دانشگاه الزهرا (س)

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ در جه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش ماده چگال

عنوان

گذار فردریکز و هیدرودینامیک در بلورهای مایع نماتیک آمیخته با نانوذرات مغناطیسی

استاد راهنما

دکتر سعیده شعاری نژاد

دانشجو

فهیمه ربیعی

اسفند ۱۳۹۱

بسمه تعالی

تاریخ: .....

شماره: .....

صورت جلسه ی دفاع از پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

(نسخه تحصیلات تکمیلی ☐ نسخه پرونده دانشجو ☐ نسخه مالی ☐

نام و نام خانوادگی دانشجو فهیمه ربیعی شماره دانشجویی ۸۹۱۳۵۶۰۰۹ نام رشته: فیزیک ماده چگال

شماره درس پایان نامه: ۳۵۰۳۸۳۰۱۰۷۰ تعداد کل واحد پایان نامه: ۶

عنوان پایان نامه: گذار فردریکز در بلورهای مایع نماتیک آمیخته با نانو ذرات مغناطیسی

تاریخ دفاع از پایان نامه: ۱۳۹۱/۱۲/۱۶

نتیجه نهایی دفاع: قبول ☒ مردود ☐

نمره درس پایان نامه: ۱۹٫۵ نوزده و نیم عالی ☒ بسیار خوب ☐ خوب ☐

اعضای هیات داوری پایان نامه:

نام و نام خانوادگی		سمت	امضا
آقای/خانم	دکتر سعیده شعاری نژاد	استاد راهنمای اول	
آقای/خانم		استاد راهنمای دوم	
آقای/خانم		استاد مشاور اول	
آقای/خانم		استاد مشاور دوم	
آقای/خانم		داور داخل	
آقای/	دکتر محمد رضا اجتهادی	داور خارج	

نام و نام خانوادگی مدیر گروه: دکتر امیرعلی مسعودی نام و نام خانوادگی رئیس یا مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده:

امضا امضا ۹۲/۱۱/۱۹

بر پایه مصوبه‌ی شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه مورخه ۸۹/۳/۲۵ دانشجو تا دو ماه بعد از تاریخ دفاع باید پایان نامه تصحیح شده و صحافی شده خود را تحویل دهد، در غیر این صورت از نمره دفاعیه او یک نمره کسر خواهد شد.

تاریخ تحویل پایان نامه..... امضای کارشناس تحصیلات تکمیلی دانشگاه

نمره نهایی پس از اعمال مصوبه فوق..... امضای مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

"کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به دانشگاه الزهرا (س) می باشد"

تقدیمی

سپاس خدای عزوجل راکه به واسطه پدرم مسیر زندگی و علم اندوزی رابر بنده هموار کرد و به واسطه مادر عزیزم این مسیر رابرایم مصفا نمود.

این پایان نامه که حاصل ماهها تلاش شبانه روزی ام بوده است تقدیم می کنم به پدر و مادر عزیزم به پاس بودنشان!

تقدیر و تشکر

سپاس فراوان به محضر استاد راهنمایم سرکار خانم دکتر سعیده شعاری نژاد که این پایان نامه نتیجه صبر و حوصله و دقت بالای ایشان است!

سپاس از خواهران و برادرانم به خصوص عابد و فرزانه که بودنشان برایم مایه ی آرامش بوده است!

سپاس از سمیه عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودش که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبانم بود!

لازم می دانم تشکر ویژه ای از سرکار خانم دکتر پروانه سلیمانی و خانواده محترمشان داشته باشم به پاس قلب رئوف و محبتهای بی دریغ شان که که هرگز فروکش نکرد!

وظیفه خود می دانم که در این مجال از تک تک معلمانی که دستم را گرفتند تا به این جایگاه برسم نیز تشکر کنم ؛ به خصوص از جناب آقای احمد پژوهی نیا، جناب آقای مولود شمسی و همچنین معلم مهربان سرزمین کوچکم جناب آقای صباح الدین زائی که در مقطع کارشناسی ارشد همواره بنده را مورد لطف خود قرار می دادند!

چکیده

موضوع اصلی این پایان نامه بررسی خواص و ویژگی‌های بلور مایع نماتیک آمیخته به نانو ذرات مغناطیسی است. فاز بلور مایع، یک فاز میانی بین مایع های همسانگرد و جامدات بلورین است. فاز نماتیک یکی از فازهای بلور مایع است که نظم مکانی دور برد ندارد اما داری نظم جهت‌گیری است. وارد کردن نانو ذرات مغناطیسی در محیط های ناهمسانگرد مانند بلورهای مایع اخیرا توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. تغییر بسیاری از خواص فیزیکی و بوجود آمدن ویژگی‌های جدید از دلایل اصلی این توجه روزافزون می باشد. یکی از این خواص که بویژه از نظر کاربردی بسیار حائز اهمیت است، تغییر نظم جهتی در این باشد. جهتگیری و نظم بلورهای مایع تحت تاثیر عوامل مختلفی ناشی از حضور نوع مواد می نانوذرات قرار می‌گیرد. مهمترین آنها تغییر شکل‌های کشسانی و چنگ زدگی‌ها در سطوح می-باشد. به علاوه ابعاد و شکل نانوذرات نقش مهمی در خواص مختلف فیزیکی این نوع ترکیبات - مایع نماتیک به نام فرونماتیک شناخته می های‌دارند. ترکیب نانوذرات مغناطیسی با بلور شوند. این ترکیبات جایگاه خاصی در صنایع گوناگون بویژه نمایشگرهایافته اند. در این رساله به بررسی گذار جهت گیری در سلول فرونماتیک در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت، در حالت های مختلف و شرایط مرزی متفاوت پرداخته ایم.. مشاهده کردیم که میدان مغناطیسی آستانه گذار به شرایط اولیه حاکم بر مسئله وابسته است. بنلبراین می توان بر اساس این نتایج بهترین شرایط اولیه را به منظور دست یابی به هدف نهایی انتخاب کرد. همچنین، در این پروژه هیدرودینامیک یک سلول فرونماتیک را تحت شرایط خاصی مورد بررسی قرار داده و گشتاور مغناطیسی وارد بر آن را محاسبه نموده ایم. با اعمال میدان مغناطیسی و توجه به شکست در نهایت گشتاور مغناطیسی وارد بر سلول را .تقارن مسئله مولفه های سرعت را بدست آوردیم محاسبه نمودیم و نتیجه را بر حسب تغییر بسامد تشدید و پهنای باند تشدید تفسیر کردیم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:بلورهای مایع

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ نظم جهتی ۴

۱-۳ خصوصیات کشسانی بلورهای مایع ۵

۱-۴ جهت‌گیری مولکولی بلور مایع در مجاورت سطوح مرزی ۷

۱-۴-۱ انواع جهت‌گیری ۷

۱-۴-۲ انرژی سطحی ۸

۱-۵ انواع شرایط مرزی ۹

۱-۵-۱ شرایط مرزی ثابت ۹

۱-۵-۲ شرایط مرزی متغیر ۱۱

۱-۶ بلورهای مایع تحت اثر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ۱۱

۱-۷ گذار فردریکز ۱۲

۱-۸ هیدرودینامیک ۱۳

۱-۸-۱ هیدرودینامیک شاره‌ها ۱۴

۱-۸-۲ هیدرودینامیک بلورهای مایع ۱۶

۱-۹ کاربرد بلورهای مایع ۲۲

فصل دوم: بررسی حضور ذرات مغناطیسی در بلورهای مایع

۲-۱ مقدمه ۲۳

۲-۲ بلور مایع آمیخته به ذرات مغناطیسی ۲۵

۲-۳ چگالی انرژی آزاد فرونماتیک‌ها ۲۶

۲-۳-۱ چگالی انرژی آزاد در یک فرونماتیک با چنگ‌زدگی قوی ۲۶

۲-۳-۲ چگالی انرژی ازاد در یک فرونماتیک با چنگ‌زدگی ضعیف ۲۷

۲-۴ هیدرودینامیک فرونماتیک‌ها ۲۷

۲-۴-۱ معادلات دینامیکی فرونماتیک‌ها ۲۷

۲-۴-۲ معادلات حرکتی بردار جهت‌نما و نانو ذرات مغناطیسی ۲۸

۲-۵ جمع بندی ۲۹

فصل سوم: بررسی گذار فردریکز در بلور مایع آمیخته به نانو ذرات مغناطیسی

۳-۱ مقدمه ۳۰

۳-۲ بررسی گذار فردریکز در فرونماتیکی با چنگ زدگی قوی در سطوح نانو ذرات مغناطیسی ۳۰

۳-۲-۱ فرمول بندی مسئله ۳۰

۳-۲-۲ میدان مغناطیسی آستانه ۳۸

۳-۲-۳ نتیجه‌گیری و بحث ۴۱

۳-۳ بررسی گذار فردریکز در یک سلول فرونماتیک با چنگ زدگی ضعیف در سطوح نانو ذرات مغناطیسی ۴۱
۳-۳-۱ شرایط چنگ‌زدگی قوی در دیواره‌های سلول ۴۲
۳-۳-۱-۱ انرژی کل ۴۲
۳-۳-۱-۲ میدان مغناطیسی آستانه ۴۵
۳-۳-۲ شرایط چنگ‌زدگی ضعیف در دیواره‌های سلول ۴۸
۳-۳-۲-۱ انرزی کل ۴۸
۳-۳-۲-۲ میدان مغناطیسی آستانه ۴۹
۳-۳-۳ نتیجه‌گیری و بحث ۵۳
۳-۴ بررسی گذار فردریکز در فرونماتیک پیچشی با چنگ زدگی ضعیف روی سطوح نانو ذرات مغناطیسی ۵۳
۳-۴-۱ فرمول بندی مسئله ۵۵
۳-۴-۲ تعیین تغییرات زاویه سمتی بردار جهت‌نما ۶۳
۳-۴-۳ میدان آستانه گذار ۶۴
۳-۴-۴ نتیجه گیری و بحث ۶۸

فصل چهارم: بررسی دینامیک فرونماتیک‌ها

۴-۱ مقدمه ۶۹
۴-۲ محاسبه گشتاور مغناطیسی وارد بر سلول فرونماتیک با چنگ زدگی ضعیف بر روی سطح نانو ذرات مغناطیسی ۶۹
۴-۲-۱ فرمول بندی مسئله ۷۰

۴-۲-۱-۱ میدان مغناطیسی آستانه ۷۲
۴-۲-۱-۲ زاویه انحراف بردار جهت‌نما ۷۳
۴-۲-۲ محاسبه حداکثر انحراف بردار جهت‌نما ۷۴
۴-۲-۳ بررسی هیدرو دینامیک مسئله ۷۷
۴-۲-۳-۱ تقریب مرتبه صفرم ۸۷
۴-۲-۳-۲ تقریب مرتبه اول ۸۹
۴-۲-۳-۳ تقریب مرتبه دوم ۹۲
۴-۲-۳-۱ تقریب مرتبه سوم ۹۴
۴-۲-۴ گشتاور وارد برتیغه ۹۶
۴-۳-۴ نتیجه گیری و بحث ۹۶
پیشنهادات ۹۸
مراجع ۹۹

فصل ۱

بلورهای مایع

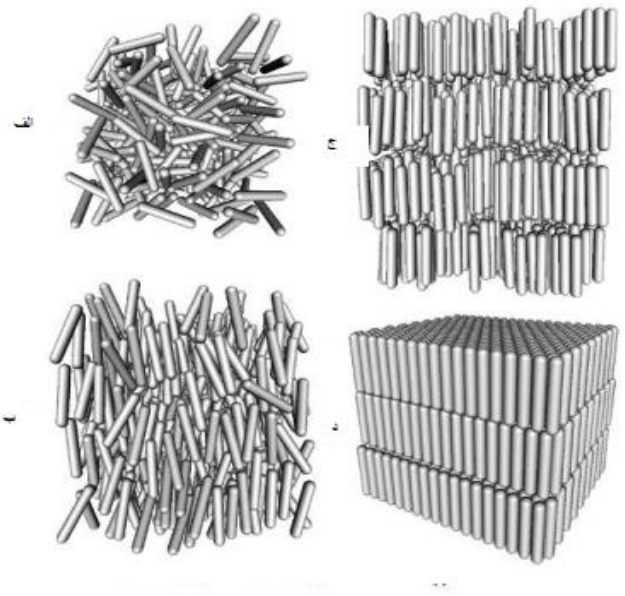
1-1 مقدمه

بیشتر مواد را می‌توان در یکی از سه فاز جامد، مایع یا گاز، توصیف کرد. این سه فاز در اثر شرایط خاصی مثلا تغییر دما یا تغییر فشار می‌توانند به همدیگر تبدیل شوند. تحقیقات نشان دادند یک سری از مواد وجود دارند که در تبدیل از جامد به مایع از یک فاز میانی عبور می-کنند، به عبارت دیگر این مواد دارای دو نقطه ذوب می‌باشند. فاز میانی خواصی همانند ناهمسانگردی که از ویژگی‌های جامدات و خواصی شبیه به شارش که خاصیت مایعات است، را از خود نشان می‌دهد. به همین دلیل از اصطلاح پارادوکس بلور مایع[1] برای این مواد استفاده شده است[2,1].

فازهای بلور مایع به دو دسته ترموتروپیک و لیوتروپیک تقسیم شده‌اند. در بلور مایع ترموتروپیک گذار فاز ناشی از تغییر دماست، اما در بلور مایع لیوتروپیک علاوه بر دما، غلظت نیز در گذار فاز اهمیت دارد. اجزاء اصلی تشکیل دهنده بلورهای مایع، مولکول‌های آلی میله‌ای یا دیسکی شکل هستند، که از نظر هندسی دارای ناهمسانگردی بالایی می‌باشند. اندازه این مولکول‌ها از مرتبه چند آنگسترم هستند. نسبت طول به قطر مولکول‌های میله‌ای و نسبت قطر به ضخامت در مولکول‌های دیسکی معمولا از مرتبه پنج یا بزرگتر است. انواع فازهایی که ممکن است توسط مولکول‌های میله‌ای شکل به وجود بیایند در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. در دمای بالا مولکول‌ها در حالت مایع همسانگرد هستند و هیچ نظم مکانی یا جهتی نشان نمی-

[1] Liquid crystal

دهند. در این حالت مولکول‌ها می توانند آزادانه حرکت و مانند آب شارش پیدا کنند، شکل (۱-۱ الف). وقتی دما کاهش پیدا می‌کند این مواد به فاز نماتیک[۲] می‌رسند که ساده‌ترین فاز بلور مایع است، شکل(۱-۱ ب)[۳]. به منظور بررسی یک مولکول میله‌ای در فاز نماتیک سه محور به آن متصل می‌کنند که یکی از محورها در راستای محور بلند مولکولی و دوتای دیگر عمود بر آن می‌باشند. مولکول‌ها در فاز نماتیک می‌توانند (آزادانه یا به کمک نیروی محرک) حول هر دو محور کوتاه و بلندشان بچرخند. در فاز نماتیک همبستگی بلند بردی بین مراکز جرم مولکول‌ها وجود ندارد، بنابراین مولکول‌ها می‌توانند آزادانه انتقال پیدا کنند[2].



شکل ۱-1:فازهای مختلف از مولکول‌های میله‌ای شکل در اثر دما[۴]

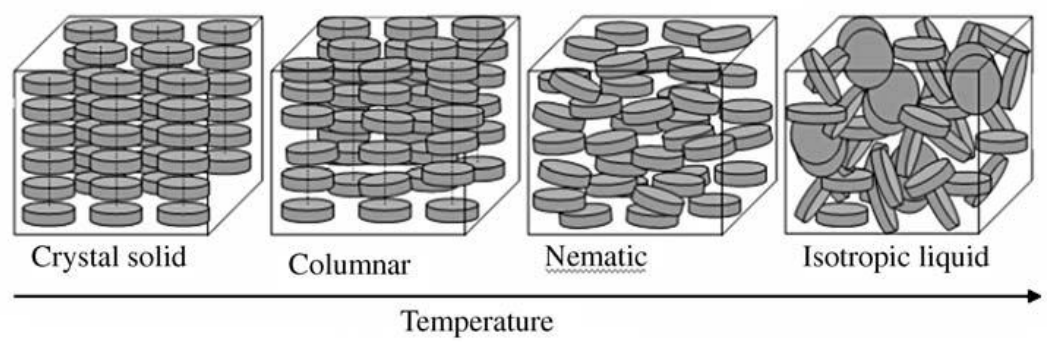
در این حالت چسبندگی انتقالی نسبت به حالت مایع همسانگرد هنوز خیلی تغییر نکرده است. چسبندگی یک نماتیک نوعی از مرتبه چسبندگی آب در دمای اتاق می‌باشد. اگر چه مولکول‌ها همچنان دارای حرکت‌های گرمایی هستند، اما محور طولی مولکول‌ها جهت ارجحی نشان می-

[2]Nematic

دهد که متوسط جهت‌گیری آنها با بردار واحدی به نام بردار جهت نما تعریف می‌شود. با کاهش بیشتر دما، فاز ماده تبدیل به اسمکتیک[۳] می‌شود که در آن علاوه بر نظم جهتی، مولکول‌ها تقریبا نظم مکانی در جهت عمود برلایه‌ها را نیز دارا می‌باشند، شکل(۱-۱ج)[3]. در این فاز مولکول‌ها یک ساختار لایه‌ای تشکیل می‌دهند که در داخل لایه‌ها هیچ نظم مکانی وجود ندارد و می‌توانند به هر سو حرکت کنند. لایه‌ها با ضخامت d ، قابل مقایسه با طول یک مولکول، مرتب شده‌اند که می‌توانند آزادانه نسبت به همدیگر بلغزند. البته جدایی بین لایه‌های مجاور به خوبی که در شکل نشان داده شده است، نمی‌باشد. چسبندگی انتقالی این فاز نسبت به فاز نماتیک بالاتر است. در دمای پایین ماده تبدیل به فاز جامد بلوری می‌شود، که در آن هر دو نظم جهتی و مکانی وجود دارد. چسبندگی انتقالی تقریبا نامتناهی است و دیگر مولکول‌ها پخش نمی‌شوند، شکل(۱-۱ د)[4].

بعضی از فازهای بلور مایع با مولکول‌های دیسکی شکل ساخته شده‌اند، شکل (۱-۲). در دماهای بالا، آنها در فاز مایع همسانگرد هستند. با کاهش دما مولکول‌های بلور مایع دیسکی شکل می‌توانند در ساختاری لایه‌ای مانند، منظم شوند که این حالت را نماتیک دیسکی شکل می‌نامند. وقتی دما بیشتر کاهش پیدا کند دیسک‌ها روی یک ستون قرار گرفته و ماده وارد فاز ستونی[۴] می‌شود که علاوه بر نظم جهتی دارای نظم مکانی نیز می‌باشد. در این فاز، بردار جهت-نما در امتداد محور ستونی خواهد بود. ستون‌ها به صورت دوره‌ای عمود بر صفحات مرتب شده-اند. در دماهای پایین‌تر ماده در فاز جامد بلورین است.

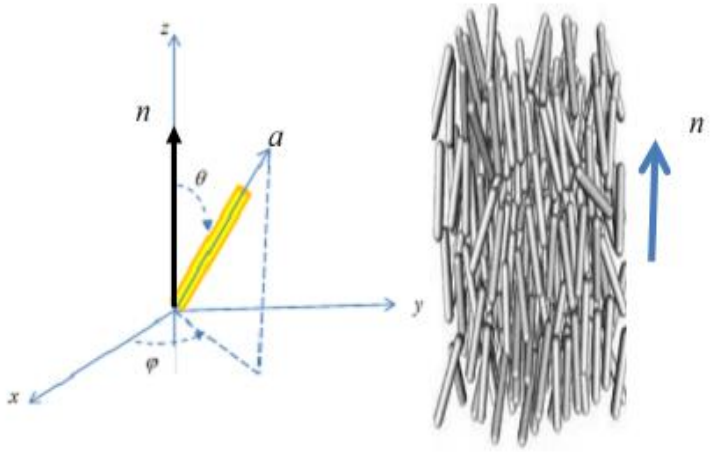
[3] Smetic-A
[4] Columnar



شکل۱-۲:فازهای مختلف از مولکولهای دیسکی شکل در اثر دما[3]

۱-۲ نظم جهتی

نظم جهتی مهمترین ویژگی بلورهای مایع است. همان طور که قبلا اشاره کردیم، متوسط جهتگیری محور طولی مولکول‌ها در بلور مایع را بردار جهت‌نما می‌نامند و آن را با **n** نمایش می‌دهند، شکل (۱-۳ الف). برای آن دسته از بلورهای مایع که مولکول‌هایشان دارای دوقطبی دائمی هستند علامت بردار جهت‌نما اهمیت دارد. اما برای بلور مایعی که مولکول‌ها دو قطبی دائمی ندارند **n** و **n-** ،معادلند. در نظریه میکروسکوپی به منظور بررسی جهت‌گیری مولکول-های میله‌ای شکل، محور طولی مولکول را با بردار واحد **a** نشان می‌دهند. جهت‌گیری این محور در فضا با زاویه فضاییθ و زاویه سمتی φ مشخص می‌شود، شکل (۱-۳ ب). پارامتر نظم را به صورت میانگین جهت‌گیری مولکول‌ها نسبت به بردار جهت‌نما تعریف می‌کنند. پارامتر نظم معمولا در فاز بی‌نظم با دمای بالا که مولکول‌ها به صورت تصادفی جهت‌گیری کرده‌اند مقدارش صفر و در فاز منظم در دمای پایین که همسویی کامل مولکول‌ها وجود دارد مقدارش یک است[3].



ب الف

شکل ۱-۳(الف):جهت گیری مولکول‌های میله ای بلور مایع در امتداد بردار جهت نما ،(ب): تصویر فضایی محور بزرگ متصل به مولکول[4].

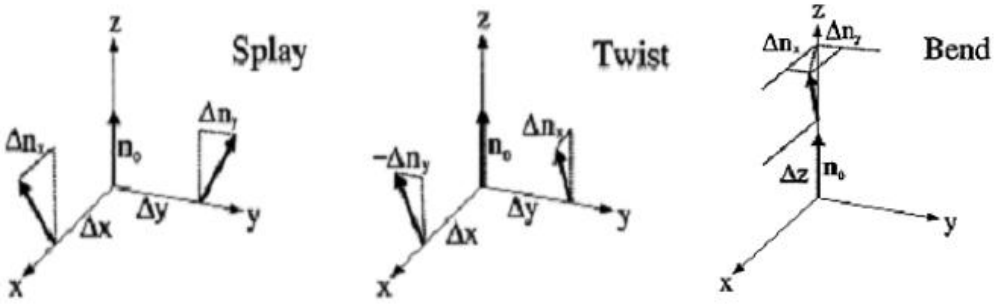
مقدار متوسط جمله دوم چند جمله‌ای لژاندر را به عنوان پارامتر نظم در نظر گرفته اند،

$$S = \langle p_2(\cos\theta)\rangle = \langle \frac{1}{2}(3\cos^2\theta - 1)\rangle \qquad (۱-۲)$$

برای فاز نماتیک پارامتر نظم مخالف صفر می‌باشد، با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند و مقدار نوعی ان در محدوده $0.3-0.8$ است.

۱-۳ خصوصیات کشسانی بلورهای مایع

درفاز نماتیک، بردار جهت‌نما در غیاب عوامل خارجی به طور طبیعی جهت‌گیری می‌کند. اما در اثر اعمال میدان‌های خارجی، نیروی برشی یا شرایط مرزی، این جهت‌گیری می‌تواند از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر کند، بنابراین تابعی از مکان خواهد بود. با اعمال میدان‌های خارجی سه حالت برای انحراف بردار جهت‌نمای بلور مایع وجود دارد، شکل(۱-4)



شکل ۱-4:انحراف مولفه های بردار جهت‌نما[1]

برای بررسی تمامی انحرافات ممکن بردار جهت‌نما، دستگاه مختصات دکارتی را طوری انتخاب می‌کنیم که در مبدا مختصات، $\mathbf{n}_0$ موازی محور z باشد. تغییرات کوچک $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ سه نوع تغییر شکل را برای، $\mathbf{n}_0$ ایجاد می‌کند. تغییر شکل‌ها در مدل فرانک عبارتند از گسترده[۵]، پیچیده[۶] و خمیده[۷]،

$$\begin{aligned} &Splay: \frac{\partial n_x}{\partial x} + \frac{\partial n_y}{\partial y} \\ &Twist: \frac{\partial n_y}{\partial x} - \frac{\partial n_x}{\partial y} \\ &Bend: \frac{\partial n_y}{\partial z}\hat{i} + \frac{\partial n_x}{\partial z}\hat{j} \end{aligned} \qquad (۱-۳)$$

مقدار انرژی که صرف تغییر شکل بافت بلور مایع می‌شود، در آن ذخیره شده و باعث افزایش انرژی آزاد سیستم خواهد شد. با در نظر گرفتن هر سه نوع تغییر شکل،چگالی انرژی کشسانی در بلور مایع نماتیک به صورت زیر خواهد بود:

$$F_V = F_0 + \frac{1}{2}[k_{11}(\nabla.\hat{n})^2 + k_{22}(n.\nabla\times n)^2 + k_{33}(n\times\nabla\times n)^2]. \qquad (۱-۴)$$

[5] splay
[6] twist
[7] bend

که در آن F_0 عبارت ثابت برای بافت تغییر شکل نیافته است. k_{11} ثابت کشسانی فرانک[8] مربوط به حالت گستره، k_{22} مربوط به حالت پیچیده و k_{33} مربوط به حالت خمیده می باشند ثابت‌های کشسانی تابع دما هستند و نتایج تجربی نشان داده اند که آنها از مرتبه‌ی 10^{-11} تا 10^{-12} نیوتن تغییر می‌کنند.گاهی به منظور ساده شدن محاسبات می‌توانیم از تقریب یک ثابتی (یعنی k_{ii} های یکسان) استفاده کنیم [1].

۱-۴ جهت‌گیری مولکول‌های بلور مایع در مجاورت سطوح مرزی

اصولا برهمکنش مولکول‌های بلور مایع با فازهای همسایه(گاز، مایع و جامد) یک مسئله‌ی جالب توجه است. بافت بلور مایع در حالتی که با سطوح مرزی محدود می‌شود متفاوت از حالت حجمی می‌باشد. ساختار سطح[9]،می‌تواند شرایط مرزی را تغییر و رفتار بلور مایع را تحت تاثیر قرار دهد. فاز نماتیک از نظر تئوری، بویژه در دستگاه‌های الکترواپتیکی از اهمیت زیادی برخوردار است[5].

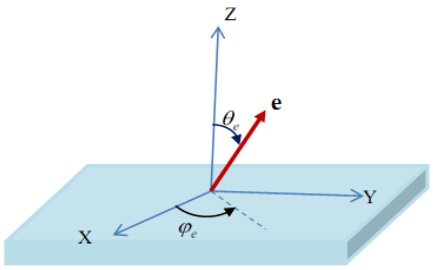
برهمکنش مولکول‌های بلور مایع با سطوح در جهت‌گیری تعادلی بردار جهت‌نما در حجم بلور مایع نقش مهمی دارد. قدرت یک سطح در اعمال جهت‌گیری خاصی به مولکول‌های بلور مایع مجاور آن با پارامتری به نام قدرت چنگ زدگی تعیین می‌شود که با A نشان داده می‌شود [۱]

۱-۴-۱ انواع جهت‌گیری

در بسیاری از کاربردهای عملی، بلور مایع را بین دو تیغه ساندویچ می‌کنند. به منظور بررسی خواص ناهمسانگردی بلور مایع، لازم است جهت‌گیری معینی از بردار جهت‌نما آن را در دیواره-های سلول بررسی کنیم.بنابراین برای تعیین جهت‌گیری بردار جهت‌نما در مرزهای سلول بردار

[8] Frank
[9] surface structure

محور آسان را برای سطوح مرزی تعریف می‌کنیم.بردار محور آسان[۱۰]، برداری است که انرژی در راستای آن کمترین مقدار خود را دارد و در غیاب میدان‌های خارجی، بردار جهت‌نما در راستای این محور قرار می‌گیرد.انواع جهت‌گیری بردار جهت‌نما به امتداد محور آسان بستگی دارد. اگر امتداد محور آسان در فضا با θ_e,φ_e مشخص کنیم، شکل(5-1)،به ازای $\theta_e = 0$ جهت‌گیری "هموتروپیک"[۱۱] خواهیم داشت و اگر $\theta_e = \pi/2$ جهت‌گیری از نوع "صفحه‌ای"[۱۲] است. به ازای $0\langle\theta_e\langle\pi/2$ باشد جهت‌گیری را "کج شده"[۱۳] می‌نامند. جهت‌گیری صفحه‌ای به نوبه خود می‌تواند همگن(با زاویه منحصر به فرد φ_0) یا ناهمگن (دارای چند محور آسان روی سطح) باشد[۵].



شکل ۱-۵:امتداد محور آسان سطح، در فضا

۱-۴-۲ انرژی سطحی

انرژی مورد نیاز برای منحرف کرد بردار جهت‌نما در مجاور سطح، نسبت به محور آسان سطح را انرژی چنگ‌زدگی می‌نامند.این انرژی در بلور مایع ذخیره می‌شود. اگر بردار جهت‌نمای

[10]Easy axis
[11]homeotropic
[12]planar
[13]tilted

منحرف شده را در فضا با زاویه θ و φمشخص کنیم، چگالیانرژی سطحی در حالت کلی برای تقریب مرتبه اولاز رابطه‌ی زیر تبعیت می‌کند، (مدل راپینی -پاپیولار[۱۴]):

$$F_S = \frac{1}{2} A_\theta \sin^2(\theta - \theta_e) + \frac{1}{2} A_\varphi \sin^2\theta_e \sin^2(\varphi - \varphi_e) \qquad (۱-۵)$$

که در این رابطه A_θ, A_φبه ترتیب پتانسیل چنگ‌زدگی سمتی و قطبی هستند[3].

۱-۵ انواع شرایط مرزی

۱-۵-۱ شرایط مرزی ثابت

ساده‌ترین نمونه حالتی است که بلور مایع بین دو صفحه موازی در $z = 0$ و $z = h$،تحت اثر میدان مغناطیسی خارجی قرار گرفته باشد شکل(۱-۶ الف). بردار جهت‌نما توسط زاویه θکه فقط تابعی از z است، معین می‌شودشکل(۱-۴ب).در حالتی که انرژی چنگ‌زدگیسطوح مرزی نامتناهی باشد (چنگ زدگی قوی) جهت‌گیری مولکول‌های بلور مایع در سطوح ثابت می‌ماند. با توجه به شکل (۱-۴ الف) شرایط مرزی به صورت زیر خواهد بود:

$$\theta(z = 0) = \theta_1$$

$$\theta(z = d) = \theta_2 \qquad (۱-۶)$$

[14]Papoular Rapini