



دانشگاه الزهراء (س)

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک ماده چگال

عنوان

بررسی نظم و جهت گیری در بلورهای مایع نماتیک آمیخته به درصد های مختلف پلیمری

اساتذع راهنما

دکتر سعیده شعاری نژاد

دکتر محمد صادق ذاکر حمیدی

دانشجو

فاطمه سادات میرصفی

مهر ۱۳۹۰

"کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق

به دانشگاه الزهرا (س) است"

تقدیم

به

مهربان فرشتگان همیشه محافظم

پدرم

و

مادرم

ت

تقدیر و تشکر

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه سرکار خانم دکتر **شعاری نژاد** که با نکته های دلایز و گفته های بلند همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام واکمال پایان نامه بوده اند تقدیر و تشکر کنم.

معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه ات مظفر باد

و با سپاس و امتنان بیکران از استاد دانشمند و پر مایه ام جناب آقای **دکتر ذاکر حمیدی** که از محضر پر فیض تدریستان، بهره ها برده ام.

و سپاس بی دریغ خدمت دوستان گران مایه ام به خصوص متین ظهیرآبادی و اختر شجاعی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کس انی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم

چکیده

هدف این پروژه، بررسی نظم و جهت گیری در بلورهای مایع آمیخته به پلیمرها می باشد. به این منظور با استفاده از روش طیف سنجی مادون قرمز به مطالعه تغییرات پارامتر نظم و جهت گیری ها در بلورمایع برای درصدهای مختلف پلیمری پرداختیم. پارامتر نظم بیانگر میزان هم راستایی مولکول های این مواد می باشد. طیف های مادون قرمز بلورمایع CHBT^۸ آمیخته به درصدهای مختلف پلیمری در محدوده دمائی فاز بلورمایع را مورد مطالعه قرار دادیم. بهترین مشخصه ساختاری ترکیبات بلورهای مایع برای بررسی جهت گیری آن ها در طیف سنجی مادون قرمز، بررسی مدهای ارتعاشی قسمت هسته و سر این مواد است. دلیل این امر، هم راستایی محور بلند مولکولی با ممان گذارهای مربوطه در این قسمت ها می باشد. در این پایان نامه بلورمایع آمیخته به پلیمر با درصدهای ۲۰، ۱۵، ۱۰، ۵ مورد بررسی قرار گرفتند و از پیک جذب ناشی از ارتعاشات کششی NCS برای اندازه گیری د و رنگ نمایی خطی و پارامتر نظم استفاده شد.

نتایج این پژوهش نشان می دهد که میزان پارامتر نظم برای ترکیب بلورمایع و ۵٪ پلیمر، نسبت به بلورمایع خالص، افزایش می یابد اما تراکم هایی با درصدهای بالاتر پلیمر در ترکیب، باعث کاهش این مقدار خواهد شد. در پایان، با توجه به این که به دلیل پیچیدگی موضوع و محاسبات، تاکنون شاهد انتشار مقالات معدودی در جنبه های نظری این مسئله بوده ایم، در جهت تحلیل نتایج تجربی از مدل سازی نظری استفاده نمودیم و در چارچوب دو مدل ساده شده، با اعمال تقریب هایی، به بررسی مسئله از بعد نظری پرداختیم.

فهرست مطالب

..... ۱	۱-۱- مقدمه
..... ۲	۲-۱- تاریخچه
..... ۳	۳-۱- معرفی بلورهای مایع
..... ۴	۴-۱- طبقه بندی بلورهای مایع
..... ۵	۱-۴-۱- بلورهای مایع لیتروپیک
..... ۵	۲-۴-۱- بلورهای مایع ترموتروپیک
..... ۶	۱-۲-۴-۱- فاز نمانتیک
..... ۷	۲-۲-۴-۱- فاز سمکتیک
..... ۸	۳-۲-۴-۱- فاز کلستریک
..... ۱۰	۵-۱- گذار فاز در بلورهای مایع
..... ۱۱	۶-۱- دسته بندی شیمیایی
..... ۱۵	۷-۱- ساختمان مولکولی و پایداری نمانتیک
..... ۱۶	۱-۷-۱- برهمکنش های انتهایی و جانبی
..... ۱۶	۸-۱- پارامتر نظم
..... ۱۶	۱-۸-۱- پارامتر نظم میکروسکوپی
..... ۱۹	۲-۸-۱- پارامتر نظم ماکروسکوپی
..... ۲۷	۱-۲- مقدمه

.....۲۷	۲-۲- ناهمسانگردی و دو شکستی در بلورهای مایع
.....۳۰	۲-۲-۱- طیف سنجی مادون قرمز
.....۳۰	۲-۲-۱-۱- فرآیند جذب
.....۳۴	۲-۳- اثر چنگ زدگی
.....۳۶	۲-۴- عیب در بلور مایع
.....۳۹	۲-۵-۱- منشأ عیب
.....۳۹	۲-۵-۲- چگونگی طبقه بندی عیب در بلورهای مایع
.....۴۱	۲-۵-۳- انواع عیب
.....۴۱	۲-۵-۳-۱- ناپیوستگی
.....۴۲	۲-۵-۳-۲- دی‌ارها
.....۴۲	۲-۵-۴- بررسی چند نوع از عیب در بلور مایع
.....۵۰	۳-۱- مقدمه
.....۵۱	۳-۲- معرفی مواد
.....۵۱	۳-۲-۱- بلور مایع $CHBT$
.....۵۳	۳-۲-۲- پلیمر $NOA65$
.....۵۵	۳-۲-۲-۱- مواد و روش‌های جداسازی فاز
.....۵۹	۳-۳- نظم‌دهی مولکول‌های بلور مایع
.....۶۰	۳-۳-۱- مکافهم هم خط شدن مولکول‌های بلور مایع بر روی سطح مالش داده شده
.....۶۱	۳-۳-۲- نظم‌دهی صفحه‌ای

.....۶۲.....	۳-۳-۳- نظم دهی عمودی (هموتروپیک)
.....۶۳.....	۳-۴-۴- آماده سازی سلول
.....۶۳.....	۳-۴-۱- تهی سلول
.....۶۴.....	۳-۴-۲- آماده کردن محلول PVA یک درصد
.....۶۵.....	۳-۴-۳- ساخت سلول بلورمائع
.....۶۶.....	۳-۴-۴- آماده سازی محلول بلورمائع و پلیمر
.....۶۷.....	۳-۴-۵- پر کردن سلولها:
.....۶۸.....	۳-۴-۶- بررسی سلولها
.....۶۸.....	۳-۵-۵- دستگاه طیف سنج مادون قرمز
.....۶۹.....	۳-۵-۱- طیف سنج تبدیلی فوری
.....۷۰.....	۳-۵-۲- مزیت های دستگاه FT-IR
.....۷۲.....	۳-۶- تهی نمونه برای طیف سنج مادون قرمز فوری
.....۷۳.....	۳-۷- اصول طیف سنجی
.....۷۴.....	۳-۷-۱- محدودیت های کاربرد قانون بی-لامبرت :
.....۷۴.....	۳-۸- دو رنگ نمای خطی
.....۷۵.....	۳-۹- محاسبه پارامتر نظم با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز
.....۷۷.....	۳-۱۰- روش کار
.....۸۰.....	۴-۱- مقدمه
.....۸۳.....	۴-۲- نتایج حاصل از اندازه گیری پارامتر نظم در بلورهای مائع آمیخته به پلیمر

.....۸۹	۳-۴- نتیجه گیری تجربی
.....۸۹	۴-۴- تحلیلی نظری نتایج تجربی
.....۹۱	۵-۴- مدل سازی اول: نظم گیری بلورمایع نماتیک در حضور رشته‌های پلیمری
.....۹۱	۴-۵-۱- محاسبات نظری
.....۹۵	۴-۵-۲- نتیجه گیری
.....۹۶	۴-۶- مدل سازی دوم: بلورمایع آمیخته به شبکه پلیمری در شرایط چنگ زدگی ضعیف
.....۹۷	۴-۶-۱- محاسبات نظری
.....۱۰۳	۴-۶-۲- نتیجه گیری
.....۱۰۴	۴-۷- پیشنهادات
.....۱۰۵	مراجع

فصل اول

" شناخت کلی بلورهای مایع "

۱ + مقدمه

بلورمایع^۱ به عنوان نوعی ماده نرم و پیچیده، که پدیده‌های متفاوتی را نمایش می‌دهد، مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته و مطالعات بسیاری روی این ماده صورت گرفته است [۱،۲]. بلورمایع می‌تواند به عنوان فاز چهارم ماده نامیده شود. در واقع این مواد مانند مایعات، سیال و مانند جامدات دارای نظم بلند برد جهتی^۲ و یا انتقالی^۳ هستند. این نوع مواد در سرپستم‌های زیست شناختی مانند DNA^۴ و دیواره سلولی قابل مشاهده هستند. فازهای بلورمایع در گستره‌های دمایی معینی، می‌توانند پایدار باشند و به وسیله نظم جهتی و گله‌ی نظم مکانی کوتاه برد آن‌ها مشخص شوند. از این حیث دارای خواص فیزیکی ویژه‌ای هستند که ناهمسانگردی دی الکتریکی و نوری از آن جمله‌اند [۳].

به طور کلی بلورهای مایع دارای نظم جهتی و نظم مکانی بلندبرد هستند. محور مولکولی آن‌ها مقید به جهت گیری در راستای خاصی می‌باشد و مرکز جرم آن‌ها در یک شبکه قرار می‌گیرد.

نوع جهت گیری مولکول‌های بلورمایع بتئیسو بسزایی در خواص فیزیکی آن‌ها دارند. امروزه بلورهای مایع به دلیل خواص نوری ویژه‌ای که دارند، کاربردهای فراوانی در حوزه‌های مختلف علم و فناوری یافته‌اند که از آن جمله می‌توان به نمایشگرهای بلورمایع، آشکارسازهای گرمایی، دماسنج‌ها، محیط‌های حلالی خاص و غیره اشاره کرد [۴].

موادی که دارای فاز بلورمایع هستند در یک بازه دمایی محدود این فاز را نشان می‌دهند. به منظور استفاده در صنعت، افزایش این بازه و بهینه سازی خواص فیزیکی بلورمایع ضروری است. برای تحقق این امر می‌توان علاوه بر تغییر گروه‌های شیمیایی شرکت کننده در ساختمان مولکولی، از روش‌های دیگری همچون آلائیده کردن بلورمایع با رنگین‌ها و یا افزودن درصدی از پلیمر استفاده کرد. از این

^۱ Liquid Crystals

^۲ Orientational

^۳ Translational

رو اندرکنش متقابل میهمان- میزبان در محیط‌های بلورهای مایع در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

در این پایان نامه سعی شده تا تأثیر درصد پلیمر حل شده (میهمان) در بلورهای مایع (میزبان) بر نظم‌گیری و به طور کلی خواص فیزیکی آن با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۲- تاریخچه

اولین بار در سال ۱۸۸۸ میلادی یک گیاه شناس و شی‌میدان اتریشی به نام فردریش رینتیز^۱، در حین مطالعه بر روی بنزوات کلسترویل مشاهده کرد که این ماده دارای دو نقطه ذوب متفاوت می‌باشد، و با افزایش دما از یک ساختار جامد به مایع کدر و سپس به یک مایع شفاف همسانگرد تبدیل می‌شود. این ماده خواص ویژه‌ای را در حالت کدری از خود نشان می‌دهد که از آن جمله، می‌توان به دو گانه بودن ضریب شکست اشاره کرد. بعدها با کمک فیزیک‌دان آلمانی اتو لهن^۲، به این نتیجه دست یافتند که ماده کشف شده با دو دمای ذوب دارای خاصیت شارش مایعات و نظم موضعی جامدات است و این ماده کدر را یک حالت جدید از ماده به نام بلورهای مایع نامیدند.

این مواد به علت شکل‌گیری خاص مولکول‌ها دارای خواص ناهمسانگردی هستند و از آنجمله که خواص مکانیکی و تقارن آن‌ها مابین خواص مایعات معمولی همسانگرد و بلورهای جامد قرار می‌گیرد آن‌ها را فازهای مزوفاز یا مزومرفیک به معنای فازی میانی نیز نامیده‌اند [۵].

امروزه کاربردهای فراوانی از جمله نمایشگرهای بلورهای مایع، دماسنج‌ها، سنسورهای حرارتی و... باعث علاقه مندی دانشمندان به ادامه تحقیقات در این حوزه برای یافتن کاربردهای جدید از بلورهای مایع شده است.

^۱ Friedrich Reinitzer

^۲ Otto Lehmann

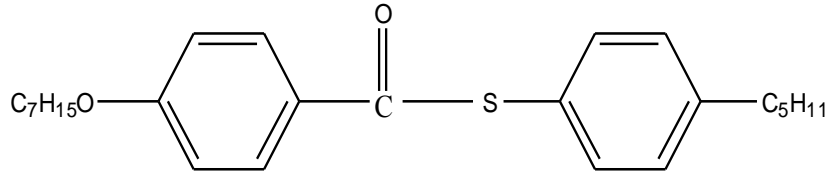
۱-۳- معرفی بلورهای مایع

حالت بلورهای مایع یا فاز مزومرفیک یک حالت میانی بین بلور جامد و مایع معمولی همسانگرد است . این پدیده معمولاً در ساختارهایی با مولکول‌های میله‌ای شکل که دارای زنجیره‌هایی با گروه‌های قطبی هستند، دیده می‌شوند. زنجیره‌های بلند مولکولی می‌توانند موازی با یکدیگر قرار گیرند که مانند جامدات دارای نظم اند و چرخش آن‌ها حول محور بلند مولکولی رخ می‌دهد، به همین دلیل خواص آن‌ها به شدت وابسته به جهت گیری مولکول‌ها می‌باشند. برای آن کف مواد گوناگون دارای فاز بلورهای مایع باشد باید مولکول‌های آن‌ها دارای سه ویژگی زیر باشد:

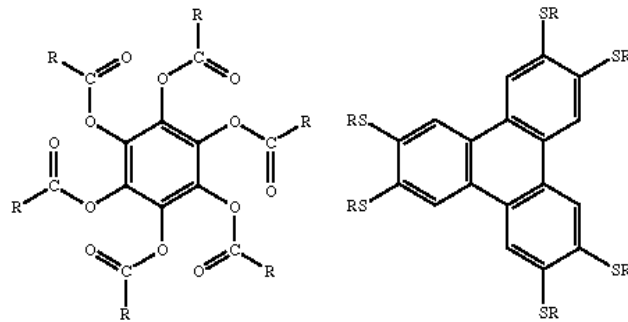
۱. مولکول ساختار ناهمسانگرد داشته باشد، به این معنی که در یک راستا بلندتر یا کوتاه‌تر باشد.
۲. مولکول دارای قسمت‌های قطبی و غیر قطبی باشد. باید به این نکته اشاره کرد که، با توجه به چرخش مولکول‌ها قسمت قطبی و غیر قطبی نباید قابل تبدیل شدن به یکدیگر باشند.
۳. دارای پیوندهای محکم مثل دو قطبی برای نگه داشتن قسمت‌های مولکولی در کنار هم باشند. برای برآورده شدن این ویژگی‌ها مولکول‌ها می‌توانند دارای ساختارهای میله‌ای شکل و یا دیسکی شکل باشند. البته انواع دیگری چون موزی شکل نیز شناخته شده‌اند که در همین دسته بندی قرار می‌گیرند. تاکنون تقریباً ۲۰۰۰ نوع ماده مزوفاز میله‌ای شناخته شده است که از این میان تقریباً ۱۵۰۰ نوع از آن‌ها در کتب گوناگون گردآوری شده است [۶،۷]. بلورهای مایع دیسکی شکل تا سال ۱۹۷۷ شناخته نشده بود تا اینکه به وسیله چاندراساхар^۱ [۸] و بیلارد^۲ [۹] کشف گردیدند. در شکل ۱-۱ و ۲-۱ نمایی از ساختارهای میله‌ای و دیسکی شکل نشان داده شده است.

^۱ Chanadrsekhar

^۲ Billard



شک ۱-۱: نمایی از یک مولکول بلور مایع میله‌ای شکل



شک ۲-۱: نمایی از یک مولکول بلور مایع دیسکی شکل

۱-۴- طبقه بندی بلورهای مایع

به طور کلی ، گذر از فاز جامد به فاز میانی بلور مایع می تواند به تغییر یکی از پارامترهای ترمودینامیکی سیستم بستگی داشته باشد. از این رو در حجم و فشار ثابت ، می توان برای حصول به این فاز میانی غلظت و یا دمای سیستم را تغییر داد.

۱-۴-۱- بلورهای مایع لیوتروپیک^۱

نوعی از بلورهای مایع فقط زمانی که در یک حلال خاص حل شوند تشکیل مزوفاز بلورمایع را می‌دهند و افزایش مقدار حلال به مقداری بالاتر از مقدار بحرانی، منجر به گذار به فاز همسانگرد (مایع معمولی) می‌شوند. به این نوع از فازهای مزومرفیک بلورهای مایع لیوتروپیک می‌گویند. صابون‌ها و فسفولیپیدها دو دسته مهم از بلورهای مایع لیوتروپیک می‌باشند.

۱-۴-۲- بلورهای مایع ترموتروپیک^۲

بلورهای مایعی را که برای رسیدن به فاز میانی وابسته به تغییر دما هستند و در بازه دمایی معینی به وجود می‌آیند، بلورهای مایع ترموتروپیک نامیده‌اند. تعدادی از ترکیبات آلی جامد وقتی به دمای بالاتری از نقطه ذوبشان می‌رسند، به شکل مایع در می‌آیند. در این حالت فاز مزومرفیک آن‌ها به صورت یک مایع چسبنده و غیر شفاف ظاهر می‌شود که آن را با توجه به رنگ شیری یا کدر آن می‌توان شناسایی کرد. همچنین با استفاده از یک میکروسکوپ پلاریزان و با بهره‌گیری از خاصیت دوشکستی نیز می‌توان این ماده را تشخیص داد. بعضی از بلورهای مایع در این تغییرات دمایی، فازهای مختلفی را از خود نشان می‌دهند، در حالی که گاهی تنها شاهد یک نوع از این مزوفازها هستیم. در حالت کلی، با افزایش دما در این مواد به یک فاز همسانگرد شفاف خواهیم رسید و یک مایع معمولی ظاهر می‌شود. آنچه که در مورد همه بلورهای مایع مشترک است، ناهمسانگردی آن‌ها است. ناهمسانگردی در بلورهای مایع ترموتروپیک در ساختار آن‌ها ظاهر می‌شود، خواص فیزیکی آن‌ها در امتداد یک محور مولکولی بسیار متفاوت از دو محور دیگر مولکول است. در حالی که در مورد بلورهای مایع لیوتروپیک این ناهمسانگردی در تفاوت خواص حلالیت در بخش‌های مختلف مولکول خود را نشان می‌دهد.

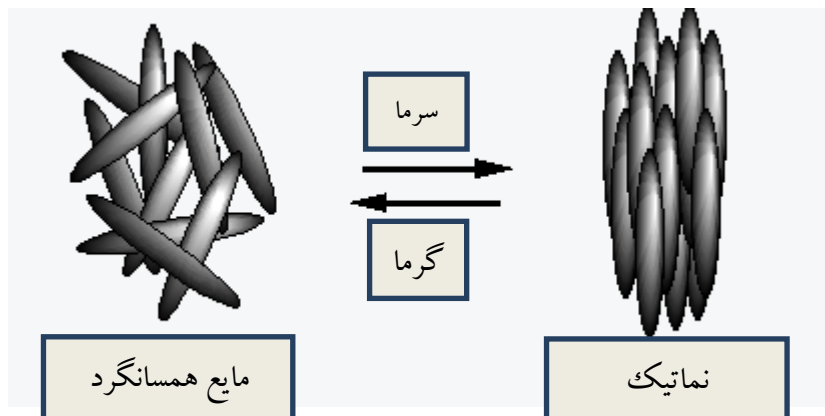
^۱ Lyotropic

^۲ Thermotropic

ناهمسانگردی‌ها به دلایل مختلفی از جمله، نیروهای بین مولکولی، اندرکنش بین مولکول‌ها و ... پدید وجود می‌آیند و باعث ایجاد نظم به صورت جهتی و مکانی و گاهی هر دو در بلورهای مایع می‌شوند. بر اساس طبقه‌بندی فریدل^۱ بلورهای مایع ترموتروپیک از نظر ساختار به سه دسته اساسی تقسیم می‌شوند که به صورت بلورهای مایع سمکتیک^۲، کلستریک^۳ و نماتیک^۴ مشخص می‌شوند.

۱-۲-۴-۱- فاز نماتیک

در فاز نماتیک بلورهای مایع، محور بلند مولکول‌های میله‌ای شکل، تمایل به جهت‌گیری در یک امتداد معین دارند، که با بردار جهت n نشان داده می‌شود. تفاوت بین این فاز و فاز مایع همسانگرد در شکل ۱-۳، نشان داده شده است.



شکل ۱-۳: نمایی از تفاوت در جهت‌گیری بلورهای مایع نماتیک در مقایسه با مایع همسانگرد

^۱ Friedel

^۲ Smectic

^۳ Cholestric

^۴ Nematic

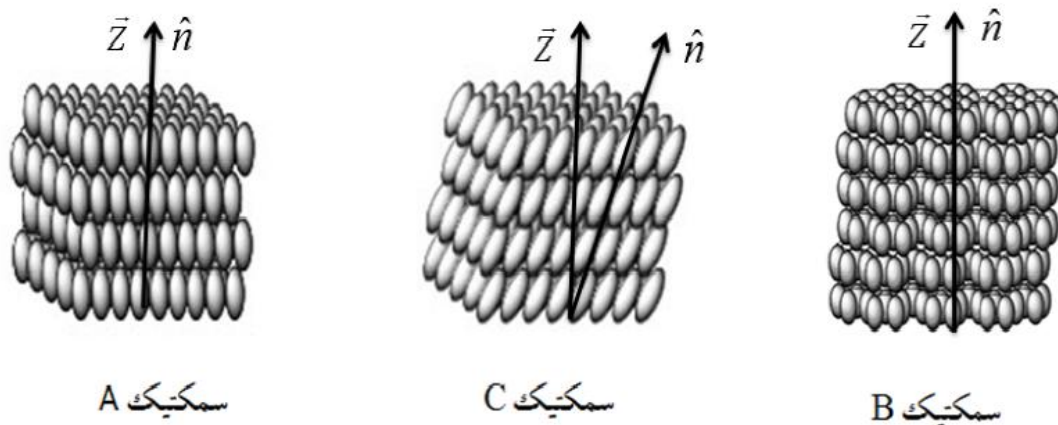
همان گونه که در شکل مشخص است، تفاوت این دو در وجود یک نظم جهتی بلند برد محور بلند مولکولی در بلور مایع نماتیک است. البته مولکول ها از نظر نظم مکانی، به صورت کاتوره‌ای سمت گیری می کنند و از این نظر به مایعات شبیه می شوند. مرکز گرانش مولکول ها در فاز نماتیک مانند مایعات معمولی به طور کاتوره‌ای توزیع یافته‌اند و مولکول ها مجاز به چرخش حول محور بلند خود هستند. به علت وجود نظم جهتی در بلورهای مایع نماتیک در تمام جهات به صورت ناهمسانگرد عمل می کنند و خواصی مانند دوشکستی^۱ از خود نشان می دهد. بلورهای مایع نماتیک دارای ظاهر توده‌ای کدر هستند زیرا نور را به شدت پراکنده می کنند. به همین علت نیز در الگوهای پراش پرتو X هیچ قله پراشی دیده نمی شود.

۱-۴-۲-۲- فاز سمکتیک

اصطلاح بلور مایع سمکتیک برای اولین بار توسط فریدل به دلیل شباهت خواص مکانیکی بلورهای مایع سمکتیک به صابون ارائه شد. بلورهای مایع سمکتیک دارای مولکول هایی بلندتر از مولکول های فاز نماتیک هستند. این امر ناشی از بلندتر بودن هسته سخت مرکزی مولکول یا گروه‌های انتهایی مولکول می باشد. نوع تغییر فاز ماده از حالت جامد به مایع ناهمسانگرد و ی ا مایع همسانگرد به ابعاد مولکول بستگی دارد. مولکول‌های با گروه‌های انتهایی بلندتر دارای فاز سمکتیک و مولکول های کوتاه‌تر دارای فاز نماتیک می باشد. برای مثال در گذار فاز از جامد بلوری به مایع همسانگرد در مواد شامل مولکول‌های خیلی بلند، ابتدا شاهد فاز سمکتیک و سپس فاز نماتیک خواهیم بود. اما در ماده با هسته سخت یا گروه‌های انتهایی کوتاه، فاز سمکتیک مشاهده نمی کنیم.

^۱ Birefringence

در فاز سمکتیک، مولکول‌ها دارای نظم جهتی در لایه‌های مختلف هستند. این فاز بسته به نظم مولکول‌ها در ه لایه به انواع مختلفی همچون A,B,C تقسیم می‌شود که با میکروسکوپ پلاریزان قابل شناسایی‌اند. بل برگزارش دموس^۱ و همکارانش حداقل ۷ نوع بلورهای مایع سمکتیک وجود دارد. مولکول‌ها در این فاز در صفحاتی روی هم چیده شده‌اند. محور بلند مولکولی در آن‌ها موازی با یک جهت ترجیحی، یا همان بردار جهت نم است. در فاز سمکتیک A محور بلند مولکولی به طور متوسط در امتداد عمود بر سطح لایه قرار می‌گیرد در حالی که در سمکتیک C محور بلند مولکولی، زاویه معینی بلامتداد عمود بر سطح می‌سازد. در شکل ۱-۴، نمونه‌هایی از بلورهای مایع سمکتیک نشان داده شده است.



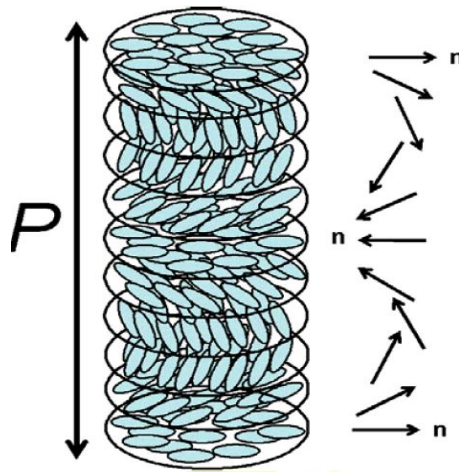
شکل ۱-۴: نمونه‌هایی از بلورهای مایع سمکتیک A,B,C

^۱ Demus

۱-۴-۲-۳- فاز کلستریک

نام بلورمایع کلستریک از کلمه کلسترویل گرفته شده است. در این گروه از بلورهای مایع، علاوه بر نظم لایه‌ای، لایه‌ها به صورت منظم و با چرخش حول یک محور اصلی نسبت به هم قرار گرفته‌اند و از نظر ساختمانی، پیچ خورده‌اند. در ساختمان کلستریک، بردار جهت n در طول هر صفحه در جهت محور اصلی و عمود نسبت به آن می‌چرخد که باعث به وجود آمدن ساختمان پیچ خورده می‌شود.

فاصله‌ای که بردار جهت n در صفحه‌ای به اندازه 2π می‌چرخد را گام^۱ یا پای پیچ می‌نامند. اندازه گام در محدوده‌ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر تا بزرگ‌تر از یک متر قابل تغییر است. مقدار بی‌نهایت گام، معادل با ساختمان نماتیک است. مقدار گام، میزان چرخش را در فاز کلستریک تعیین می‌کند [۱۱،۱۲]. گام ممکن است به صورت چپ گرد^۲ و یا راست گرد^۳ باشد. در این حالت بلورمایع شباهت بیشتری جامدات دارد و نیز دارای ویسکوزیته و نظم بالاتری نسبت به انواع دیگر است. در شکل ۱-۵، بلورمایع کلستریک نشان داده شده است.



شکل ۱-۵: نحوه آرایش مولکول‌ها در بلورمایع کلستریک

^۱ Pitch

^۲ Lavo

^۳ Dextro

۱-۵- گذار فاز در بلورهای مایع

بلورهای مایع ترموتروپیک با افزایش دما فازهای متفاوتی را از خود نشان می دهند. با افزایش دما، از حالت بلوری با نظم کامل سه بعدی به حالت مایع همسانگرد با بی‌نظمی کامل دست پیدا می‌کنیم. در این میان فاز بلورمایع دارای نظمی حد واسط این دو است. با افزایش دما در بلورمایع، ابتدا مولکول‌ها نظم جهتی و مکانی خود را در یک بعد حفظ می‌کنند. به عبارتی مولکول‌ها نظم جهتی خود را در لایه‌های مختلف نگه خواهند داشت، این فاز میانی را فاز سمکتیک بلورمایع می‌نامند. این فاز بسته به نحوه نظم‌گیری مولکول‌ها در هر لایه، به انواع مختلفی تقسیم می‌شود که از بین آن‌ها فاز سمکتیک A (SmA) و فاز سمکتیک C (SmC) بیشتر مورد توجه هستند. تقسیم‌بندی‌ها بر اساس زاویه محور بلند مولکولی و امتداد محور عمود بر سطح لایه‌ها انجام شده است. با افزایش دما، ماده ذوب شده و گذار دیگری اتفاق می‌افتد. با شکستن برخی از تقارن‌ها، همان‌گونه که انتظار داریم باید به یک فاز با نظم مولکولی کمتر دست پیدا کنیم. به همین دلیل بعد از فاز سمکتیک، فاز نما تیک حاصل می‌شود. در این فاز نظم مکانی از بین می‌رود و فقط نظم بلند برد جهتی مولکولی را خواهیم داشت. جهت‌گیری مولکول‌ها در فاز نماتیک توسط برداری به نام بردار جهت‌نما^۱ نشان داده می‌شود که میانگین راستای سمت‌گیری مولکول‌ها را در توده ماده مشخص می‌نماید. فازهای میانی مختلفی که می‌توانند به وجود آیند عبارتند از:

I.L- N-SmA-SmC-SmB(hex)-SmI-SmB(cry)-SmF-SmJ-SmG-SmK-SmH-Crystal

افزایش دما

^۱ Director