

بررسی پارامترِ نظم و دورنگ‌نمایی خطی دو رنگینه آزو در ترکیب بلورِ مایع C7

سعیده شعاری نژاد^۱

عبدالله مرتضی علی^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۷

تاریخ تصویب: ۹۴/۲/۲۹

چکیده

در این کار پژوهشی، دورنگ‌نمایی خطی و پارامترِ نظم ترکیب بلورِ مایعِ نماتیک C7 و دو نوع رنگینه، با تراکم متفاوت اندازه‌گیری و تغییر جهت‌گیری بلورِ مایع در حضور این رنگینه‌ها، در چارچوب پدیده میهمان-میزبان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بررسی، با استفاده از روش اسپکتروسکوپی قطبیده نوارهای جذبی به دست می‌آیند. سلول‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها از نوع سلول‌های صفحه‌ای با جهت‌دهی موازی آماده شده‌اند. ضرایب

^۱ استادیار فیزیک، دانشگاه الزهراء (س)؛ sshoari@alzahra.ac.ir

^۲ استاد فیزیک، دانشگاه الزهراء (س)

جذب عمودی و موازی در طول موج‌های خاص، با استفاده از قانون بیر-لامبرت تعیین می‌شوند. سپس با مقایسه نتایج به دست آمده به ازای درصدهای تراکمی مختلف رنگینه و نیز مقایسه نتایج حاصل برای ترکیب بلور مایع با دو رنگینه متفاوت، اثر نظم دهی رنگینه‌ها و تغییرات جهت‌گیری در این ترکیبات، مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. نتایج تجربی ما برای پارامترِ نظم و دورنگ‌نمایی خطی این ترکیبات، مؤید این مسئله هستند که ساختار مولکولی رنگینه‌ها و درصد ترکیب آن‌ها تأثیر عمده‌ای بر جهت‌گیری محیط بلور مایع و نظم جهتی مولکول‌ها دارند به طوری که می‌توانند حتی در حد درصدهای بسیار پایین به تغییرات نسبتاً قابل توجهی در پارامترِ نظم بلور بیانجامند. به علاوه، پارامترِ نظم رنگینه نیز از پارامترِ نظم میزبان پیروی می‌کند. این بررسی، در زمینه‌های الکترواپتیکی اهمیت فراوانی داشته به ویژه در صنایع نمایشگرها دارای کاربردهای گسترده‌ای است.

واژه‌های کلیدی: بلور مایع، دو رنگ‌نمایی خطی، پارامترِ نظم.

۱- مقدمه

بلور مایع یک فازِ میانی بین فازهای جامد بلوری و مایع همسانگرد معمولی است. اگرچه بلورهای مایع بسیاری از ویژگی‌های جامدات بلوری و مایعات همسانگرد را دارا هستند، اما پدیده‌های فیزیکی خاصی از خود نشان می‌دهند که در جامدات و مایعات معمولی مشاهده نمی‌شود [۱-۳]. همین ویژگی‌های خاص، به کاربرد گسترده و روزافزون آن‌ها به ویژه در زمینه‌های الکترواپتیکی انجامیده است. به طور کلی، بلورهای مایع را می‌توان از نظر جهت‌گیری‌های مولکولی به سه دسته تقسیم کرد: نماتیک‌ها، سمکتیک‌ها و کلستریک‌ها. نماتیک‌ها یکی از فازهای ساده‌تر بلورهای مایع هستند که نظم جهتی بلند برد دارند اما نظم



مکانی بلند برد در هیچ یک از ابعاد نشان نمی‌دهند. جهت‌گیری متوسط مولکول‌ها در این فازها توسط بردار واحدی به نام بردار جهت‌نما، \mathbf{n} ، نشان داده می‌شود. وجود چنین نظم، ناهمسانگردی جهتی ایجاد می‌کند. به این معنا که چرخش حول امتداد جهت‌نما، ناوردایی سیستم را حفظ می‌کند [۲]. ناهمسانگردی در ضریب شکست، گذردهی دی‌الکتریکی، پذیرفتاری مغناطیسی، چسبندگی و رسانندگی از آن جمله‌اند [۴]. پاسخ سریع به نیروهای الکتریکی، مغناطیسی و سطحی و نیز ناهمسانگردی در شکل مولکولی و خواص آن‌ها، از ویژگی‌های اصلی بلورهای مایع هستند [۱]. در بلورهای مایع، میدان‌های سطحی به القاء جهت‌گیری‌های خاصی در میدان جهت‌نما در مجاورت سطح، منجر می‌شود. عموماً، سه نوع جهت‌گیری اصلی برای بردار جهت‌نما در نزدیکی دیواره‌ها یا سطوح آزاد تعریف می‌کنند: جهت‌گیری هوموتروپیک، صفحه‌ای و زاویه‌دار. در این کار پژوهشی از نوع جهت‌گیری صفحه‌ای استفاده شده است به این معنا که میدان جهت‌نما به طور یکنواخت موازی با سطوح سلول قرار می‌گیرد [۴-۱]. با قرار دادن بلور مایع در یک میدان الکتریکی خارجی نیز نظم جهتی مولکول‌ها دستخوش تغییر گردیده نوعی گذار جهت‌گیری رخ می‌دهد [۵]. وارد کردن ناخالصی‌ها در محیط بلور مایع، حتی در حد تراکم‌های کم، می‌تواند به اثرات دوربردی بیانجامد که بسیاری از خواص فیزیکی آن را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو مطالعه و بررسی اثرات ناشی از حضور ناخالصی‌ها مانند رنگینه‌ها، پلیمرها و نانو ذرات اهمیت ویژه‌ای دارد.

پژوهش‌های انجام شده در ترکیب بلورهای مایع با ناخالصی‌های مختلف، در هر دو بعد نظری و تجربی، نتایج قابل توجهی را به دنبال داشته است. این نتایج اثرات دوربرد ناخالصی‌ها را در پارامتر نظم‌میزبان و تغییرات ایجاد شده در دیگر خواص فیزیکی سیستم، حتی به ازای درصد‌های تراکمی بسیار پایین، نشان داده‌اند [۱۱-۶]. اما آنچه به طور خاص در ایجاد خواص اپتیکی جدید مؤثر است حضور رنگینه‌ها می‌باشد [۱۳-۱۲]. به طور کلی، بلورهای مایع حلال بسیار مناسبی برای مولکول‌های آلی هستند و حضور رنگینه‌ها حتی با درصد‌های پایین می‌تواند منجر به پدیده‌های الکترو اپتیکی خاصی در این نوع مواد گردد. بر اساس مطالعات انجام شده در این نوع ترکیبات، [۱۳-۱۲]، در حضور



میدان‌های اپتیکی، الکتریکی و مغناطیسی، نوعی برهم‌کنش بین مولکول‌های بلورِ مایع (میزبان) و مولکول‌های رنگینه (میهمان) به وجود می‌آید که به جهت‌گیری مجدد، بازآرایی مولکول‌ها و تغییر پارامترِ نظمِ بلورِ مایع می‌انجامد که به پدیده "میزبان-میهمان" معروف است و اولین بار توسط هیلمر و همکارانش، در سال ۱۹۶۸ گزارش شده است [۱۴]. این پدیده در مطالعه خواص اپتیکی این مواد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از این جهت، در کاربرد آن‌ها در اسباب الکترواپتیکی و فناوری نمایشگرهای بلورِ مایع جایگاه خاصی دارد [۱۵].

ما در این کار پژوهشی به بررسی اثرِ حضورِ یک نوع رنگینه جدید آزو در نظم و جهت‌گیری مولکولی بلورهای مایع می‌پردازیم و با نتایج به دست آمده برای ترکیب رنگینه سودان بلک بی و همان بلورِ مایع میزبان مقایسه می‌کنیم. نشان می‌دهیم که درصد تراکم رنگینه و ساختمان مولکولی آن‌ها تاثیر قابل توجهی در پارامترِ نظم و جذب اپتیکی بلورِ مایع دارد.

۲- تئوری مسئله

پارامتر نظم یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های بلورهای مایع است که میانگین جهت‌گیری مولکولی بلور مایع را توصیف می‌کند. پارامتر نظم فازهای نماتیک از رابطه زیر تبعیت می‌کند [۱۶].

$$S = \frac{R-1}{R+2} \cdot \frac{2}{3\cos^2\beta - 1}, \quad (1)$$

که در آن S پارامتر نظم، β زاویه بین محور بلند مولکولی و گشتاور دو قطبی بلور مایع و R مقدار دورنگ نمای میزبان بلور مایع است. با فرض کوچک بودن زاویه β ، تغییرات پارامتر نظم را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد [۵]:

$$S = \frac{R-1}{R+2}, \quad (2)$$

مقدار دورنگ نمای R نیز از رابطه (۳) به دست می‌آید [۵].

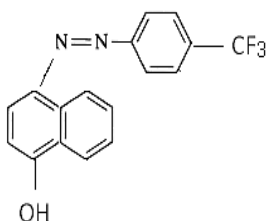
$$R = \frac{A_{\parallel}}{A_{\perp}} \quad (3)$$

که در آن A_{\parallel} و A_{\perp} به ترتیب مقادیر جذب در امتدادهای موازی و عمود بر امتداد جهت نما را نشان می دهند. هم چنین، ضریب عبور اپتیکی T و جذب A را نیز می توان بر اساس قانون بیر-لامبرت^۱ تعیین نمود [۹]. پارامتر نظم و ناهمسانگردی قطبش پذیری نیز با یکدیگر رابطه مستقیم دارند که در قالب مقاله مستقلی قابل بررسی هستند [۱].

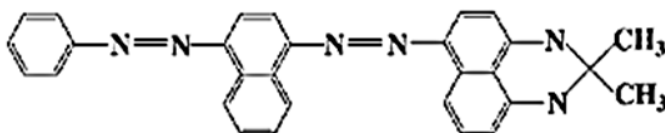
از پارامترهای بسیار مهم دیگر در تعیین خواص اپتیکی مواد، ضرایب جذب و شکست می باشند. حل کردن رنگینه‌ها در بلورمایع موجب افزایش جذب در ناحیه‌ای از طول موج خاص خواهد شد. مولکول‌های رنگینه با تحمل برخی از تغییرات جهتی ناشی از جذب نور، باعث تغییر جهت گیری مولکول‌های بلورمایع (میزبان) می شوند. طبیعتاً، اثرات وابسته به اپتیک غیرخطی در چنین شرایطی بسیار مهم هستند [۴].

۳- آزمایش‌های تجربی

در کار حاضر برای اندازه گیری دورنگ نمایی خطی و پارامتر نظم، از مخلوط بلورمایع CV و رنگینه سودان بلک بی و یک رنگینه جدید آزو استفاده شده است (شکل ۱).



(الف)

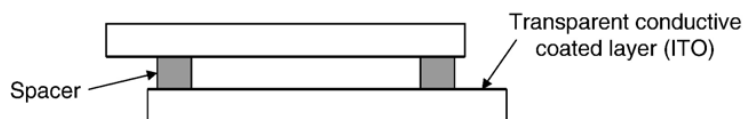


(ب)

شکل ۱. ساختمان مولکولی رنگینه A (الف) و سودان بلک بی (ب).

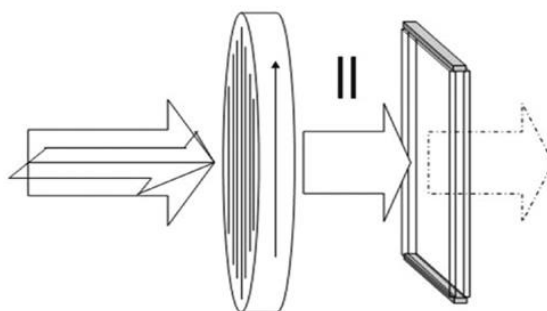
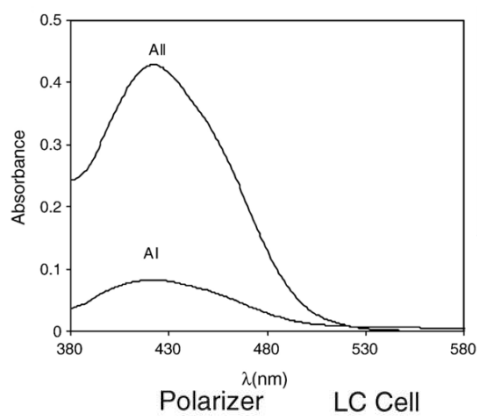
¹ Beer-Lambert

سلول‌های بلور مایع مورد استفاده در این آزمایش از دو صفحه نازک شیشه‌ای شناخته شده‌اند که توسط یک فضا‌ساز، با ضخامت لایه‌ای ۲۳ میکرومتر از هم جدا می‌شوند (شکل ۲). ابتدا سلول‌ها، با استفاده از یکی از روش‌های مرسوم [۸]، برای ایجاد نظم موازی در فازهای نماتیک، به طور همگن نظم‌دهی شدند. برای جهت‌دهی، صفحه‌های شیشه‌ای به محلول PVA آغشته و سپس از طریق مالش کاغذ با ایجاد شیارهای دائمی روی سطح، صفحات شیشه‌ای در راستای موازی جهت‌دهی شدند. بلورهای مایع آمیخته به رنگینه‌ها با درصد‌های تراکمی مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵، آماده شدند.

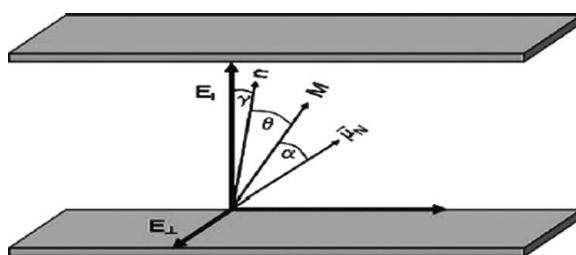


شکل ۲. نمایش برشی از یک سل و فضا‌ساز در آزمایش میزبان- میهمان.

برای اندازه‌گیری مستقیم دورنگ‌نمایی خطی از روش اسپکترومتری استفاده شد. ابتدا به کمک پلارایده، امواج مرئی و فرابنفش (۳۰۰nm-۹۰۰nm) در دو جهت عمود و موازی با راستای جهت‌دهی شده قطبیده و طیف حاصل ثبت شدند. پس از ثبت طیف‌ها، با قراردادن بیشترین مقادیر جذب حاصل مربوط به دو حالت موازی و عمود در رابطه (۳)، نسبت دورنگ‌نمایی خطی تعیین گردیدند. نهایتاً پارامتر نظم را با استفاده از معادلات (۳) و (۲) به دست آوردیم. شکل ۳ اساس این آزمایش را برای مطالعه و اندازه‌گیری دورنگ‌نمایی خطی، به صورت شماتیک، نشان می‌دهد.



شکل ۳. امتداد قطبش نور در مطالعه دورنگ نمای خطی به روش اسپکتروسکوپی.



شکل ۴. نمایشی از بردارهای میدان الکتریکی نور قطبیده، جهت نما (n)، محور بلند مولکولی (M) و گشتاور دو قطبی گذار یک مولکول رنگینه نسبت به سطوح تیغه‌ای سلول.

۴- نتایج و بحث

بر اساس نظریه مطرح شده در بخش قبل، ضرایب جذب موازی و عمود، نسبت دورنگ‌نمایی خطی و پارامتر نظم را برای هر یک از رنگینه‌ها بدست آوردیم. نتایج حاصل برای دو رنگینه با درصد‌های تراکم ۰،۵، ۱ و ۱،۵، در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

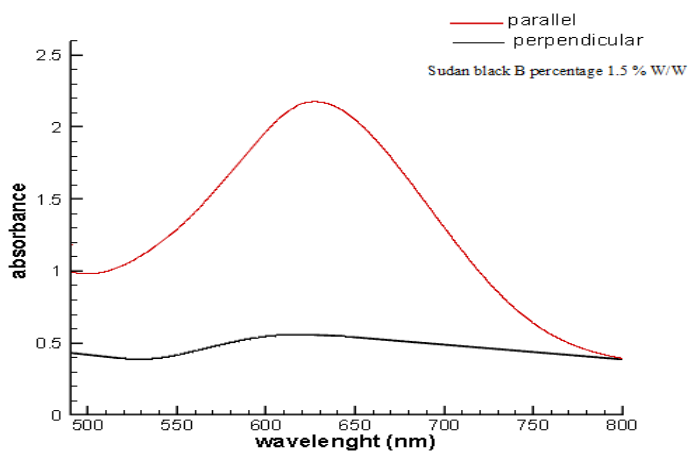
جدول ۱. نسبت دورنگ‌نمایی و پارامتر نظم اندازه‌گیری شده در آزمایش میهمان-میزبان برای رنگینه‌های استفاده شده در بلور مایع میزبان C7.

| Compound | Percentage W/W(%) | $\lambda_{max}(nm)$ | R | S |
|---------------|-------------------|---------------------|------|------|
| Sudan black B | 0.5 | 604.95 | 5.69 | 0.61 |
| | 1 | 606.24 | 6.11 | 0.63 |
| | 1.5 | 614.75 | 6.11 | 0.63 |
| Dye A | 0.5 | 405.5 | 4.38 | 0.53 |
| | 1 | 406.5 | 3.88 | 0.49 |
| | 1.5 | 404.03 | 3.45 | 0.45 |

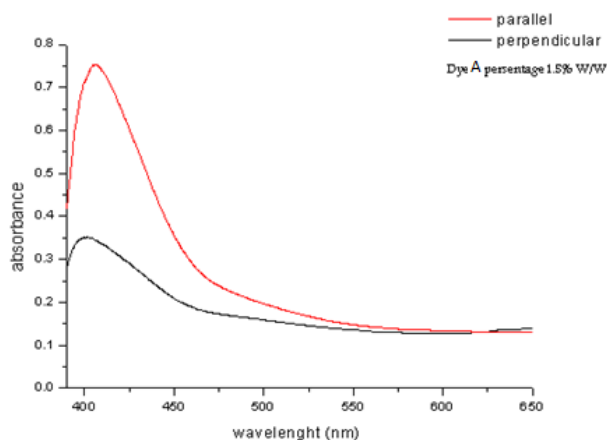
از مقادیر به دست آمده برای پارامتر نظم، ملاحظه می‌کنیم که افزایش درصد تراکم رنگینه سودان بلک، به افزایش پارامتر نظم منجر می‌شود، در حالی که در مورد رنگینه A عکس این وضعیت رخ داده پارامتر نظم با افزایش درصد تراکم کاهش می‌یابد. هم‌چنین مقایسه نتایج به دست آمده برای دو نوع رنگینه نشان می‌دهد که به ازای درصد تراکمی معین، پارامتر نظم و دو رنگ‌نمایی خطی بلور مایع آمیخته به سودان بلک از مقادیر حاصل در حضور رنگینه A، بیشتر است. این تغییر را به وجود گروه عرضی در ساختمان مولکولی رنگینه A و ساختمان میله‌ای رنگینه سودان نسبت می‌دهیم. می‌دانیم وجود گروه‌های

عرضی موجب انحراف گشتاور گذار از محور طولی مولکول‌ها خواهد شد [۱۲]. هم چنین، می‌دانیم که پارامتر نظم تابعی از اختلاف بین قطبش پذیری در طول محورهای اصلی است و وجود این گروه‌های عرضی می‌تواند باعث افزایش قطبش پذیری مولکول در راستای محور X یا Y نسبت به Z شده و لذا منجر به کاهش پارامتر نظم گردد. به علاوه، همچنان که در کارهای پژوهشی قبلی گزارش شده است، شکل و ساختار رنگینه‌ها تاثیر بسزایی در پارامتر نظم بلور دارند و چنانچه از این نظر با محیط میزبان همخوانی وجود داشته باشد می‌تواند باعث افزایش پارامتر نظم گردد [۱۳]. در چنین مواردی به ازای درصد‌های تراکم بالای رنگینه‌ها، افزایش چسبندگی در محیط بلور مایع نیز از دیگر عوامل موثر در تغییر پارامتر نظم می‌باشد [۱۷]. همین موضوع می‌تواند به عدم تغییر محسوس و حتی کاهش پارامتر نظم به ازای درصد‌های تراکمی بالاتر بیانجامد.

با تعیین ضرایب جذب برای دو حالت قطبش موازی و عمود بر امتداد جهت نما، نمودارهای جذبی به دست آمده را در دو حالت فوق رسم کردیم. شکل (۵) نتایج حاصل برای ترکیب بلور مایع C7 و رنگینه سودان بلک بی و شکل (۶) نتایج مربوط به ترکیب آن با رنگینه A را نمایش می‌دهد که به ازای درصد تراکمی ۱,۵٪، در حالت‌های موازی و عمود به دست آمده‌اند.



شکل ۵. طیف جذبی رنگینه سودان بلک بی در بلور مایع C7 (۱,۵٪).



شکل ۶. طیف جذبی رنگینه A در بلور مایع C7 (~1.5%).

از شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که بیشترین طول موج جذبی برای رنگینه سودان در محدوده ۶۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر و برای رنگینه A، در محدوده ۳۵۰ تا ۴۵۰ نانومتر است که در این محدوده گذار π به π^* خواهیم داشت [۱۳-۱۲]. با توجه به نتایج به دست آمده برای دورنگک نمایی خطی و پارامتر نظم، مشخص می‌شود که برای هر دو رنگینه، مقدار جذب در حالت موازی از حالت عمود بیشتر است. در این حالت قطبش نور با امتداد جهت نمای نمونه موازی است. نتایج حاصل با نتایج گزارش شده قبلی سازگار است [۱۳].

۵- نتیجه‌گیری

در این کار پژوهشی، ما به مطالعه و بررسی اثر حضور دو نوع رنگینه جدید در نظم و جهت‌گیری بلور مایع C7 پرداختیم. مطالعات در چارچوب پدیده میهمان-میزبان انجام شدند. دورنگک‌نمایی خطی و پارامتر نظم این ترکیبات به دست آمدند. نشان داده شد که حضور این رنگینه‌ها حتی با درصدهای بسیار پایین، زیر ۱٫۵٪، تاثیر قابل توجهی در نظم‌گیری محیط میزبان دارد. هم‌چنین، اثر ساختار مولکولی آن‌ها و قطبش‌پذیری بر تغییر جهت‌گیری این بلور مایع مورد بررسی قرار گرفت. تحقیقات انجام شده و نتایج حاصل از

آن می‌توانند در بهینه‌سازی بسیاری از وسایل الکترواپتیکی مؤثر بوده و کاربردهای وسیعی در صنایع اپتیکی، بویژه صنعت نمایشگرها داشته باشند.

۶- سپاسگزاری

از آقای دکتر محمدصادق ذاکر حمیدی به خاطر همکاری مؤثر و مفیدشان در انجام این کار پژوهشی سپاسگزاریم. هم چنین، از خانم آسیه اسمعیلی که یقیناً بدون فعالیت‌های ایشان در آزمایشگاه فیزیک سطح و لایه‌های نازک دانشگاه الزهراء^(س) این کار به ثمر نمی‌نشست، تشکر می‌کنیم.

۷- منابع

- [1] P.G. De Gennes and J. Prost; “*The physics of liquid crystal*”; Oxford University (1995).
- [2] I.C. Khoo; “*Liquid Crystals*”; University Park, Pennsylvania (2007).
- [3] W.H. de Jeu; “*Physical Properties of Liquid crystalline Materials*”; Gordon and Breach Publisher, New York (1980).
- [4] I.Ch. Khoo; “Nonlinear optics of liquid crystalline materials”; *Physics Reports* **471** (2009) 221-267.
- [5] M.S. Zakerhamidi, A. Ghanadzadeh, and M. Moghadam; *Chem. Sci. Trans.* **1**, No.1 (2012) 1-8.
- [6] M.S. Zakerhamidi, S. Shoarinejad, and S. Mohammadpour; *J. Mol. Liquids* **191** (2014) 16–19.
- [7] S. Shoarinejad and M.S. Zakerhamidi; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **547** (2011) 135.
- [8] N. Podoliak, O. Buchnev, O. Buluy, G. D’Alessandro, M. Kaczmarek, Y. Reznikov, and T.J. Sluckin; *Soft Matter.* **7** (2011) 4742.
- [9] K.P. Fritz and G.D. Scholes; *J. Phys. Chem. B* **107** (2003) 10141.
- [10] M.A. Shahzamanian and S. Shoarinejad; *J. Phys.: Condens. Matter* **19** (2007) 156101.

- [11] C. Bacchiocchi, G. Foschi, I. Miglioli, S. Shoarinejad, A. Arcioni, and C. Zannoni; *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* accepted (2015).
- [12] A. Ghanadzadeh, M.S. Zakerhamidi, and H. Tajalli; *J. Mol. Liquids* **109** (2004) 143-148.
- [13] A. Ghanadzadeh, M.A. Shahzamanian, S. Shoarinejad, and M.S. Zakerhamidi; *J. Mol. Liquids* **136** (2007) 22.
- [14] G.H. Heilmeyer and L.A. Zanoni; *Appl. Phys. Lett.* **13** (1968) 91.
- [15] L. Marrucci and D. Paparo; *J. Chem. Phys.* **107** (1997) 23.
- [16] W.S. Park; *J. Korean Phys. Soc.* **37** (2000) 331.
- [17] B. Bahadur; “*Liquid crystals applications and uses*”; World Scientific (1992) 3.