بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

ایجاد باریکه قطبیده‌ی خطی با تقارن محوری با استفاده از کریستال مایع چرخان

طیبه سقایی[۱]، محمدصادق فیض[۱]، رضا شیرسوار[۲]، احمد امجدی[۱]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف ، خیابان آزادی، تهران

[۲]گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

چکیده – در این مقاله چرخش لایهِ آزاد کریستال مایع نماتیک *5CB* تحت اعمال میدان و جریان الکتریکی گزارش شده و تاثیر تغییر قطبش نور عبوری از لایه چرخان بررسی شده است. با اعمال میدان الکتریکی خارجی به لایه آزاد از کریستال مایع *5CB* که به اختلاف پتانسیل الکتریکی در صفحه‌ی میدان خارجی و با زاویه نسبت به آن وصل شده، چرخش در آن ایجاد می‌گردد. سپس با قرار دادن این لایه بین دو قطبشگر عمود بر هم تکنیکی برای تولید نور قطبیده‌ی خطی با تقارن محوری ارایه می‌شود.

کلید واژه- لایه آزاد کریستال مایع، چرخش سیال، نور قطبیده‌ی خطی.

Linearly polarized light with axial symmetry generated by rotating liquid-crystal

Tayebeh Saghaei[1], Mohammad Sadegh Feiz[1], Reza Shirsavar[2], Ahmad Amjadi[1]

[1]Department of Physics, Sharif University of Technology, Tehran

[2]Department of Physics, University of Zanjan, Zanjan,

Abstract- In this article, the rotation of freely suspended nematic liquid crystal (5CB) film under applying electric field and current is reported and also investigate the polarization of light beam passing through the film. The rotation of freely suspended liquid crystal generating under external electric field when an electric current perpendicular to external field is passing through it. The LC between two crossed polarizes is a technique to produce linear polarizer light with axial symmetry.

Keywords: Freely suspended liquid crystal film, Fluid rotation, Linear polarized light.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

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

۱- مقدمه

اثر میدان الکتریکی روی کریستال مایع به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. اغلب این مطالعات روی لایه‌ای از کریستال مایع است، که بین دو رسانای شفاف محدود شده است. اعمال میدان الکتریکی به یک فیلم مایع می‌تواند ناپایداری‌های هیدرودینامیکی در آن به‌وجود آورد [۱، ۲]. فاتی و همکارانش در سال ۱۹۸۳ به مطالعه‌ی این ناپایداری‌ها در یک لایه آزاد کریستال مایع MBBA پرداختند. MBBA کریستال مایعی است که در دمای اتاق در فاز نماتیک و در دمای بالای ۴۶ درجه سانتیگراد فاز آن به آیزوتروپیک تغییر میکند بنابراین نمونه‌ی خوبی برای مطالعه‌ی تاثیر میدان الکتریکی روی خواص بخصوص اپتیکی در هنگام تغییر فاز است. آن‌ها مشاهده کردند با اعمال اختلاف پتانسیل به اندازه‌ی کافی بزرگ ناپایداری‌هایی بصورت گردابه در لایه ایجاد می‌شود که آرایش و الگوی حرکتی این گردابه‌ها به پارامترهای زیادی بستگی دارد [۳].

شیرسوار و همکارانش در سال ۲۰۱۲ نشان دادند می‌توان چرخش غالب و مرجحی را در کریستال مایع MBBA که به اختلاف پتانسیل الکتریکی وصل شده است، توسط یک میدان الکتریکی یکنواخت خارجی ایجاد کرد. آن‌ها ابتدا ایجاد و آرایش گردابه‌ها را تحت یک اختلاف پتانسیل الکتریکی در قاب ذوزنقه‌ای و مستطیلی مشاهده و وابستگی آرایش این گردابه‌ها را به اختلاف پتانسیل و هندسه‌ی قاب بررسی کردند. و در ادامه با اعمال یک میدان الکتریکی خارجی یکنواخت در یک قاب مستطیلی مشاهده کرده‌اند که چرخش مرجحی در لایه ایجاد می‌گردد [۴].

روش‌ها و ابزارهای مختلفی برای ایجاد نور قطبیده‌ی دایره ای و نیز روش‌هایی برای ایجاد نور قطبیده‌ی خطی ارائه شده است اما در اکثر این روش‌ها تقارن محوری وجود ندارد [۵، ۶]. با این روش میتوان نور قطبیده با تقارن محوری ایجاد کرد. و می‌توان از آن به عنوان یک ابزار برای مطالعه‌ی مواد قطبی و سایر مطالعات اپتیکی استفاده کرد.

در این مقاله ابتدا چرخش در کریستال مایع ۴- سیانو۴-ان پنتیل- بایفنیل (4-Cyano-4-n-pentylbiphenyl) که با نام تجاری 5CB شناخته می‌شود با درصد خلوص ۹۸٪ - در دمای اتاق در فاز نماتیک است- بررسی می‌گردد. و در ادامه از این روش به عنوان تکنیکی برای تولید نور قطبیده خطی با تقارن محوری استفاده می‌کنیم.

۲- تئوری

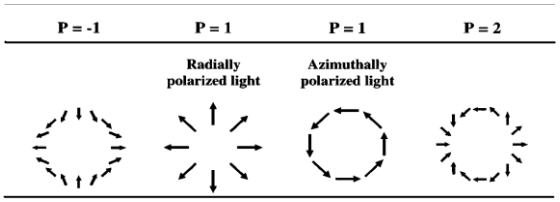
طبق اپتیک هندسی جهت قطبش در یک میدان نوری تنها به زاویه‌ی سمتی θ بستگی دارد و می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\varphi(\theta) = P\theta + \varphi_0 \qquad (۱)$$

که در آن P عدد پلاریزه یا بار توپولوژیکی را برای یک میدان قطبیده‌ی نوری نشان می‌دهد. و φ_0 قطبش اولیه به ازای θ=0 است. و از طرفی میدان نوری می‌تواند با بردارهای جونز توصیف شود:

$$J_p(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(P.\theta + \varphi_0) \\ \sin(P.\theta + \varphi_0) \end{bmatrix} \qquad (۲)$$

P=0 میدان‌هایی را نشان می‌دهد که پلاریزه‌ی خطی نور با جهت‌گیری φ_0 یکسان است. چند نمونه از میدان‌های نوری با پلاریزه‌ی خطی و تقارن محوری برای عدد پلاریزه های کوچک، در شکل ۱ نشان داده شده است [۶، ۷].



شکل ۱: نمونه‌هایی از نور پلاریزه‌ی خطی با تقارن محوری [۶].

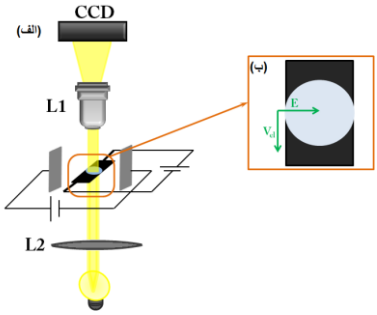
۳- چیدمان آزمایش و نتایج

شکل ۲ طرحواره‌ی چیدمان مورد استفاده برای انجام آزمایش‌های را نشان می‌دهد.

نور توسط عدسی L1 روی نمونه جمع می‌شود و پس از عبور از نمونه توسط عدسی شیئی L_2(4X) تصویر با بزرگنمایی روی CCD تشکیل می‌شود. قاب مورد استفاده

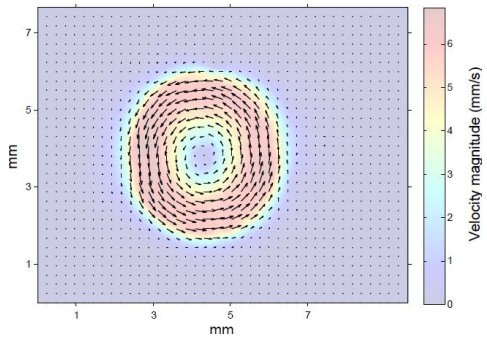
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

در بین دو صفحه‌ی موازی رسانا قرار گرفته است. این صفحات به منبع اختلاف پتانسیل وصل می‌شوند و میدان خارجی یکنواختی، E_{ex}، در محل قاب به وجود می‌آورند.
در قسمت ضمیمه قاب مورد استفاده نشان داده شده است. این قاب با ایجاد یک سوراخ در عایقی که روی آن را گرافیت پوشانده است، ساخته می‌شود. اتصال بین دو الکترود با تراشیدن گرافیت بخشی از سطح آن قطع می‌گردد. به این ترتیب دو الکترد گرافیتی در تماس با کریستال مایع قرار می‌گیرند که به اختلاف پتانسیل، V_J، وصل می‌گردند. به این ترتیب می‌توان به کریستال مایع میدان و جریان الکتریکی در یک صفحه و در جهت عمود برهم (یا با زاویه دلخواه) اعمال کرد.



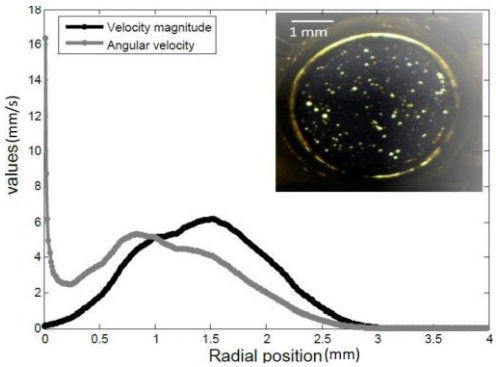
شکل۲ : چیدمان آزمایش، ضمیمه: قاب مورد استفاده.

با دنبال کردن ذرات ردیاب در درون کریستال مایع می‌توان سرعت را در هر نقطه از آن بدست آورد. نمودار شکل ۳ نمایه‌ای دو بعدی از چرخش در کریستال مایع را در قاب دایره‌ای به شعاع ۳mm نشان می‌دهد، و نمودار شکل ۴ تغییر سرعت چرخش بر حسب شعاع را در لایه‌ی کریستال مایع نشان می‌دهد.



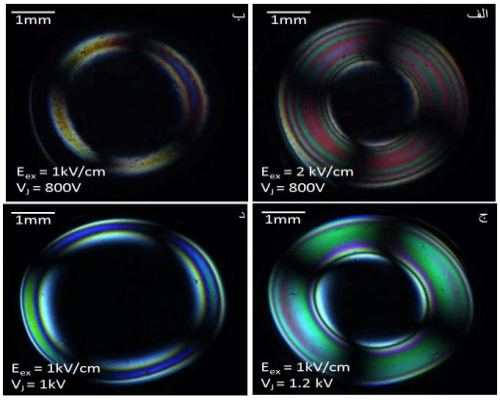
شکل۳ : نمایه‌ی دوبعدی چرخش در کریستال مایع.

همانطور که در نمودار ۳ و ۴ مشاهده می‌شود با افزایش شعاع سرعت افزایش میابد سپس با نزدیک شدن به دیواره سرعت مجدد کاهش می‌یابد.



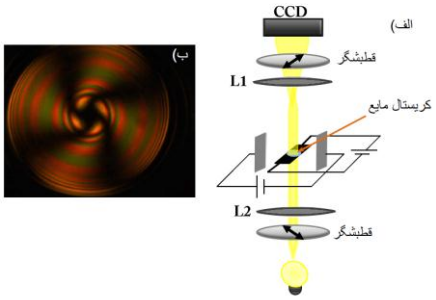
شکل۴ : تغییر سرعت چرخش برحسب تغییر شعاع.

همچنین مشاهده شد که بزرگی و جهت این چرخش را می‌توان با بزرگی و جهت میدان و جریان الکتریکی کنترل کرد. با تغییر جهت میدان یا جریان الکتریکی جهت چرخش عوض می‌شود. تغییر جهت همزمان میدان و جریان الکتریکی تاثیری روی جهت چرخش لایه ندارد.



شکل ۵ : الف و ب: تغییر سرعت چرخش برحسب تغییر میدان الکتریکی، ج و د: تغییر سرعت چرخش برحسب تغییر در جریان الکتریکی.

در حالت بعد لایه کریستال مایع بین دو قطبشگر عمود بر هم مانند شکل ۶ قرار داده شد.



شکل ۶: الف) چیدمان آزمایش، ب) رنگ‌ها در لایه‌ای از کریستال مایع.

زمانیکه لایه کریستال مایع بین دو قطبشگر تحت تابش نور سفید قرار بگیرد بدلیل ضریب شکست متفاوت آن

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

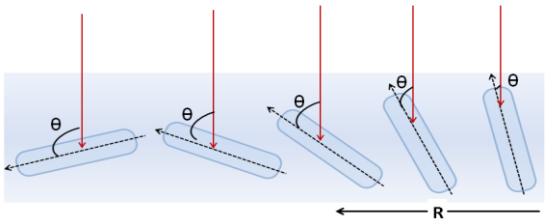
برای طول موج‌های مختلف لایه بصورتی رنگی با الگوی شکل ۵ مشاهده می‌شود.

در چیدمان شکل ۶ زمانیکه لایه‌ی کریستال مایع تشکیل می‌شود لایه شروع به سیاه شدن می‌کند و پس از چند لحظه لایه کاملا سیاه می‌شود. این به آن معنی است که دایرکتورها در جهت عمود بر لایه قرار گرفته‌اند.

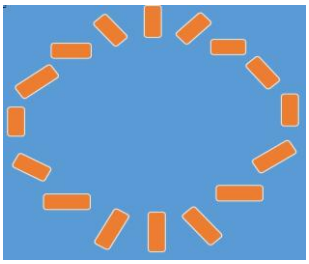
با اعمال میدان و جریان الکتریکی لایه شروع به چرخش می‌کند. اگر سرعت چرخش به اندازه‌ی کافی افزایش یابد رنگ‌ها در لایه ایجاد می‌شوند. مناطق سیاه رنگ مربوط به مکان‌هایی است که دایرکتورها با قطبش نور عبوری هم‌جهت‌اند و یا عمود بر آن می‌باشند با حرکت دادن قطبشگرها محل ایجاد پره‌های سیاه رنگ نیز عوض می‌شود.

همانطور که در شکل ۶- ب مشاهده می‌شود نوارهای سیاه رنگ دارای انحناهایی در طول خود هستند. جهت این انحناها جهت چرخش لایه کریستال مایع را نشان می‌دهد. با تغییر جهت چرخش قوس انحنا نیز تغییر می‌کند.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته توسط میکروسکوپ نور قطبیده جهتگیری دایرکتورها در نزدیکی مرکز برای لایه آزاد چرخان به صورت زیر است.



شکل ۷: جهت گیری دایرکتورها درون یک لایه کریستال مایع (از نمای کنار).



شکل ۸: جهت گیری دایرکتورها درون یک لایه کریستال مایع (از نمای بالا).

این جهتگیری در دایرکتورها نشان دهنده‌ی حالتی است که عدد قطبش یا همان بار توپولوژیکی P =2 است. پس با استفاده از این تکنیک نور قطبیده خطی با تقارن زاویه‌ای ایجاد شده است.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه روی اثر میدان و جریان خارجی در چرخش لایه‌ی نازک کریستال مایع انجام گرفت. آزمایش‌های صورت گرفته روی لایه‌ی نازک از کریستال مایع 5CB نشان داد: اعمال جریان و میدان الکتریکی بطور همزمان در یک صفحه و با زاویه نسبت به هم ($۰< \alpha <۹۰^\circ$) سبب ایجاد چرخش در لایه‌ی کریستال مایع 5CB می‌گردد. بزرگی و جهت این چرخش با بزرگی و جهت جریان و میدان الکتریکی قابل کنترل است. اعمال میدان الکتریکی به تنهایی، تاثیری روی لایه‌ی 5CB ندارد این در حالی است که اعمال جریان الکتریکی به تنهایی، سبب ایجاد گردابه‌ها و ناپایداری در لایه می‌گردد.

با قرار دادن لایه LC بین دو قطبشگر عمود بر هم می‌توان لایه را بصورت رنگی مشاهده کرد. که با استفاده از آن می‌توان نور قطبیده با قطبش خطی و تقارن محوری ایجاد کرد.

سپاسگزاری:

از آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان و جناب آقای دکتر علیرضا مرادی به سبب حمایت‌های فروانشان قدردانی می‌کنیم.

مراجع

[1] S. Chandrasekhar, *Liquid Crystal*, Combridge University Press, Cambridge, 2th Ed, 1992.
[2] PG. de Gennes and J. Prost, *The Physics of Liquid Crystals*, Oxford University Press, New York, 1995.
[3] S. Faetti, L. Fronzoni, and P. A. Rolla, *Static and dynamic behavior of the vortex–electrohydrodynamic instability in freely suspended layers of nematic liquid crystals* **J. Chem. Phys**, 79, 5054-5062, (1983).
[4] R. Shirsavar, A. Amjadi, M. R. Ejtehadi, M. R. Mozaffari, and M. S Feiz, *Rotational regimes of freely suspended liquid crystal films under electric current in presence of an external electric field*, **Microfluid. Nanofluid**, 13, 83-89, (2012).
[5] D. Pohl, *Operation of a ruby laser in the purely transverse electric mode TE01* **Appl. Phys. Lett,** 20, 266-267 (1972).
[6] M. Stalder, M. Schadt, *Linearly polarized light with axial symmetry generated by liquid-crystal polarization converters* **Optics Letter,** 21, 1948-1950 (1996)
[7] M. Schadt and W. Helfrich, *Voltage dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal* **Appl. Phys. Lett,** 18, 127-128 (1971).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]