

فهرست


۱	..... مقدمه
۲	..... (۱) فصل اول: مفاهیم پایه ای و مقدمه پژوهشی
۳	..... (۱-۱) بلورهای مایع
۳	..... (۲-۱) تاریخچه بلورمایع
۵	..... (۳-۱) ساختار شیمیائی و خواص
۷	..... (۴-۱) فازهای بلورمایع
۸	..... (۱-۴-۱) بلورهای مایع ترموتروپیک
۸	..... (۱-۱-۴-۱) نماتیک ها
۹	..... (۲-۱-۴-۱) سمکتیک ها
۱۰	..... (۳-۱-۴-۱) کایرال نماتیک ها
۱۱	..... (۴-۱-۴-۱) فاز آبی
۱۳	..... (۲-۴-۱) لیوتروپیک ها
۱۵	..... (۵-۱) ناهمسانگردی دی الکتریک در بلورهای مایع
۱۶	..... (۶-۱) بیضی گون ضریب شکست
۱۷	..... (۷-۱) اثر میدان الکتریکی بر بلورهای مایع
۱۸	..... (۸-۱) انرژی اندرکنشی سطح
۲۰	..... (۹-۱) انرژی آزاد اوسن - فرانک
۲۲	..... (۱۰-۱) تئوری پیوستگی الاستیک
۲۳	..... (۱۱-۱) پدیده های غیرخطی در بلورهای مایع
۲۴	..... (۱-۱۱-۱) کلیدزنی غیرخطی در بلورهای مایع
۲۵	..... (۲-۱۱-۱) سالیتون های فضائی
۲۷	..... (۱۲-۱) کاربردهای بلورمایع
۲۷	..... (۱-۱۲-۱) نمایشگرها
۲۸	..... (۲-۱۲-۱) مدولاتورهای فضائی نور
۳۰	..... (۳-۱۲-۱) آشکارسازها
۳۲	..... (۲) فصل دوم: مبانی و روش ها

۳۳	..... مواد بکار رفته (۱-۲)
۳۳	..... بلورمایع E7 (۱-۱-۲)
۳۴	..... بلورمایع 6CHBT (۲-۱-۲)
۳۵	..... بلورمایع 1294-1b (۳-۱-۲)
۳۵	..... رنگینه آزو بنزن DR1 (۴-۱-۲)
۳۶	..... آماده سازی سلول و ضخامت سنجی آن (۲-۲)
۳۹	..... آرایش با رنگینه (۱-۲-۲)
۳۹	..... آرایش با نانو لوله های کربنی (۲-۲-۲)
۴۰	..... معادله اریکسون - لرلی (۳-۲)
۴۱	..... گشتاور الاستیک (۱-۳-۲)
۴۳	..... گشتاور میدان خارجی (۲-۳-۲)
۴۴	..... گشتاور ویسکوزیته (۳-۳-۲)
۴۴	..... گذار فردریکز (۴-۲)
۴۶	..... آرایش تجربی (۵-۲)
۴۸	..... روش تجربی (۶-۲)
۵۰	..... رژیم ولتاژ پایین (۱-۶-۲)
۵۵	..... اثر ضخامت (۱-۱-۶-۲)
۵۶	..... رژیم ولتاژ میانی (۲-۶-۲)
۵۹	..... رژیم ولتاژ بالا (۳-۶-۲)
۶۲	..... معیار شایستگی (۱-۳-۶-۲)
۶۵	..... فصل سوم: نتایج، بحث و پیشنهادات (۳)
۶۶	..... نتایج تجربی (۱-۳)
۶۶	..... بلورمایع E7 خالص و آلائیده (۱-۱-۳)
۷۲	..... بلورمایع 6CHBT آلائیده با رنگینه آزو (۲-۱-۳)
۷۲	..... رژیم ولتاژ پایین (۱-۲-۱-۳)
۷۴	..... رژیم ولتاژ میانی (۲-۲-۱-۳)
۷۵	..... رژیم ولتاژ بالا (۳-۲-۱-۳)
۷۶	..... جمع بندی (۴-۲-۱-۳)

۷۷	..... بلورمایع 1294-1b (۳-۱-۳)
۷۹	..... رژییم ولتاژ پایین (۱-۳-۱-۳)
۸۱	..... اثر ضخامت (۱-۱-۳-۱-۳)
۸۳	..... رژییم ولتاژ میانی (۲-۳-۱-۳)
۸۴	..... رژییم ولتاژ بالا (۳-۳-۱-۳)
۸۵	..... اثر دما (۱-۳-۳-۱-۳)
۸۸	..... جمع بندی (۴-۳-۱-۳)
۸۹	..... بحث و نتیجه گیری (۲-۳)
۸۹	..... بلورمایع E7 خالص و آلائیده (۱-۲-۳)
۸۹	..... بلورمایع 6CHBT آلائیده با رنگینه آزو (۲-۲-۳)
۹۰	..... بلورمایع 1294-1b (۳-۲-۳)
۹۱	..... اثر دما (۱-۳-۲-۳)
۹۲	..... اثر ضخامت (۲-۳-۲-۳)
۹۳	..... پیشنهادات (۳-۳)
۹۴	..... فصل چهارم: مراجع (۴)

علم فوتونیک بعنوان دانشی که ساخت و مطالعه سیستم نوری همچون لیزر ها، آشکارسازها، حافظه های نوری و مدولاتورها را در بر می گیرد، جایگاه خاصی در دنیای مدرن بدست آورده و کاربردهای آن در پزشکی، صنعت و ارتباطات بطور قابل توجهی زندگی انسان امروزی را دگرگون کرده است. مدولاتورهای نوری که از اساسی ترین زمینه های تحقیقاتی بشمار می روند، ابزارآلات نوری را شامل می شوند که قابلیت تغییر فاز و شدت نور فرودی را دارا هستند. از کاربردهای مدولاتورها می توان به عدسی های قابل تنظیم و سوار کردن اطلاعات بروی پالس های نوری از طریق ساخت شبکه های ماتریسی اشاره نمود. در چنین سیستم هائی، شدت و فاز نور از طریق تغییر ضریب شکست ماده توسط اعمال میدان خارجی و بر اساس پدیده های اپتیک غیرخطی انجام می گیرد. بلورهای مایع بعنوان مواد آلی در مقابل مواد معدنی که ساخت آنها زمان و هزینه بالائی را می طلبد، قابلیت تولید انبوه و ارزانتر دارند. علی رغم حساسیت بالای این مواد به شرایط محیط، کاربردهای وسیع این مواد که از آن جمله می توان به نمایشگرهای بلورمایع اشاره نمود نشانگر قابلیت های این فاز از ماده می باشد.

در پایاننامه پیش رو پس از معرفی بلورمایع، دسته بندی های متداول، خواص نوری و فیزیکی آنها به برخی کاربردهای این مواد نیز اشاره شده است. در فصل دوم با معرفی مواد و تئوری بکار رفته در این تحقیق تجربی، نحوه کلیدزنی در مدولاتورهای مبتنی بر بلورمایع شرح داده شده و در ادامه نیز با اعمال تقریب های متداول، روابط مربوط به کلیدزنی در ولتاژهای مختلف نیز بروش تحلیلی بدست آمده است. فصل سوم نیز شامل نتایج مربوط به دینامیک کلیدزنی در بلورمایع های خالص و آلاییده می باشد که به نتیجه گیری ها و پیشنهاداتی در راستای تحقیقات آتی ختم می شود.



فصل اول

مفاهیم پایه ای و مقدمه پژوهشی

در این فصل جهت آشنائی خواننده با اصول مقدماتی و اساسی بلورهای مایع، ابتدا تاریخچه آنها و سپس گزیده ای مشتمل بر ساختار، دسته بندی و اساس کار این مواد ارائه خواهد شد. در ادامه نیز برخی از کاربردهای اخیر و مرسوم بلورهای مایع به استحضار خواهد رسید.

۱-۱) بلورهای مایع^۱

بلورهای مایع حالت میانی را مابین جامدات و مایعات دارند بطوریکه مانند مایعات جاری شده و بمانند بلورها از نظم جهتی خاصی پیروی می کنند. با اینکه مایعات از نظر اپتیکی همسانگرد^۲ هستند، در بلورهای مایع حالت خاصی وجود دارد که در عین مایع بودن، دارای خواص فیزیکی ناهمسانگرد^۳ نیز هستند. به چنین فازهای میانی، مزوژن^۴ و به فازهای متفاوتی که موادی همچون بلورمایع از خود نشان می دهد مزوفاز^۵ اطلاق می گردد [۲۱].

۱-۲) تاریخچه بلورمایع

در سال ۱۸۸۸ گیاهشناسی اتریشی به نام فردریک راینیتزر^۶ هنگام کار در دانشگاه پراگ و استخراج کلسترول هویج برای بدست آوردن فرمول شیمیایی آن، رنگهای متمایزی را هنگام سرد و گرم کردن مشتقات کلسترول بالای نقطه انجماد، مشاهده کرد. وی دریافت که بنزوات کلسترول مانند سایر ترکیبات ذوب نمی شود، بلکه بطور واضح در پدیده ای برگشت پذیر دو نقطه ذوب دارد که در یکی

^۱ Liquid Crystal

^۲ isotropic

^۳ non - isotropic

^۴ mesogen

^۵ mesophase

^۶ Friedrich Reinitzer

ذوب و تبدیل به مایعی کدر شده و در دمائی بالاتر از آن دوباره ذوب شده و مایع کدر به یکباره شفاف می‌شود. راینیتزر برای کمک گرفتن از یک فیزیکدان نامه‌ای به اوتو لهمان^۱ نوشت. لهمان بر روی این حالت کدر میانی آزمایش های متعددی را انجام داده و گزارش هائی را دال بر بلور بودن این ماده ارائه نمود. مبادلات علمی بین این دو با انبوهی از سؤالات بی پاسخ به پایان رسید. در نهایت راینیتزر نتایج تجربی خود را که در تطابق با نتایج لهمان بود، در نشست انجمن شیمی وین ارائه داد [۳].

تا آن زمان راینیتزر سه شکل متفاوت از بلورهای مایع کلستریک^۲ (نامی که بعدها توسط جرج فریدل^۳ به آنها اطلاق شد) را کشف کرده بود. لهمان پس از مطالعه سیستماتیک موادی که آنها هم پدیده دو ذوبی را بطور مشخص نشان می‌دادند، شاره بودن فاز میانی و قابلیت تغییر پلاریزاسیون^۴ نور فرودی را نیز با میکروسکوپش مشاهده کرد. در سال ۱۹۶۹ هانس کلکر^۵ موفق شد ماده‌ای به نام MBBA را که فاز نماتیک داشت، در دمای اتاق سنتز کند. قدم بعدی برای تجاری کردن نمایشگرهای بلور مایع، سنتز کردن یک ماده شیمیایی پایدار دیگر با دمای ذوب پایین توسط جرج گری^۶ بود. در سال ۱۹۹۱ و زمانی که استفاده از نمایشگرهای بلور مایع در زندگی روزمره نسبتاً رواج یافته بود، پیر ژیل دوژن^۷ جایزه نوبل فیزیک را برای کشف روش‌های گسترده مطالعه پدیده‌های منظم در سیستم‌های ساده‌ای که به بلورهای مایع و پلیمرها تعمیم داده می‌شوند، از آن خود کرد [۳].

¹ Otto Lehmann

² cholestric

³ Georges Friedel

⁴ polarization

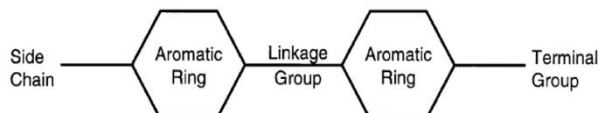
⁵ Hans Kelker

⁶ George Gray

⁷ Pierre-Gilles de Gennes

۳-۱ ساختار شیمیایی و خواص

بطور کلی شکل بلورهای مایع آروماتیک بصورت زیر است که معمولا از دو یا چندین حلقه آروماتیک^۱ مانند بنزن^۲ تشکیل می شوند که توسط گروه رابط مرکزی^۳ به هم متصل اند.



شکل (۱-۱): ساختار مولکولی کلی بلورهای مایع

از انواع گروههای جانبی^۴ میتوان به آلکیل^۵ ها و آلکوسی^۶ ها و از گروههای رابط میانی می توان به آزوکسی^۷ ها و استیلین^۸ اشاره نمود که اسامی بلورهای مایع نیز بطور معمول بر اساس گروه رابط مرکزی تعیین می شود. تمامی خواص فیزیکی و اپتیکی بلورهای مایع از جمله ثابت دی الکتریک^۹، ثابت الاستیک^{۱۰}، ویسکوزیته^{۱۱}، طیف جذبی^{۱۲}، دمای گذار^{۱۳} و ناهمسانگردی ماده به خواص گروههای تشکیل دهنده و چگونگی سنتز آنها بستگی دارد. با اینکه تعیین دقیق هر کدام از اجزاء در هنگام سنتز امری دشوار و اکثرا غیر ممکن است، در تجربه مشاهدات قابل قبولی وجود دارد که خواص فیزیکی را به مهندسی ساختار شیمیایی ربط میدهد [۲۱].

¹ aromatic

² benzene

³ linkage group

⁴ side and terminal groups

⁵ alkyl

⁶ alkoxy

⁷ azoxy

⁸ acetylene

⁹ dielectric constant

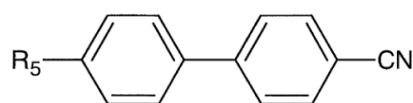
¹⁰ elastic constant

¹¹ viscosity

¹² absorption spectra

¹³ transition temperature

پایداری شیمیایی بلورهای مایع بیشتر روی گروه واسط میانی استوار است. صرف نظر از حساسیت گروههای میانی همچون آزو^۱ و استر^۲ به دما، رطوبت و تابش فرابنفش، این مواد ثبات خوبی از خود نشان می دهند. این در حالیست که ترکیبات فاقد گروه رابط میانی پایدارترین بلورهای مایع سنتز شده اند که از آنها می توان به بلورمایع معروف 5CB اشاره نمود که شکل آن بصورت زیر است.



شکل (۱-۲): ساختار شیمیایی بلورمایع 5CB

نوشتن هامیلتونی برای تک مولکول ها کار خسته کننده ای است تا چه رسد به وارد کردن اثرات موجود مابین چندین مولکول و تفاوت های آنها با یکدیگر. از طرفی چون تئوریهای موجود نیز اطلاعات کاملی در رابطه با خواص ساختار مولکولی بلورهای مایع بدست نمی دهند، به بیان مطالبی کلی غنیمت می کنیم [۱].

شش اوربیتال σ ، π ، n و متناظرهای تحریک شده آنها حالت های انرژی را نشان می دهند که بدلیل تشکیل اکثر بلورهای مایع از حلقه های آروماتیک، حالت های انرژی یا اوربیتال های حلقه آروماتیکی نقش اساسی را در شناخت این مواد بر عهده دارد. به عنوان مثال گذار $\pi \rightarrow \pi^*$ در بنزن و گذار $\sigma \rightarrow \sigma^*$ در سیکلوهگزان^۴ به طور دقیق مطالعه شده که بترتیب برای طول موج های کمتر از ۲۰۰ و ۱۸۰ نانومتر اتفاق می افتند. از طرفی با افزایش طول موج و رفتن به سمت طول موج های

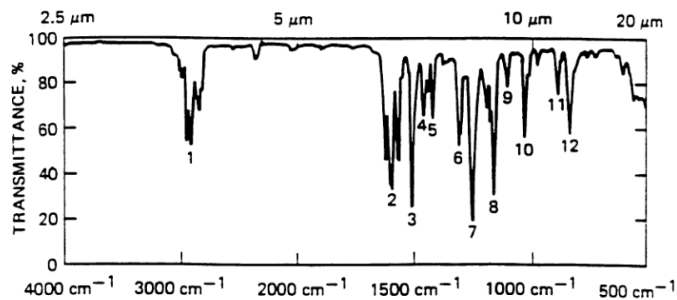
^۱ azo

^۲ ester

^۳ orbital

^۴ cyclohexane

فرو سرخ بالاتر از ۹۰۰ نانومتر، نور فرودی جذب شده موجب تحریک گذارهای ارتعاشی مولکولها می شود. مابین دو محدوده مذکور و برای طیف مرئی باندهای جذبی کمی وجود دارند که در نتیجه بلورهای مایع را برای نور مرئی شفاف می سازد. نمونه ای از طیف عبوری برای بلورمایع MBBA بصورت زیر است [۲۱].



شکل (۱-۳): طیف عبوری برای بلورمایع MBBA [۱]

۱-۴) فازهای بلورمایع

فازهای مختلف بلورهای مایع با مشخص کردن انواع نظم در آنها بمانند نظم مکانی یا جهتی^۱ و اینکه نظم حاکم کوتاه برد است یا در تمامی ماده گسترش یافته است، دسته بندی میشوند. بلورهای مایع را می توان به گروههای ترموتروپیک^۲، لیوتروپیک^۳، پلیمریک^۴ و متالوتروپیک^۵ تقسیم نمود. در حالیکه ترموتروپیک ها گذارهای فازی وابسته به دما بنام مزوفاز دارند، لیوتروپیک ها گذارهای فازی را بر اساس تغییرات دما و تجمع مولکول ها در حلالی همچون آب از خود نشان میدهند.

¹ positional or orientational order

² termotropics

³ lyotropics

⁴ polymeric

⁵ metallotropics

متالوتروپیک ها از مولکول های آلی و معدنی تشکیل یافته اند که گذارهای فازی در این مواد علاوه بر دما و تجمع مولکول ها به پیوندهای آلی - معدنی نیز وابسته است. خواص پلیمریک ها به نحوه قرارگیری بلورهای مایع در زنجیره پلیمری بستگی دارد [۲].

۱-۴-۱) بلور های مایع ترموتروپیک

فازهای ترموتروپیک در دماهای خاصی روی میدهند. در دماهای بسیار پایین بیشتر بلورهای مایع به جامد (بلور) تبدیل میشوند. اکثر ترموتروپیک ها شمار زیادی فاز را با تغییرات حرارت به نمایش میگذارند. این فازها را بسته به نوع بلورمایع می توان در دماهای بالاتر از نقطه ذوب و پایین تر از دمای گذار به حالت همسانگرد مشاهده نمود. در دماهای بالاتر از دمای گذار، نوسانات حرارتی موجب فروپاشی نظم جهتی بلورهای مایع و تبدیل آن به مایع معمولی میشود که این امر همراه با از بین رفتن کامل نظم مکانی و جهتی ماده می شود. در ذیل به تعدادی از معروفترین مزوفازهای ترموتروپیکی اشاره شده است [۱].

۱-۴-۱-۱) نماتیک ها^۱

نماتیک ها از معروفترین فازهای بلورمایع می باشند که در این فاز مولکول های استوانه ای شکل بلور مایع هیچ نظم مکانی از خود نشان نمی دهند اما در راستای خاصی منظم اند. به زبان دیگر اگرچه مولکول ها شارش آزاد دارند و مرکز جرم آنها بطور کاتوره ای توزیع شده است لیکن مولکول ها تک محوری بوده و تقریباً در راستای خاصی آرایش یافته اند که این جهت گیری مولکولها موجب

^۱ nematics

ناهمسانگردی نوری ماده تحت تابش نور میشود. نظم جهتی و در نتیجه ناهمسانگردی بلورهای مایع نماتیکی را می توان با اعمال میدان الکتریکی یا مغناطیسی تغییر داده و از این ناهمسانگردی قابل کنترل برای ساخت مدولاتورهای فضائی نور^۱ و نمایشگرهای بلورمایع^۲ استفاده نمود [۲].



شکل (۱-۴): شکل کلی بلورمایع نماتیکی

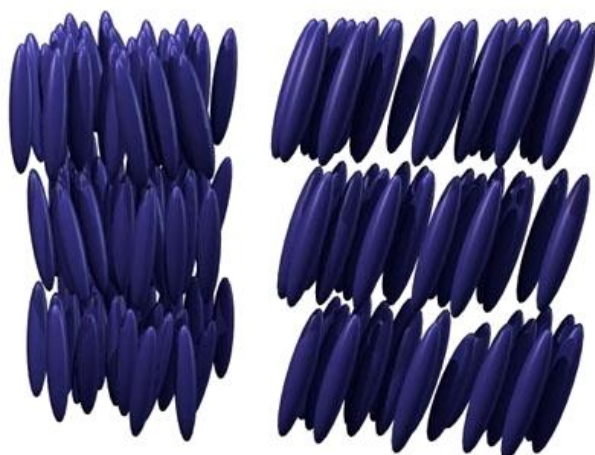
۱-۴-۱-۲) سمکتیک^۳ ها

در دماهای نسبتاً پایین تر از نماتیک ها، لایه هائی از مولکول ها تشکیل می شود که می توانند روی همدیگر سر بخورند. این نظم تک بعدی شامل فازهای سمکتیک فراوانی می شود که بر اساس نظم مکانی و جهتی نامگذاری می شوند. برای مثال می توان به سمکتیک A و C اشاره نمود که با توجه به شکل (۱-۵) در اولی مولکولهای آرایش یافته در لایه ها با بردار عمود بر سطح موازی بوده و در نوع اخیر با آن زاویه می سازد [۲].

^۱ Spatial Light Modulator (SLM)

^۲ Liquid Crystal Display (LCD)

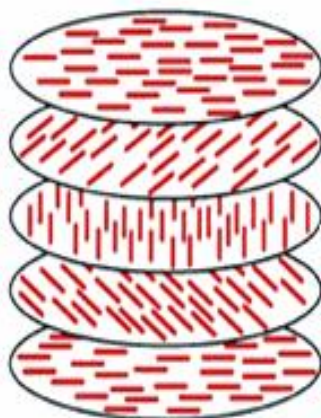
^۳ smectics



شکل (۱-۵): سمتیک A (چپ) و سمتیک C (راست) [۱]

۱-۴-۱-۳) کایرال نماتیک ها^۱ (کلستریک ها)

این فاز در مولکول های کایرال فاقد تقارن انعکاسی^۲ مشاهده می شود که مولکول ها در هر صفحه، چرخشی عمود را بر راستای مولکول ها تجربه می کنند. زاویه چرخش محدود بین دو صفحه متوالی موجب حالتی برای کل ماده می شود که به آن کایرال نماتیک گفته میشود [۲].



شکل (۱-۶): شکل کلی کایرال نماتیک ها که کلستریک هم نامیده می شود [۵۳]

^۱ chiral nematics

^۲ inversion symmetry

پای چرخش^۱ فاصله ای را نشان می دهد که در آن مولکول های بلورمایع چرخش ۳۶۰ درجه ای را تجربه کنند. پای چرخش توسط دما و اضافه شدن دیگر مولکول ها به بلور مایع میزبان تغییر میکند. در برخی بلورهای مایع پای چرخش از مرتبه طول موج نور مرئی بوده و موجب خواص نوری بی نظیری همچون پراش براگ^۲ میشود که در آن با برخورد نور در راستای محور مارپیچ^۳ تنها انعکاس مرتبه اول رخ می دهد. این درحالیست که برای نورهای مورب، مراتب بالاتر انعکاس نیز مقدور خواهد بود که از چنین خاصیت نوری در کاربرد هایی همچون الاستومترها^۴ و دماسنج ها^۵ استفاده می شود [۲۱].

۱-۴-۱-۴) فاز آبی^۶

از نظر دما مابین کایرال نماتیک ها و فاز همسانگرد تشکیل میشوند. دلیل تشکیل فاز آبی ها وجود آرایش است که در آن انرژی ساختاری کمتر از انرژی مربوط به ساختار کلاستریک هاست. همچنانکه پیشتر نیز بدان پرداخته شد، کایرال نماتیک ها از لایه های به شکل نماتیکی ساخته شده اند که در هر لایه به مقدار خاصی دوران یافته اند. اگر پیچش مولکول ها بطور همزمان در دو راستا باشد انرژی ساختاری باز هم پایین تر خواهد آمد. این امر موجب تشکیل استوانه های جفت چرخشی مطابق با شکل (۷-۱) میشود که در آن مولکول ها در اطراف یک راستای مرکزی و نه عمود بر آن دوران میکنند [۵].

¹ chiral pitch

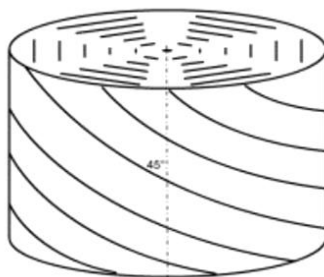
² Bragg diffraction

³ helix

⁴ elastometers

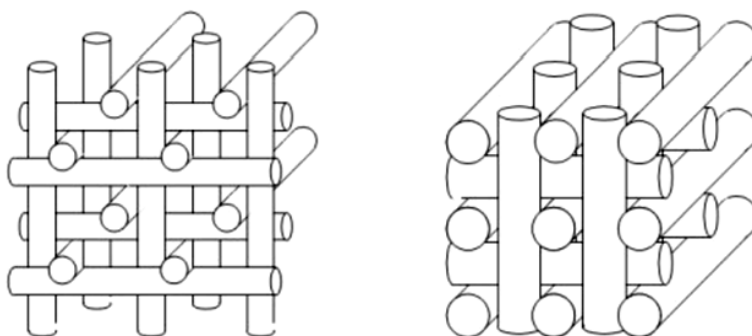
⁵ thermometers

⁶ blue phase



شکل (۷-۱): کاهش انرژی ساختاری کلاستریک ها با دوران در دو راستا [۶]

قرارگیری این استوانه ها با دوران های مایل بروش های مختلفی انجام گرفته و موجب تشکیل سه نوع ساختار قانونمند سه بعدی چند صد نانومتری از ناخالصی ها^۱ بنام BPI^* ، $BPII^*$ و $BPIII^*$ می شود که در مقدار نظم و ساختاری که مولکولها تشکیل می دهند با هم تفاوت دارند [۶].



شکل (۸-۱): ساختار مکعبی ساده $BPII^*$ (راست) و ساختار شبکه ای FCC برای BPI^* (چپ) [۶]

به دلیل شبکه سه بعدی، این فاز انعکاس براگ را بطور انتخابی در طول موجهای مرئی میسر می سازد. با این که استفاده از این فاز موجب توسعه مدولاتورهای فضائی نور سریعتر و بلور فوتونی های تنظیم پذیر میشود [۵]، گستره دمائی که در این فاز بلور های مایع وجود دارد معمولاً در حدود

¹ defects

چند درجه است که مشکل اولیه را در مورد فاز بوجود می آورد. اخیراً این فاز در محدوده دمائی حدود ۶۰ درجه به ثبات رسیده و ساخت نمایشگری بر اساس آن نیز در سال ۲۰۰۸ گزارش شده است [۷].

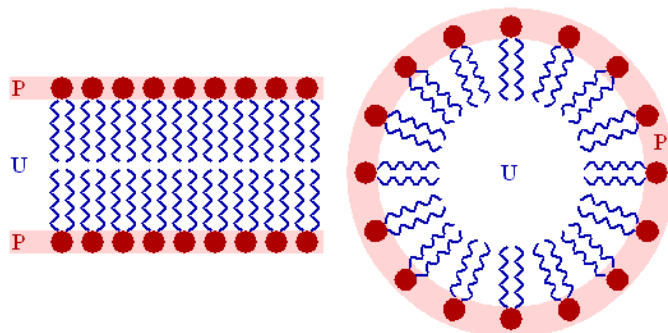
۱-۴-۲) لیوتروپیک

بلور مایع لیوتروپیک از دو یا چندین مولفه تشکیل شده است که خواص بلوری و مایع بودن را در غلظت های خاصی از خود نشان میدهد. در لیوتروپیک ها مولکول های حلال اطراف مولفه ها را احاطه می کنند تا حالتی شارش پذیر را بر آن اعمال کنند. در قیاس با ترموتروپیک ها، لیوتروپیک ها درجات آزادی مربوط به غلظت دارند که موجب به وجود آمدن فازهای متفاوت میشوند. هر مولکول از دو جز غیر قابل ترکیب آبدوست^۱ و آبگریز^۲ تشکیل شده که به این نوع مولکولها دوگانه دوست^۳ گفته می شود. بسیاری از مولکول های دوگانه دوست، فازهای متوالی را بر اساس توازن بین دو سر آبدوست و آبگریز نشان میدهند که نمونه بارز آنها در زندگی روزمره صابون است [۱].

تاثیر مقدار حلال بروی ساختارهای به وجود آمده را می توان بدین صورت توضیح داد که در غلظت های بسیار پایین مولکول ها بدون نظم و بطور کاتوره ای در حلال پخش می شود این در حالیست که برای غلظت هایی به مقدار جزئی بالاتر (اما هنوز کم) دوگانه دوست ها بطور خود به خودی آرایش هائی همچون کره^۴ و دولایه^۵ را بوجود می آورند که با حبس شدن سر آبگریز در

^۱ hydrophilic
^۲ hydrophobic
^۳ amphiphilic
^۴ micelle
^۵ bilayer

طرف داخل و محاط شدن به سر آبدوست، به کل ترکیب قابلیت حل شوندگی در آب را می دهد. این نوع بلورهای مایع را می توان به وفور در اعضای بیولوژیکی و سلولهای جانداران زنده دید.



شکل (۹-۱): شمای کلی دوگانه دوست های کروی و دولایه

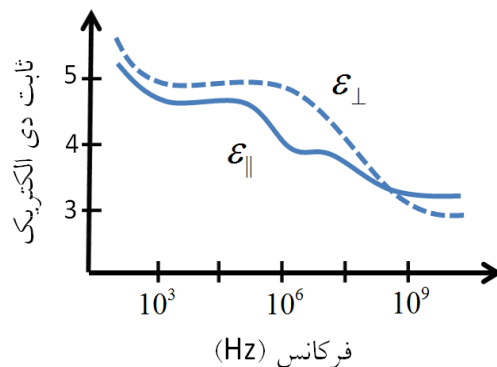
در غلظت های بالاتر ساختار باز هم منظم تر خواهد بود که بعنوان مثال می توان به فازی که در آن دوگانه دوست ها مجدداً با سطح آبدوست استوانه های طولانی را تشکیل میدهند اشاره کرد که مشابه شبکه شش وجهی است^۱. به این حالت فاز میانی صابون گفته می شود. در غلظت های باز هم بالاتر، فاز لاملار^۲ بوجود می آید که در آن لایه های تشکیل یافته از دوگانه دوست ها توسط لایه نازکی از آب، از هم جدا شده اند [۲۱].

^۱ hexagonal columnar phase

^۲ lamellar

۵-۱) ناهمسانگردی دی الکتریکی در بلورهای مایع

بلورهای مایع با بدلیل شکل مولکولی که خود موجب خواص شیمیائی و فیزیکی مختلف می شود، ناهمسانگردی دی الکتریک متفاوتی را در دو راستای موازی و عمود بر آن از خود نشان می دهند. مقادیر ϵ_{\parallel} و ϵ_{\perp} در این مواد به فرکانس میدان اعمالی وابسته است که در شکل (۱-۱۰) نمونه ای از این وابستگی نشان داده شده است. مقادیر این دو کمیت در فرکانسهای نوری تحت عنوان بیضی گون ضریب شکست بررسی خواهد شد.

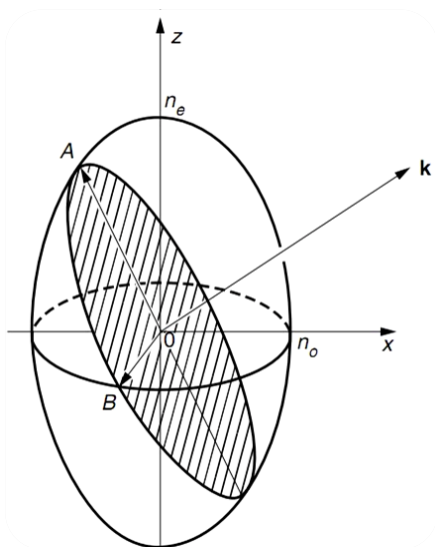


شکل (۱-۱۰): تابعیت ضریب دی الکتریک به فرکانس برای بلورهای MBBA [۸]

بیشتر نماتیک ها بمانند E7 و 5CB ضریب دی الکتریک مثبت دارند که در آنها $\epsilon_{\perp} < \epsilon_{\parallel}$ است. البته برخی نیز مانند بلورهای مایع معروف MBBA ضریب دی الکتریک منفی دارند. این در حالی است که رسانائی بلورهای مایع که خود ناشی از حضور برخی یونها و ناخالصی ها در ماده است نیز حالتی ناهمسانگرد داشته و رسانش در راستای بردار راهنما مقداری بزرگتر را در مقایسه با رسانش در راستای عمود نشان می دهد [۸و۱].

۱-۶) بیضی گون ضریب شکست^۱

به دلیل تقارن موجود در بلورهای تک محوری که بلورماین نیز یکی از آنهاست، تقارن موجود حول یک محور مرکزی خواهد بود. این تقارن شامل ضریب شکست نیز می شود که در این مواد بصورت بیضی گون خواهد بود [۹].



شکل (۱-۱۱): بیضی گون ضریب شکست [۹]

با توجه به شکل فوق، بسته به زاویه نور فرودی نسبت به محور نوری (محور Z)، ضریب

شکست عادی^۲ (n_o) ثابت مانده و ضریب شکست غیرعادی^۳ ($n_e(\theta)$) تابعیت زاویه ای بصورت

رابطه (۱-۱) داشته و مابین دو مقدار n_e و n_o تغییر خواهد کرد [۹].

$$n_e(\theta) = \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_e^2 \sin^2 \theta + n_o^2 \cos^2 \theta}} \quad (1-1)$$

$$n_o(\theta) = n_o \quad (2-1)$$

¹ refractive index ellipsoid

² ordinary beam (ordinary refractive index)

³ extra ordinary beam (extra ordinary refractive index)

اندرکنش میدان الکتریکی یا مغناطیسی اعمالی با ممان دوقطبی متناظر در بلورهای مایع می تواند موجب چرخش و بازجهتگیری مولکولها شود که با تغییر زاویه مابین نور فرودی و محور نوری ماده، ضریب شکست غیرعادی را که مولفه غیرعادی قطبش نور فرودی تجربه می کند، تغییر می دهد. با استفاده از ناهمسانگردی ضریب شکست وابسته به میدان، اختلاف فاز مابین دو پرتو عادی و غیرعادی توسط میدان اعمالی کنترل شده و از آن برای دوران قطبش نور فرودی استفاده می شود. این سامانه تغییر قطبش قابل تنظیم اساس کلیدهای الکترواپتیکی^۱ بلورمایع را تشکیل می دهد.

۷-۱) اثر میدان الکتریکی بر بلورمایع

اساس سازوکارهایی که مسئول تغییرات ضریب شکست در ماده هستند بسیار متفاوتند. معمولاً تغییرات ضریب شکست به خاطر اثر پاکلز^۲ است که در آن تغییرات ضریب شکست متناسب با بردار میدان الکتریکی اعمالی است. این مورد در بلورهای مایع فروالکتریک^۳ صدق می کند که در آن تغییرات ضریب شکست هم به جهت و هم به بزرگی میدان الکتریکی وابسته است [۱].

در بلورهای مایع نماتیکی، اعمال میدان با همراستا نمودن ممان دوقطبی مولکولها در راستای میدان الکتریکی اعمالی موجب بازجهتگیری مولکولهای بلورمایع و تغییر دوشکستی ماده در برابر نور فرودی می شود که با مجذور میدان اعمالی رابطه دارد. بدین گونه اثرات الکترواپتیکی که در آنها ضریب شکست القا شده با توان دوم میدان متناسب است، اثرات کر^۴ گفته می شود [۱۰]. پاسخ دهی بلورهای مایع نماتیک به میدان، به ناهمسانگردی دی الکتریک آن ها بستگی دارد. برای بلورهای مایع

¹ electro-optical switch

² Pockels effect

³ ferroelectric

⁴ Kerr effect