تعیین ضریب عبور بهنجار شده محیط کر با روش روبشz دریچه بسته

عاطفه صابری ، علیرضا کشاورز و محسن حاتمی

فارس، شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک

چکیده - روش روبشz 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 ضریب‌شکست و ضریب‌جذب تغییر می‌کند. در این مقاله روش روبشz 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 دریچه‌ی بسته برای ضریب‌شکست غیرخطی مثبت و منفی بدست آورده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش ماتریسی روشی مناسب برای شبیه‌سازی روش روبشz می‌باشد و به خوبی رفتارهای غیرخطی را پیرامون کانون عدسی برای ضرایب‌شکست مثبت و منفی نشان می‌دهد.

کلید واژه- روش روبشZ، ضریب‌شکست غیرخطی، محیط کر، ماتریسABCD، 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.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

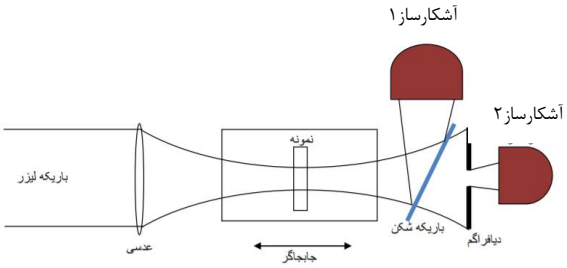
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

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 اثرخودکانونی یا خودواکانونی ماده تحت تابش را اندازه‌گیری نمود. این ایده نخستین بار توسط شیخ بهایی وهمکاران به عنوان روش روبش zروزنه‌ی بسته به کارگرفته شد[۱و۲]. از روش روبشz به عنوان یک روش معمول و استاندارد برای اندازه‌گیری ضریب‌شکست وضریب‌جذب غیرخطی استفاده می‌شود [۱و۲و۳]. در این مقاله با استفاده از روش ماتریسABCD، بعد از بدست آوردن ماتریس کلی محیط، از طریق انتگرال کالینز میدان را روی روزنه بدست آورده و پس از بهنجارسازی، میدان عبوری روبشz برای ضریب‌شکست‌های مثبت و منفی بررسی می‌گردد.

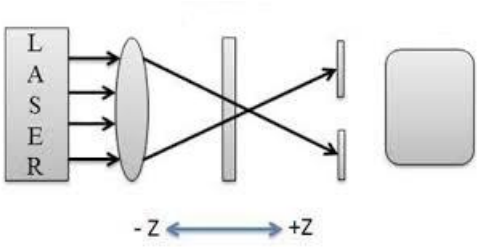
۲- مبانی نظری

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



شکل ۱: چیدمان تجربی روبشz.

به واسطه‌ی غیرخطی بودن، تغییر توزیع شدت ورودی یک تغییر در ضریب‌شکست و ضریب‌جذب ماده‌ای که تحت تأثیر پرتوی انتشاری قرار گرفته است، بوجود می‌آورد. درنتیجه توزیع شدت درصفحه‌ی پشت نمونه همراه با مکان نمونه تغییر می‌کند [۴]. تحلیل شدت بر حسب مکان نمونه منحنی روبشz قسمت حقیقی و موهومی پذیرفتاری مرتبه سوم را می‌دهد. از دو روش آشکارساز بسته برای اندازه‌گیری ضریب‌شکست غیرخطی و آشکارساز باز برای اندازه‌گیری ضریب‌جذب غیرخطی استفاده می‌شود [۵]. مطابق شکل۲ 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.



شکل۲: ترتیب محیط‌ها در چیدمان روبشz.

زمانی که نمونه در محدوده‌ی کانون عدسی (z=0) قرار می‌گیرد، پدیده‌ی غیرخطی اتفاق می‌افتد. اگر ضریب‌شکست 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 ضریب‌شکست 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:

$$I(r,z)=I_0\left[\frac{\omega}{\omega_0}\right]^2 \exp\left[\frac{-2r^2}{\omega^2(z)}\right] \qquad (۱)$$

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

$$I(r,z)=I_0\left[\frac{\omega}{\omega_0}\right]^2\left[1-\frac{2r^2}{\omega^2(z)}\right] \qquad (۲)$$

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

$$n=n_0+n_2I=n_0+\frac{2n_2P}{\pi\omega^2(z)}-\frac{4Pr^2}{\pi\omega^4(z)} \qquad (۳)$$

طبق مرجع [۶و۷] محیط‌هایی که دارای ضریب‌شکست به

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

فرم رابطه‌ی زیر هستند:

$$n=n_0-\frac{1}{2}n_2r^2 \quad (۴)$$

محیط‌های عدسی‌گونه هستند که ماتریس آنها به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \cos\gamma d & \frac{\sin\gamma d}{n_0\gamma} \\ -n_0\gamma\sin\gamma d & \cos\gamma d \end{bmatrix} \quad (۵)$$

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:

$$n=n_0'-\frac{1}{2}n_2'r^2 \quad (۶)$$

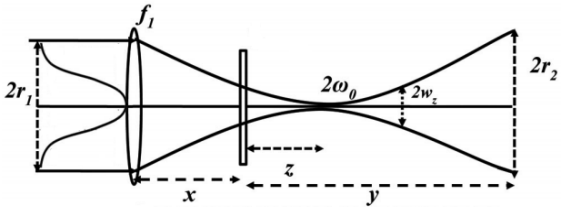
که n_0' و n_2' به صورت عبارت‌های زیر هستند:

$$n_0' = n_0 + \frac{2n_2P}{\pi\omega(z)^2}$$
$$n_2' = \frac{8n_2P}{\pi\omega(z)^4} \quad (۷)$$

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]:

$$E_1(x,z)=\sqrt{\frac{i}{\lambda B}}\int_{-\infty}^{\infty}E_0(x_0,0)\times\exp\left[-\frac{ik}{2B}(Ax_0^2-2xx_0+Dx^2)\right] \quad (۸)$$

ماتریس ABCD مربوط به محیط بین پرتو لیزر تا دریچه می‌باشد که مطابق با شکل۳ شامل چهار محیط است.



شکل۳: شکل کمر پرتو گاوسی در روش روبشz برای سیستم ABCD.

مطابق با شکل۳ ماتریس کلی محیط به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1 & y \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \cos\gamma d & \frac{\sin\gamma d}{n_0'\gamma} \\ -n_0'\gamma\sin\gamma d & \cos\gamma d \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & x \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (۹)$$

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:

$$P_a=\int_0^a E(x,z)\times 2\pi x dx \quad (۱۰)$$

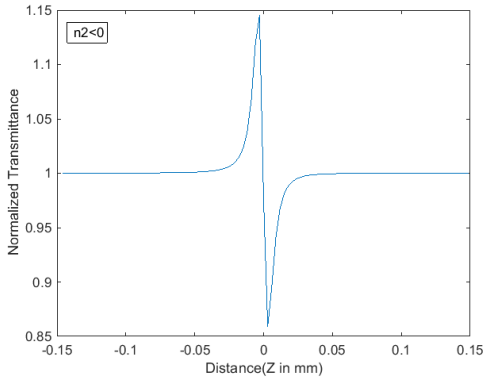
$$P_t=\int_0^{r_2(z)} E(x,z)\times 2\pi x dx \quad (۱۱)$$

$$T(z)=\frac{P_a}{P_t} \quad (۱۲)$$

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

۳- شبیه‌سازی

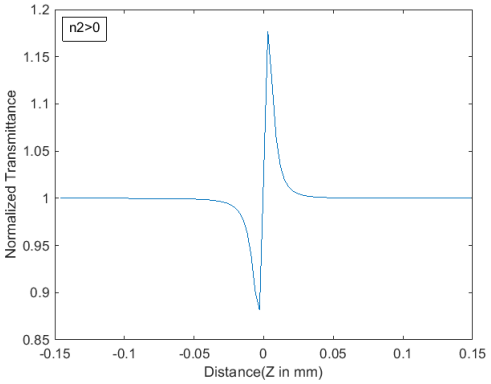
با رسم T و r_2 بر حسب z می‌توان رفتار سیستم را به ازای ضریب‌شکست غیرخطی مثبت و منفی مشاهده و تأثیر آنها را بر رفتار غیرخطی بررسی کرد.



(الف)

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

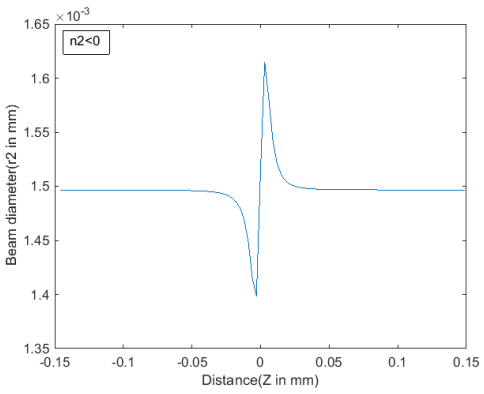
[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]



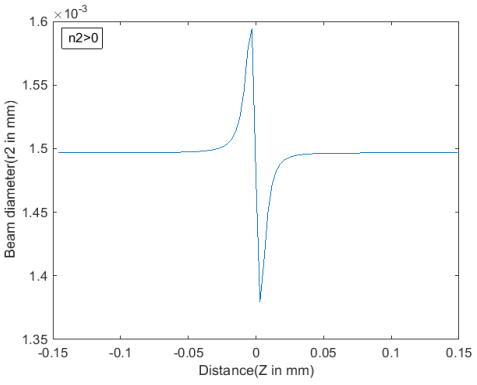
(ب)

شکل۴: نمودار گذردهی بهنجار شده از دریچه‌ی بسته بر حسب فاصله، الف: برای ضریب‌شکست غیرخطی منفی، ب: برای ضریب‌شکست غیرخطی مثبت.

می‌توان در شکل۵ تغییرات شعاع پرتو را نیز بر حسب فاصله روی دریچه برای ضریب‌شکست‌های مثبت و منفی مشاهده کرد.



(الف)



(ب)

شکل۵: نمودار تغییرات شعاع پرتو روی دریچه بر حسب فاصله، الف: برای ضریب‌شکست غیرخطی منفی، ب: برای ضریب‌شکست غیرخطی مثبت.

۴- نتیجه‌گیری

روش روبشz روشی مناسب و با دقت برای بررسی ضرایب غیرخطی نوری مواد است. طبق نمودارهای شکل‌های ۴ و ۵ در حالتی که ضریب‌شکست 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 می‌کند. همچنین اگر ضریب‌شکست غیرخطی مقداری مثبت باشد نمودارها عکس حالت ضریب‌شکست منفی هستند و نمونه تبدیل به عدسی مثبتی خواهد شد که پرتوهای تابیده شده به آن را جمع می‌کند. در واقع اثر غیرخطی پیرامون کانون عدسی که شدت پرتو لیزر زیاد است اتفاق می‌افتد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی این روش توسط محققین ارائه شده است. روش ماتریس ABCD روشی مناسب و در عین حال نسبت به روش‌های پرداخته شده ساده‌تر است. در این روش با داشتن ماتریس هر نوع محیط شبیه‌سازی‌های انجام شده قابل تعمیم به محیط‌های موردنظر نیز می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آن با روش شیخ بهایی در مرجع [۲] و نظریه‌های ارائه شده در مراجع [۴و۵] در تطابق است.

۵- مراجع

[1] M. Sheik-Bahae, A. A Said and E. W. Van Stryland, “High-sensitivity single-beam n2 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. Yarviv, *QUANTOM ELECTRONICS*, P. 113-114, California institute of technology, 1987.
[7] H. Kogeknik 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.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]