

## تعیین ضریب عبور بهنجار شده محیط کر با روش $Z$ در بچه بسته

عاطفه صابری، علیرضا کشاورز و محسن حاتمی

فارس، شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک

چکیده - روش روبش  $Z$  یکی از روش‌های متداول برای بدست آوردن ضرایب غیرخطی نوری مواد است. در محیط‌های غیرخطی به دلیل تغییر رفتار نور در ماده، قطبش دی‌الکتریک به طور غیرخطی به میدان الکتریکی پاسخ می‌دهد و برخی خواص مانند ضریب شکست و ضریب جذب تغییر می‌کند. در این مقاله روش روبش  $Z$  برای محیط غیرخطی کر بر اساس روش ماتریس  $ABCD$  شبیه‌سازی می‌شود. با استفاده از فرمول کالینز میدان قبل از روزنه به صورت عددی محاسبه می‌شود و پس از انتگرال‌گیری و بهنجارسازی، میدان عبوری از در بچه بسته برای ضریب شکست غیرخطی مثبت و منفی بدست آورده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش ماتریسی روشی مناسب برای شبیه‌سازی روش روبش  $Z$  می‌باشد و به خوبی رفتارهای غیرخطی را پیرامون کانون عدسی برای ضرایب شکست مثبت و منفی نشان می‌دهد.

کلید واژه - روش روبش  $Z$ ، ضریب شکست غیرخطی، محیط کر، ماتریس  $ABCD$ ، فرمول کالینز.

## Determination the normalized transmittance of Kerr media by Z-scan method of close aperture

Atefeh Saberi, Alireza Keshavarz and Mohsen Hatami

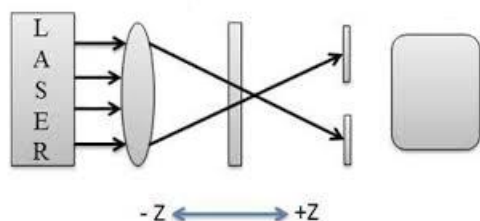
Iran, Fars, Shiraz, Shiraz University of Technology, Department of Physics

Abstract- The Z-scan method is one of the common methods for obtaining nonlinear optical coefficients of materials. In Nonlinear media due to the change in the behavior of light in the matter the response of dielectric polarization to the electric field is nonlinear and some properties like coefficients of refraction and absorption will be changed. In this paper the Z-scan method for the nonlinear Kerr media is applied based on the ABCD matrix method. By using the Collins formula the field before the aperture is calculated numerically and after integration and normalization the normalized transmittance of close aperture for positive and negative nonlinear refractive index are obtained. Results show that the ABCD matrix method is a suitable method for determine the nonlinear behavior around the focal point for positive and negative nonlinear refractive index.

Keywords: Z-scan, Nonlinear refraction, Kerr media, ABCD matrix, Collins formula.

## ۱- مقدمه

برای بدست آوردن ماتریس کلی محیط باید چهار ماتریس که به ترتیب مربوط به عدسی اول، فضای آزاد، نمونه و فضای آزاد است را در هم ضرب کرده تا ماتریس کلی محیط بین پرتو لیزر ورودی و دریچه بدست آورده شود.



شکل ۲: ترتیب محیطها در چیدمان روبش z.

زمانی که نمونه در محدوده‌ی کانون عدسی ( $z=0$ ) قرار می‌گیرد، پدیده‌ی غیرخطی اتفاق می‌افتد. اگر ضریب شکست غیرخطی مقداری مثبت باشد نمونه مانند یک عدسی مثبت رفتار خواهد کرد و پرتوهایی که به آن تابیده می‌شود را همگرا و جمع می‌کند. همچنین اگر ضریب شکست غیرخطی مقداری منفی داشته باشد محیط تبدیل به یک عدسی منفی خواهد شد که پرتوهای تابیده شده به آن را واگرا می‌سازد. برای بدست آوردن ماتریس محیط نمونه به سراغ ماتریس محیطهای کر عدسی گونه می‌رویم. اگر شدت نور لیزر به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$I(r,z) = I_0 \left[ \frac{\omega}{\omega_0} \right]^2 \exp \left[ \frac{-2r^2}{\omega^2(z)} \right] \quad (1)$$

با استفاده از تقریب سهمی وار معادله‌ی (۱) به معادله‌ی زیر تبدیل می‌شود:

$$I(r,z) = I_0 \left[ \frac{\omega}{\omega_0} \right]^2 \left[ 1 - \frac{2r^2}{\omega^2(z)} \right] \quad (2)$$

با قرار دادن رابطه‌ی (۲) در رابطه‌ی کر و در نظر گرفتن  $I_0 = \frac{2P}{\pi\omega_0^2}$  ضریب شکست به صورت زیر خواهد بود:

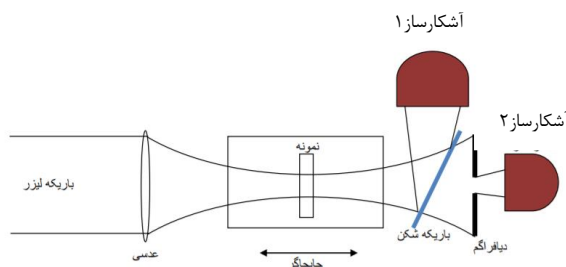
$$n = n_0 + n_2 I = n_0 + \frac{2n_2 P}{\pi\omega^2(z)} - \frac{4Pr^2}{\pi\omega^4(z)} \quad (3)$$

طبق مرجع [۷۰] محیطهایی که دارای ضریب شکست به

وابستگی ضریب شکست محیط به شدت نور تابشی را می‌توان با مشاهده‌ی بازشدن یا بسته‌شدن باریکه نور تابشی به محیط پس از خروج از آن استنباط کرد. بنابراین از دیدگاه اپتیک هندسی میتوان با قرار دادن روزنه‌ای در فاصله‌ی دور، تغییر میزان نور عبوری از میان آن ناشی از اثر خودکانونی یا خودواکانونی ماده تحت تابش را اندازه‌گیری نمود. این ایده نخستین بار توسط شیخ بهایی و همکاران به عنوان روش روبش z روزنه‌ی بسته به کار گرفته شد [۲۰]. از روش روبش z به عنوان یک روش معمول و استاندارد برای اندازه‌گیری ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی استفاده می‌شود [۲۱ و ۳]. در این مقاله با استفاده از روش ماتریس ABCD، بعد از بدست آوردن ماتریس کلی محیط، از طریق انتگرال کالینز میدان را روی روزنه بدست آورده و پس از بهنجارسازی، میدان عبوری روبش z برای ضریب شکست‌های مثبت و منفی بررسی می‌گردد.

## ۲- مبانی نظری

در اندازه‌گیری‌های روبش z نمونه به صورت طولی پیرامون صفحه‌ی کانونی پرتوی گاوسی روبش می‌شود.



شکل ۱: چیدمان تجربی روبش z.

به واسطه‌ی غیرخطی بودن، تغییر توزیع شدت ورودی یک تغییر در ضریب شکست و ضریب جذب ماده‌ای که تحت تأثیر پرتوی انتشاری قرار گرفته است، بوجود می‌آورد. در نتیجه توزیع شدت در صفحه‌ی پشت نمونه همراه با مکان نمونه تغییر می‌کند [۴]. تحلیل شدت بر حسب مکان نمونه منحنی روبش z قسمت حقیقی و موهومی پذیرفتاری مرتبه سوم را می‌دهد. از دو روش آشکارساز بسته برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی و آشکارساز باز برای اندازه‌گیری ضریب جذب غیرخطی استفاده می‌شود [۵]. مطابق شکل ۲

فرم رابطه‌ی زیر هستند: مطابق با شکل ۳ ماتریس کلی محیط به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & y \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \gamma d & \frac{\sin \gamma d}{n'_0 \gamma} \\ -n'_0 \gamma \sin \gamma d & \cos \gamma d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & x \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

با قرار دادن ماتریس کلی در فرمول کالینز میدان دقیق قبل از روزنه بدست می‌آید. مقدار گذردهی بهنجار شده برای دریچه‌ی بسته به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P_a = \int_0^a E(x,z) \times 2\pi x dx \quad (10)$$

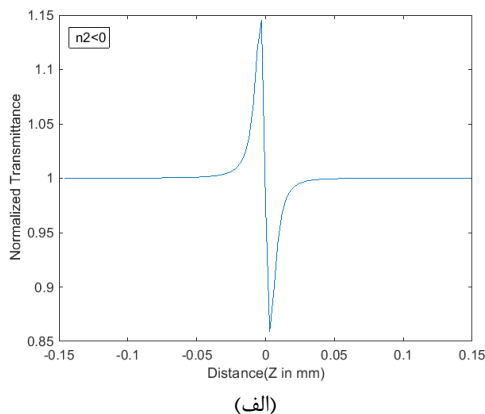
$$P_t = \int_0^{r_2(z)} E(x,z) \times 2\pi x dx \quad (11)$$

$$T(z) = \frac{P_a}{P_t} \quad (12)$$

T(z) مقدار گذردهی بهنجار شده بر حسب موقعیت نمونه است.

### ۳- شبیه‌سازی

با رسم T و I<sub>2</sub> بر حسب Z می‌توان رفتار سیستم را به ازای ضریب شکست غیرخطی مثبت و منفی مشاهده و تأثیر آنها را بر رفتار غیرخطی بررسی کرد.



$$n = n_0 - \frac{1}{2} n_2 r^2 \quad (4)$$

محیط‌های عدسی‌گونه هستند که ماتریس آنها به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma d & \frac{\sin \gamma d}{n_0 \gamma} \\ -n_0 \gamma \sin \gamma d & \cos \gamma d \end{bmatrix} \quad (5)$$

γ به صورت  $\gamma^2 = \frac{n_2}{n_0}$  تعریف می‌شود و d ضخامت نمونه است. با مقایسه‌ی رابطه‌ی (۳) و (۴) خواهیم داشت:

$$n = n'_0 - \frac{1}{2} n'_2 r^2 \quad (6)$$

که  $n'_0$  و  $n'_2$  به صورت عبارت‌های زیر هستند:

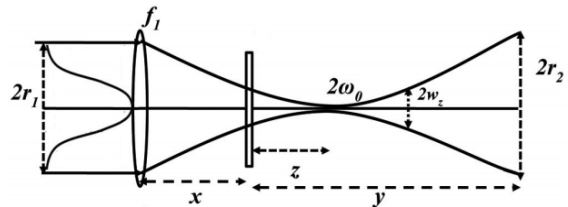
$$n'_0 = n_0 + \frac{2n_2 P}{\pi \omega(z)^2}$$

$$n'_2 = \frac{8n_2 P}{\pi \omega(z)^4} \quad (7)$$

برای بدست آوردن نمودارهای گذردهی در ابتدا باید میدان قبل از دریچه بدست آورده شود. با داشتن ماتریس محیط و انتگرال کالینز میتوان میدان را بعد از عبور از محیط ABCD بدست آورد. میدان پرتو گاوسی بعد از عبور از محیط ABCD از فرمول کالینز تبعیت می‌کند [۸]:

$$E_1(x,z) = \sqrt{\frac{i}{\lambda B}} \int_{-\infty}^{\infty} E_0(x_0,0) \exp \left[ -\frac{ik}{2B} (Ax_0^2 - 2xx_0 + Dx^2) \right] dx_0 \quad (8)$$

ماتریس ABCD مربوط به محیط بین پرتو لیزر تا دریچه می‌باشد که مطابق با شکل ۳ شامل چهار محیط است.



شکل ۳: شکل کمر پرتو گاوسی در روش روبش Z برای سیستم ABCD.

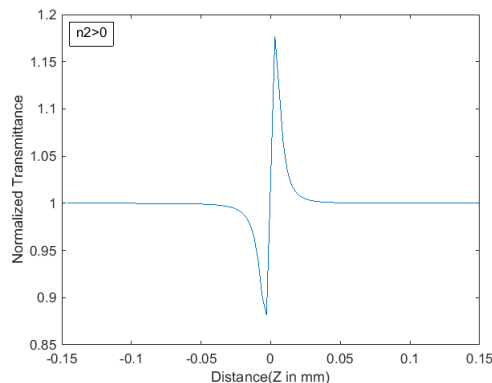
شکل ۵: نمودار تغییرات شعاع پرتو روی دریچه بر حسب فاصله، الف: برای ضریب شکست غیرخطی منفی، ب: برای ضریب شکست غیرخطی مثبت.

#### ۴- نتیجه گیری

روش روبش Z روشی مناسب و با دقت برای بررسی ضرایب غیرخطی نوری مواد است. طبق نمودارهای شکل های ۴ و ۵ در حالتی که ضریب شکست غیرخطی مقداری منفی باشد در نمودار گذردهی بهنجار شده ابتدا یک قله و سپس یک دره خواهیم داشت که برای تغییرات شعاع پرتو این حالت عکس است در واقع نمونه تبدیل به عدسی منفی خواهد شد که پرتوهای تابیده شده به آن را واگرا می کند. همچنین اگر ضریب شکست غیرخطی مقداری مثبت باشد نمودارها عکس حالت ضریب شکست منفی هستند و نمونه تبدیل به عدسی مثبتی خواهد شد که پرتوهای تابیده شده به آن را جمع می کند. در واقع اثر غیرخطی پیرامون کانون عدسی که شدت پرتو لیزر زیاد است اتفاق می افتد. روش های مختلفی برای شبیه سازی این روش توسط محققین ارائه شده است. روش ماتریس ABCD روشی مناسب و در عین حال نسبت به روش های پرداخته شده ساده تر است. در این روش با داشتن ماتریس هر نوع محیط شبیه سازی های انجام شده قابل تعمیم به محیط های مورد نظر نیز می باشد. همچنین نتایج حاصل از آن با روش شیخ بهایی در مرجع [۲] و نظریه های ارائه شده در مراجع [۴ و ۵] در تطابق است.

#### ۵- مراجع

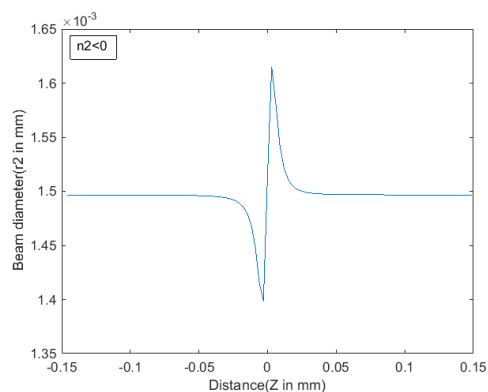
- [1] M. Sheik-Bahae, A. A. Said and E. W. Van Stryland, "High-sensitivity single-beam  $n_2$  measurements", Opt. Lett., Vol. 14, pp. 955-7, 1989.
- [2] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T. H. Wei, Y. Y. Wu, D. J. Hagan, M. J. Soileau, E. W. Van Stryland, "A simple and sensitive technique for nonlinear refraction measurements", Nonlinear Optical Properties of materials, vol. 1148, PP. 41-51, 1989.
- [3] W. Yingxue and M. Saffman, "Z-scan formula for two-level atoms", Optics Communication, Vol. 241, pp. 513-520, 2004.
- [4] L. Pálfalvi, B. C. Tóth, G. Almási, J. A. Fülöp and J. Hebling, "A general Z-scan theory", B. Appl. Phys., Vol. 97, No. 3, pp. 679-685, 2009.
- [5] A. Balbuena Ortega, M. L. Arroyo Carrasco, M. M. Méndez Otero, E. Reynoso Lara, E. V. García Ramírez and M. D. Iturbe Castillo, "Analytical expressions for z-scan with arbitrary phase change in thin nonlocal nonlinear media", Vol. 22, pp. 23, 2014.
- [6] A. Yariv, *QUANTUM ELECTRONICS*, P. 113-114, California institute of technology, 1987.
- [7] H. Kogelnik and T. Li, "laser beams and resonators", Applied Optics, Vol. 5, No. 10, 1986.
- [8] G. Zhao, X. Ji and B. Lu, "Approximate analytical propagation equations of Gaussian beams through hard-aperture optics", Optik, Vol. 114, No. 6, pp. 241-245, 2003.



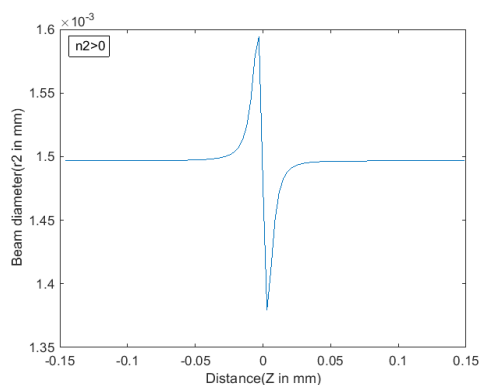
(ب)

شکل ۴: نمودار گذردهی بهنجار شده از دریچه ی بسته بر حسب فاصله، الف: برای ضریب شکست غیرخطی منفی، ب: برای ضریب شکست غیرخطی مثبت.

می توان در شکل ۵ تغییرات شعاع پرتو را نیز بر حسب فاصله روی دریچه برای ضریب شکست های مثبت و منفی مشاهده کرد.



(الف)



(ب)