

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک فیزیک (گرایش آلی)

عنوان پایان نامه

حافظه‌های نوری دائمی بر پایه بلورمایع نماتیکی آلائیده با رنگینه آزو

استاد راهنما

دکتر حبیب خوش سیما

پژوهشگر

فرید مقدس

بهمن 1390

نام خانوادگی: مقدس	نام: فرید
اساتید راهنما: دکتر حبیب خوش سیما	
عنوان پایان نامه: حافظه های نوری دائمی بر پایه بلورمایع آلاییده با رنگینه آزو	
مقطع: کارشناسی ارشد	رشته: فوتونیک
دانشگاه: تبریز	گرایش: آلی
دانشکده: پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی	تعداد صفحه: 88
تاریخ فارغ التحصیلی: ?????	
کلیدواژه: بلورمایع آلاییده با رنگینه آزو، بهره پراشی مطلق، توری دائمی، مدولاسیون ضریب شکست	
<p>چکیده: بلورهای مایع نماتیکی بخاطر خواص نوری خطی و غیر خطی نظیر دوشکستی و یا نور شکستی مورد بررسی- های متعددی قرار گرفته اند. این خواص در بلور های مایع اصولا با آلاییدن آنها توسط رنگینه ها تا چند مرتبه مقداری تقویت نیز می شود. بهنگام اعمال میدان نوری به بلورمایع آلاییده با رنگینه پدیده های مختلفی می تواند در تغییر خواص مورد بحث سهیم باشند که منجر به بازجهتگیری در مولکولهای بلور مایع می شود، که از میان آنها می توان به فوتوایزومریزاسیون مولکولهای رنگینه آزو، جذب رنگینه در سطح و تغییر شرایط لنگراندازی و ... اشاره کرد. این خواص که تماما از اندرکنش نور با محیط ناشی می شود بطور کلی در محیط بلور مایع که خاصیت سیالی دارد، برای ایجاد تمام نگاری های همزمان مورد استفاده قرار می گیرند که در آنها با حذف پرتوهای نویسنده، الگوی تمام نگاری نیز از بین می رود.</p> <p>در این پروژه به بررسی قابلیت ذخیره سازی دائمی اطلاعات نوری در محیط بلور مایع آلاییده با رنگینه پرداخته می- شود. این بررسی شامل مطالعه آثار دخیل در بهینه سازی کیفیت و پایداری اطلاعات ثبت شده است. بدین منظور از سلول های با آرایش سطوح موازی و بلورمایع های آلاییده با رنگینه متیلرد (1) استفاده شده است. نتایج تجربی بدست آمده با نتایج حاصل از کارهای مشابه مقایسه شدند و با بحث روی نتایج، ساخت حافظه دائمی با شرایط ذخیره سازی بهینه، مورد بررسی قرار می گیرد.</p>	

فهرست:

فصل اول:

بررسی مفاهیم اولیه

2	مقدمه.....
3	بلورهای مایع ¹⁻¹
3	بلور مایع چیست ¹⁻¹⁻¹
3	تاریخچه ²⁻¹⁻¹
5	طبقه‌بندی و ویژگی‌های بلورهای مایع ³⁻¹⁻¹
10	جهت‌گیری و پارامتر نظم در بلورهای مایع ¹⁻³⁻¹⁻¹
11	ناهمسانگردی در بلورهای مایع ²⁻³⁻¹⁻¹
12	ناهمسانگردی نوری در بلورهای مایع ¹⁻²⁻³⁻¹⁻¹
15	لنگراندازی سطح در بلورهای مایع ³⁻³⁻¹⁻¹
17	روش‌های جهت‌گیری در بلورهای مایع ⁴⁻³⁻¹⁻¹
19	بلور مایع‌ها در حضور میدان‌های خارجی ⁴⁻¹⁻¹
19	بلور مایع‌ها در حضور میدان الکتریکی ¹⁻⁴⁻¹⁻¹

- 20.....²⁻⁴⁻¹⁻¹ بلورمایع‌ها در حضور میدان مغناطیسی
- 21.....³⁻⁴⁻¹⁻¹ گذار فردریکز
- 24.....⁴⁻⁴⁻¹⁻¹ بلورهای مایع در حضور میدان‌های نوری
- 25.....²⁻¹ رنگینه‌های آزو
- 25.....¹⁻²⁻¹ ایزومریزاسیون رنگینه‌های آزو
- 26.....¹⁻¹⁻²⁻¹ فوتوایزومریزاسیون رنگینه‌های آزو
- 27.....²⁻²⁻¹ ناهمسانگردی جذبی رنگینه‌های آزو و پارامتر نظم آن‌ها
- 27.....³⁻²⁻¹ بازجهت‌گیری نورالقایی رنگینه‌های آزو
- 28.....³⁻¹ بلورمایع آلاییده با رنگینه آزو
- 28.....¹⁻³⁻¹ بلورمایع آلاییده با رنگینه آزو در حضور میدان‌های نوری
- 31.....²⁻³⁻¹ ثبت توری تمام‌نگاری در بلورمایع آلاییده با رنگینه آزو

فصل دوم:

مواد و روش‌ها

- 36.....¹⁻² مواد بکار رفته
- 36.....¹⁻¹⁻² بلورمایع مورد استفاده
- 38.....²⁻¹⁻² رنگینه آزوی مورد استفاده
- 39.....²⁻² آماده‌سازی نمونه‌ها

- 39.....¹⁻²⁻² سلول‌های مورد استفاده
- 40.....²⁻²⁻² ضخامت سنجی سلول‌های مورد استفاده
- 41.....³⁻²⁻² آرایش بلورمایع با رنگینه
- 42.....⁴⁻²⁻² پارامتر نظم در نمونه‌ها
- 44.....³⁻² آرایش تجربی مورد استفاده
- 44.....¹⁻³⁻² آرایش تجربی برای ثبت توری دائمی
- 48.....²⁻³⁻² آرایش تجربی برای واهلش توری
- 50.....⁴⁻² سازوکارهای ثبت توری

فصل سوم:

بحث و نتیجه‌گیری

- 55.....¹⁻³ نتایج بدست آمده برای بلورمایع 1294-1b آلاییده با متیل‌رد
- 55.....¹⁻¹⁻³ ثبت توری
- 59.....²⁻¹⁻³ واهلش توری
- 67.....²⁻³ نتایج بدست آمده برای بلورمایع E7 آلاییده با متیل‌رد
- 68.....³⁻³ نتایج بدست آمده برای بلورمایع 5CB آلاییده با متیل‌رد
- 69.....⁴⁻³ نتیجه‌گیری
- 71.....مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1) نمایش شماتیک غشاء سلولی که فسفولیپیدها از عناصر اصلی سازنده آن می‌باشند. این مواد ورود و خروج عناصر از سلول را کنترل می‌کنند.....5
- شکل 2-1) اشکال مایلین a- مشاهده شده زیر میکروسکوپ توسط ناگوتی ساختار سیلندرهای هم محور متشکل از فسفولیپیدها.....6
- شکل 3-1) نمایی عمومی از فازهای نماتیک، سمکتیک A و C (سه شکل بالایی). کلومنا و نماتیک با مولکول‌های دیسکی شکل (دو شکل سمت راست).....8
- شکل 4-1) مولکول‌های بلورماید استوانه‌ای شکل (الف) و مولکول‌های بلورماید دیسکی شکل (ب).....9
- شکل 5-1) الف) جهت‌گیری یک مولکول بلورماید نسبت به دایرکتور. ب) نظم موجود در جهت‌گیری مولکول‌ها در سه فاز مورد بحث.....11
- شکل 6-1) تغییرات پارامتر نظم بلورماید بر حسب دما11
- شکل 7-1) نحوه درک ضریب شکست محیط بلورماید توسط میدان الکتریکی نور فرودی، الف) برای موج عادی و ب) برای موج غیر عادی.....12
- شکل 8-1) نمایش فرود مایل پرتو نوری نسبت به محور نوری بلورماید.....13
- شکل 9-1) نحوه تغییرات ضرایب شکست عادی و غیر عادی با دما که نحوه تغییرات دو شکستی بلورماید را نسبت به دما مشخص می‌کند.....14
- شکل 10-1) جهت‌گیری بلورماید در سطح، که بنا بر شرایط سطح متفاوت است. الف) جهت‌گیری عمودی ب) جهت-گیری تخت صفحه‌ای ج) جهت‌گیری مایل.....15
- شکل 11-1) موقعیت دایرکتور در نزدیکی سطح که با زوایای قطبی و سمتی نسبت به جهت ارجح مشخص می‌شود.....16
- شکل 12-1) جهت‌گیری مولکول‌های بلور ماید در حضور میدان الکتریکی خارجی، الف) برای بلورمایدی با ناهمسانگردی دی‌الکتریک مثبت. ب) برای بلورمایدی با ناهمسانگردی دی‌الکتریک منفی.....19

- شکل 1-13) نحوه بازجهت‌گیری مولکول‌های بلور مایع در میدان مغناطیسی الف) قبل از بازجهت‌گیری. ب) بعد از باز-
 جهت‌گیری.....21
- شکل 1-14) نمایش گذار فردریکز الکتریکی در سلول‌های بلورمایع با آرایش‌های به هم خورده الف) گسترشی و ب)
 خمشی.....22
- شکل 1-15) تغییرات بوجود آمده در جهت‌گیری مولکول‌های بلورمایع بدون در نظر گرفتن آثار سطحی، در حضور میدان-
 های الف) ac و ب) dc.....23
- شکل 1-16) اعمال میدان dc در سلول سبب یونیزه شدن ناخالصی‌ها شده، که آن‌هم به نوبه خود سبب تضعیف میدان
 اعمالی می‌شود و گذار فردریکز مولکول‌ها در شدت میدان‌های بالاتری حاصل می‌شود.....23
- شکل 1-17) ساختار عمومی ترکیبات آزو.....25
- شکل 1-18) ایزومرهای ترانس و سیس رنگینه آزوی آزوبنزن (به ترتیب سمت چپ و راست) و نحوه تبدیل آن‌ها به
 یکدیگر.....26
- شکل 1-19) نمایشی از موقعیت دو پرتو قطبیده خطی متعامد نسبت به هم، در حین تداخل.....31
- شکل 1-20) نحوه تشکیل توری نورشکستی.....33
- شکل 2-1) ساختار شیمیایی مولکول 5CB.....36
- شکل 2-2) بلورمایع‌های تشکیل دهنده مخلوط E7.....37
- شکل 2-3) شکل عمومی مولکول‌های ایزوتیوسیاناتی.....37
- شکل 2-4) شکل مولکولی ایزومر ترانس الف) و سیس ب) رنگینه متیل‌رد.....38
- شکل 2-5) ساختار سلول‌های مورد استفاده40
- شکل 2-6) نمایش نمونه داده‌های بدست آمده از ضخامت سنجی در نمودار شدت عبوری بر حسب طول موج تابشی....41
- شکل 2-7) نمودار داده‌های بدست آمده از طیف سنجی قطبشی برای نمونه بلورمایع 1b-1294 آلانیده با رنگینه متیل
 رد با درصد وزنی 1٪ درون سلول 20 میکرون.....43
- شکل 2-8) آرایش تجربی برای ثبت توری دائمی.....45

شکل 2-9) نودار نوسانات شدت لیزر کاوشگر (هلیوم-نئون) بر حسب زمان.....47

شکل 2-10) نمایشی از راستای اولیه دایرکتور مولکولی (شیارها)، الگوی تداخلی، قطبش پرتوهای نویسنده و کاوشگر روی سطح نمونه، که به ترتیب در راستای X, X, Y و X می‌باشند. سه جهت اصلی X, Y و Z به ترتیب با سه پیکان قرمز، سبز و آبی نمایش داده شده است.....48

شکل 2-11) آرایش تجربی مورد استفاده برای بررسی دینامیکی واهلش توری ثبت شده.....49

شکل 2-12) نمایشی از نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در حین ثبت توری سطحی اولیه، بصورت سه بعدی (الف) و دو بعدی (ب). مولکول‌های قرمز داسی شکل نمایانگر ایزومرهای سیس رنگینه متیل‌رد می‌باشند و در شکل الف مولکول‌های آبی بیضوی نمادی از مولکول‌های بلورماید می‌باشند.....51

شکل 2-13) نمایشی از نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در حین ثبت توری سطحی دوم (ساختار موجدار، بصورت سه بعدی (الف) و دو بعدی (ب). مولکول‌های قرمز داسی شکل نمایانگر ایزومرهای سیس رنگینه متیل‌رد می‌باشند و در شکل الف مولکول‌های آبی بیضوی نمادی از مولکول‌های بلورماید می‌باشند.....52

شکل 3-1) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین ثبت توری برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1/.) در سلول 50 میکرون. شدت پرتوهای نویسنده 17mw/cm^2 بوده است.....56

شکل 3-2) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین ثبت توری برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1/.) در سلول 20 میکرون. شدت پرتوهای نویسنده 17mw/cm^2 بوده است.....57

شکل 3-3) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین ثبت توری برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1/.) در سلول 50 میکرون. شدت پرتوهای نویسنده 55mw/cm^2 بوده است.....59

شکل 3-4) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین واهلش توری برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1/.) در سلول 50 میکرون. پرتوی لیزر پمپ قطبیده دایروی و با شدت 50mw/cm^2 بوده است.....61

شکل 3-5) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین اعمال تک پرتو بر توری ثبت شده برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1/.) در سلول 50 میکرون. پرتوی لیزر پمپ قطبیده خطی S و با توان فرودی 12.4mw بوده است.....62

شکل 3-6) نمایش نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در اثر تابش تک پرتو قطبیده S در مراحل اولیه، روی توری از پیش ثبت شده.....63

شکل 3-7) نمایش نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در اثر تابش تک پرتو قطبیده S پس از مدتی (تشکیل ساختار موجدار)، روی توری از پیش ثبت شده 64

شکل 3-8) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین اعمال تک پرتو بر توری ثبت شده برای نمونه بلورماید 1294-1b آلاییده با متیل رد (1٪) در سلول 50 میکرون. پرتوی لیزر پمپ قطبیده خطی p و با توان فرودی 12.4mw بوده است..... 65

شکل 3-9) نمایش نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در اثر تابش تک پرتو قطبیده p در مراحل اولیه، روی توری از پیش ثبت شده 66

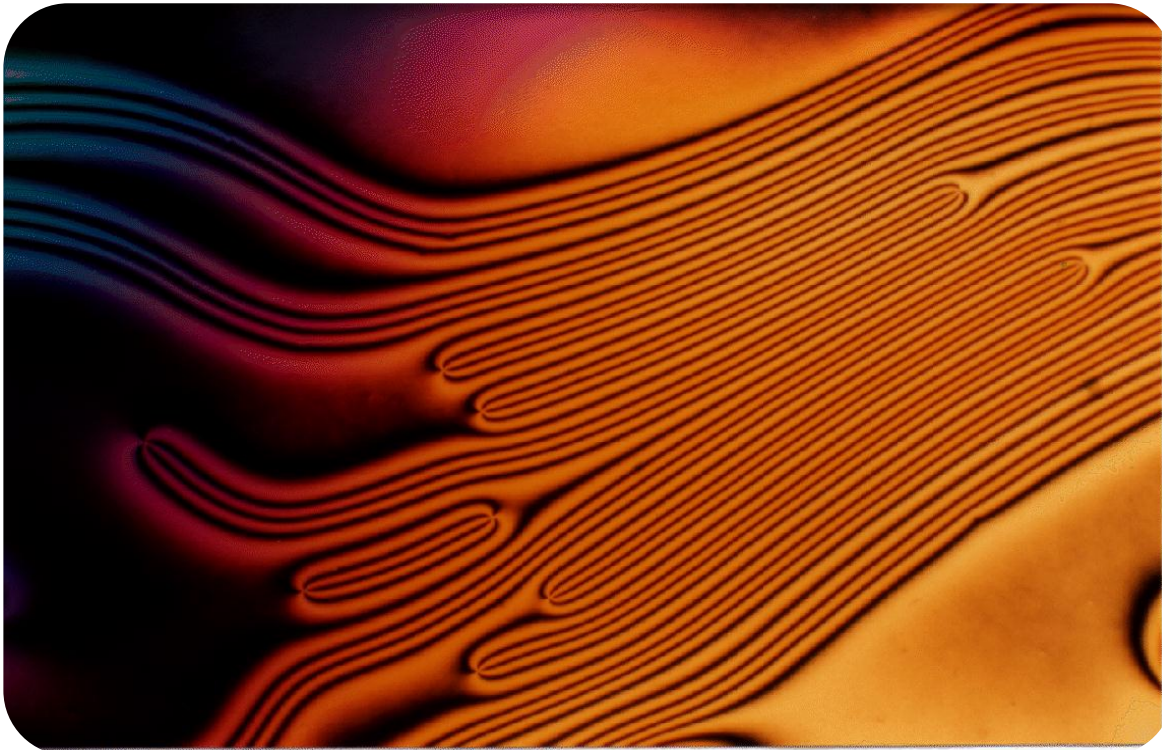
شکل 3-10) نمایش نحوه جهت‌گیری مولکول‌ها در اثر تابش تک پرتو قطبیده p پس از مدتی (تشکیل ساختار موجدار)، روی توری از پیش ثبت شده 66

شکل 3-11) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین ثبت توری برای نمونه بلورماید E7 آلاییده با متیل رد (1٪) در سلول 50 میکرون. توان فرودی پرتوهای نویسنده 6.2mw بوده است..... 67

شکل 3-12) تغییرات بهره پراشی مطلق بر حسب زمان در حین ثبت توری برای نمونه بلورماید 5CB آلاییده با متیل رد (1٪) در سلول 50 میکرون. توان فرودی پرتوهای نویسنده 7mw بوده است..... 68

فصل اول

بررسی مفایم اولیه



۱

¹Copyright photo courtesy of Professor [Oleg D. Lavrentovich](#)

مقدمه:

در راستای پیشرفت فناوری، طراحی و ساخت سیستم‌های نوری و استفاده از آنها به جای سیستم‌های الکتریکی، بعلاوه سرعت بالا و استحلاک ناچیز، مورد توجه قرار گرفته‌اند. سیستم‌های نوری در زمینه مخابراتی کاملاً جایگزین سیستم‌های الکتریکی شده‌اند که شامل ابزارآلاتی نظیر مدولاتورها و سوئیچ‌های نوری در انواع مختلف نظیر، ROADM¹ و WSS² ها می‌باشند [1]، [2]. سیستم‌های فوتونیک به محدوده رایانه‌ها نیز وارد شده‌اند و به زودی تحولی عظیم در این عرصه حاصل خواهند کرد، بطوریکه رایانه‌های کوانتومی حاصل از پایه فوتونی قابل مقایسه با همتای الکترونی خود نخواهند بود. در این میان حافظه‌های تمام نگاری نوری برای استفاده در چنین رایانه‌هایی پیش‌بینی شده و به مرحله بهره‌برداری نیز رسیده‌اند. لذا یافتن موادی مناسب جهت استفاده در ساخت این ابزارآلات نوری حائز اهمیت می‌باشد. بلورهای مایع بعلاوه خواص ناهمسانگرد نوری بالا، موادی مناسب جهت استفاده در این زمینه می‌باشند [3]. بعلاوه آلاییدن مقداری رنگینه به بلورهای مایع سبب افزایش چشم‌گیری در خواص نورالقایی آنها می‌شود [4]. بلورهای مایع نماتیکی آلاییده با رنگینه آزو بعلاوه (1) نوع بلور مایع که دارای گذار فازی در دمای بزرگتر و ویسکوزیته کمتر می‌باشد و (2) نوع رنگینه که با جذب نور دچار تغییر شکل ساختاری (فوتو ایزومریزاسیون) بزرگی می‌شود، بیشتر از سایر انواع خود در چنین کاربردهایی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در این پروژه به بررسی حافظه‌های نوری دائمی بر پایه بلور مایع نماتیکی آلاییده با رنگینه آزو می‌پردازیم. در مورد ثبت دائمی اطلاعات روی این حافظه‌ها می‌توان گفت که رنگینه‌های آزو با تابش نور، فوتو

¹ Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM)

² Wavelength Selective Switch (WSS)

ایزومریزاسیون کرده و به سطح نمونه می‌چسبند و باعث جهت‌گیری پایدار دایرکتور مولکول‌های بلورمایع نماتیکی می‌شود و یک مدولاسیون ضریب شکست بین نواحی تاریک و روشن الگوی تداخلی بوجود می‌آید [5 و 38].

1-1) بلورهای مایع:

1-1-1) بلورمایع چیست؟

هم اکنون در مدارس پنداشته می‌شود که ماده در سه حالت جامد، مایع و گاز شکل می‌گیرد. این فرض صحیح نیست و در واقع مواد آلی خاصی وجود دارند که گذار مستقیم از حالت جامد به مایع از خود نشان نمی‌دهند، بلکه در این بین سری گذارهایی رخ می‌دهد که شامل فازهای جدیدی از ماده‌اند. ویژگی‌های مکانیکی و تقارنی این فازها بین جامدات و مایعات قرار می‌گیرد. بدین دلیل اغلب آنها را بلورهای مایع می‌نامیم. نام مناسب‌تر فاز مزومرفیک¹ (فرم میانی) می‌باشد. مولکول‌های بلورمایع، همانند مایعات نظم مکانی خاصی ندارند ولی همانند جامدات از نظم جهتی خاصی پیروی می‌کنند. لذا در برخی زوایا ناهمسانگردی از خود بروز می‌دهند [5].

1-1-2) تاریخچه:

در این دیباچه بطور خلاصه به معرفی پیشگامان در زمینه بلورهای مایع می‌پردازیم. اولین مشاهدات تجربی در قرن نوزدهم حاصل شدند، ولی پرداخت فیزیکی بلورهای مایع بعدها در سال 1920 توسط

¹Mesomorphic

فریدل^۱ صورت پذیرفت. بعد از نصف قرن رکود مطالعات در این زمینه، در سال 1970 فیزیک بلورهای مایع تحت تأثیر کارهای جنس^۲ وارد مرحله جدیدی شد و تا به امروز رشد یافت.

جرجس فریدل بلور شناس معروف فرانسوی در اوایل قرن بیستم، اولین بار پیشنهاد کرد که بلورهای مایع حالت مجزایی از ماده بین فاز مایع همسانگرد و جامد بلوری می‌باشند. قبل از وی محققان متعددی بلورهای مایع را بدون درک اینکه آنها فاز جدیدی از ماده که جدا از جامدات و مایعات می‌باشند، مشاهده کرده بودند. فریدل این قدم را قاطعانه برداشت و اکتشاف خویش را در مقاله‌ای تحت عنوان حالات مزومرفیک ماده^۳ که در سالنامه فیزیک فرانسه^۴ در سال 1922 انتشار یافت، توصیف کرد [6]. سرانجام فریدل حالات جدید مواد کشف شده را با الهام از یونان باستان، نماتیک، کلستریک و سمکتیک^۵ نامید.

بنیاد فکر اینکه ماده در حالات متفاوتی از مایع همسانگرد و جامد کریستالی می‌تواند ظاهر شود، از اواسط قرن نوزدهم شکل گرفت. در آن زمان زیست شناسان شروع به استفاده از میکروسکوپ قطبشی در مطالعات بافت‌های جانوری و گیاهی کردند. در سال 1857 متنهیمر^۶ چشم پزشکی مواد نرمی (مایلین^۷ یا به عبارتی چربی غلاف عصب) که از سلول‌های عصبی خارج شده بود را زیر میکروسکوپ قطبشی مشاهده کرد. متنهیمر با تماس مایلین با آب، رشد اشکال لوله ای در وجه مشترک مایلین و آب را مشاهده کرد. هم اکنون ما می‌دانیم که مایلین غالباً از فسفولیپیدها تشکیل یافته است، موادی که از عناصر اصلی غشاء سلولی‌اند (شکل 1-1) [7].

¹ Georges Friedel

² P-G. de Gennes

³ Mesomorphic states of matter

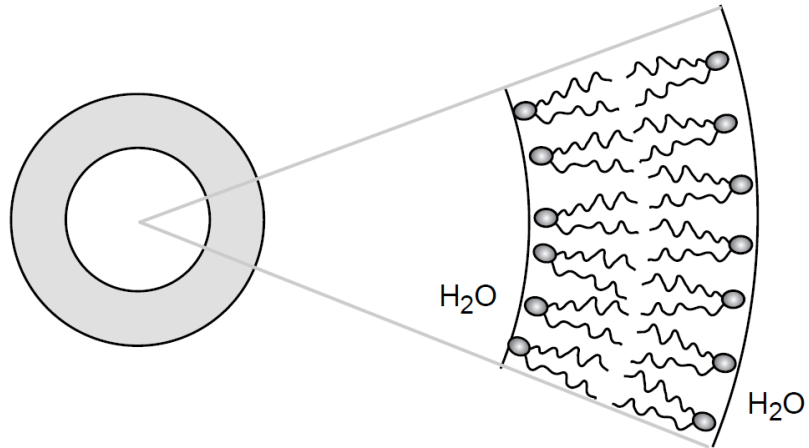
⁴ Annales de physique

⁵ Nematic, Cholesteric, smectic

⁶ Mettenheimer

⁷ Myelin

شکل 1-1) نمایش شماتیک غشاء سلولی که فسفولیپیدها از عناصر اصلی سازنده آن می‌باشند. این مواد ورود و خروج عناصر از سلول را کنترل می‌کنند [8].



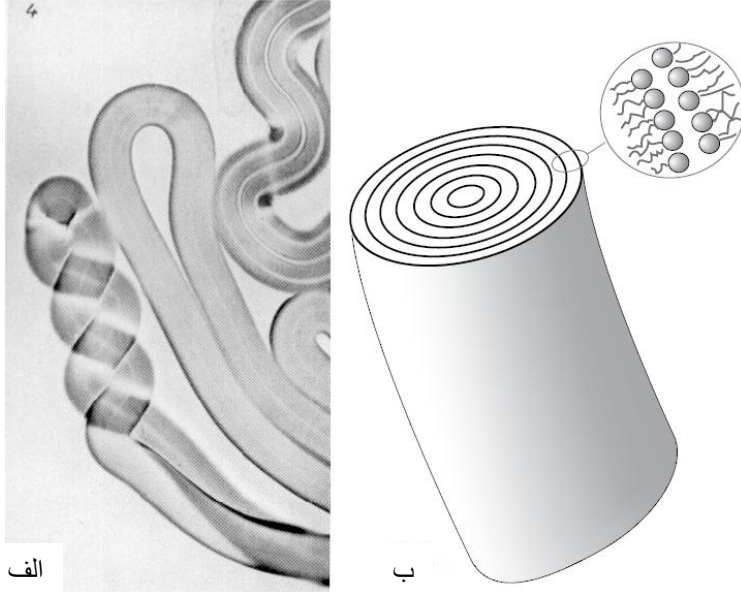
اندازه این غشاء در سلول‌های عصبی بسیار بزرگ است، که بخاطر شاخه شاخه شکل بودن آنها، زیادبودن محتوای فسفولیپید آنها قابل توضیح است. در غلظت‌های بالا، فسفولیپیدها در آب لایه‌ای تشکیل می‌دهند که می‌توانند فرم‌های مختلفی بخود گیرند، مثلاً می‌توانند تحت سیلندرهای هم محور با یکدیگر جفت و جور شوند. این سیلندرها (طبق شکل 1-2) دارای خاصیت دو شکستی هستند و تشکیل دهنده عناصر اصلی بافت مایلین می‌باشند [8].

3-1-1) طبقه‌بندی و ویژگی‌های بلورهای مایع:

برای درک معنی و مفهوم این حالت جدید از ماده، مرور تمایز جامدات و مایعات مفید خواهد بود. در بلور-ها، اجزای سازنده آن (مولکول‌ها یا گروهی از آنها) در کنار یکدیگر منظم آرایش می‌یابند و مرکز ثقل گرانشی گروه‌های مختلف، در شبکه متناوبی سه بعدی قرار گرفته‌اند.

در مایعات از آنجائیکه براحتی جریان می‌یابند، مرکز ثقل گرانشی بدین شکل نظم نیافته‌است. این دو حالت ماده بخاطر ویژگی‌های مکانیکی خود، چنین تمایز آشکاری یافته‌اند.

شکل 2-1) اشکال مایلین
الف- مشاهده شده زیر
میکروسکوپ توسط
Nageotte ب- ساختار
سیلندرهاى هم محور
متشکل از فسفولیپدها
[8].



بلورها اساساً چنین تعریف می‌شوند که اگر الگوی اولیه‌ای (پایه) در مکان x_0 موجود باشد، احتمال یافتن الگویی همسان در مکان x به ازای $|x-x_0| \rightarrow \infty$ کراندار می‌ماند. مکان اختیاری x را با وارد کردن x_0 می‌توان چنین تعریف کرد:

$$x = x_0 + n_1 a_1 + n_2 a_2 + n_3 a_3, n_i: \text{عدد صحیح}, a_i: \text{بردارهای پایه}, i = 1, 2, 3$$

به عنوان پی آمد این ویژگی، پراش اشعه x از بلورها بازتابش‌های براگ تیزی را نشان می‌دهد که از مشخصه‌های وجود ساختار شبکه‌ای است [5]. به بیان دیگر:

$$\lim_{|x-x'| \rightarrow \infty} \langle \rho(x) \rho(x') \rangle = F(x-x') \quad \text{رابطه 1-1}$$

که $\langle \rho(x) \rho(x') \rangle$ تابع همبستگی چگالی-چگالی و $F(x-x')$ تابعی متناوب از بردار پایه a_i می‌باشند. مایع همسانگرد را نیز می‌توان به شیوه‌ای مشابه تعریف کرد. با فرض اینکه اگر کسی قادر به قرار دادن مولکول یا الگویی در نقطه معلوم x_0 باشد، هیچ راهی برای تأکید اینکه احتمال یافتن نوعی مشابه در

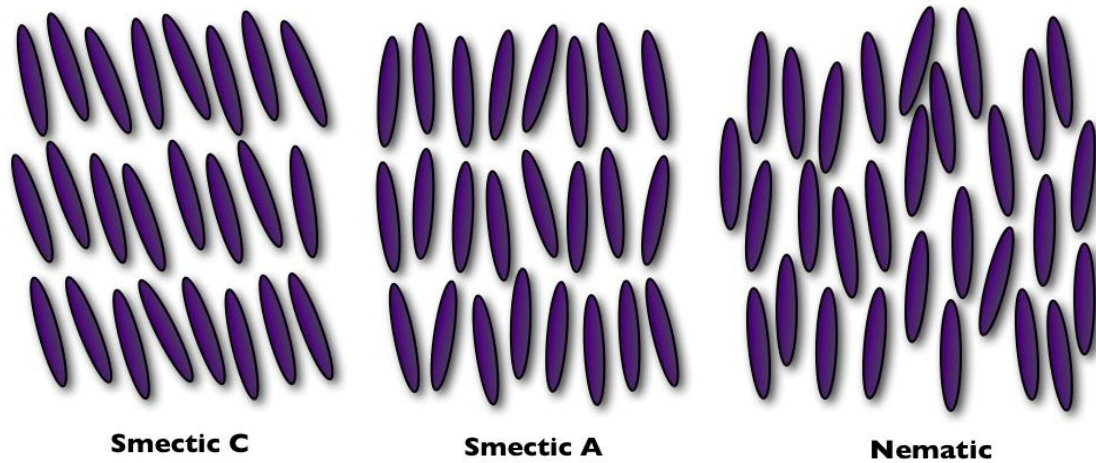
نقطه X بدور از X_0 باشد، وجود ندارد. لذا مقدار حد فوق (رابطه 1-1) با متوسط تابع چگالی ذره قابل

بیان است: **رابطه 2-1** $\lim_{|x-x'| \rightarrow \infty} \langle \rho(x)\rho(x') \rangle \cong \bar{\rho}^2$

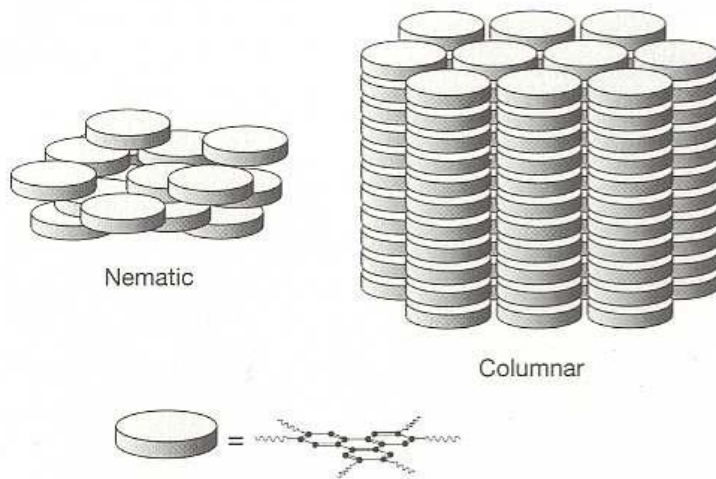
هم اکنون در موقعیتی هستیم که بتوانیم بلور مایع‌ها را بدین شکل تعریف کنیم؛ بلور مایع‌ها همانند مایعات آرایش مکانی می‌یابند و اقلماً در یک راستا نظم جهتی می‌یابند، که منجر به بروز ناهمسانگردی در برخی زوایا می‌شود. به عبارت دیگر تابع همبستگی چگالی-چگالی منحصراً به قدر مطلق $|\vec{x} - \vec{x}'|$ وابسته نیست، بلکه به جهت‌گیری $\vec{x} - \vec{x}'$ نسبت به محورهای ماکروسکوپیکی تعریفی نیز وابسته است. با این تعریف می‌بینیم که مزوفاز به دو صورت تشکیل می‌شود:

1) با هیچگونه نظم مکانی، یا حضور نظم مکانی حداقل در یک یا دو بعد. این سه حالت در طبیعت یافت می‌شوند. **الف)** مورد اول (با هیچگونه نظم مکانی) به وضوح مربوط به مایعات است، ولی اگر تابع همبستگی ناهمسانگرد باشد، این حالت دیگر مایع همسانگرد نیست. فازی با این ویژگی را نماتیک نامند. در این حالت حداقل دو مقیاس طولی $\parallel \vec{r} \parallel$ و $\perp \vec{r}$ در مقابل واهلش همبستگی بین مولکول‌ها وجود دارد، که \parallel و \perp به ترتیب بیانگر موازی و عمود بودن نسبت به جهات ماکروسکوپیکی تعریفی هستند (شکل 1-3). **ب)** مورد دوم اشاره شده (حضور نظم مکانی حداقل در یک بعد)، نظم مکانی یک بعدی را توصیف می‌کند. این سیستم را می‌توان به عنوان دسته لایه‌های دو بعدی از مایع پنداشت که با یک فاصله میانی تعریفی روی همدیگر انباشته شده‌اند. چنین فازی را سمکتیک نامند (شکل 1-3). **ج)** سومین مورد (با نظم مکانی در دو بعد) مربوط به سیستم‌هایی است که در دو بعد نظم مکانی یافته‌اند. آن‌ها را می‌توان به عنوان آرایه‌ای دو بعدی از استوانه‌های مایع پنداشت. این فاز را کلومنار¹ نامند (شکل 1-3) [5].

¹ columnar

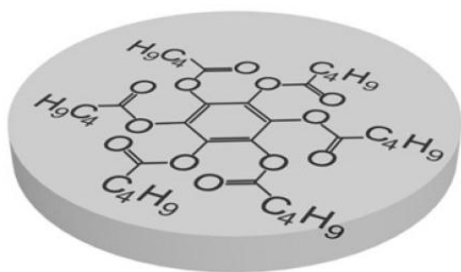


شکل 3-1) نمایشی عمومی از فازهای نماتیک، سمکتیک A و C (سه شکل بالایی [39]). کلومنار و نماتیک با مولکول‌های دیسکی شکل (دو شکل سمت راست [40]).

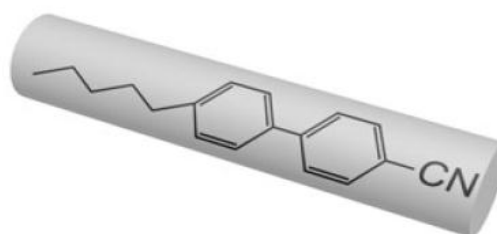


2) تعریف مزوفاز (بلورمایع) با معرفی درجات آزادی که جدا از جایگزیدگی مرکز ثقل گرانشی می‌باشند. برای ایجاد راستاهای متفاوتی از درجات آزادی، جهت‌گیری مولکول‌های غیرکروی طبیعی‌ترین نامزد در این مورد می‌باشد. با بررسی نحوه رفتار درجات آزادی در این مولکول‌ها، طبقه بندی مورد پیش (مورد شماره 1) برای بلورمایع‌ها این بار از جنبه دیگر حاصل می‌شود. نوع بلورمایع بشدت وابسته به ساختار مولکول‌ها یا گروهی از مولکول‌های سازنده است، که آن‌ها را بلوک‌های سازنده نامند [5].

نماتیک‌ها و سمکتیک‌ها اغلب از ساختارهای باریک و استوانه‌ای ساخته شده‌اند (شکل 1-4 الف). در حالیکه برخی نماتیک‌ها و اکثر کلومنارها از مولکول‌های دیسکی تشکیل یافته‌اند (شکل 1-4 ب) [9]. بلورمایع‌ها بنابر نوع بلوک‌های سازنده نیز قابل تفکیک‌اند: الف) مولکول‌های آلی کوچک استوانه‌ای. ب) مولکول‌های آلی کوچک دیسکی. ج) مولکول‌های میله‌ای بلند مارپیچ (هلزونی). د) پلیمرها. و) ساختارهای همبسته. بسته به طبیعت بلوک‌های سازنده و پارامترهای خارجی نظیر دما و حلال‌ها، می‌توان پدیده‌ها و گذارهای گوناگونی در بلورمایع‌ها مشاهده کرد. ویژگی‌های بحث شده در بالا، فقط در محدوده دمایی خاصی برای بلورمایع‌های مورد نظر (ترموتروپیک¹) صادق می‌باشند. در حد بالایی این دما (T_c) ماده خصوصیات فاز مایع همسانگرد را بخود می‌گیرد و در حد پایینی این دما (T_m) ویژگی فاز بلوری را پیدا می‌کند. در کرانه‌های این محدوده دمایی بلورمایع گذار فازی به حالت مایع همسانگرد و حالت بلوری انجام می‌دهد، البته درون این محدوده ممکن است گذارهای فازی بین انواع بلورمایع‌ها نیز حادث شوند.



ب



الف

شکل 1-4) مولکول‌های بلورمایع استوانه‌ای شکل (الف) و مولکول‌های بلورمایع دیسکی شکل (ب) [12-22]

¹ termotropic

1-1-3-1) جهت گیری و پارامتر نظم در بلورهای مایع:

همانطور که گفته شد اغلب نماتیک‌ها شامل مولکول‌های استوانه‌ای شکل می‌باشند و بعلت ویژگی فاز مزومرفیک این مولکول‌ها متأثر از یکدیگر جهت گیری می‌کنند. در این راستا، جهت متوسطی که محور بلند مولکولی بلورمایع‌ها جهت گیری می‌کنند تحت عنوان دایرکتور مولکولی شناخته می‌شود و با بردار \hat{n} نمایش داده می‌شود. این بردار راستای ارجح جهت گیری مولکول‌های بلورمایع را مشخص می‌کند. در اغلب بلورمایع‌ها هر دو جهت راستای بردار دایرکتور، یعنی $+n$ و $-n$ یکسان می‌باشند. هر چند برای مولکول‌هایی با ممان دو قطبی دائمی (ثابت) چنین نمی‌باشد و علامت n حائز اهمیت است. برای مشخص کردن مقدار کمی نظم جهت گیری در فاز بلورمایع پارامتر نظم عددی را بکار می‌بریم که چنین بدست می‌آید [3]:

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle \quad \text{رابطه 3-1}$$

که θ زاویه بین محور بلند هر یک از مولکول‌های بلورمایع با دایرکتور مولکولی است (شکل 1-5الف) و براکت نشان دهنده مقدار میانگین است. این پارامتر عددی بیانگر میزان اثرپذیری مولکول‌ها از یکدیگر و نشان دهنده نظم بوجود آمده در جهت گیری مولکول‌ها می‌باشد، بطوریکه برای سیستمی که مولکول-هایش کاملاً در راستای دایرکتور جهت گیری کرده‌اند مقدار S ، به بیشینه مقدار خود یعنی 1 می‌رسد و در حالت مایع همسانگرد با هیچگونه نظم در جهت گیری مولکول‌ها مقدار S ، به کمینه مقدار خود یعنی 0 می‌رسد (رابطه 3-1)، که این حالات در شکل 1-5ب نشان داده شده‌اند.