



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۲-۲۳۲۷-۱۰-A

اندازه‌گیری ضریب شکست اپتیکی غیرخطی نفت خام در حلال تولوئن

مریم افشار^۱، محمدعلی حداد^{۱،۲}، سمانه راجی^۲

^۱دانشکده فیزیک دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

^۲گروه پژوهشی فوتونیک، آزمایشگاه تحقیقاتی بیناب‌نگاری لیزری، دانشگاه یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، یزد، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

چکیده - مطالعه خواص اپتیکی و مشخصه‌یابی بینایی مواد پتروشیمی و فراورده‌های آن همواره مورد توجه بوده‌است. در این تحقیق ضریب شکست غیرخطی نمونه‌های نفت خام با استفاده از روش جاروب محوری روزنه بسته مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفته است. بدین منظور با توجه به جذب بسیار بالای ذاتی مایع نفت خام خالص، در طول موج ۵۳۲ نانومتر با بهره‌گیری از پرتو لیزر پیوسته نئودیم-یاگ، نمونه‌های محلول رقیق شده نفت خام با تولوئن به عنوان نمونه آزمایشگاهی انتخاب و مقدار ضریب شکست غیرخطی نمونه‌های یاد شده از مرتبه $10^{-12} \text{ cm}^2/\text{w}$ محاسبه گردید.

کلیدواژه - اپتیک غیرخطی، روش جاروب محوری، ضریب شکست غیرخطی، نفت خام

Measurement of nonlinear optical refractive index of crude oil in toluene solution

M. Afshar¹, M. A. Haddad^{1,2}, S. Raji

¹Department of Physics, Yazd University, Yazd, Iran, PO Box 741-89195.

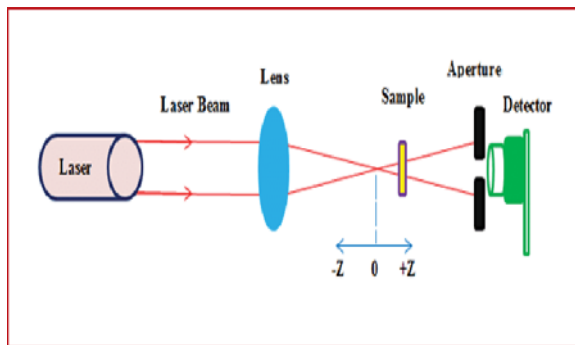
² Photonic Research Group, Laser Spectroscopy Research Laboratory, Yazd University, Yazd, Iran, PO Box 741-89195.

Abstract- The study of optical properties and spectral characterization of petrochemical materials and their products have always been considered. In this study, the nonlinear refractive index of crude oil samples has been experimentally studied using the Z-scan technique. For this purpose, due to the significant intrinsic spectral feature of pure crude oil at the visible spectral range, a diluted crude oil in toluene solution is prepared and used as an experimental sample. For the first time, it is measured that the nonlinear refractive index at 532 nm is in the order of $10^{-12} \text{ cm}^2/\text{w}$.

Keywords: Nonlinear optics, Nonlinear refractive index, Crude oil, Z-scan method

روش جاروب محوری روشی ساده و در عین حال حساس است که برای اندازه‌گیری خواص اپتیکی غیرخطی همچون ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی مواد مختلف کاربرد دارد. این روش اولین بار توسط شیخ بهایی و همکارانش در سال ۱۹۸۹ معرفی شد [۲-۴].

برای تعیین ضریب شکست غیرخطی مرتبه سوم از مدل جاروب محوری روزنه بسته استفاده می‌شود. چیدمان آزمایشگاهی جاروب محوری روزنه بسته در شکل ۱ نشان داده شده است [۲،۳].



شکل ۱: آرایه اپتیکی جاروب محوری روزنه بسته

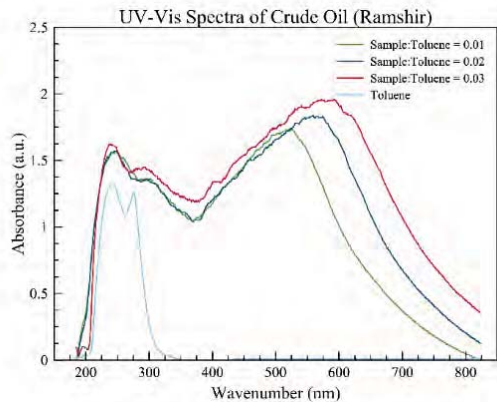
در این پژوهش پرتو لیزر توسط یک عدسی با فاصله کانونی مشخص (که در اینجا ۵ سانتی متر استفاده شده است) متمرکز می‌شود. جهت انتشار پرتو لیزر محور اپتیکی z است که نمونه در این راستا حول کانون لنز حرکت می‌کند. پرتو لیزر پس از عبور از روزنه وارد آشکارساز می‌شود و آشکارساز میزان عبور پرتو را ثبت می‌کند. وقتی نمونه در معرض نور لیزر قرار می‌گیرد و روی ریل متحرک شروع به حرکت می‌کند شدت پرتوی لیزر بر روی آشکارساز برحسب موقعیت نمونه نسبت به کانون تغییر می‌کند؛ علت این تغییر پاسخ غیرخطی محیط مادی ناشی از شدت میدان لیزر در ماده است. با اندازه‌گیری نمودار تغییرات شدت (تراکسیلندگی) بهنجار برحسب جابه‌جایی نمونه در راستای z اندازه و علامت ضریب شکست غیرخطی قابل محاسبه است.

مقدمه

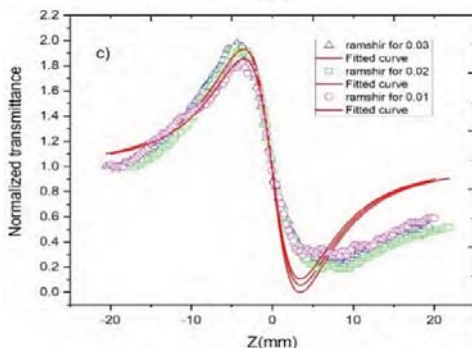
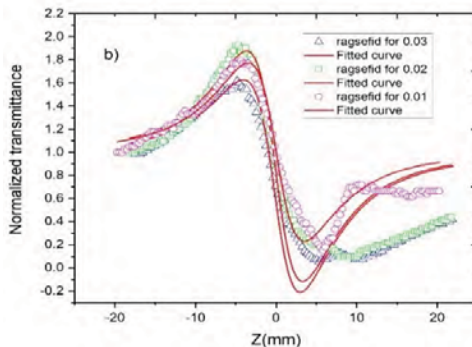
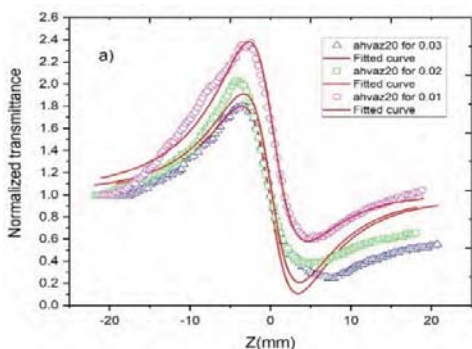
نفت خام، مایع پالایش نشده نفت است که با عنوان پترولیوم رنگ قهوه‌ای سوخته یا سبز تیره یا سیاه دارد که به صورت طبیعی در زیر زمین و به صورت استثنایی در روی زمین به صورت چشمه یافت می‌شود. نفت خام شامل ترکیبات متنوعی از جمله هیدروکربن‌های خطی، خوشه‌های مولکولی هیدروکربنی، مولکول‌های حلقوی آروماتیک و رسوبات آسفالتین است. مشخصه‌یابی اپتیکی و بینایی مشتقات نفت خام همواره مورد توجه بوده است. در این میان مطالعه رفتار غیرخطی نفت خام کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان مثال می‌توان تنها به گزارش مطالعه رفتار غیرخطی نفت خام با استفاده از پرتو لیزری ۹۰ میلی وات در طول موج ۶۶۰ نانومتر اشاره داشت [۱]. در این پژوهش در ادامه پروژه مشخصه‌یابی بینایی و فیزیکی نفت خام و رسوبات آسفالتین، خواص غیرخطی نفت خام استخراج شده از سه حوزه نفتی جنوب غرب کشور، برای نخستین بار رفتار غیر خطی محلول بسیار رقیق نفت خام و تولوئن در طول موج لیزری ۵۳۲ نانومتر با توان لیزری بسیار کمتر از ۱۰ میلی وات مورد مطالعه قرار گرفته شده است. نتایج عددی بدست آمده، حاکی از رفتار اپتیکی غیرخطی قابل توجه محلول نفت خام با تولوئن است.

روش تجربی

برای آماده سازی نمونه‌های آزمایشگاهی، ابتدا ۳ نمونه نفت خام از ۳ چاه مختلف در جنوب ایران (اهواز ۲۰- رگ سفید- رامشیر) تهیه شد. از آنجا که نمونه‌های نفت خام از جذب نوری بسیار بالایی در محدوده مرئی برخوردارند استفاده نمونه‌های نفتی خام خالص در مراحل آزمایشگاهی ممکن نبوده است. لذا برای انجام آزمایش، سه غلظت از محلول نفت خام و تولوئن تهیه شد.



شکل ۲: طیف UV-Vis نمونه چاه رامشیر در تولوئن



شکل ۳: نمودار تراگسیلندگیب هنجار روزنه بسته غلظت‌های مختلف نمونه های چاه نفت (a) اهواز ۲۰ (b) رگسفید (c) رامشیر با حلال تولوئن

مقدار ضریب شکست غیرخطی با استفاده از روابط زیر قابل اندازه‌گیری است [۴،۵]:

$$T \quad (1)$$

$$n \quad (2)$$

که $T(z)$ تراگسیلندگی عبوری بهنجار شده، $\Delta\varphi$ تغییر فاز ناشی از شکست غیرخطی و $x = \frac{z}{z_0}$ است که z_0 طول پراکندگی رایلی و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Z \quad (3)$$

که w_0 شعاع پرتو لیزر در کانون است.

بردار موج $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (طول موج لیزر است)، شدت پرتو لیزر درون کانون و $I_0 = \frac{2P_{in}}{\pi w_0^2}$ توان ورودی لیزر است.

L_{eff} طول مؤثر نمونه از رابطه زیر به دست می‌آید [۲]:

$$L \quad (4)$$

که کمیت α ضریب جذب خطی نمونه است [۲،۶]. به منظور انتخاب نوع لیزر و همچنین محاسبه ضریب جذب خطی، ابتدا بیناب UV-Vis از نمونه‌ها گرفته شد. به عنوان نمونه شکل ۲ منحنی بیناب جذبی نمونه نفت خام چاه رامشیر در حلال تولوئن را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود محلول نفت خام رامشیر دارای جذب قابل توجه‌ایی در محدوده ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است.

از این‌رو برای مطالعه ضریب شکست غیرخطی در این پژوهش از لیزر Nd:YAG پیوسته با طول موج ۵۳۲ نانومتر استفاده شده‌است.

مقایسه قرار گرفت. نشان داده شده است که با تغییر غلظت، ضریب شکست غیرخطی نیز تغییر می‌یابد. ضریب شکست غیرخطی هر سه چاه نفت بررسی شده از مرتبه 10^{-12} در چگالی تابشی تقریبی 280 W/cm^2 محاسبه شده است. همچنین وجود ترتیب قله-دره در نمودار متناظر با نمونه‌ها، حاکی از ضریب شکست غیرخطی منفی است که اثر خودواکانونی نمونه در پاسخ به میدان‌های پرشدت تابشی را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

با تشکر از شرکت نفت مناطق نفت‌خیز جنوب ایران و سرکار خانم ایزن که در تهیه این نمونه‌ها و انجام این پروژه ما را یاری نمودند.

مرجع‌ها

- [1] A. G. Rad, "Single Beam Z-Scan Measurement of Nonlinear Refractive Index of Crude Oils," *J. Mod. Phys.*, vol. 05, pp. 280-284, 2014.
- [2] E. W. Stryland and M. Sheik-bahae, "Z-Scan Measurements of Optical Nonlinearities," 2004.
- [3] M. Sheik-bahae, A. Said, and E. V. Van Stryland, "High-sensitivity, single-beam $n(2)$ measurements.," *Opt. Lett.*, vol. 14 17, pp. 955-957, 1989.
- [4] M. Sheik-bahae, A. Said, T.-H. Wei, D. Hagan, and E. W. Stryland, "Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam Special 30th Anniversary Feature," 1990.
- [5] K. Jamshidi-Ghaleh, S. Salmani, and M. Ara, "Nonlinear responses and optical limiting behavior of fast green FCF dye under a low power CW He-Ne laser irradiation," *Opt. Commun.*, vol. 271, pp. 551-554, 2007.
- [6] A. N. Dhinaa and P. Palanisamy, "Z-Scan technique: To measure the total protein and albumin in blood," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 03, pp. 285-290, 2010.

نتایج و بحث

برای محاسبه ضریب شکست غیرخطی نفت خام در غلظت‌های مختلف در حلال تولوئن، نمودار تراگسیلندگی بهنجار روزنه بسته برای هر نمونه ثبت شد. شکل ۳ نمودار تراگسیلندگی بهنجار روزنه بسته را برای نمونه‌های اهواز ۲۰ رگ سفید و رامشیر در چگالی انرژی تقریبی 280 W/cm^2 را نشان می‌دهد. با تحلیل داده‌های آزمایشگاهی مقادیر ضریب شکست غیرخطی نمونه‌ها در غلظت‌های مختلف تخمین زده شده است. جدول ۱ نتایج مربوط به غلظت‌های مختلف نفت چاه‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در هر نمونه با افزایش غلظت، ضریب شکست غیرخطی به صورت خطی افزایش می‌یابد.

جدول ۱: نتایج حاصل از غلظت‌های مختلف چاه‌های مختلف در

چگالی انرژی تقریبی 280 W/cm^2

| نوع چاه | غلظت | α (mm^{-1}) | L_{eff} (mm) | $-n_2 \times 10^{12} \text{ cm}^2/\text{w}$ |
|----------|------|----------------------------------|----------------|---|
| اهواز ۲۰ | ۰/۰۱ | ۰/۴۴(۲) | ۰/۸۱(۳) | ۱/۵۸(۵) |
| | ۰/۰۲ | ۰/۵۷(۳) | ۰/۷۶(۴) | ۱/۶۷(۶) |
| | ۰/۰۳ | ۰/۶۶(۵) | ۰/۷۴(۴) | ۱/۷۳(۴) |
| رگ سفید | ۰/۰۱ | ۰/۷۸(۴) | ۰/۷۰(۳) | ۱/۶۶(۴) |
| | ۰/۰۲ | ۱/۳۰(۴) | ۰/۵۷(۵) | ۲/۴۰(۵) |
| | ۰/۰۳ | ۱/۳۲(۲) | ۰/۵۵(۳) | ۲/۷۰(۵) |
| رامشیر | ۰/۰۱ | ۰/۶۲(۳) | ۰/۷۴(۳) | ۱/۷۶(۴) |
| | ۰/۰۲ | ۰/۹۵(۴) | ۰/۶۴(۴) | ۲/۲۵(۵) |
| | ۰/۰۳ | ۱/۰۳(۵) | ۰/۶۰(۳) | ۲/۲۶(۵) |

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا بیناب جذبی نمونه برای غلظت‌های مختلف از محلول ثبت شد. ضریب شکست غیرخطی مرتبه سوم نفت چاه‌های مختلف با غلظت‌های مختلف به روش جاروب محوری روزنه بسته و با استفاده از لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد بررسی و