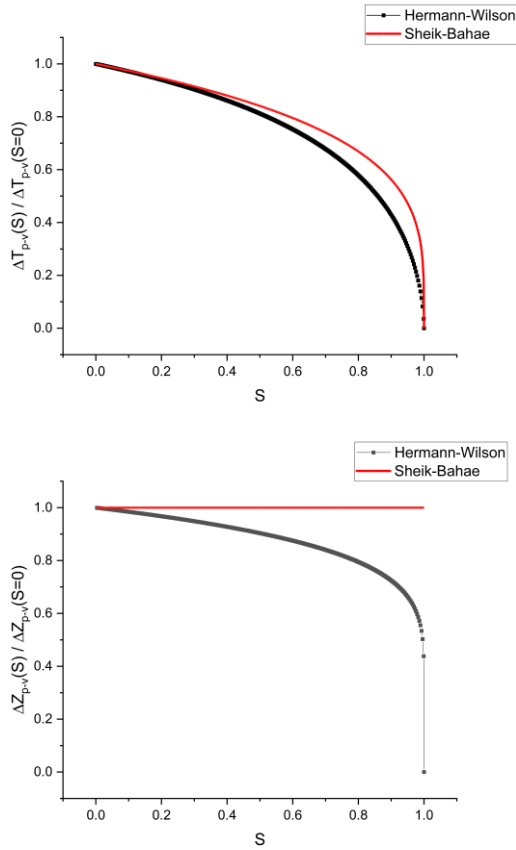


Figura 1: ΔZ_{pv} e ΔT_{pv} em função de S para os modelos de Hermann-Wilson e Sheik-Bahae.

Tendo em vista demonstrar a validade da Equação 1, uma medida de Z-scan foi feita utilizando como amostra um cristal de rubi. Os resultados das medidas estão representados na Figura 2 e o ajuste dos dados foram feitas com a Equação 1.

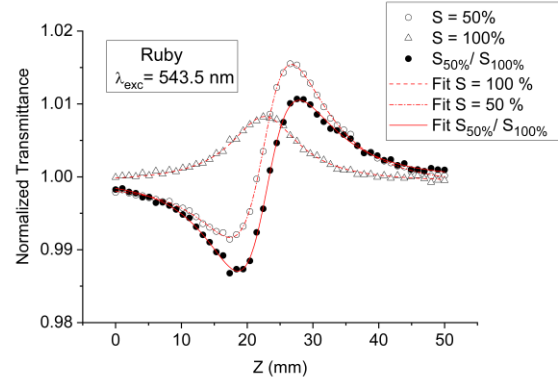


Figura 2: ΔZ_{pv} e ΔT_{pv} em função de S para os modelos de Hermann-Wilson e Sheik-Bahae.

O ajuste dos dados experimentais produziu $n_2' = (3.74 \pm 0.43) 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{W}$ e $n_2'' = (-4.82 \pm 0.42) 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$.

Conclusões

Demonstramos teoricamente e experimentalmente que é possível realizar medições precisas da contribuição da dispersão não linear, mesmo para grandes aberturas da fenda de detecção, na técnica de Z-scan. Para obter resultados precisos por meio de ajustes das curvas experimentais, verificamos a importância de usar o modelo de Hermann-Wilson em vez do de Sheik-Bahae, e assim conseguimos obter valores mais precisos de n_2 para o rubi.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Processo 2023/16133-1

Referências

- [1] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. . Wei, D. J. Hagan, E. W. V. Stryland, Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam, IEEE Journal of Quantum Electronics 26 (4) (1990) 760–769. doi:10.1109/3.53394.
- [2] J. A. HERMANN, P. WILSON, Factors affecting optical limiting and scanning with thin

nonlinear samples, Journal of Non- linear Optical Physics & Materials 02 (04) (1993) 613–629. doi:10.1142/S021819919300036X.

[3] P. B. Chapple, J. Staromlynska, J. A. Hermann, T. J. Mckay, R. G. Mcduff, Single-beam z-scan: Measurement techniques and analysis, Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials 06 (03) (1997) 251–293. doi:10.1142/S0218863597000204.

Aperture Effects on Z-scan Signal

Lucius Borges de Souza

Tomaz Catunda

Institute of Physics of São Carlos / University of São Paulo

luciusborges@usp.br

Objectives

The objective of this work is to study the effects of the detector iris aperture on Z-scan measurements in the so-called closed-aperture configuration. This configuration is extremely sensitive to variations in the laser beam intensity due to the refractive and absorptive effects of the sample, being one of the main techniques for measuring the nonlinear refractive index (n_2) of materials.

Materials and Methods

In this work, we used the traditional Z-scan closed-aperture configurations ($0 < S < 1$) and open-aperture ($S = 1$). The Z-scan technique consists of studying the far-field behavior of the Gaussian laser beam as it passes through the sample under study, correlating the field intensity variation at an aperture in the observation plane (iris) with the phase variation induced by laser incidence ($\Delta\phi$). By normalizing the detector signal for each sample position by the intensity value without the nonlinear effect, we obtain the expressions demonstrated by Hermann and Wilson [2], where $S = 1 - \exp(-2(r/w)^2)$ is the aperture factor of the

iris:

$$T(S, x) = 1 + \frac{(1-S)^{\mu(x)} (\sin(\varphi(S, x)) \Delta\phi_0 + \cos(\varphi(S, x)) q_0) - q_0}{(1+x^2)^2 S} \quad (1)$$

The first Z-scan model presented by Sheik-Bahae [1] considered an infinitesimal aperture ($S=0$), and most papers used his theoretical expression to fit experimental data along with his correction expression for finite apertures given by the equation:

$$\Delta T_{pv} = 0.406 \Delta\phi_0 (1-S)^{0.25} \quad (2)$$

To obtain accurate results through the fitting of experimental curves, we observed the importance of using the Hermann-Wilson model instead of the Sheik-Bahae model, as the shape of the curves obtained by Equation 1 changes as the aperture S increases.

Results

Figure 1 shows the values of ΔZ_{pv} and ΔT_{pv} as a function of the aperture factor S for a computational simulation done with Eq. (1). The simulations showed that both quantities decrease as S increases, and more importantly, that $\Delta T_{pv}(S)$ deviates from the expression presented by Sheik-Bahae

[1].

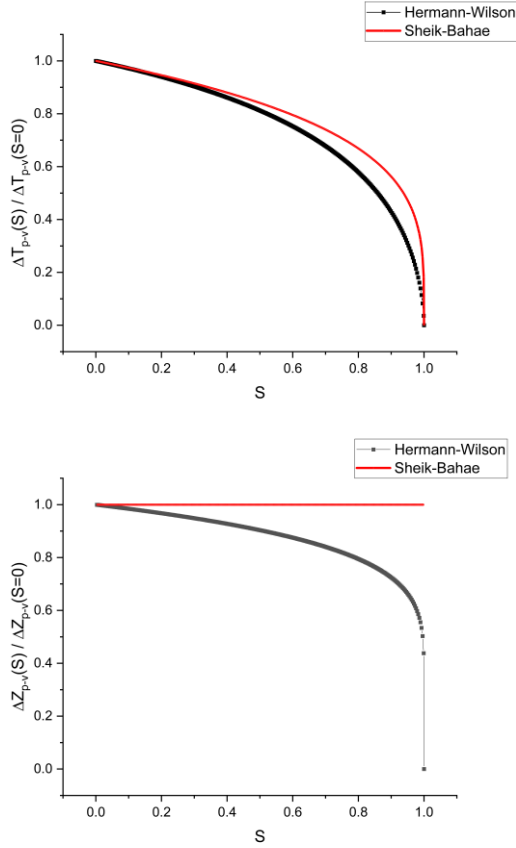


Figure 1: ΔZ_{pv} and ΔT_{pv} as a function of S for the Hermann-Wilson and Sheik-Bahae models.

To demonstrate the validity of Equation 1, a Z-scan measurement was made using as the sample a ruby crystal. The results are shown in Figure 2, and the data fitting was done using Equation 1.

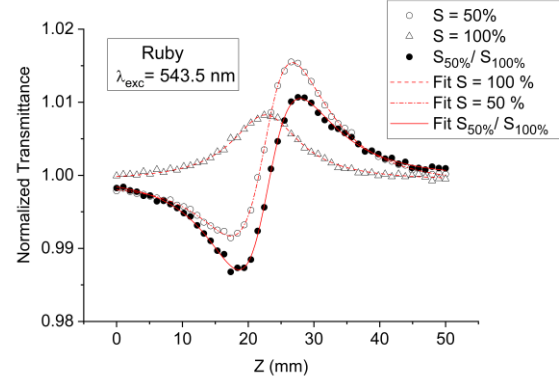


Figure 2: ΔZ_{pv} and ΔT_{pv} as a function of S for the Hermann-Wilson and Sheik-Bahae models.

The fitting of the experimental data produced $n_2' = (3.74 \pm 0.43) \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{W}$ and $n_2'' = (-4.82 \pm 0.42) \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$.

Conclusions

We theoretically and experimentally demonstrated that it is possible to perform precise measurements of the nonlinear dispersion contribution even for large apertures of the detection slot in the Z-scan technique. To obtain precise results through curve fitting, we verified the importance of using the Hermann-Wilson model instead of the Sheik-Bahae model, thus allowing us to obtain more accurate values of n_2 for ruby.

Acknowledgements

This work was supported by the São Paulo Research Foundation (FAPESP). Grant 2023/16133-1.

References

- [1] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. Wei, D. J. Hagan, E. W. V. Stryland, 'Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam', IEEE Journal of Quantum Electronics, 26 (4) (1990), 760–769. doi:10.1109/3.53394.
- [2] J. A. Hermann, P. Wilson, 'Factors affecting optical limiting and scanning with thin nonlinear

samples', *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, 02 (04) (1993), 613–629. doi:10.1142/S021819919300036X.

[3] P. B. Chapple, J. Staromlynska, J. A. Hermann, T. J. McKay, R. G. McDuff, 'Single-beam Z-scan: Measurement techniques and analysis', *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials*, 06 (03) (1997), 251–293. doi:10.1142/S0218863597000204.