

مطالعه ویژه‌گی‌های کریستال‌های مایع

پوهنوال عبدالمحمد عزیز

دپارتمنت کیمیاى عمومی غیر عضوی، پوهنځی کیمیا، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان

ایمیل: abdulmohammadaziz44@gmail.com

چکیده

کریستال مایع مقدار از نظم جامدات و مقدار از سیال بودن مایعات را دارا است، کریستال‌های مایع در هر لحظه می‌توانند به یکی از چندین حالت ممکنه بین جامد و مایع موجود باشند. کریستال‌های مایع عبارت از مرکبات عضوی اند که دارای مالیکول‌های طویل بوده و در انتهای آن‌ها گروپ‌های قطبی (-OR, -NO₂, -NH₂, -CN) موجود بوده و در بعضی اوقات قطعات مانند حلقه بنزین را نیز شامل این مواد می‌سازند. مالیکول‌های این مرکبات دارای ساختمان خطی بوده؛ اما برای گروپ‌های مرکزی آن‌ها به‌طور مشخص موجودیت روابط دوگانه بین دو اتوم آن‌ها حتمی است. رابطه دوگانه مانع چرخش و سختی مالیکول‌ها را با در نظر داشت نسبت محور طویل آن‌ها تأمین می‌نماید. این مالیکول‌ها حاوی گروپ‌های باداشتن قطبیت بلند بوده، دپول مومنت آن‌ها بزرگ است. مالیکول‌ها در کریستال مایع به‌طور لازمی از لحاظ مکانی منظم نه‌بوده؛ اما در سه جهت می‌تواند آزادانه سمت‌گیری داشته باشند. در این مقاله مروری ویژه‌گی‌های چون خواص، ساختار و ترکیب کریستال مایع مورد بررسی قرار گرفته اند.

اصطلاحات کلیدی: دسپلی؛ جالی مانند؛ کولسترول؛ سمیتیک؛ حساس بودن؛ نماتیک؛ متراکم؛ پراکنده‌گی نور

Study Of The Properties Of Liquid Crystals

Associate prof. Abdul Mohammad Aziz

Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, Kabul University, Kabul, Afghanistan

Email: abdulmohammadaziz44@gmail.com

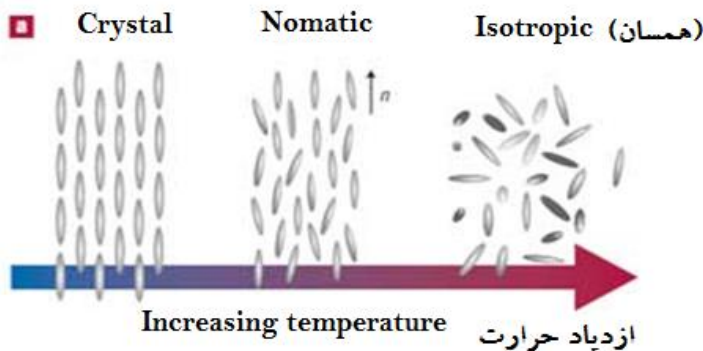
Abstract

Liquid crystals possess characteristics that blend the order of solids with the fluidity of liquids, allowing them to exist in various states between solid and liquid phases. These organic compounds typically consist of long molecules with polar groups (such as NO₂, -OR, -CN, -NH₂) located at their ends, often incorporating benzene rings. The molecules exhibit a linear structure with double bonds between certain diatoms in their central groups, inhibiting rotation and imparting stiffness. Due to their elongated shape and high polarization groups, liquid crystal molecules boast a significant dipole moment. While spatial order among molecules is not guaranteed, they can freely orient themselves in three dimensions. This review article explores their properties, structure, and composition, shedding light on their intriguing characteristics.

Keywords: Display; Lattice-Like; Cholesterol; Smectic; Sensitivity; Dense Nematic; Light Scattering

مقدمه

ماده به سه حالت جامد، مایع و گاز موجود است، تا اواخر قرن نوزدهم، دانش‌مندان براین باور بودند که این سه حالت پایان حالت ماده است؛ ولی در سال ۱۸۸۸ کیمیدان اتریشی بنام فردریش رینیتزر (Reinitzer) (۱۸۵۷-۱۹۲۷) موفق به کشف کریستال‌های مایع شد که به‌طور کامل حالتی دیگر از ماده را دارند و حالت بین مایع و جامد می‌باشند. کریستال‌های مایع حالتی ابهام‌آمیز داشته؛ ولی واقعیت این است که خاصیت بسیار مهم و هم‌مفیدی آزموده است. بلورهای مایع موادی اند که خواص ساختاری و مکانیکی آن‌ها بین خواص مایعات و بلورها است. فهم و درک این حالت ماده برای دانش‌مندان قرن‌های نوزدهم و بیستم کار ساده‌ نبوده است. در اوایل دهه ۱۹۷۰ م اولین دسته از مواد بلورهای مایع پایدار به‌صورت مصنوعی ساخته شدند و از آن در ساخت صفحه‌های (Liquid Crystal Display) نمایش کریستال مایع استفاده شد.



شکل ۱: تصویر کریستال‌های مایع (۴)

جامدات حالت متراکم ماده بوده که بر جای خود باقی مانده و اغلب اتم‌ها یا مالیکول‌های آن به‌شکل خیلی منظم و جدا به‌شکل کریستال کنار هم قرار گرفته‌اند. در مایعات نظم اتم موجود نبوده؛ اگر در یک ظرف انداخته شود، شکل همان ظرف را اختیار کرده، کنار هم قرار می‌گیرند و وقتی آن‌ها را بیرون ظرف بریزید؛ تقریباً به راحتی جریان پیدا می‌کنند. حال تصور کنید که ماده دارای یک ویژه از هر دوی این حالت است؛ یعنی مقداری از نظم جامدات و مقداری از سیال بودن مایعات را که در واقع دارا است؛ یک کریستال مایع است، کریستال‌های مایع در هر لحظه می‌توانند به یکی از چندین حالت ممکنه بین جامد و مایع باشند. دو فاز کریستال‌های مایع مهم عبارت از نماتیک و اسمکتیک نام دارد.

۱. کرسنال‌های مایع و تاریخچه کشف آن‌ها

کرسنال‌های مایع در سال ۱۸۸۸م توسط FriedrichReintzer هنگام مطالعه و بررسی کولسترول در نبات زردک کشف شد؛ اما موصوف از ماهیت آن‌چه که مشاهده کرده بود، به‌طور کامل آگاه نبود؛ بلکه تا دههٔ اخیر همین سال به‌صورت یک پدیدهٔ جالب قابل توجه به آن نگاه می‌شد (۸).

موصوف هنگام کار در پوهنتون آلمانی پراگ، کولسترول را از زردک استخراج کرد و فورمول‌کیمیایی آن را به‌دست آورد. خواص کیمیای فیزیکی مشتقات مختلف کولسترول را آزمایش کرد. چند تن از محققان و همکاران وی تا پیش از آن، اثرات رنگی متمایزی را هنگام سرد کردن مشتقات کولسترول، به‌طور دقیق بالای نقطه انجماد مشاهده کرده بودند. راینیتزر خودش پدیدهٔ مشابه را در کولسترول بنزوات یافت؛ ولی رنگ‌ها در نزدیکی نقطه انجماد به کولسترول بنزوات، در ویژه‌ترین شکل شان نبودند. راینیتزر دریافت که بنزوات کولسترول مانند سایر مرکبات ذوب نمی‌شود؛ بلکه به‌طور واضح دو نقطهٔ ذوب دارد. در ۱۴۵٫۵ درجه سانتی‌گراد ذوب شده و به یک مایع مکدر تبدیل می‌شود، در ۱۷۸٫۵ درجه سانتی‌گراد دوباره ذوب شده، و مایع مکدر به یک‌باره گی شفاف می‌گردد. برعلاوه، این پدیده برگشت‌پذیر بود. راینیتزر در ۱۴ مارچ ۱۸۸۸، برای جلب کمک، نامهٔ را به یک فزیک‌دان به‌نام اوتولهمان فرستاد. این دو عالم نامه‌های باهم مبادله کردند، در نتیجه لهمان هم بر مکدر بودن حالت وسطی کولسترول بنزوات اشاره کرده، تجاری را در این مورد انجام داد و گزارش داد که در این حالت بلوری شدن را مشاهده کرده است. راینیتزر هم به همین نتایج دست یافته بود. مبادلهٔ نامه‌ها بین این دو عالم باعث شد تا راینیتزر در ۲۴ اپریل با تعداد کثیری از سؤالات بی‌پاسخ پایان دهد. راینیتزر نتایج خودش را که با نتایج لهمان مطابقت داشت، در سه می ۱۸۸۸، در یک نشست در انجمن کیمیای وین ارائه کرد. تا این زمان راینیتزر سه سیمای متفاوت از کریستال‌های مایع کولستریک را کشف کرده بود (۹). (که این مواد را بعدها در سال ۱۹۲۲ جرج فریدل نام‌گذاری کرد).

لهمان در این صورت یک مطالعهٔ سیستماتیک را شروع کرد. در ابتدا با کولسترول بنزوات و سپس با مرکبات مرتبط به آن که آن‌ها هم پدیدهٔ دو نقطهٔ ذوبان را به‌طور مشخص نشان می‌دادند. او توسط میکروسکوپ پلاریزیشن نور را در این مرکبات مطالعه کرد و هم خواص این مواد را در حرارت بلند مشاهده کرد. فاز وسطی مکدر را که موصوف دیده بود، یک مایع بود و جاری می‌شد؛ ولی سایر فازهای دیگر، حالت جامد داشتند. در پایان او در سال ۱۸۸۹ مقاله خودش را برای یک نشریه آلمانی فرستاد. تا آغاز قرن بیستم، کریستال‌های مایع، توسط دانش‌مندان شناخته نشده بودند (۳).

Reinitzer نتایج خود را با Lehmann و Von zepharovich در یک ملاقاتی در انجمن شیمیای وین در میان گذاشت. در آن زمان Reinitzer سه ویژگی مهم از کریستال‌های مایع کولستریک را مطرح کرد که توسط Lehmann در ۱۹۲۴ ابلاغ شد.

۱. موجودیت دو نقطه ذوبان؛

۲. چرخش نور پلاریزه مکدر؛

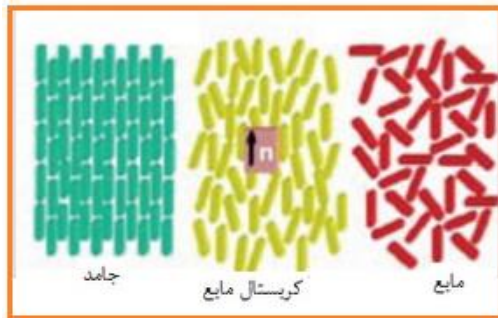
۳. توانایی چرخش به سمت قطب کوچک.

Reinitzer پس از کشف اتفاقی خود، مطالعه بیشتری در مورد کریستال‌های مایع را تعقیب نه کرد. این تحقیق توسط Lehmann کسی پی برد که با یک پدیده جدید مواجه شده‌است، ادامه یافت. موصوف قادر به مشاهده نور قطبی شد و سپس میکروسکوپ خود را با یک (نگهدارنده دستگاه مجهز به بخاری) گرم نگه داشت که موصوف را قادر ساخت تا تجارب خود را در حرارت بلند انجام دهد. موصوف در سال 1911م نتایج خود را منتشر کرد (۱۷).

یکی از شیمیادانان ایالات متحده ابتدا در سال ۱۹۳۵ در پوهنتون Cincinnati و سپس در پوهنتون Kent state شروع به مطالعه کریستال‌های مایع کرد. در سال ۱۹۹۵ او با حضور بیش از ۱۲۲ دانش‌مند اولین کنفرانس بین‌المللی کریستال مایع را در کنت اوهایو برگزار کرد. این کنفرانس آغاز تلاش در سراسر جهان برای انجام تحقیقات در مورد این مواد بود. فزیک‌دانی به نام Richard Williams مشاهده کرد که هنگامی یک میدان الکترونیکی به یک لایه نازک از یک کریستال مایع نماتیک در ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد اعمال شود، یک نمونه منظم که او به نام دامنه نام‌گذاری کرده بود، شکل گرفت (۴).

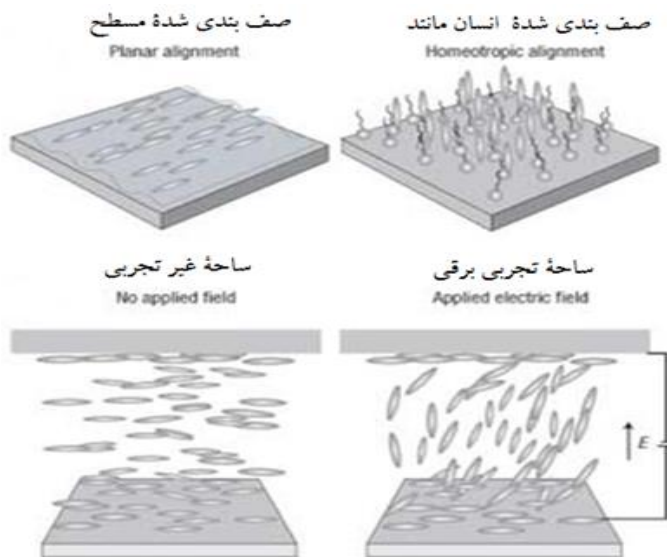
۲. خواص برجسته بلور مایع

در مواد مایع اتوم‌ها و مالیکول‌ها به‌طور تقریبی آزادانه حرکت می‌کنند و روی یک‌دیگر می‌لغزند و در مقیاس میکروسکوپی بسیار نامنظم‌اند؛ اما به دلیل نیروی دافعه کوتاه‌برد میان اتوم‌ها یا مالیکول‌های مایع، تا اندازه‌ای نظم کوتاه‌بردی دیده می‌شود. از آن‌جا که نظم مکانی دور برد در مایع وجود ندارد، مایعات در مقابل تغییر شکل خود، مقاومتی از خود نشان نمی‌دهند و تحت تأثیر وزن یا قوه‌های دیگر آزادانه جریان می‌یابند (۱۷). نظم ساختاری کرسنال‌های مایع، نظم ساختاری بین‌بینی مایع و جامد را نشان می‌دهند. شکل زیر تفاوت بین سه حالت مختلف جامد، کرسنال مایع و مایع را نشان می‌دهد:



شکل ۲: تفاوت بین سه حالت مختلف جامد، کریستال مایع و مایع (۶)

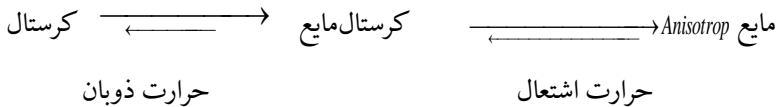
بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۸۸۸ محققان در تحقیقات که در زمینه فزیک، کیمیا، زیست‌شناسی و طبابت انجام می‌دادند، متوجه شدند که بعضی مواد در حرارت نزدیک به حرارت ذوب شان عمل عجیبی از خود نشان می‌دهند. آن‌ها مشاهده کردند که خواص نوری (اوپتیکی) این مواد با افزایش حرارت به‌طور غیر مسلسل تغییر می‌کند؛ به‌طور مثال: ستیارین (stearin) در حرارت ۵۲ درجه سانتی‌گراد از جامد به مایع ابری شکل ذوب می‌شود و تا حرارت ۵۸ درجه سانتی‌گراد به حالت مایع لزوج باقی می‌ماند و در حرارت ۶۲.۵ به یک مایع شفاف تبدیل می‌شود (۲۱). به همین ترتیب مرکبات سنتز شده از کولسترول، وقتی سرد می‌شوند، به رنگ آبی دیده می‌شوند. زیست‌شناسان در مواد بیولوژیکی مایع، رفتار غیر مشابه نوری را که فقط در بلورهای مایع دیده می‌شود، مشاهده کردند:



شکل ۳: تصویر رفتار غیر مشابه نوری در بلورهای مایع (۱۱)

این مواد (بلورهای مایع) شامل مالیکول‌های عضوی بوده که دارای شکل طویل با یک ساحة مرکزی ثابت و لبه‌های انعطاف‌پذیر اند. مالیکول‌ها در کریستال مایع از لحاظ مکانی منظم نبوده؛ اما در سه جهت می‌تواند آزادانه سمت‌گیری داشته باشند. خواص غیرمتوازن بلور مایع ناشی از طویل بودن مالیکول‌های آن است. خواص فیزیکی مالیکول‌ها در امتداد موازی با خواص فیزیکی در امتداد عمود بر صفحه مالیکول متفاوت است. این تفاوت خواص مالیکول‌ها باعث تفاوت خواص متراکم آن ماده حجیم نیز می‌شود (۲۰).

فاز تیره مایع سیال با مایعات عادی در سیالیت و جذب سطحی نزدیک می‌باشد و به همراهی کریستال‌ها در یک سلسله خواص اویپتیکی که مربوط به نظم قسمی مالیکول‌های آن است، نیز نزدیک است، این خاصیت اصطلاح کریستال مایع را می‌رساند. در عده زیادی از کریستال‌ها سرعت نور و ضریب انکسار به تمام جهات یک‌سان بوده که این نوع کریستال‌ها را به نام ایزوتروپی (Isotropy) یاد می‌کند (ایزوتروپی کلمه یونانی بوده و به معنی یک‌سان (مساوی) + چرخش می‌باشد). کریستال‌های دیگری طور مثال سنگ چونه $CaCO_3$ (انایزوتروپی (Anisotropy) بوده، در آن‌ها سرعت نور به جهات مختلف یک‌سان نیست، این کریستال‌ها خواص دوگانه‌گی انکسار اشعه (Refraction) را نشان می‌دهد، اگر ما از طریق این نوع کریستال به شی نظر اندازیم در این صورت تصویر دوگانه را ملاحظه می‌نمایم (۵). علاوه بر کریستال‌های ایزوتروپی که شکل ظاهر شده تداخلی را در نور قطبی شده در سطح به وجود می‌آورد، کریستال‌های می‌آورد مایع *Anisotrop* می‌باشد. ساحة موجودیت کریستال مایع را حرارت دوگانه محدود می‌سازد و آن حرارت ذوبان و حرارت اشتعال است.



کریستال‌های مایع عبارت از مرکبات عضوی است که دارای مالیکول‌های طویل بوده و در انجام آن‌ها گروه قطبی موجود می‌باشد، گروه‌های قطبی عبارت از: $-NH_2$ ، $-CN$ ، NO_2 ، $-O-R$ است و بعضی اوقات قطعات مانند حلقه بنزین را شامل این مواد می‌سازند. مالیکول‌های این مرکبات دارای ساختمان خطی بوده؛ اما برای گروه‌های مرکزی آن‌ها به طور مشخص موجودیت روابط دوگانه حتمی است. رابطه دوگانه مانع چرخش و سختی مالیکول‌ها را با در نظر داشت نسبت محور طویل آن‌ها تأمین می‌نماید، این مالیکول‌ها حاوی گروه‌های با داشتن قطبیت بلند بوده، دیپول مومنت آن‌ها بزرگ است. به آسانی تصور شده می‌تواند این‌که: به کدام ترتیب مرکباتی با هم‌چو عمل متقابل دیپول - دیپول موجب

ظاهر شدن کشش قوه بین مالیکولی می شود؟ این قوه‌ها مالیکول‌ها را طوری تشکیل می‌نمایند که محور طویل آن‌ها موازی معلوم گردد (۱۱).

۳. انواع کرسنال‌های مایع

کرسنال‌های مایع سه نوع است؛ که عبارت از: smectic (مشابه به صابون)، Nematic (جالی مانند) Cholesterol (کولسترول) است (۱۵).

1- بلور مایع نماتیک (Nematic)

تصور کنید که تعداد زیادی دندان خلال در یک جعبه مستطیل شکل به شکل نامنظم قرار داده شده است. وقتی شما جعبه دندان خلال را باز می‌کنید، دندان خلال‌ها تقریباً هم جهت اند؛ اما در یک امتداد نیستند؛ یعنی زاویه بین هر داندان خلال با محور معین با هم فرق می‌کند. (دقیقاً در امتداد یک خط نیستند فقط جهت آن‌ها؛ به طور مثال: متمایل به شمال است). آن‌ها آزادانه حرکت می‌کنند؛ اما جهت حرکت آن‌ها یکسان است، این نوع کریستال مایع به نماتیک معروف اند.

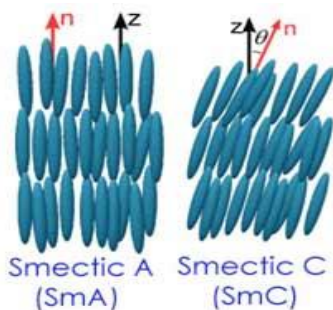


شکل ۴: کرسنال مایع نماتیک (۱۲)

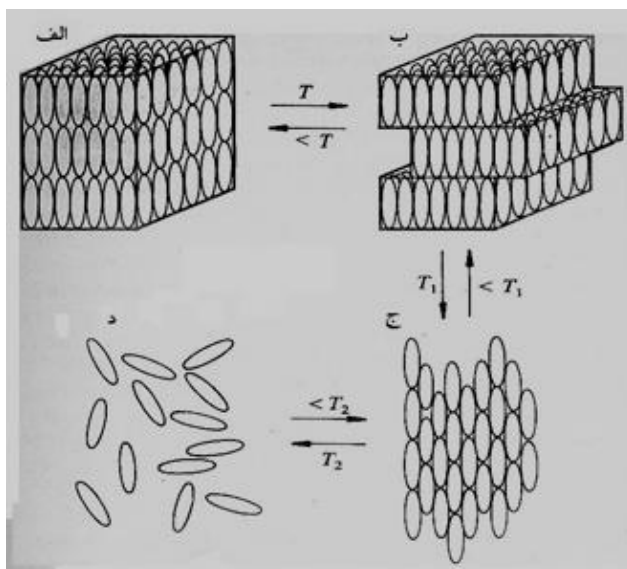
در شکل ۴ نشان داده شده است که به کدام ترتیب فازهای smectic و Nematic با هم دیگر تناسب دارند. smectic مایع آزادانه جاری نمی‌باشد، آن‌ها در یک سطح لغزش می‌نمایند. آنالیز ساختمان رونتیگین به ساختمانی اشاره می‌نماید که متشکل از طبقه مسطح مسلسل بوده و فاصله بین آن‌ها نسبت به فاصله بین مالیکول‌ها در کرسنال بزرگ است. smectic می‌تواند ذوب گردد و به مایع Isotrop تبدیل گردد و یا با حرارت کافی عبور داده شده، فاز Nematic را تشکیل دهد (۲۰). آنالیز ساختمان رونتیگین فاز Nematic سیال را نشان می‌دهد که آن به مایع عادی مشابه باشد، در نتیجه مشاهده کرسنال‌های مایع در نور پولاریزیشن شده تحت میکروسکوب ساختمان‌های رنگه مشخص دیده می‌شود. فاز Nematic دارای ساختمانی به شکل جالی می‌باشد (۱۴).

۲. بلور مایع سمکتیک (smectic)

سمکتیک کلمه لاتین بوده و معنی مورد استعمال غرض پاکی (مشابه به صابون) را می‌رساند. بلورهای مایع smectic نسبت به nematic این تفاوت را دارند که بعضی از آن‌ها دقیقاً موازی با همدیگر اند. بلورهای مایع smectic به دو نوع A و C تقسیم می‌شوند، نوع A همه مالیکول‌ها در یک جهت تقریباً موازی اند اما نوع C در هر ردیف مالیکول‌ها موازی اند و جهت‌گیری ردیف‌ها با هم کمی متفاوت است. به شکل زیر توجه کنید (۲۲).



شکل ۵: تصویر بلورهای مایع سمکتیک (۷)



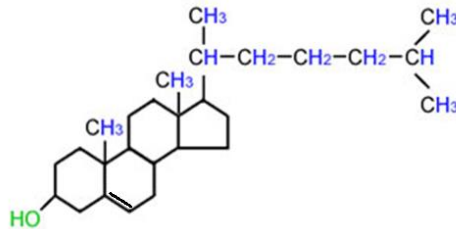
شکل ۶: ساختمان‌های تنظیم شده در کرسنال‌های مایع (۵)

توضیح شکل ۶ مالیکول‌های کش شده، به شکل بیضوی نشان داده شده است، به استثنای حالت مایع ایزوتروپی، آن‌ها طوری قرار گرفته اند که محورهای طویل آن‌ها به هم موازی می‌باشند.

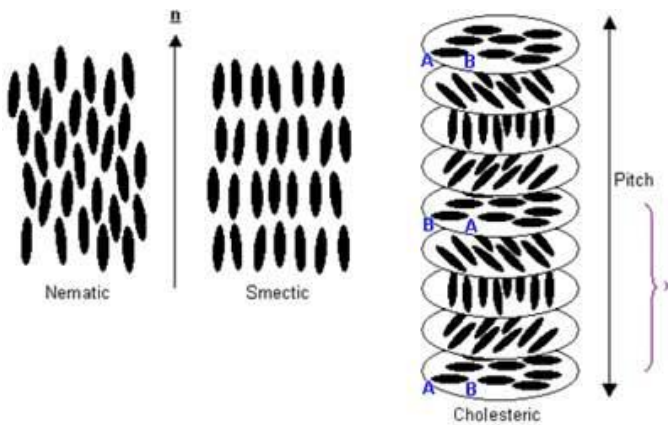
که T عبارت حرارت انتقالی است. الف. فاز جامد ساختمان سه بعدی سخت؛ ب. کرسنال مایع smectic است که فاز چسپناک غیر شفاف هر طبقه به دو جهت تنظیم شده است؛ ج. کرسنال مایع nematic است، این فاز سیال غیر شفاف بوده، ساختمان آن به یک سمت در تنظیم ساختمانها موجود نمی باشد؛ د. مایع ایزوتروپیک امفوتیر است.

۳. کرسنال مایع کولسترولی

بعضی مشتقات کولسترولی (در بین دیگر چربی های کولسترولی ساده) شناخته شده اند که کریستال مایع و فاز کولسترولی تولید می کند. فاز کولسترولی، در حقیقت، یک فاز نماتیک کایرال است و رنگ آن با تغییر حرارت تغییر می کند (۵).



کرسنال مایع Cholesteric شکل پیچیده بلور مایع نماتیک بوده و کایرال آن است. در این نوع بلور مایع اگر مالیکول های چند قشر را در نظر بگیریم. مثل این است که در هر قشر یک نمونه از نماتیک را داریم به ترتیب که در لایه ها پیش می رویم جهت مالیکول ها نسبت به لایه قبلی می چرخد و در نهایت در لایه آخر به جهت لایه اول می رسد، فاصله بین این چند قشر را یک گام (pitch) می نامند. (مطابق شکل ۶) جهت مالیکول در قشر اول از الف به ب بوده و در قشر آخر نیز همین طور است (۱۱).



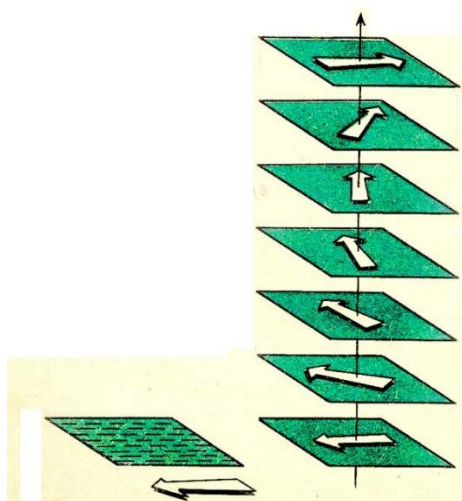
شکل ۷: تصویر بلورهای مایع سمکتیک، نماتیک و کولستریک (۵)

کرسنال مایع نوع سوم (فاز نیمای تغییر شکل داده شده) را به نام cholesterol یاد می نمایند. تمام مرکباتی که خواص کولسترولی را ظاهر می سازد، فعالین اوپتیکی اند. مثال آن کولسترولی ایتراست که در

فورمول‌های ساختمانی ذیل ملاحظه می‌گردد: هرگاه کرسنال‌های مایع کولسترولی توسط نور عادی روشن گردد، نوری دارای رنگ‌های مختلف را انعکاس داده می‌تواند، این پدیده با ساختار قشری دارای مالیکول‌های ۵۰۰-۵۰۰۰ مربوط می‌شود، هریک از این نوع اقشار - عبارت از دسته طبقات مونومالیکولی می‌باشد، محور طویل مالیکول‌ها در هر طبقه به یک جهت به طبقه دیگر محور طویل مالیکول آهسته جهت خود را تغییر می‌دهد، این نوع انحراف به سمت عقربه ساعت حرکت می‌نماید یا در بعضی از مرکبات خلاف عقربه ساعت حرکت می‌کند که موجب ظاهر شدن ساختمان‌های مارپیچی می‌شود فاصله بین طبقه که در آن محور طویل مالیکول‌ها به جهت معین دیده می‌شوند و با طبقه نزدیک می‌باشد که در آن محورها به همین سمت جهت‌گیری نموده باشد، به نام قدم مارپیچ یاد می‌گردد (۵).

این فاصله ضخامت طبقه را تعیین می‌نماید که ابتدا درباره آن سخن گفته شده است، این نوع ساختمان به درجات متفاوت نور را با داشتن طول موج مختلف انکسار می‌دهد، اگر نور منکسر شده در ساحة قابل دید ملاحظه شود، در این صورت کرسنال‌های مایع کولسترولی رنگه به نظر می‌رسد. طول امواج نور منکسر شده متناسب به قدم مارپیچ است، نور منکسر شده با نور قبلی به‌طور اضافی پدیدار و آن در رنگ‌های قشنگ و دلپذیر همچو کرسنال‌های مایع ظاهر می‌شوند، در نتیجه تغییرات حرارت گام مارپیچ تغییر می‌خورد و رنگ نور شکل منکسر شده تبدیل می‌گردد؛ از این سبب کرسنال‌های مایع کولسترولی می‌تواند به حیث ماده حساس در مقابل حرارت «Sensus حساسیت» استعمال گردد. Sensus از کلمه لاتین گرفته شده، به معنی حس - حواس می‌باشد، تغییر رنگ تمام ساحة احاطه شده سپکتر قابل دید از رنگ بنفش تا سرخ بعضی مواد به‌صورت عموم در انتروال حرارت 0.1°C به وقوع پیوسته، از بعضی دیگر در انتروال بالاتر از 40°C صورت می‌گیرد؛ لکن نوع کرسنال‌های مایع نیز موجود است که در واقع به‌شکل مایع باقی مانده و سپکترهای نوری آن تمام رنگ‌های لازمه قابل دید را می‌دهد.

مخلوط ایتراهای کولسترولی که برای آن‌ها عبور تمامی سپکتر در ساحة قابل دید را که به انتروال 37°C (حرارت بدن) مطابقت دارد، در مطالعات ترموگرافیکی سطح جلد استفاده می‌نمایند، قسمت جلد تحت ورید و شیریان چندین مراتبه نسبت به دیگر قسمت‌ها گرم می‌باشد و این تفاوت می‌تواند به کمک کرسنال‌های مایع کولسترولی درک گردد (۴).

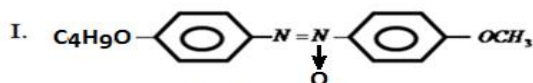


شکل ۸: ساختمان کرسنال مایع کولسترولی (۵)

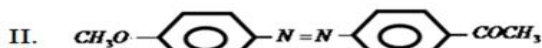
تیر سمت محور طویل مالیکول را در هر طبقه نشان می دهد.

۴. مرکبات مهم تشکیل دهنده کرسنال های مایع

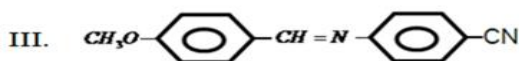
تحقیقات نشان داده است که ماده خالص کرسنالی با حرارت معین ذوب می گردد که تا هنوز پایدار باقی مانده و تمامی کرسنال ها ذوب نمی شوند؛ لاکن مواد کرسنالی دیگری نیز موجود است که در اثر حرارت انتقالی مخصوصه معین، آن ها فاز مایع غلیظ را تشکیل می دهد و بالاخره تا اخیر ذوب شده مایع شفاف را تشکیل می دهد، بعضی از این نوع مرکبات در ذیل ارائه می گردد (۵).



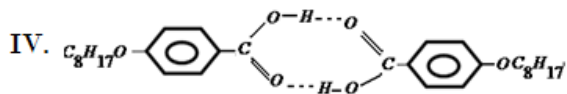
4-acetyl-4- butoxi azobenzol



4,4- dimethoxi azoxi benzol

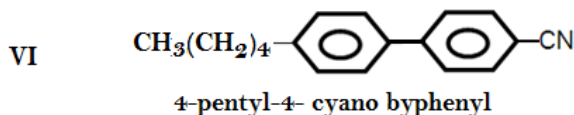
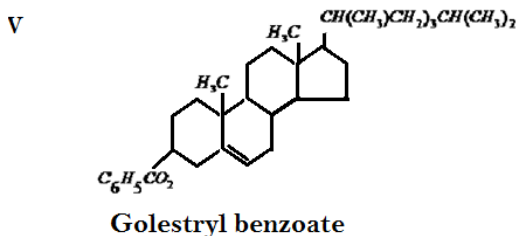


N-(4- methoxi benzyliden)-4 - cyano phenyl amin



Dimerpara octyl oxi benzoic acide

اولین کریستال مایع کشف شده:



به حرارت اطاق حالت مایع را دارا است.

نتیجه‌گیری

۱. کریستال مایع مقداری از نظم جامدات و مقداری از سیال بودن مایعات را دارا است، کریستال‌های مایع در هر لحظه می‌توانند به یکی از چندین حالت ممکنه بین جامد و مایع باشند.
۲. کریستال‌های مایع را مرکبات عضوی تشکیل می‌دهد که دارای مالیکول‌های طویل بوده و در انجام آن‌ها گروپ قطبی موجود می‌باشد، گروپ‌های قطبی عبارت از: $-O-R$ ، NO_2 ، CN ، NH_2 - می‌باشد و بعضی اوقات قطعات مانند حلقه بنزین نیز شامل این مواد بوده می‌تواند .
۳. کریستال‌های مایع سه نوع بوده و آن عبارت از: smectic (مشابه به صابون) ، Nematic (جالی مانند) (کولسترول) است .
۴. مالیکول‌ها در کریستال مایع به‌طور لازم از لحاظ مکانی منظم نبوده؛ اما در سه جهت می‌تواند آزادانه جهت‌گیری داشته باشند.
۵. کریستال مایع در برابر روشنایی نور عکس‌العمل‌های مختلفی از خود نشان می‌دهند. یک کریستال معمولی وابسته به ساختار مالیکولی خود می‌تواند نور را در جهات مختلف منعکس سازند.
۶. ویژه‌گی‌های مالیکول‌های کریستال مایع عبارت از: جهت‌گیری مالیکول‌های بوده که به اطراف خود تأثیر انداخته، این خاصیت آن‌ها در ساختمان معرف‌ها که از اهمیت خاصی برخوردار اند، جفت‌های مشارکتی نامیده می‌شوند.

پیشنهادات

۱. چون کرسنال های مایع در صنعت و طبابت رول اساسی را دارا بوده و از اهمیت خاصی برخوردار اند؛ بنابراین اگر محتوای این مقاله در مفردات مضمون کرسنال شمی کنجانیده شود، این مضمون غنی و با عصر جدید مطابقت خواهد داشت.
۲. از خواص کرسنال های مایع به محصلان کیمیا آگاهی داده شود.

1. Banqui Wu; Ramana.G. Reddy & Robin D. Rogers (2001). "Novel ionic liquid thermalstorage for solar thermal electric power systems". International Solar Energy Conference.445-451:
2. Barghi S.H.; Adibi M.; Rashtchian D. (2010). " An experimental study on permeability, diffusivity, and selectivity of CO₂ and CH₄ through [bmim][PF₆] ionic liquid supported on an alumina membrane: Investigation of temperature fluctuations effects" .Journal of Membrane Science. 352-346:362 .Doi:10 .1016/j.memsci. 2010.06.047.
3. Ch. Jagadeeswara Rao, R. Venkata krishnan, K. A. Venkatesan, K. Nagarajan, 332 - 334, Feb. 4-6, Sixteenth national symposium on thermal analysis(Thermans 2008).
4. D. R. MacFarlane; J. Golding; S. Forsyth; M. Forsyth & G. B. Deacon (2001). "Low viscosity ionic liquids based on organic salts of the dicyanamide anion". Chem. Commun. (16): 1430–1431. doi /.1038.10 : b103064g.
5. E.N. Ramsden B.Sc.,Ph. D. DPhil A- level Chemistry Wolfreton School ,Hull 1988(pp141-145) (322-352)(365-391).
6. H. L. Chum; V. R. Koch; L. L. Miller; R. A. Osteryoung (1975). "Electrochemical scrutiny of organometallic iron complexes and hexamethylbenzene in a room temperature molten salt". J. Am. Chem. Soc. 97 (11): 3264–3265. doi:10.1021/ja00844a081.
7. Hegmann, t., qi, h., marx, v.m. "nanoparticles in liquid crystals: synthesis, self-assembly, defect formation and potential applications", journal of inorganic and organometallic polymers and materials, vol. 17, pp. 483-508, (2007).
8. 7- J. M. Crosthwaite; M. J. Muldoon; J. K. Dixon; J. L. Anderson & J. F. Brennecke (2005). "Phase transition and decomposition temperatures, heat capacities and viscosities of pyridinium ionic liquids". J. Chem. Thermodyn. 37 (6): 559–568. doi:10.1016/j.jct.2005.03.013.
9. J. S. Wilkes; J. A. Levisky; R. A. Wilson; C. L. Hussey (1982). "Dialkylimidazolium chloroaluminate melts: a new class of room-temperature ionic liquids for electrochemistry, spectroscopy and synthesis". Inorg. Chem. 21 (3): 1263–1264. doi:10.1021/ic00133a078.
10. James P. Armstrong; Christopher Hurst; Robert G. Jones; Peter Licence; Kevin R. J. Lovelock; Christopher J. Satterley & Ignacio J. Villar-Garcia (2007). "Vapourisation of ionic liquids". PhysicalChemistry Chemical Physics. 9 (8): 982–90. Bibcode: 2007 PCCP 9.. 982 A. doi:10.1039/b615137j. PMID 17301888.
11. K. J. Fraser; D. R. MacFarlane (2009). "Phosphonium-Based Ionic Liquids: An Overview". Aust J. Chem. 62: 309–321. doi:10.1071/ch08558. , [https://www.researchgate.net /publication /225089857_Phosphonium-Based_Ionic_Liquids_An_Overview](https://www.researchgate.net/publication/225089857_Phosphonium-Based_Ionic_Liquids_An_Overview)
12. Marek Kosmulski; Jan Gustafsson & Jarl B. Rosenholm (2004). "Thermal stability of low temperature ionic liquids revisited". Thermochimica Acta. 412: 47–53. doi:10.1016/j.tca.2003 .08.022.

13. Martyn J. Earle; José M.S.S. Esperança; Manuela A. Gilea; José N. Canongia Lopes; Luís P.N. Rebelo; Joseph W. Magee; Kenneth R. Seddon & Jason A. Widegren (2006). "The distillation and volatility of ionic liquids". *Nature*. 439 (7078): 831–4. Bibcode :2006Natur .439..831E. doi :10.1038/nature 04451 . PMID 16482154.
14. Mota-Martinez M. T.; Althuluth M.; Berrouk A.; Kroon M.C.; Peters Cor J. (2014). "High pressure phase equilibria of binary mixtures of light hydrocarbons in the ionic liquid 1-hexyl-3-methylimidazolium tetracyanoborate". *Fluid Phase Equilibria*. 362: 96–101. doi:10 .1016/j .fluid .2013.09.015.
15. Paul Walden (1914), *Bull. Acad. Sci. St. Petersburg*, pages 405-422.
16. Peter Wasserscheid (2006). "Volatile times for ionic liquids". *Nature*. 439 (7078): 797. Bibcode:2006Natur.439.. 797W. doi:10.1038/439797a. PMID 16482141..
17. R. J. Gale; R. A. Osteryoung (1979). "Potentiometric investigation of dialuminium heptachloride formation in aluminum chloride-1-butylpyridinium chloride mixtures". *Inorganic Chemistry*. 18 (6): 1603–1605. doi/10.1021:ic50196a044.
18. R. M. Barrer (1943). "The Viscosity of Pure Liquids. II. Polymerised Ionic Melts". *Trans. Faraday Soc.* 39: 59–67. doi:10.1039/TF9433900059.
19. Reiter, Jakob (2 Sep 2012). "Fluorosulfonyl-(trifluoromethanesulfonyl)imide ionic liquids with enhanced asymmetry". *Physical Chemistry Chemical Physics*. 15: 2565–2571. Bibcode:2013PCCP... 15.2565R. doi:10.1039/c2cp43066e. Retrieved 2012-12-12.
20. S. Gabriel; J. Weiner (1888). "Ueber einige Abkömmlinge des Propylamins". *Ber.* 21 (2): 2669–2679. doi:10.1002/cber.18880210288.
21. Sugiyama J, Vuong R, Chanzy H. Electron diffraction study of the two crystalline phases occurring in native cellulose from an algal cell wall. *Macromol.*1991;24:4168–4175. doi.org/10.1016/j.carbpol. 2018.03.003.
22. Wilkes J. S.; Zaworotko M. J. (1992). "Air and water stable 1-ethyl-3-methylimidazolium based ionic liquids". *Chemical Communications* (13): 965–967. doi:10.1039/c39920000965.