

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته شیمی فیزیک

ساختار الکترونی کریستال های مایع

توسط

مریم جمالی

استاد راهنما:

دکتر علی حیدر پاکبازی

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۳

اسفند ماه ۱۳۸۵

۱۰۴۴۳۸

به نام خدا

ساختار الکترونی کریستال های مایع

به وسیله ی

مریم جمالی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای
اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

شیمی فیزیک

از دانشگاه شیراز

شیراز

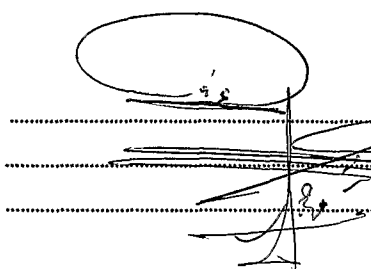
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر علی حیدر پاکباز، استاد بخش شیمی (رئیس کمیته)

دکتر سید حسین موسوی پور، دانشیار بخش شیمی

دکتر افشان مهاجری، استادیار بخش شیمی



اسفند ۱۳۸۵

سپاسگزاری

اکنون که این رساله را به پایان رسانده ام بر خود لازم می دانم از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر پاکباز صمیمانه سپاسگزاری کنم که در تمام مراحل تحقیق مرا دلسوزانه همراهی نمودند. همچنین از دوستان عزیزم در آزمایشگاه کوانتوم که مرا در انجام تحقیق یاری نمودند متشکرم. بی شک انجام این رساله بی لطف پروردگار و همراهی خانواده میسر نبود.

چکیده

ساختار الکترونی کریستال های مایع

به وسیله ی

مریم جمالی

مطالعه و بررسی کریستال های مایع در سال ۱۸۸۸ توسط یک گیاه شناس اتریشی به نام فردریک رینیتزر آغاز شد. کریستال های مایع کاربردها و خواص منحصر به فردی دارند. همان طور که تحقیقات در این زمینه و کاربردهای آنها افزایش یافته است، کریستال های مایع نقش مهمی در فن آوری نوین ایفا می کنند. اگر چه تحقیقات آزمایشگاهی فراوانی در این زمینه وجود دارد، تحقیقات نظری در این حوزه نادر است. در این تحقیق تلاش کرده ایم ویژگی های میکروسکوپی چندین ترکیب کریستال مایع نماتیک را^۱ به طور محاسباتی بررسی نماییم تا رابطه میان این خواص و شکست مضاعف بدست آوریم. همه این محاسبات در سطح B3LYP/6-31G** انجام شده است. همچنین رویکرد NBO برای مطالعه جزییات بیشتر بعضی از این ترکیبات که تحت میدان الکتریکی با قدرت های متفاوت قرار می گرفتند، مورد استفاده قرار گرفت.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ کریستال های مایع چه هستند؟
۴	۲-۱ تعیین خواص کریستال های مایع
۴	۳-۱ انواع
۵	۱-۳-۱ فازهای نماتیک
۶	۲-۳-۱ فازهای سمکتیک
۷	۳-۳-۱ فازهای کلستریک
۸	۴-۳-۱ فازهای ستونی
۹	۴-۱ کاربردهای کریستال های مایع
۹	۵-۱ شکست مضاعف
۱۲	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده
۱۶	فصل سوم: روش انجام کار
۱۷	۱-۳ روش های از اساس
۱۷	۱-۱-۳ روش هارتری-فوک
۱۸	۲-۱-۳ روش های همبستگی الکترونی
۱۹	۲-۳ نظریه چگالی تابعی ای
۱۹	۱-۲-۳ مبانی نظریه
۲۳	۳-۳ تجزیه و تحلیل اوربیتال های پیوندی طبیعی

۲۴	۴-۳ مجموعه پایه
۲۸	فصل چهارم: نتایج، بحث و پیشنهادها
۲۸	۱-۴ بهینه سازی هندسی
۳۰	۲-۴ خواص الکتریکی و شکست مضاعف
۳۰	۳-۴ اثر میدان بر نتایج NBO پیکربندی LC4
۳۳	۱-۳-۴ اثر میدان بر روی بار الکتریکی، انتقال بار و اعداد اشغال NBO
۴۶	۴-۴ بررسی و تحقیق ویژگی های الکتریکی LC6
۴۷	۵-۴ بررسی خواص الکتریکی بعضی از ترکیبات پیشنهادی برای LCD
۴۸	۱-۵-۴ بررسی LC7
۵۳	۲-۵-۴ بررسی LC8 تا LC11
۵۳	۶-۴ نتیجه گیری
۵۵	منابع و مأخذ

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان و شماره
۳۲	جدول ۱-۴: خواص الکتریکی و شکست مضاعف
۳۵	جدول ۲-۴: بارهای اتمی LC4 تحت قدرت میدان های الکتریکی مختلف
۳۷	جدول ۳-۴: بار کل گروه سیانید، حلقه ۱ (متصل به گروه سیانید) و حلقه ۲ (متصل به حلقه ۱) در قدرت میدانهای الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۳۸	جدول ۴-۴: انرژی انتقال بار بعضی از پیوندهای چندگانه در میدان های الکتریکی مختلف
۴۰	جدول ۵-۴: انرژی انتقال بار پیوند π در حلقه ۱ (متصل به گروه سیانید) در میدان های الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۴۱	جدول ۶-۴: انرژی انتقال بار پیوند π در حلقه ۲ (متصل به حلقه ۱) در میدان های الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۴۲	جدول ۷-۴: اعداد اشغال پیوندهای π در میدان های الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۴۳	جدول ۸-۴: اعداد اشغال پیوندهای π^* در میدان های الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۴۶	جدول ۹-۴: مقایسه بعضی از خواص الکتریکی LC6 و LC4
۴۸	جدول ۱۰-۴: مقایسه بعضی از خواص الکتریکی LC7 و LC4
۴۹	جدول ۱۱-۴: نتایج NBO مولکول LC7 در میدان های الکتریکی مختلف ($a.u. 10^{-4}x$)
۵۳	جدول ۱۲-۴: مقایسه بعضی از خواص الکتریکی LC6 و LC8 تا LC11

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱: جهت گیری مولکول ها در فازهای مختلف
۶	شکل ۱-۲: افزایش نظم از مایع
۷	شکل ۱-۳: فاز کلستریک
۸	شکل ۱-۴: فاز ستونی
	شکل ۱-۲: شماتیکی از (a): 4'-alkyl-biphenyl-4-carbonitrile و (b):
۱۳	4'-alkoxy-biphenyl-4-carbonitrile
۲۹	شکل ۱-۴: کریستال مایع نماتیک نمونه که تشکیل یک مولکول می دهد
۲۹	شکل ۲-۴: ساختار نماتیک های مورد استفاده در این تحقیق با گروه پایانی سیانو
	شکل ۳-۴: نمودارهای شکست مضاعف بر حسب HLG، مؤلفه x گشتاور دوقطبی
۳۱	(Debye) و قطبش پذیری (a_0^3)
۳۳	شکل ۴-۴: شماتیکی از LC4 با شماره اتم ها
۳۴	شکل ۴-۵: تصویر سه بعدی از LC4
	شکل ۴-۶: نمودارهای بارهای اتمی (a.u.) کربن ها و نیتروژن (a) گروه سیانید
	(b) حلقه ۱ (متصل به گروه سیانید) و (c) حلقه ۲ (متصل به حلقه ۱) تحت
۳۶	قدرت میدان های الکتریکی مختلف ($\times 10^{-4}$ a.u.)
	شکل ۴-۷: نمودار انرژی انتقال بار بعضی از پیوندهای چندگانه در برابر
۳۹	میدان های الکتریکی مختلف ($\times 10^{-4}$ a.u.)
۴۴	شکل ۴-۸: اعداد اشغال پیوندهای π در برابر میدان های الکتریکی مختلف ($\times 10^{-4}$ a.u.)
۴۵	شکل ۴-۹: اعداد اشغال پیوندهای π^* در برابر میدان های الکتریکی مختلف ($\times 10^{-4}$ a.u.)
۴۶	شکل ۴-۱۰: ساختار مولکول LC6
۴۷	شکل ۴-۱۱: ساختارهای ترکیبات پیشنهادی

فصل اول

مقدمه

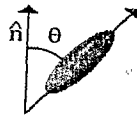
مطالعه کریستالهای مایع در ۱۸۸۶ توسط یک گیاه شناس اتریشی به نام فردریک رینیتزر^۱ آغاز گردید، وی در مطالعه خود متوجه شد کلسترول بنزوات دارای دو نقطه ذوب متفاوت می باشد (۱). او هنگامی که دمای یک نمونه جامد از این ماده را افزایش می داد، یک مایع مه آلود را مشاهده کرد. با افزایش بیشتر دما نمونه تبدیل به یک مایع شفاف گردید به همین علت، رینیتزر به عنوان کاشف فاز جدیدی از ماده که همان کریستال مایع می باشد، شناخته می شود.

۱-۱ کریستال های مایع چه هستند؟

کریستالهالی مایع دارای خواص ویژگی مشترکی می باشد که می توان به ساختار میله ای با محور صلب (سخت) و گشتاور دو قطبی قوی و استخلاف های قطبش پذیر آنها اشاره کرد. مهمترین خصوصیت متمایز کننده کریستالهای مایع، تمایل آنها جهت هم جهت شدن در یک راستا با (\hat{n}) نمایش داده می شود، می باشد. این مسئله بر خلاف حالت های مولکولها در فاز مایع که دارای نظم خاصی نیستند یا در فاز جامد که مولکولها کاملاً منظم هستند و دارای آزادی انتقالی ناچیزی می باشند، می باشد. خصوصیت نظم جهت گیری حالت کریستال مایع چیزی ما بین فازمایع و جامد است و منشأ حالت مزوزنیک^۲ آنها می باشد.

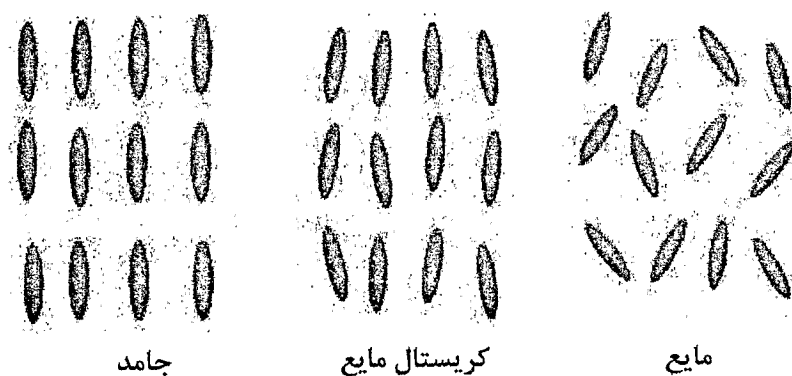
به حالت جهت گیری مولکولها در هر یک از فازهای شکل ۱-۱ توجه کنید. جهت کمی کردن نظم موجود در ماده پارامتر نظم (S) به صورت زیر تعریف می شود:

$$S = (1/2) \langle 3\cos^2\theta - 1 \rangle$$



^۱ - Friedrich Reinitzer
^۲ - mesogenic

که θ زاویه بین جهت \hat{n} و محور بلندتر هر مولکول می باشد. براکت نشانگر میانگین گیری مقدار داده شده برای تمام مولکول ها می باشد. در یک مایع همسانگرد^۱، میانگین ترم کسینوسی صفر می باشد و بنابراین پارامتر نظم، نیز مقدار صفر خواهد داشت. برای یک کریستال، پارامتر برابر ۱ می باشد. به عنوان مثال مقادیر پارامتر نظم برای یک کریستال مایع نوعی بین $0/3$ تا $0/9$ می باشد. به دلیل انرژی جنبشی مولکول مقدار آن تابعی از دما می باشد. این قضیه در شکل ۱-۱ برای یک کریستال مایع نماتیک^۲ نشان داده شده است (در بخش بعدی مورد بحث واقع خواهد گردید).



شکل ۱-۱: جهت گیری مولکول ها در فازهای مختلف

تمایل مولکول های کریستال مایع برای جهت گیری در امتداد \hat{n} خاصیتی به نام ناهمسانگرد^۳ را ایجاد می کند. این عبارت به این معنی است که خواص ماده مورد نظر به جهت اندازه گیری نیز علاوه بر خاصیت فیزیکی مربوطه، مربوط می شود که مرتبط با جهت \hat{n} می باشد. در صورتیکه نظم جهت گیری بالا باشد، ماده بسیار ناهمسانگرد می شود. بطور مشابه در صورتیکه نظم جهت گیری کوچک باشد، ماده مورد نظر تقریباً همسانگرد دیده خواهد شد. بطور مثال، بریدن یک تکه چوب در امتداد الیاف آن راحت تر از امتداد عمود بر آن است. طبیعت ناهمسانگردی کریستالهای مایع مسئول خواص منحصر به فرد نوری آن ها می باشد که بسیار مورد توجه دانشمندان و مهندسين در علوم گوناگون می باشد (۲).

^۱ - isotropic
^۲ - nematic
^۳ - anisotropy

۲-۱ تعیین خواص کریستال های مایع

پارامترهای زیر ساختار کریستال مایع را توصیف می کنند:

- نظم مکانی^۱
- نظم جهتی^۲
- نظم فاصله ای^۳

هر یک از این پارامترها نشانگر درجه نظم مولکولی کریستالهای مایع است.

نظم مکانی نمایش دهنده میزان تقارن انتقالی مولکولها یا گروهی از مولکولها می باشد. (همان طوری که یک ماده کریستالی است). نظم جهتی همان طوری که در بالا شرح داده شده است معرف میزان تمایل مولکولها به جهت گیری در امتداد \hat{n} می باشد. نظم فاصله ای معیاری از فاصله دو مرکز دو مولکول کریستال مایع مجاور می باشد.

بیشتر ترکیبات کریستال مایع خواص چند ریختی، شرایطی که بیشتر از یک فاز در حالت کریستالی مایع دیده می شود. فازهای کریستال مایعی . همچنین به عنوان مزوفازها^۴ (به معنی فاز حد واسط) شناخته می شود، و از مولکولهایی که این فازها را تشکیل می دهند به عنوان مزوژن-ها^۵ نام برده می شود. عبارت مزوفاز جهت توصیف زیر فاز یک ماده کریستال مایع به کار برده می-شود. مزوفازها توسط تغییر میزان نظم نمونه؛ یا با اعمال نظم در یک یا دو بعد، یا با آزاد قرار دادن مولکولها جهت حرکت انتقالی می تواند انجام پذیرد.

۳-۱ انواع

کریستالهای مایع (LCs) عموماً ترکیباتی آلی می باشند که می توانند نظیر یک فاز مایع جریان یابند درحالیکه دارای نظم دوربرد نظیر یک جامد هستند. هنگامی که کریستالهای یک ماده خالص گرم می شوند، بطور معمول یک نقطه ذوب تعریف شده را نتیجه می دهند که در نتیجه آن شبکه منظم کریستالی فرو می پاشد و ماده تبدیل به مایع می گردد. در فاز مایع، مولکولهای منفرد جهت

^۱ - Positional Order
^۲ - Orientational Order
^۳ - Bond Orientational Order
^۴ - mesophases
^۵ - mesogens

گیری خاصی را نشان نمی دهند. یک خاصیت منحصر به فرد کریستالهای مایع این است که، در حین فرآیند ذوب، ساختار کریستال سه بعدی منظم به حالت‌های منظم یک یا دو بعدی تبدیل می شود. این مسئله ماده ای را نتیجه می دهد که دارای خواص نوری یک جامد به همراه با خواص سیالی یک مایع است؛ بنابراین این ماده، دارای خواص متنوعی می باشد. توده مولکولی از یک ترکیب کریستال مایع به اشکال شبیه میله ای می باشد.

جهت گیری این مولکولهای قطبی شبه میله ای باعث دسته بندی این ترکیبات در سه شکل مختلف می شود:

- نماتیک

- سمکتیک^۱

- کلستریک^۲

۱-۳-۱ فازهای نماتیک

یکی از فازهای معمول کریستالهای مایع نماتیک است که در این فاز مولکولها دارای نظم مکانی نیستند اما دارای نظم جهتی بالایی می باشند. بنابراین، مولکولها جریان می یابند و موقعیت مرکز جرم شان بطور تصادفی نظیر یک مایع پخش می شود، ولی همگی دارای یک جهت خاص نسبت به ناحیه ی مورد نظر می باشند. بیشتر نماتیک ها تک محوری می باشند؛ آنها دارای محوری می- باشند که طولانی تر و ارجح تر است در حالی که آن دو محور دیگر معادلند (نظیر یک استوانه).

فاز نماتیک همچنین دارای مولکولهایی است که محور بلندتر آنها با یکدیگر موازی می باشند ولی در لایه های مختلف نیستند. آرایش ساختاری آنها نظیر بسته بندی خلالهای دندان در یک جعبه می باشد. شکل ۱-۲ یک ساختار مزوفاز نماتیک را نمایش می دهد. مولکولهای منفرد در حالی که جهت گیری خود را حفظ می کنند، می توانند آزادانه در جهات بالا و پایین انتقال یابند (۲).

در یک مایع نماتیک، \hat{n} در فضا ثابت می ماند و امتداد متوسط مولکولها موازی با آن می باشد، با وجود این که آنها می توانند نظیر یک مایع معمولی دارای خاصیت پخش (نفوذ) باشند. وجود یک جهت گیری مناسب باعث می شود که این فاز خواص شکست مضاعف^۳ را پیدا کند.

^۱- Smectic

^۲- Cholesteric

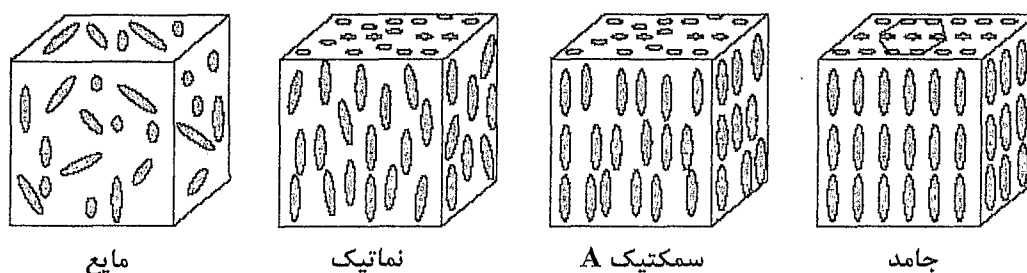
^۳- birefringent

یک دسته خاص از کریستالهای مایع نماتیک، نماتیک کایرال نامیده می شود. کایرال به توانایی انتخاب انعکاس یک جز از نور قطبیده شده اطلاق می گردد. عبارت کلستریک گاهی اوقات به جای نماتیک کایرال مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۳-۲ فازهای سمکتیک

واژه سمکتیک از کلمه یونانی برای صابون نشأت می گیرد. به نظر می رسد که دلیل آن شبیه بودن سمکتیک به لایه ی ضخیم و لغزنده از صابون که غالباً در ته ظرف شکل می گیرد، باشد. حالت سمکتیک، مزوفاز متمایز دیگری از ترکیبات کریستال مایع می باشد. مولکولها در این فاز دارای نظم انتقالی می باشند که در نماتیک موجود نیست. در حالت سمکتیک، مولکولها جهت گیری عمومی نظیر نماتیک ها دارند ولی علاوه بر آن تمایل به جهت دار کردن خود در لایه ها یا صفحات می باشند. حرکت مولکولها محدود به این صفحات می باشد و صفحات مجزا می توانند در کنار یکدیگر جریان یابند. افزایش نظم در سمکتیک ها نسبت به نماتیک ها به این معنی است که آنها شبیه تر به جامدات هستند

فاز سمکتیک شامل لایه های مسطح از مولکولهای میله مانند است که محور بلندتر آنها عمود بر صفحه می باشد. این فاز منظم ترین فاز کریستال مایع است.



شکل ۱-۲: افزایش نظم از مایع

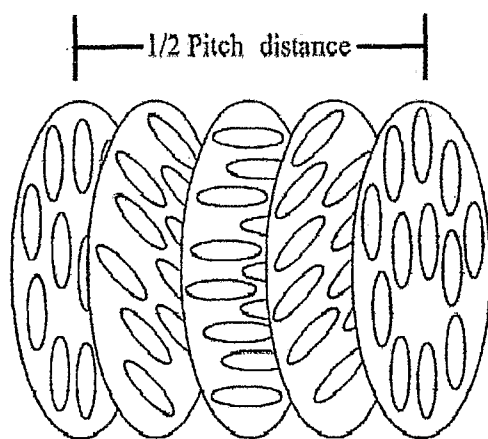
مولکولهای هر لایه در همان لایه باقی می ماند و وارد لایه های یکدیگر نمی شوند. شکل ۱-۲ مدل ساختاری مزوفاز سمکتیک را نشان می دهد. مولکولها در امتداد محور بزرگتر خود با یکدیگر موازی هستند. مولکولها می توانند نسبت به یکدیگر حرکت کنند، در نتیجه انواع مختلفی از ساختارها بسته به انحراف محور بلندتر، نسبت به صفحه، می تواند شکل بگیرد.

ترکیبات زیادی تا به حال دیده شده اند که می توانند بیشتر از یک نوع فاز سمکتیک تشکیل دهند. ۱۲ گونه تا به حال شناسایی شده اند، ولی فقط متمایزترین فازها در این جا بحث می شوند. در سمکتیک A، \hat{n} عمود بر صفحه سمکتیک می باشد و نظم مکانی خاصی در صفحه موجود نیست. بطور مشابه، سمکتیک B دارای \hat{n} عمود بر صفحه سمکتیک است، اما مولکولها در شبکه-ای از شش وجیه ها در صفحه آرایش یافته اند. در سمکتیک C، مولکولها آرایشی شبیه سمکتیک A را دارند، اما \hat{n} نسبت به صفحه سمکتیک دارای زاویه است.

نظیر نماتیک، سمکتیک C دارای حالت کایرال است که با C* نمایش داده می شود. تفاوت C و C* در این است که در C* زاویه انحراف می تواند از یک لایه به لایه ی دیگر تغییر کند و ایجاد یک مارپیچ کند. به بیان دیگر، راستای \hat{n} سمکتیک C* نه موازی و نه عمود نسبت به لایه هاست، و از یک لایه نسبت به لایه ی بعدی می چرخد (۲).

۳-۳-۱ فازهای کلستریک

فاز کلستریک (نماتیک کایرال) کریستال مایع بطور نوعی از مولکولهای مزوزنیک نماتیک با یک مرکز کایرال تشکیل شده است که باعث ایجاد نیروهای بین مولکولی می گردند که به نوبه خود آنها را وادار به جهت گیری نسبت به یکدیگر می کنند. این باعث ایجاد ساختاری می شود که می-توانند بصورت دسته ای از لایه های شبه نماتیک دو بعدی خیلی نازک با \hat{n} هایی که نسبت به لایه بالایی و پایینی دارای انحراف است. در این ساختار \hat{n} ها در حقیقت بصورت یک طرح مارپیچی پیوسته می باشند

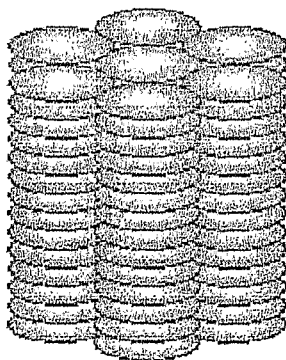


شکل ۳-۱: فاز کلستریک

مشخصه مهم مزوفاز کلاسترویک (p) pitch می باشد. P به صورت فاصله ای است که یک \hat{n} در طول 360° درجه چرخش حول محور بایستی طی کند، تعریف می شود. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. نتیجه ساختار مارپیچی فاز نماتیک کایرال توانایی آن جهت انعکاس انتخابی نور با طول موج های برابر با طول P می باشد، بصورتیکه یک رنگ منعکس خواهد شد هنگامی که طول P برابر با طول موج مربوطه در ناحیه مرئی باشد. این اثر بر پایه وابستگی دمایی تغییر تدریجی جهت گیری \hat{n} بین لایه های پی در پی می باشد، که طول P را متناسب با تغییر طول موج نور منعکس شده وابسته به دما در نظر می گیرند. زاویه ای که در آن \hat{n} تغییر می کند بزرگتر در نظر گرفته شود، که در نتیجه P را فشرده تر می کند، با افزایش دمای مولکول که به نوبه خود انرژی گرمایی بیشتری را به سیستم می دهد. به طور مشابه، کاهش دمای مولکولها باعث افزایش طول P کریستال مایع نماتیک کایرال می گردد. این باعث می شود که بتوان یک دماسنج کریستال مایعی ساخت که دمای محیط را با رنگ منعکس یافته نمایش داد (۲).

۴-۳-۱ فازهای ستونی

کریستال های مایع ستونی با انواع قبلی متفاوتند زیرا آنها نظیر بشقاب شکل گیری کردند به جای آن که بصورت میله ای بلند باشند، همانطور که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. این مزوفاز توسط ستونهای دسته بندی شده از مولکولها شناسایی می شود. این ستونها کنار یکدیگر دسته بندی شده اند تا یک مجموعه ای دوبعدی کریستالی را شکل دهند. قرارگیری این مولکولها در ستونها و آرایش خود ستونها می توانند به مزوفازهای جدیدی منجر شوند (۲).



شکل ۱-۴: فاز ستونی

۴-۱ کاربردهای کریستال های مایع

کریستال های مایع در صفحات نمایشگر کریستال مایعی به طور وسیعی مورد استفاده هستند که بر مبنای خواص نوری مولکولهای کریستال مایع در حضور یا عدم حضور میدان الکتریکی می باشد. در یک سیستم نوعی، یک لایه کریستال مایعی بین دو قطبی ساز قرار می گیرد که با یکدیگر زاویه ۹۰ درجه ساخته اند. کریستال مایع بصورتی انتخاب می گردد که فاز پایدار آن پیچ خورده باشد. این فاز پیچ خورده نوری را که از میان اولین قطبی ساز می گذرد تغییر جهت می دهد و به آن اجاره می دهد که از میان قطبی ساز دوم عبور کند و به مشاهده کننده منعکس می گردد. هنگامی که یک میدان الکتریکی به لایه کریستال مایع اعمال می شود، تمام مزوژن ها هم جهت می شوند (دیگر پیچ خورده نیستند). در این حالت منظم، مزوژن ها نور را تغییر جهت نمی دهند، بنابراین نوری که در قطبی ساز اول قطبی شده است در قطبی ساز دوم جذب می شود، و تمام دستگاه تاریک می شود. به این ترتیب میدان الکتریکی می تواند ایجاد یک کلید عنصر تصویری کند بین حالت های روشن و تاریک. سیستم های کریستال مایع رنگی تکنیک مورد مشابهی را قرار می دهند، به همراه فیلترهای رنگی که دارای توانایی ایجاد عنصرهای تصویری قرمز، سبز، آبی می باشد.

کریستال های مایع کایرال که **P** آنها با دما به شدت تغییر می کند می توانند به عنوان دماسنج مورد استفاده قرار بگیرند، زیرا که رنگ ماده با تغییر ساختار **P** تغییر می کند. تغییر رنگ کریستال مایع در دماسنج های آکواریوم و استخر مورد استفاده قرار می گیرند. سایر موارد کریستال مایعی رنگ خود را هنگامی که تحت فشار یا کشش قرار می گیرند نیز تغییر می دهند. بنابراین، صفحات کریستال مایع گاهی اوقات در صنایع جهت آشکار سازی نقاط داغ جریانهای گرمایی، طرح توزیع فشار و ... مورد استفاده قرار می گیرند. کریستال مایع در حالت سیال خود در صنایع نیمه رسانا جهت آشکار سازی نقاط داغ مورد استفاده قرار می گیرد.

شایان ذکر است که بسیاری از سیالات درحقیقت کریستال مایع هستند. به عنوان مثال صابون یک کریستال مایع است، و فازهای متنوعی را بسته به غلظت آن در آب تشکیل می دهد (۲).

۵-۱ شکست مضاعف

نور به هنگامیکه از یک جسم شفاف عبور می کند شکست می خورد. این خمیدگی نور شکست نامیده می شود. بعضی از اجسام شفاف باعث می شوند که نور در دو جهت شکسته یا خمیده شود

که باعث می شوند که نور در دو شاخه تقسیم شود. این پدیده شکست دوگانه نامیده می شود. هنگامی که شما به چیزی از میان یک جسم منکسر کننده مضاعف می نگرید شما یک تصویر دوگانه می بینید.

شکست مضاعف توسط رابطه زیر تعریف می شود:

$$\Delta n = n_e - n_o \quad (1-1)$$

که n_o شاخص (اندیس) شکست برای نور معمولی و n_e شاخص شکست برای نور غیر معمولی می-باشد (۲).

فصل دوم