



محاسبه ضرایب شکست، ضرایب جذب و پذیرفتاری مرتبه سوم در مخلوط بلورمایع نماتیک 5CB و نانوذرات ZnS

زهرا دهقانی^{۱*}، مرضیه ندافان^۲، عباس فرجی الموتی^۱

^۱گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه نیشابور، شهر نیشابور، استان خراسان رضوی

^۲گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی، تهران، استان تهران

چکیده: در این پژوهش، پذیرفتاری مرتبه سوم نانوذرات ZnS که در بلورمایع نماتیک 5CB آلابیده شده مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا نانوذرات ZnS به روش آب گرمایی تهیه شدند. سپس، این نانوذرات با درصد وزنی ۱ wt.% به بلورمایع نماتیک افزوده شد. پس از آن، برای محاسبه پذیرفتاری مرتبه سوم، ضرایب جذب خطی و غیرخطی و ضرایب شکست خطی و غیرخطی به دست آمد. منبع نور مورد استفاده در این پژوهش، لیزر پیوسته هلیوم نئون با طول موج ۶۳۲/۸ nm است. جهت گیری اولیه ملکول‌ها عمودی است. نتایج نشان می‌دهد که پدیده‌های غیرخطی خوداگرایی و جذب دو فوتونی در نمونه رخ داده است. با توجه به نتایج بدست آمده ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی بلور مایع نماتیک 5CB به همراه نانوذرات ZnS به ترتیب ۵ و ۳ برابر ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی بلور مایع نماتیک 5CB خالص است.

واژگان کلیدی: بلورمایع نماتیک، نانوذرات ZnS، ضریب جذب، ضریب شکست، خواص نوری غیرخطی، پذیرفتاری مرتبه سوم، روش روبش-Z.

zahra.dehghani@neyshabur.ac.ir

در سال‌های اخیر، افزودن انواع متفاوت نانومواد در بلورهای مایع به علت بهبود ویژگی الکتریکی، نوری و مکانیکی آنها به علم ماده چگال نرم، افزوده شده است. بسیاری از گروه‌ها گزارش داده‌اند که مقدار کمی از فلزات، غیرفلزات، نیم‌رساناها، اکسیدها، فروالکترونیک‌ها، نقاط کوانتومی، گرافن و غیره در بلورهای مایع منجر به بهبود قابل توجه در ویژگی الکترومغناطیسی، دی‌الکترونیک و نوری آنها شده است [۳، ۴].

نانومواد نیم‌رسانا دارای ویژگی‌های منحصر به فردی از قبیل گاف انرژی وابسته به اندازه و نسبت بالای سطح به حجم است که

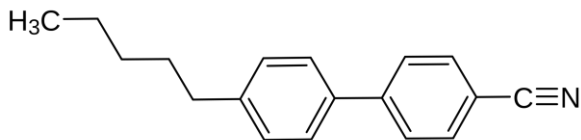
۱- مقدمه

بلورهای مایع، مواد آلی جذابی هستند که دارای ویژگی منحصر به فردی مانند ناهمسانگردی دی‌الکترونیک و روان بودن مثل مایع‌های معمولی هستند [۱]. فاز نماتیک بلورهای مایع با داشتن نظم جهتی (بلورهای تک‌محور) نیز در واقع در تمام کاربردهای LCD استفاده می‌شود. مزوفاز نماتیک نیز برای توسعه ابزار تشخیص و شناسایی مولکولی جدید مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

می‌شود بتوان آن را برای مطالعات پژوهشی مورد استفاده قرار داد [۱۷].

۲- بخش تجربی

برای ساخت نمونه کامپوزیتی: biphenyl 4-Cyano-4'-pentyl (به نام 5CB) خریداری شده از Merck آلمان به‌عنوان ماده میزبان مورد استفاده قرار گرفته است و نانوذرات ZnS تهیه شده به‌روش آب‌گرمایی که در مقاله پیشین [۱۸] سنتز شده، به‌عنوان میهمان استفاده می‌شود. مشخصه‌های نانوذرات تهیه شده، در منبع ۱۸ به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱ ساختار مولکولی بلورمایع 5CB را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ساختار شیمیایی بلورمایع 5CB

۲-۱- تهیه سلول‌های 5CB خالص و مخلوط 5CB و نانوذرات ZnS

برای تهیه نانوذرات ZnS از روش گرمایی استفاده شد که منجر به تشکیل نانوذراتی با سطوح یکنواخت و اندازه ۳۹ نانومتر حاصل شود. شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی این نانوذرات را نشان می‌دهد. برای تهیه ZnS آلاینده در بلورمایع نماتیک 5CB در ابتدا مقدار موردنیاز 5CB در ۰/۲ میلی لیتر کلروفرم با استفاده از التراسونیک حل شد. سپس، پودر نانوذرات ZnS تهیه شده با محلول 5CB مخلوط و التراسونیک شد تا اینکه یک ترکیب همگن از ZnS و 5CB به‌دست آمد. سلول‌های مورد استفاده در این پژوهش از شیشه‌های نوری به ضخامت حدود ۱ میلی‌متر و ابعاد ۱cm × ۱cm ساخته شدند. در پژوهش‌های الکترونوری از یک لایه‌نازک ITO به‌عنوان الکتروود شفاف استفاده می‌شود. ماده ITO یک نیم‌رسانا از نوع منفی است که به‌علت قرار گرفتن تراز فرمی آن در نوار هدایت، دارای الکترون‌های آزاد زیادی در این نوار است و باوجود شفافیت خوب در مقابل نور مرئی مقاومت ویژه پایینی دارد. جهت‌دهی عمودی نیز از طریق پوشاندن یک لایه‌نازک از لیستین بر سطح سلول

آنها را در پژوهش‌های علمی و فنی جالب می‌کند. نانوبلورهای نیم‌رسانا، که به‌عنوان نقاط کوانتومی شناخته می‌شوند، نانومواد هوشمندی هستند که در سال‌های اخیر به‌عنوان آلاینده در بلورهای مایع میزبان مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۵]. در میان این نیم‌رساناها، ZnS، یکی از بهترین نیم‌رساناهای مستقیم گروه II-VI است که به‌دلیل کاربرد وسیع آن در حسگرهای گاز، حسگرهای شیمیایی و فوتوکاتالیست‌ها برای واکنش شیمیایی، مورد توجه بسیار قرار گرفته است [۶]. ترکیب نانوذره ZnS و بلور مایع می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی نانوذره ZnS مفید واقع شود. ری و همکارانش رفتار فوتولومینسانس نانوذره‌ها را پس از ترکیب با بلورهای مایع ارتقا دهند [۷].

مواد جدید با ویژگی نوری غیرخطی به‌دلیل کاربرد بالقوه آنها در ساخت دستگاه‌های فوتونیک تمام نوری و روش‌های پردازش اطلاعات نوری مانند انتقال سریع داده، تبدیل فرکانس نوری، مدولاسیون الکترونوری، هولوگرافی پویا، فناوری لیزر، مخابرات، و غیره مورد درخواست زیاد قرار گرفته شده است [۸، ۹]. برای اندازه‌گیری پارامترهای غیرخطی مواد، چندین روش از جمله روش روبش-Z، تقارن چهار موج، چرخش بیضوی، اعوجاج پرتو پیشنهاد شده است [۱۰]. ضرایب غیرخطی مانند ضریب شکست غیرخطی (n_2)، ضریب جذب غیرخطی (β) و پذیرفتاری مرتبه سوم ($\chi^{(3)}$) با روش روبش-Z به‌دست می‌آید. روش روبش-Z که براساس اعوجاج فضایی پرتو لیزری که از مواد نوری غیرخطی عبور می‌کند، به‌دلیل سادگی آن، نشان دادن هم‌زمان علامت و مقدار ضرایب غیرخطی و حساسیت بالا به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود [۱۱-۱۳]. این روش شامل دو چیدمان است: دریچه بسته برای یافتن n_2 و دریچه باز برای یافتن β [۱۰].

گزارش‌های پیشین ما در مورد بهبود پاسخ‌های غیرخطی بلورمایع نماتیک E7 در حضور نانوذرات Fe_3O_4 و TiO_2 و بلور مایع نماتیک E5CN7 در حضور گرافن اکسید ذکر شده است [۱۴-۱۶]. در این مقاله، اثر نانوذرات ZnS در بلورمایع نماتیک 5CB با جهت‌گیری اولیه مولکول‌ها به‌صورت عمودی، به‌کمک روش محدودکنندگی نوری و روش روبش-Z گزارش شده است. 5CB یک بلورمایع نماتیک در دمای اتاق است و دارای ناهمسانگردی دی‌الکتریکی مثبت بالایی در مزوفاز نماتیک است که باعث

با انجام آزمایش دریچه بسته ($S = 0.34$) می‌توان به کمک روابط زیر n_2 را یافت :

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta \Phi_0| \quad (4)$$

$$|\Delta \Phi_0| = (2\pi / \lambda) n_2 I_0 L_{eff} \quad (5)$$

که در این روابط

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha \quad (6)$$

$$I_0 = 2P_{in} / \pi \omega_0^2 \quad (7)$$

به ترتیب طول موثر نمونه و شدت نور فرودی هستند. α ضریب جذب خطی است که از روش محدودکنندگی نوری به دست می‌آید. P_{in} توان نور فرودی است که در این کار ۱۰ میلی‌وات است. ω_0 شعاع پرتو در نقطه کانون است که به کمک روش روبش لبه ۴۴ میکرومتر به دست آمده است.

با انجام روبش-Z با دریچه باز ($S=1$) و با فیت کردن داده‌های تجربی با فرمول‌های زیر ضریب جذب غیرخطی β می‌تواند به دست آید [۱۰]:

$$T_{norm}(z) = Ln(1 + q_0(z, t)) / q_0(z, t) \quad (8)$$

$$q_0(z, t) = \beta I_0 L_{eff} / (1 + z^2 / z_0^2) \quad (9)$$

$$z_0 = k\omega_0^2 / 2 \quad (10)$$

طول ریلی Z_0 ، حدود ۹٫۶ میلی‌متر است. بنابراین، ضخامت نمونه که ۱۲ میکرومتر است کمتر از طول ریلی ($L < Z_0$) است. بنابراین تقریب نمونه نازک معتبر است [۲۱].

در انجام آزمایشات روش روبش-Z نور لیزری که استفاده می‌شود باید گوسین باشد و دارای مد TEM_{00} که میدان الکتریکی آن از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۲]:

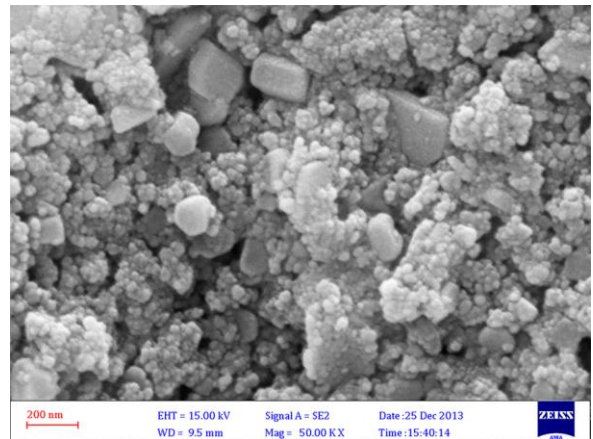
$$E(z, r, t) = E_0(t) \frac{\omega_0}{\omega(z)} e^{-\frac{r^2}{\omega^2(z)}} \frac{ikr^2}{2R(z)} e^{-i\varphi(z, t)} \quad (11)$$

که در آن:

$$\omega^2(z) = \omega_0^2(z) \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right) \quad (12)$$

$$R(z) = z \left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right) \quad (13)$$

انجام می‌شود. در این حالت راستای مولکول‌های بلورماید عمود بر دیواره سلول قرار خواهد گرفت. نظم مولکول‌های نزدیک سطح از طریق نیروهای بلندبرد مولکولی به مولکول‌های مجاور خود منتقل شده و آنها را نیز در راستای خود قرار خواهند داد [۱۴، ۱۵]. سلول‌های اندازه‌گیری از دو قطعه شیشه‌ای جدا شده با ورق‌های Mylar با ضخامت ۱۲ میکرومتر تشکیل شده است. درصد نانوذرات ZnS در سیستم مهمان-میزبان ۱٪ وزنی بود. در نهایت، مخلوط بالا و 5CB خالص با کمک پدیده موینگی به سلول‌های آماده شده در دمای ایزوتروپیک بلورماید نماتیک تزریق شد [۳، ۱۹ و ۲۰]. پس از تهیه نمونه‌ها، اندازه‌گیری پاسخ‌های غیرخطی مرتبه سوم با استفاده از روش روبش-Z انجام شد.



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرات ZnS

۲-۲- تئوری روش روبش-Z

پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم کمیته مختلط به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۱۰]:

$$\chi^{(3)} = \chi_R^{(3)} + \chi_I^{(3)} \quad (1)$$

که قسمت موهومی با ضریب جذب غیرخطی (β)، به صورت زیر مرتبط است:

$$\text{Im}(\gamma^{(3)})(esu) = 10^{-2} \epsilon_0 c^2 n^2 \lambda \beta (cm/W) / 4\pi^2 \quad (2)$$

و قسمت حقیقی با n_2 به صورت زیر مرتبط است:

$$\text{Re}(\gamma^{(3)})(esu) = 10^{-4} \epsilon_0 c^2 n^2 n_0 (cm^2/W) / \pi \quad (3)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پاسخ‌های نوری غیرخطی 5CB خالص و ZnS در 5CB

نانوذره های ZnS دارای حرکت براونی در داخل بلورمایع نماتیک هستند و ذره‌ها به‌طور تصادفی در سراسر میزبان پراکنده می‌شوند. حرکت براونی می‌تواند نانوذره های ZnS را تحت جاذبه قرار دهد. فاز نماتیک منظم شده به‌طور ناگهانی حرکت براونی را با جذب وان‌دروالس بین مولفه‌های بلورمایع نماتیک و نانوذرات ZnS کاهش می‌دهد. در بلورهای مایع آلائیده، به‌ویژه آلائیده به رنگدانه، تغییرهای بالای ضرایب غیرخطی به‌علت اثر جانوسی است [۲۳-۲۵]. جانوسی مدلس را بر اساس دو فرضیه پیشنهاد کرد: اول، جذب نور باعث تولید جمعیت ناهمسانگردی از مولکول‌های آلائیده برانگیخته الکتریکی می‌شود. دوم، مولکول‌های ناخالصی آلائیده حالت برانگیخته و پایه برهمکنش-های جهتی بین ملکولی متفاوتی با ملکول‌های میزبان دارند.

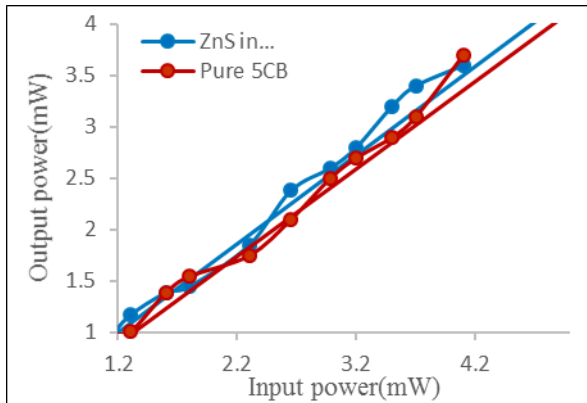
در پژوهش اخیر، رفتار نانوذره‌های ZnS در بلور مایع نماتیک بررسی شده بود ولی بهبود بخشیدن به ویژگی نوری غیرخطی بلور مایع نماتیک مورد بررسی قرار نگرفته بود [۲۶]. بدین منظور نیاز بود که روش روبش Z برای بلور مایع نماتیک خالص انجام شود تا ویژگی احتمالی اپتیک غیرخطی بلور مایع ثبت شود. با نتایج‌های بدست آمده بهبود یا عدم بهبود در ویژگی‌های نوری غیرخطی بلور مایع موردنظر قابل ارائه است. نمودار شکل ۳ مربوط به محدودکنندگی نوری بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذرات ZnS برای جهت‌گیری عمودی است. مقدار ضریب جذب خطی برای نمونه‌ها به‌کمک رابطه زیر به‌دست می‌آید که در جدول ۱ آورده شده است.

$$\alpha = -\frac{1}{L} \ln(P/P_0) \quad (14)$$

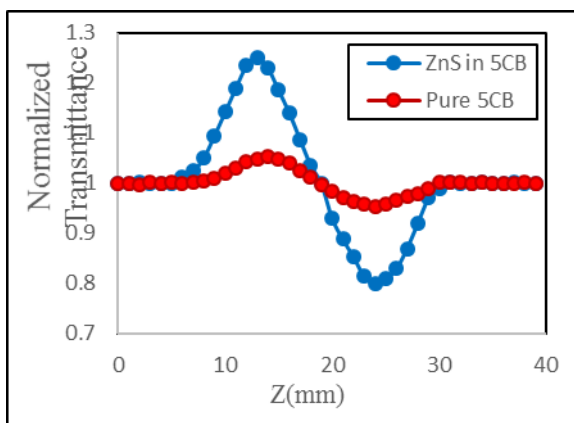
در شکل ۴ نمودار دریچه بسته بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS در درصد وزنی ۱ wt. % در جهت‌گیری عمودی ملکول‌های بلورمایع نماتیک نشان داده شده است.

در منحنی شکل ۴، ابتدا پیک و سپس دره وجود دارد. بنابراین، علامت ضریب شکست غیرخطی منفی است و پدیده خودآگرایی

وجود دارد. مقدار ضریب شکست غیرخطی برای نمونه‌ها به‌کمک روابط (۴) و (۵) به‌دست می‌آید که در جدول ۱ آورده شده است. در پژوهش اخیر، ضرایب اپتیک غیرخطی نانوذرات ZnS نیز به‌دست آمده است که برای مقایسه در جدول ۱ آورده شده است [۱۸].



شکل ۳: نمودار محدودکنندگی نوری بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS برای جهت‌گیری عمودی



شکل ۴: منحنی دریچه بسته بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS برای جهت‌گیری عمودی

نمودار شکل ۵ مربوط به دریچه باز بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذرات ZnS در درصد وزنی ۱ wt. % در جهت‌گیری عمودی ملکول‌های بلورمایع نماتیک است.

منحنی‌های شکل ۵ دارای دره است. بنابراین، علامت ضریب جذب غیرخطی برای هر دو نمونه منفی و پدیده جذب دو فوتونی وجود دارد.

مقدار ضریب جذب غیرخطی برای نمونه‌ها به‌کمک روابط (۸-۱۰) به‌دست می‌آید که در جدول ۱ آورده شده است.

القای نور در بلورمایع نماتیک آلائیده به نانوذره های ZnS ناشی از فرایند بازجهت گیری جهت دوقطبی الکتریکی نانوذره های ZnS است که با برهم کنش بین میدان الکتریکی پرتو نور و قطبش القایی نانوذره ها است. این برهم کنش ها باعث اثرهای به اصطلاح خودعملی بسیاری از جمله خودهمگرایی و یا خودواگرایی می شود.

جدول ۲: ضرایب شکست عادی و غیرعادی و ایزوتروپیک، قسمت حقیقی و موهومی و قدر مطلق پذیرفتاری مرتبه سوم برای بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده

به نانوذره های ZnS در درصد وزنی ۱٪ wt. برای جهت گیری عمودی

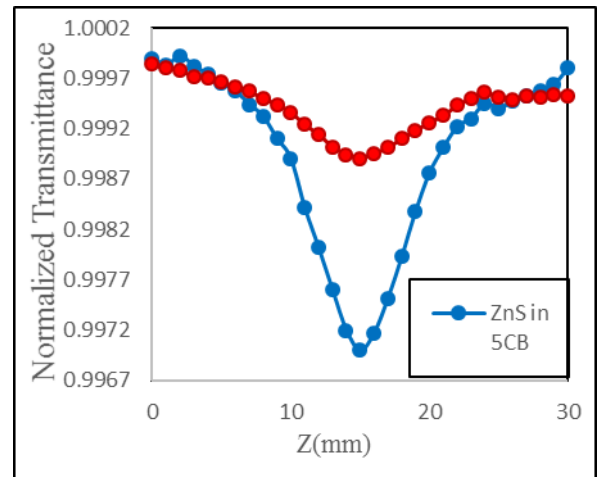
Sample	ZnS in 5CB	Pure 5CB
n_e	1.64	1.76
n_o	1.49	1.58
n_{iso}	1.54	1.64
$Re(\chi^{(3)})(esu)$	2.027×10^{-3}	0.491×10^{-3}
$Im(\chi^{(3)})(esu)$	0.697×10^{-3}	0.295×10^{-3}
$ \chi^{(3)} $	2.143×10^{-3}	0.573×10^{-3}

۴- نتیجه گیری

به طور خلاصه، نانوذره های ZnS تهیه شده به روش آب گرمایی به بلورمایع نماتیک 5CB افزوده شده است. ضرایب شکست و جذب خطی و غیرخطی برای نمونه های خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS به دست آمد. با استفاده از ضرایب نوری غیرخطی پذیرفتاری مرتبه سوم محاسبه شد که برای بلورمایع نماتیک خالص از مرتبه $10^{-4}(esu)$ و برای بلورمایع نماتیک آلائیده به نانوذره های ZnS از مرتبه $10^{-3}(esu)$ به دست آمد. نتایج نشان دهنده بهبود ویژگی غیرخطی در بلورمایع نماتیک به کمک نانوذره های تهیه شده ZnS است.

مراجع

- [1] U.B. Singh, R. Dhar, R. Dabrowski, M.B. Pandey, "Enhanced electro-optical properties of a nematic liquid crystals in presence of BaTiO₃ nanoparticles," *Liquid Crystals*, 41, 953-959, 2014.
- [2] K.K. Vardanyan, A. Thiel, B. Fickas, A. Daykin, "Multicomponent nematic systems with doped gold nanoparticles," *Liquid Crystals*, 42, 445-455, 2015.



شکل ۵: منحنی درجه باز بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS برای جهت گیری عمودی

جدول ۱: پارامترهای نوری غیرخطی مربوط به روش روبش z- برای نانوذره های ZnS خالص، بلورمایع نماتیک خالص و آلائیده به نانوذره های ZnS در درصد وزنی ۱٪ wt. برای جهت گیری عمودی

Sample	ZnS in 5CB	Pure ZnS [21]	Pure 5CB
$\Delta\phi_0$	1.232	1.401	0.259
ΔT_{p-v}	0.451	0.52	0.0949
$L_{eff}(\mu m)$	11.2	0.825	11.07
$n_2(cm^2/W)$	3.37×10^{-5}	7.76×10^{-8}	0.72×10^{-5}
$\beta(cm/W)$	2.3×10^{-2}	5.5×10^{-3}	0.86×10^{-2}
$\alpha(cm^{-1})$	115.8	3.97	136.12

با داشتن ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی می توان قسمت حقیقی و موهومی پذیرفتاری مرتبه سوم را یافت و با داشتن این دو به راحتی می توان قدر مطلق پذیرفتاری مرتبه سوم را برای نمونه ها یافت که این مقادیر برای جهت گیری عمودی در جدول ۲ آمده است. برای یافتن پذیرفتاری مرتبه سوم نیاز به یافتن ضریب شکست خطی نمونه ها می باشد که برای این نمونه ها از شکست سنج استفاده کرده ایم. در حالی که ضریب شکست عادی، در فاز نماتیک را می توان به طور مستقیم اندازه گیری کرد ولی ضریب شکست غیرعادی به دلیل بزرگ بودن آن با شکست سنج های موجود قابل اندازه گیری نیست. بنابراین، n_e در هر دما با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$n_{iso} = \frac{1}{3}(n_e + 2n_o) \quad (15)$$

نتایج نشان می دهد که افزودن نانوذره های ZnS به بلورمایع نماتیک 5CB پاسخ های غیرخطی را بهبود می بخشد و در نتیجه مقدار پذیرفتاری مرتبه سوم نیز افزایش می یابد. ضرایب غیرخطی

- [10] E. Saievar Iranizad, Z. Dehghani, M. Nadafan, "Nonlinear Optical Properties of Nematic Liquid Crystal Doped with Different Compositional Percentage of Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles," *Molecular Liquids*, 190, 6–9, 2014.
- [11] M.D. Zidan, M.B. Alsous, A.W. Allaf, A. Allahham, A. AL-Zier, H. Rihawi, "Z-scan measurements of the third order optical nonlinearity of C_{60} doped poly(ethylacetylenecarboxylate) under CW regime," *Optik*, 127, 2566–2569, 2016.
- [12] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, T.H. Wei, D.J. Hagan, E.W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, QE-26, 760-769, 1989.
- [13] P. Mande, E. Mathew, S. Chitrambalam, I.H. Joe, N. Sekar, "NLO properties of 1, 4-naphthoquinone, Juglone and Lawsone by DFT and Z-scan technique e A detailed study," *Optical Materials*, 72, 549-558, 2017.
- [14] Z. Dehghani, E. Saievar Iranizad, "The effect of initial alignment on the optical properties of Fe_3O_4 nanoparticles doped in nematic liquid crystals," *Physica B*, 434, 165–170, 2014.
- [15] Z. Dehghani, N. Dalir, M. Nadafan, M.H. Majles Ara, E. Saievar Iranizad, "Investigation of electrical and nonlinear optical properties of colloidal composite nematic liquid crystal," *Molecular Liquids*, 225, 502–509, 2017.
- [16] N. Dalir, S. Javadian, Z. Dehghani, "High optical nonlinearity of nematic liquid crystal doped with graphen oxide," *Molecular Liquids*, 244, 103–109, 2017.
- [3] D. Jayoti, P. Malik, A. Singh, "Analysis of morphological behaviour and electro-optical properties of silica nanoparticles doped polymer dispersed liquid crystal composites," *Molecular Liquids*, 225, 456–461, 2017.
- [4] N. Topnani, V. Hamplová, M. Kašpar, V. Novotná, E. Gorecka, "Synthesis, characterisation and functionalisation of ZnO and TiO_2 nanostructures: used as dopants in liquid crystal polymers," *Liquid Crystals*, 41, 91-100, 2014.
- [5] D. P. Singh, S. Pandey, S. K. Gupta, R. Manohar, A. Daoudi, A. H. Sahraoui, Chinmay Phadnis and S. Mahamuni, "Quenching of photoluminescence and enhanced contrast of ferroelectric liquid crystal dispersed with $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}/\text{ZnS}$ core/shell nanocrystals," *Luminescence*, 173, 250-256, 2016.
- [6] J.S. Roy, T.P. Majumder, R.D. browski, A. Dey, P. P. Ray, "Tuning photoluminescence of liquid crystals doped ZnS nanoflakes," *Optical Materials*, 46, 467-471, 2015.
- [7] J.S. Roy, T.P. Majumder, R. Dabrowski, "Enhanced photoluminescence in CdS nanorods doped with antiferroelectric liquid crystals," *J. Luminescence*, 148, 330-333, 2014.
- [8] M. Rana, N. Singla, A.Chatterjee, A. Shukla, P. Chowdhury, "Investigation of nonlinear optical (NLO) properties by charge transfer contributions of amine functionalized tetraphenylethylene," *Optical Materials*, 62, 80- 89, 2016.
- [9] R. Miedzinski, I. Fuks-Janczarek, L. R. P. Kassab, F. A. Bomfim, "Second and third order nonlinear optical properties of $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ doped $\text{PbO-GeO}_2\text{-Ga}_2\text{O}_3$ glasses with Au nanoparticles," *Materials Research Bulletin*, 95, 339-348, 2017.

- [24] I. Janossy, A.D. Lloyd, "Low-power optical reorientation in dyed nematics," *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 203, 77-84, 1991.
- [25] I. Janossy, L. Csillage, A.D. Lloyd, "Temperature dependence of the optical Freedericksz transition in dyed nematic liquid crystals," *Physical Review A*, 44, 8410-8413, 1991.
- [26] Z. Dehghani, M. Nadafan, M.H. Majles Ara, *Nonlinear Optical Properties of 5CB Nematic Liquid Crystal Doped of Synthesized of ZnS Nanoparticles*, International Biennial conference on ultrafine grained and nanostructured materials (UFGNSM 2017), Kish island, Iran, 2017.
- [17] N. Yadav, R. Dabrowski, R. Dhar, "Effect of alumina nanoparticles on dielectric permittivity, electrical conductivity, director relaxation frequency, threshold and switching voltages of a nematic liquid crystalline material," *Liquid Crystals*, 41, 1803-1810, 2014.
- [18] Z. Dehghani, Z. Shadrokh, M. Nadafan, "The effect of magnetic metal doping on the structural and the third-order nonlinear optical properties of ZnS nanoparticles," *Optik*, 131, 925-931, 2017.
- [19] L. Wang, F. Meng, Y. Sun, H. Yang, "Effect of surfactant-modified ZnS:Mn nanoparticles on the electro-optical properties of composite polymer-dispersed liquid crystal films," *Composites Part B*, 45, 780-784, 2013.
- [20] M. Yıldırım, O. Köysal, G. Önsal, E. Gümüş, "Effect of iron phthalocyanine (FePc) concentration on electrical and dielectric properties of the nematic liquid crystal composites," *Molecular Liquids*, 223, 868-872, 2016.
- [21] Z. Dehghani, E. Saievar Iranizad, "The effect of initial alignment on the optical properties of Fe₃O₄ nanoparticles doped in nematic liquid crystals," *Physica B*, 434, 165-170, 2014.
- [22] M. H. Majlesara, Z. Dehghani, E. Saievar Iranizad, "Synthesis, characterization and single-beam Z-scan measurement of the third-order optical nonlinearities of ZnO nano-particles," *International Journal of Modern Physics B*, 22, 3165-3171, 2008.
- [23] I. Janossy, "Optical reorientation in dye-doped liquid crystals," *Nonlinear Optical Physics & Materials*, 8, 361- 377, 1999.

Calculating of the Refractive index, the absorption and the third order susceptibility coefficients in the nematic liquid crystal 5CB and ZnS nanoparticles complex

Z. Dehghani^{1,*}, M. Nadafan², A. Faraji Alamooti¹

¹Department of Physics, Faculty of Science, University of Neyshabur, Neyshabur

²Department of Physics, Faculty of Science, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran

Abstract: In this study, the third order susceptibility of ZnS nanoparticles doped in nematic liquid crystal 5CB was evaluated. Firstly, ZnS nanoparticles were synthesized by hydrothermal method. Then these nanoparticles were added to nematic liquid crystal with 1% wt. After that, for calculating the third order susceptibility, linear and nonlinear absorption coefficients, linear and nonlinear refractive indices were achieved. The laser source in this study is He:Ne CW laser at 632.8 nm wavelength. The initial arrangement of molecules is vertical status. The results showed that self-defocusing effect and two-photon absorption nonlinear phenomena have happened in the sample. According to results, the nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient of ZnS nanoparticles doped in nematic liquid crystal 5CB are 5 and 3 times more than the nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient of pure nematic liquid crystal 5CB.

Keywords: nematic liquid crystal, ZnS nanoparticles, absorption coefficient, refractive index, nonlinear optical properties, third order susceptibility, Z-scan method