

54
Н624



СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Е.И. НИКИТИНА, Т.М. ПРОСТЯКОВА

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Методические указания к семинарским занятиям по курсу
«Концепции современного естествознания»

УДК 532.783
Н624

Никитина Е.И., Простякова Т.М. **Жидкие кристаллы**: Метод. указ. к семинарским занятиям по курсу «Концепции современного естествознания». – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2007. – 23 с.

В работе обсуждаются вопросы жидкокристаллического состояния вещества: история открытия, классификации, свойства, применение, получение жидких кристаллов; приводятся контрольные вопросы и творческое задание.

Указания соответствуют программе курса «Концепции современного естествознания» для инженерно-экономических, психологических, юридических специальностей высших учебных заведений и предназначены для студентов дневного и заочного отделений.

Рассмотрены и рекомендованы к печати на заседании кафедры «Химия».

Ответственный редактор
д-р хим. наук, проф. *С.А.Кутюлин*

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. кафедры физики СГУПСа
П.М. Плетнев

канд. физ.-мат. наук, доц., ст. науч. сотр. ОИГТИМ СО РАН
В.Н. Меленевский

© Никитина Е.И., Простякова Т.М., 2007
© Сибирский государственный университет
путей сообщения, 2007

Жидкие кристаллы – именно такие вещества, степень организации которых лежит между упорядоченностью жидкостей, кристаллических твердых тел и простейших живых клеток.

Дж. Бернал

Некоторое время тому назад необычной популярностью в США пользовалась новинка ювелирного производства, получившая название «перстень настроения». За год было продано 50 миллионов таких перстней, т.е. практически каждая взрослая женщина имела это ювелирное изделие. Что же привлекло внимание любителей бижутерии? Камень перстня обладал совершенно мистическим свойством реагировать на настроение его владельца, меняя свою окраску от красного до фиолетового, включая все цвета радуги, в зависимости от настроения. Пожалуй, именно тогда впервые широкие массы столкнулись с загадочным термином «жидкие кристаллы». Сейчас мы все чаще общаемся с ними, и они играют немаловажную роль в нашей жизни. Интерес к ним прежде всего обусловлен возможностями их эффективного применения во многих отраслях производственной деятельности. Внедрение жидких кристаллов означает экономическую эффективность, простоту, удобство. Многие современные электронные технические и бытовые приборы и устройства работают на них. Это часы, термометры, мониторы, калькуляторы, пейджеры и другое. Жидкокристаллические соединения широко используются для создания разнообразных электрооптических систем, а также играют существенную роль в биологических процессах.

Жидкий кристалл – это специфическое агрегатное состояние вещества, в котором оно проявляет одновременно свойства кристалла и жидкости. Жидкокристаллическое состояние ве-

щества иногда называют мезоморфным состоянием, а жидкий кристалл – мезофазой (от греч. «мезос» – промежуточный).

Подобно обычной жидкости жидкие кристаллы обладают *текучестью* и принимают форму сосуда, в который они помещены; их *вязкость*, в зависимости от типа кристалла, может меняться от вязкости воды до вязкости густого масла; они обладают характерным свойством жидкости – *поверхностным натяжением*. Наряду с этими свойствами жидкие кристаллы обладают *упорядоченным расположением в пространстве молекул*, их образующих, что характерно для собственно кристаллов, хотя надо отметить, что упорядочение не такое полное, как в обычных кристаллах. Также как и твердые кристаллы, жидкие кристаллы обладают зависимостью ряда физических свойств от выбранного направления, что получило название *анизотропии*.

1. ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Со времени открытия жидких кристаллов прошло более ста лет. Впервые в 1888 г. их обнаружил австрийский ученый-ботаник Фридрих Рихард Корнелиус Рейнитцер, профессор Ботанического института в Граце. Изучая влияние холестерина и его производных на рост и развитие растений, он синтезировал новое вещество – сложный эфир холестерина и бензойной кислоты – холестерилбензоат. Определяя его температуру плавления, которая является табличной константой всякого нового вещества, он обнаружил, что холестерилбензоат плавился как бы в две стадии. При температуре плавления $T_{пл}$ 145 °С кристаллическое вещество превращалось в мутную, сильно рассеивающую свет жидкость, которая при 179 °С становилась прозрачной (рис. 1).

В отличие от точки плавления, температуру, при которой происходило просветление образца, Рейнитцер назвал точкой просветления $T_{пр}$. Вначале Рейнитцер посчитал, что мутная жидкость является двухфазной системой, причем одна из фаз – кристаллическая. Только как можно было объяснить наличие у этой жидкости двойного лучепреломления, свойства, присущего только кристаллам? Он предпринял попытки разделить эту смесь, но не достиг успеха. Рейнитцер отправил свои

препараты немецкому кристаллографу Отто Леману, в то время профессору в Дрездене, с просьбой помочь разобраться в странном поведении холестерилбензоата. Исследуя их при помощи поляризационного микроскопа, Леман установил, что мутная фаза, наблюдаемая Рейнитцером, является анизотропной. Поскольку свойство анизотропии присуще твердому кристаллу, а вещество в мутной фазе было жидким, Леман назвал его жидким кристаллом (ЖК).

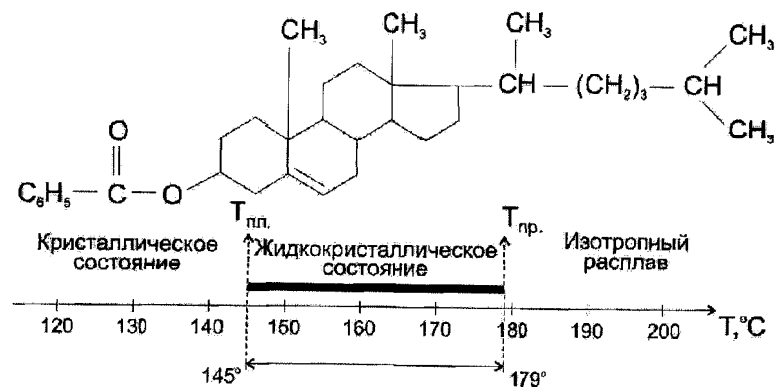


Рис. 1. Первое жидкокристаллическое вещество – холестерилбензоат и температурная область существования жидкокристаллической фазы

Однако понимание природы ЖК-состояния веществ, установление и исследование их структурной организации пришло значительно позднее. Серьезное недоверие к самому факту существования таких необычных соединений в 20–30-х гг. прошлого столетия сменилось их активным исследованием. Работы Даниеля Форлендера в Германии во многом способствовали синтезу новых ЖК-соединений. Французский ученый Жорж Фридель предложил первую классификацию жидких кристаллов, шведский физик Карл Озеен и чех Ганс Цохер создали теорию упругости, русские ученые Всеволод Константинович Фредерикс и Виктор Николаевич Цветков в СССР в 30-х гг. впервые исследовали поведение жидких кристаллов в электрических и магнитных полях, чем внесли фундаментальный вклад в физику жидких кристаллов. Однако до 60-х гг.

изучение жидких кристаллов не представляло существенного практического интереса и носило чисто академический характер.

Отношение к жидким кристаллам резко изменилось в середине 60-х гг., когда в связи с бурным развитием микроэлектроники и миниатюризацией приборов потребовались вещества, способные отражать и передавать информацию, потребляя при этом минимум энергии. Двойственный характер жидких кристаллов (анизотропия свойств) позволил создать управляемые внешним электрическим полем быстродействующие и экономичные ЖК-индикаторы, являющиеся основным элементом многомиллионной «армии» часов, калькуляторов, плоских экранов телевизоров, электронных приборов технического и бытового назначения и т. д. Бурное развитие работ по применению ЖК в электронике, оптике и приборостроении стимулировало активную научную деятельность по изучению физических и химических свойств этих веществ: созывались международные симпозиумы и конференции по жидким кристаллам, организовывались школы для молодых ученых, выпускались сборники и монографии. В Англии с 1975 г. начинает издаваться международный ежемесячный реферативный журнал по жидким кристаллам *Liquid Crystal Abstracts*, с 1986 г. – новый международный журнал «*Liquid Crystals*». В 1990 г. создано Международное общество по жидким кристаллам – *International Liquid Crystal Society*, которое выпускает свое печатное издание «*Liquid Crystals Today*».

Несомненно, весомый вклад в развитие учения о жидких кристаллах внесли отечественные исследователи. Так, работы И.Г. Чистякова, А.П. Капустина, С.А. Бразовского, С.А. Пикина, Л.М. Блинова, А.С. Сонины и многих других служат фундаментом ряда эффективных технических приложений жидких кристаллов.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Все жидкие кристаллы – это искусственно полученные или природные **органические** вещества. Молекулы, образующие жидкие кристаллы, имеют сравнительно большой молекулярный вес и удлиненную асимметричную форму с полярной группой на конце, например, $-\text{CN}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{NH}_2$, иногда они

включают бензольное кольцо. Молекулы ЖК имеют линейно-вытянутое строение, а для их центральных групп характерно наличие двойной связи между молекулами углерода. Двойная связь препятствует вращению и обеспечивает жесткость молекулы по отношению к ее длинной оси. Наличие в молекулах ЖК групп с высокой поляризуемостью (дипольные моменты их высоки) обуславливает действие значительных сил межмолекулярного взаимодействия, которые выстраивают молекулы так, что их длинные оси оказываются параллельными.

По способу получения жидкие кристаллы делятся на два типа. Один из них обнаружил Ф. Рейнитцер, нагрев холестерилбензоат до определенной температуры. Такие ЖК впоследствии получили название термотропных. Термотропные ЖК образуются при нагревании твердых кристаллов или охлаждении изотропной жидкости и существуют в определенном интервале температур. Ряд жидких кристаллов образуются при растворении твердых органических веществ в различных растворителях, например в воде. Они образуют так называемые *лиотропные* («лио» – растворять) жидкие кристаллы. Молекулы лиотропного жидкого кристалла, так же как и термотропного, имеют удлиненную форму. Но для образования лиотропного жидкого кристалла необходимо еще одно важное свойство молекул – амфифильность, что означает «любовь» к обеим сторонам. Этими «сторонами» является вода и жир. Поэтому амфифильная молекула состоит из двух частей: гидрофильной, любящей воду, и липофильной, любящей жир. Гидрофильная часть полярна, т.е. обладает постоянным дипольным моментом. Эта часть молекулы смешивается с водой в любых соотношениях, но нерастворима в жире. Липофильная часть молекулы неполярна, она хорошо растворяется в жире и не растворяется в воде. Примерами гидрофильной части могут служить такие радикалы, как $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{COONa}$ и др. Липофильной частью служат углеводородные цепочки $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n-$. К лиотропным жидким кристаллам относятся системы мыло-вода. Лиотропные жидкие кристаллы наиболее часто образуются биологическими системами, функционирующими в водных средах.

Как термотропные, так и лиотропные ЖК обычно имеют несколько модификаций (жидкокристаллических фаз), каждой из которых на фазовой диаграмме соответствует определенная область. Температурный интервал существования жидкокристаллических фаз зависит от вещества и может находиться как при низких (до -60°C), так и при высоких температурах (до 400°C). В отличие от термотропных жидких кристаллов, где формирование определенного типа мезофазы определяется лишь температурой, в лиотропных системах тип структурной организации определяется двумя параметрами: концентрацией вещества и температурой.

В зависимости от характера расположения молекул согласно классификации, предложенной еще в начале прошлого века Жоржем Фриделем, различают три основных типа структур ЖК-соединений: нематический (от греч. «нема» – нить), смектический (от греч. «сметма» – мыло) и холестерический.

Нематический тип жидких кристаллов (нематики) характеризуется наличием только одномерного ориентационного порядка длинных или коротких осей молекул. Направление преимущественной ориентации осей молекул принято называть *директором*. Центры тяжести молекул расположены в пространстве хаотично, и дальний порядок наблюдается только по отношению к их ориентации (рис. 2, в). Нематическая фаза текуча, рентгеноструктурный анализ показывает, что она похожа на обычные жидкости.

Смектический тип жидких кристаллов (смектики) ближе всего к кристаллическим телам. Молекулы располагаются в слоях, и их центры тяжести подвижны в двух измерениях. При этом длинные оси молекул в каждом слое могут располагаться как перпендикулярно плоскости слоя, так и под некоторым углом (рис. 2, б). Смектические жидкости не текут свободно, они скользят в одной плоскости. Рентгеноструктурный анализ указывает на структуру, состоящую из последовательности плоских слоев, расстояние между которыми больше, чем расстояние между молекулами в кристалле. Смектическая фаза может плавиться, превращаясь в изотропную жидкость.

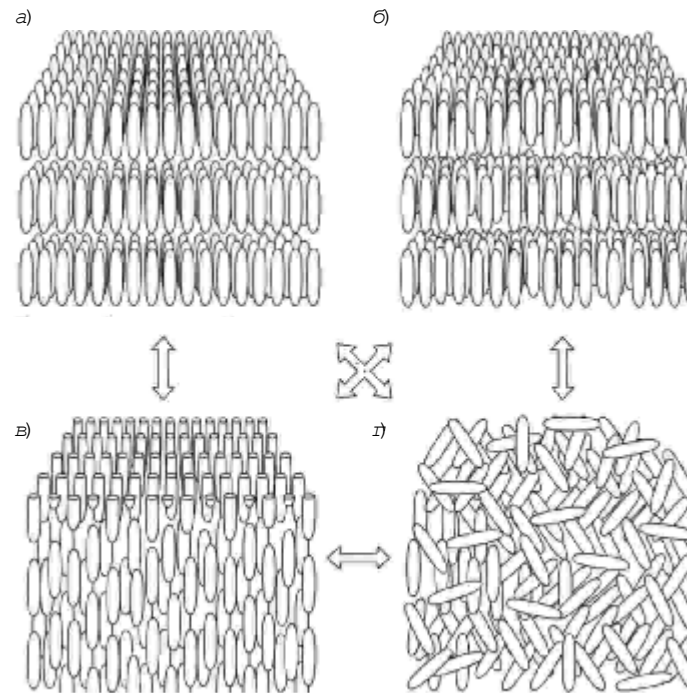


Рис. 2. Основные типы упорядоченного расположения молекул:
 а – твердый слоистый кристалл; б – смектик; в – нематик;
 г – жидкость

Холестерический тип жидких кристаллов (холестерики) получил свое название потому, что большинство из них являются сложными эфирами холестерина. Это наиболее сложный тип упорядочения молекул, которые содержат асимметрический атом углерода. Это означает, что такие молекулы являются зеркально-несимметричными в отличие от зеркально-симметричных молекул нематиков. Примером, иллюстрирующим отсутствие зеркальной симметрии, могут служить левая и правая руки человека, которые мы никогда не можем совместить друг с другом. Если в жидкокристаллическом образце холестерика выбрать мономолекулярный слой (слой толщиной

в одну молекулу), то молекулы в нем будут располагаться почти параллельно друг другу, т. е. напоминать по строению нематик. Следующий соседний мономолекулярный слой «устроен» аналогично. Отличие одно: при переходе от слоя к слою директор поворачивается на небольшой угол и тем самым описывает спираль (рис. 3). Холестерик – это закрученный нематик. Холестерики во многих отношениях подобны нематикам, но имеют и отличия: красивую радужную окраску, большую вязкость, способность поворачивать плоскость поляризации света.

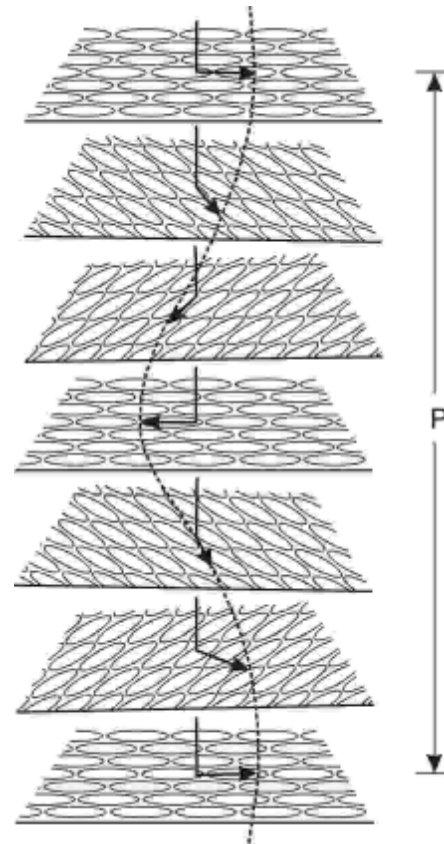


Рис. 3. Спиральная структура холестериков:
 P – шаг спирали

3. СВОЙСТВА ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Анизотропия физических свойств – основная особенность жидких кристаллов. Поскольку основным структурным признаком жидких кристаллов является наличие ориентационного порядка, то естественно, что все их свойства так или иначе определяются степенью ориентационного упорядочения. Количественно степень упорядоченности жидкого кристалла определяется параметром порядка S , введенным В.И. Цветковым в 40-х гг. прошлого века. В полностью разупорядоченной изотропно-жидкой фазе $S = 0$, в полностью твердом кристалле $S = 1$. Параметр порядка жидкого кристалла лежит в пределах от 0 до 1. Именно существование ориентационного порядка обуславливает анизотропию всех физических свойств жидких кристаллов.

ЖК обладают анизотропией упругости, электропроводности, магнитной восприимчивости и диэлектрической проницаемости, оптической анизотропией (явление двупреломления), сегнетоэлектрическими свойствами (способность в определенном интервале температур к самопроизвольной поляризации, зависящей от внешнего воздействия) и др.

4. «ПРОФЕССИИ» ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

При проведении различных экспериментов было установлено, что под действием электрического и магнитного полей происходит переориентация длинных молекулярных осей нематиков. Под действием поля молекулы ЖК принимают такое положение, которое предписывает им поле, а это ведет к изменению оптических свойств. Изменение ориентации директора под действием поля получило название *эффекта (перехода) Федерикса*. Примером такого распространенного сейчас применения этого эффекта в практике служат индикаторы электронных часов. Современные электронные часы показывают время в «чистом», т.е. цифровом виде. Производство таких часов стало возможным благодаря *жидкокристаллическим цифровым индикаторам*, обладающим малой энергоемкостью и небольшим напряжением (1,5–3,0 В), хорошей сопряженностью с электронной схемой, надежностью в работе, контраст-

ностью изображения, малыми размерами и дешевизной. ЖК-индикаторы дают возможность работать при больших уровнях внешней освещенности, так как они сами не светят, а только рассеивают внешний свет, т. е. чем ярче освещено место установки индикатора, тем лучше видны его показания. Именно ЖК-индикаторы являются основой современных калькуляторов, портативных компьютеров «Notebooks», плоских экранов телевизоров, словарей-переводчиков, пейджеров и многих других современных электронных технических и бытовых приборов и устройств.

Жидкие кристаллы позволяют получать не только темно-серые, но и *цветные изображения* знаков, букв и цифр в индикаторах, а также управлять их цветом, меняя его. Для этого используют эффект «гость-хозяин» и эффект деформации слоя ЖК. Эффект «гость-хозяин» заключается в небольшом добавлении в нематик («хозяин») молекул дихроичного красителя («гость»). Дихроичный краситель – это вещество, спектр поглощения которого зависит от направления поляризованного света; молекулы его ориентируются нематиком («хозяином»), как и его собственные. Если направление поляризованного света совпадает с ориентацией молекул красителя, то молекулы поглощают свет в определенном спектре, и краситель имеет характерный для него цвет. Если направление поляризованного света перпендикулярно ориентации молекул, то краситель становится бесцветным. Эффект «гость-хозяин» позволяет создавать любые *цветные индикаторные устройства*.

В настоящее время большое распространение получили интегральные схемы. Для создания блоков и узлов интегральных схем используются различные свойства твердого тела, особенно полупроводников. За счет разнообразных способов обработки отдельных участков им придаются свойства различных элементов (диодов, транзисторов и др.). Создание таких элементов – многостадийный технологический процесс, требующий постоянного контроля. Требования к методу контроля весьма высокие: он должен быть очень чувствительным ввиду малых размеров элементов. Нематический ЖК оказался пригодным для контроля качества интегральных схем на разных стадиях изготовления. Принцип действия нематика основан на

электрооптическом эффекте изменения текстуры нематика под действием электрического поля: на исследуемый слой наносится нематик, который покрывается стеклянной пластинкой с токопроводящим слоем. При подаче напряжения на исследуемый слой, в случае его целостности, ориентация молекул нематика остается неизменной, при наличии дефектов (пор) – электрическое поле меняет ориентацию молекул нематика. Это дает возможность визуализировать очень малые дефекты. *Нематик-контролер* позволяет определить не только размер дефекта, но и его характер: сквозная, несквозная пора или выступ на поверхности. С помощью нематика можно определить имеющиеся обрывы металлизированного слоя, т.е. *нематик-контролер* позволяет довольно быстро и наглядно проверить работоспособность схемы.

Наиболее удивительные оптические эффекты, которые нашли широкое применение в практике, связаны с холестерическими ЖК. Это обусловлено их спиральной структурой, причем шаг спирали P (см. рис. 3) можно менять самыми различными внешними воздействиями: температурой, давлением, электромагнитным полем, химическими примесями, деформацией, излучением и т.д., а это, в свою очередь, меняет цвет холестериков. Спиральная структура холестериков определяет их уникальную особенность – способность селективно отражать падающий свет, «работая» в этом случае как дифракционная решетка. В зависимости от величины шага спирали P , который определяется химической природой холестерика, максимум волны отраженного света может располагаться в видимой, а также в ИК- и УФ-областях спектра, определяя широкие области использования оптических свойств холестериков.

Зависимость длины волны отраженного света, имеющего максимальную интенсивность, от температуры лежит в основе применения тонких пленок холестериков как измерителей тепловых полей. Если весь интервал существования холестерика условно разбить на семь частей, то каждой части будет соответствовать свой цвет, причем самый «холодный» цвет – красный, самый «горячий» – фиолетовый. Эта область применения холестериков называется *термографией*. Термография делится на контактную и дистанционную. *Контактная* широ-

ко применяется для диагностики урологических, стоматологических, неврологических, онкологических и других заболеваний.

Известно, что любое заболевание связано с изменением температуры. Но в ряде случаев медикам необходимо знать не среднюю температуру тела, измеренную термометром, а ее изменение на поверхности тела от точки к точке. Экспериментально установлено, что участки кожи над венами и артериями несколько теплее, чем другие, и эту разницу можно уловить с помощью холестерических ЖК. Цветная термограмма кожи с помощью ЖК позволяет обнаружить тромбы в венах и артериях и вовремя избавиться от них. Этот метод успешно применяется в онкологии для ранней диагностики рака. При нанесении слоя холестерического ЖК на исследуемую часть тела опухоль проявляется как «горячая область», окрашенная в голубой цвет. Метод прост, нагляден, безвреден, не требует серьезных затрат и специальной аппаратуры. В нейрохирургии используют ЖК для диагностики заболеваний головного и спинного мозга, радикулита. Врачи-офтальмологи с помощью ЖК исследуют опухоли глазного яблока, век, определяют положение инородного тела в области глаза при травме даже в том случае, когда оно не обнаруживается рентгеном.

Контактная термография также применяется для неразрушающего контроля различных изделий. Это быстрый и дешевый метод отбраковки различных изделий электронной техники: выпрямителей, интегральных и печатных схем, транзисторов.

Дистанционная термография применяется при изучении распределения интенсивности излучения ИК-лазеров и СВЧ-источников: СВЧ-излучение попадает на подложку, поглощающую его, она нагревается, и жидкий кристалл дает двумерную картину распределения мощности СВЧ-поля.

В будущем жидкие кристаллы ждет еще одно интересное применение: смектические ЖК оказались очень чувствительными к ультразвуку, что позволяет исследовать внутренние органы человека без рентгена, т.е. без ионизирующих лучей, которые сами по себе опасны для здоровья человека.

Холестерики помогают решать интересные задачи в области аэродинамики. При оценке аэродинамики моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах одной из характе-

ристик является скорость теплообмена. ЖК, нанесенные на поверхность модели, способны дать двумерную картину распределения температуры на ее поверхности.

Различные химические вещества, растворяясь в жидком кристалле, меняют его цвет, т.е. холестерик является *индикатором на химические примеси*. Для каждого химического вещества подбирается «свой» жидкий кристалл. Уже подобраны холестерики, реагирующие на присутствие паров хлороформа, дихлорэтана, ацетона, бензола, бензина, оксидов азота, хлора, фтора и др., причем они реагируют на ничтожные доли примесей. Это нашло свое применение в *охране окружающей среды*: контроль за состоянием воздушных бассейнов городов, промышленных и транспортных центров, оценка состояния водных бассейнов и отклонений от нормы питьевой воды.

Холестерическая спираль чутко реагирует на механические воздействия. Цвет жидкокристаллической пленки меняется от зеленого при нормальном давлении до красного при давлении в несколько тысяч атмосфер, что нашло применение в *датчиках давления*.

Шаг холестерического кристалла оказывается чувствительным и к воздействию ионизирующих излучений. Это свойство холестериков используется в *дозиметрах излучения*. В этом случае сигналом о превышении безопасной дозы ионизирующего излучения служит изменение окраски или непосредственный буквенный сигнал на специально приготовленной пленке, содержащей холестерик.

Полимеры! Современная жизнь немыслима без полимеров. Полимерами называют высокомолекулярные соединения, гигантские молекулы которых построены из множества периодически повторяющихся элементарных звеньев. И в этой области свое применение нашли ЖК. *Жидкокристаллические полимеры* получают путем «химического связывания» полимерных цепей с молекулами обычных низкомолекулярных жидких кристаллов. Прочность таких полимерных волокон оказывается значительно выше. Примером может служить волокно «Кевлар-49». Удельный вес волокна значительно ниже, чем у стали, а прочность – выше. Такие волокна нашли широкое применение в качестве корда для автомобильных шин, для

изготовления конвейерных лент, тросов башенных кранов, якорных и судовых тросов, защитной одежды, внутренних панелей, внешних обтекателей, рулевых поверхностей и других частей самолета, антенн и некоторых узлов радиолокаторов, щитов управления, покрытий для судов, лопастей воздушных двигателей, спортивного инвентаря – лыж, клюшек для хоккея и т. д.

В последнее время интерес к жидким кристаллам возрос со стороны создателей различных элементов вычислительных машин. Сегодня на базе оптических и электрооптических свойств ЖК создается новый класс вычислительных машин – оптических. Для этих целей разрабатываются жидкокристаллические приборы передачи, отклонения, модуляции и разделения светового излучения.

Перспективность холестерических жидких кристаллов как оптических материалов несомненна при создании лазеров для перестройки частоты излучения.

В последнее время широкое распространение приобретают *световолоконные линии для передачи информации*. Они состоят из длинных стеклянных волокон малого диаметра и хороши тем, что при прохождении через волокна свет практически не поглощается.

Вот далеко не полный перечень существующих и будущих применений жидких кристаллов. Все сказанное подытоживает приведенная ниже таблица.

5. ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ В ЖИВОМ ОРГАНИЗМЕ

Несомненный интерес представляют химические вещества биологического происхождения, играющие важную роль в процессах, проходящих в живых организмах, которые способны образовывать жидкие кристаллы. Миелиновые оболочки нервов были первыми жидкими кристаллами, обнаруженными в живых организмах. Сегодня примерами таких веществ могут служить важнейшие вещества мозга – сфингомиелин, цереброн и протагон, хрусталик глаза, белок сократительного вещества мышечной ткани – миозин, белок костей и сухожилий – коллаген. В печени синтезируются сложные эфиры холестерина и жирных кислот, в сыворотке крови человека находятся липопротеины. Все они являются жидкими кристаллами. Мно-

гие вирусы, в частности широко известный вирус табачной мозаики, в водных растворах образуют жидкие кристаллы. Жидкокристаллическую структуру образует дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Роль ДНК в организме трудно переоценить, она является носителем наследственной информации. Интересный объект с точки зрения жидкокристаллического строения представляют носители жизни – сперматозоиды. Они состоят из продолговатой головки и нижнего придатка – хвостика. Головка обладает сильным двулучепреломлением. Сперматозоиды очень устойчивы: их легче разрушить, чем перевести в твердокристаллическое состояние. Современные структурные исследования показывают, что оболочки клеток (мембраны) представляют собой типичные ЖК-структуры. Мембрана – это та кожа, которая удерживает вещество клетки от растекания. Обладая избирательной пропускной способностью, мембраны регулируют в клетках концентрацию солей, сахаров, аминокислот и других продуктов обмена.

Мембрана представляет собой вязкую жидкость с белково-липидной структурой, в которой молекулы липидов (жиров) имеют вид длинных нитей, в основном ориентированных в одну сторону и расположенных параллельно друг другу. При комнатной температуре, т.е. в нормальном состоянии живой клетки, молекулы липидов свободно перемещаются вдоль плоскости мембраны. При резком понижении температуры молекулы жиров останавливаются, мембрана замерзает, т.е. кристаллизуется. Мембрана, лишенная подвижности, уже не может выполнять свои функции, и клетка погибает.

Жидкокристаллическая структура характерна для гемоглобина крови, пищеварительного фермента трипсина.

Распространенность жидких кристаллов в живых тканях не удивительна. Жидкие кристаллы являются идеальным образованием для этого. Они могут поглощать вещества из газовой или жидкой фазы, могут растворять многие вещества, при соответствующих условиях могут набухать, а затем сжиматься. Жидкие кристаллы необычайно чувствительны к различным внутриклеточным процессам, что говорит об их значимости в нормальной жизнедеятельности разных органов человека. Отклонения от жидкокристаллического состояния могут при-

вести к нарушению тех или иных функций (образование атеросклеротических бляшек, камней в желчи и др.), возникновению заболеваний. Роль жидкокристаллического состояния в биологических системах значительна.

Применение жидких кристаллов

Внешнее воздействие	Область применения	Тип ЖК
Температура	Индикаторы температуры	Холестерики
	Тепловая запись лучом лазера	Холестерики, смектики
	Оптические фильтры	Холестерики, нематики
	Визуализация излучения и голография	Холестерики, нематики
	Тепловая самофокусировка света	Нематики
	Декоративные и ювелирные изделия	Холестерики
Давление и другие механические воздействия	Акусто-оптика (визуализация звуковых излучений и др.)	Нематики
	Визуализация течений	Нематики, холестерики
	Неразрушающий контроль качества изделий	Нематики
	Датчики давления	Смектики
Химические примеси	Анализ газовых смесей	Холестерики
	Криминалистика	Холестерики
Электромагнитное поле	Электрооптические экраны	Нематики, холестерики, смектики
	Модуляторы и управляемые оптические фильтры	Нематики
	Материалы для нелинейной оптики	Смектики
	Неразрушающий контроль электрических цепей	Нематики
	Электрофотография	Холестерики
	Фотохимическая запись изображения	Холестерики
Корпускулярное излучение	Дозиметры излучения	Холестерики, смектики

Мир жидких кристаллов бесконечно велик и охватывает широчайший круг природных и синтетических объектов. Являясь двойственными по своей природе, жидкие кристаллы не всегда удастся описать с помощью привычных методов и понятий. Но именно в этом и заключена их привлекательность для тех, кто стремится познать еще неизведанное.

ТВОРЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Для наблюдения электрооптических эффектов в нематиках попробуйте синтезировать нематический жидкий кристалл. Получите нематики *n*-метоксибензилиден-*n*-(*n*-бутил)анилин (МББА) и *n*-этоксибензилиден-*n*-(*n*-бутил)анилин (ЭББА).

Для проведения синтеза необходимы следующие химикаты и оборудование:

n-метоксибензальдегид – 1,4 г;

n-этоксибензальдегид – 1,5 г;

n-(*n*-бутил)анилин – 3,0 г;

этанол – 60 мл;

вакуумный насос, способный откачать воздух до давления 8–10 мм рт. ст.;

круглодонная колба;

обратный холодильник;

воронка Бюхнера.

МББА получается в результате реакции конденсации *n*-метоксибензальдегида с *n*-(*n*-бутил)анилином (реакции конденсации – реакции замещения, при которых выделяется низкомолекулярный продукт, в большинстве случаев вода). ЭББА получается в результате аналогичной реакции конденсации *n*-этоксибензальдегида с *n*-(*n*-бутил)анилином.

Для получения МББА в круглодонную колбу емкостью 25 мл загружают 1,4 г *n*-метоксибензальдегида и 1,5 г *n*-(*n*-бутил)анилина. При встряхивании колбы в течение 15 мин образуется мутная подвижная жидкость. Следующая и последняя процедура заключается в фракционной перегонке этой жидкости под вакуумом (давление 8–10 мм рт. ст.) Схема установки показана на рис. 4. Первая фракция отбрасывается. В основном отбирается вторая фракция. Это и есть чистый МББА. Интервал существования мезофазы 20–40 °С.

Для получения ЭББА в круглодонную колбу вместимостью 25 мл загружают 1,5 г *n*-этоксибензальдегида и 1,5 г *n*-(*n*-бутил)анилина. В эту смесь надо добавить 5 мл этанола. Реакционную смесь нагревают на водяной бане при $t = 80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин. Обратный холодильник в реакционном сосуде служит для конденсации паров этанола. После 30 мин нагрева колба охлаждается, и в ней появляются слабо-желто-

ватые кристаллы ЭББА, которые отфильтровываются на воронке Бюхнера. Чтобы довести ЭББА до твердого вида, его очищают двукратной перекристаллизацией из этанола. Перекристаллизация заключается в том, что кристаллы ЭББА растворяют в этаноле, а затем вновь происходит их кристаллизация, в результате чего кристаллы становятся чище. Рабочий интервал ЭББА 38–78 °С.

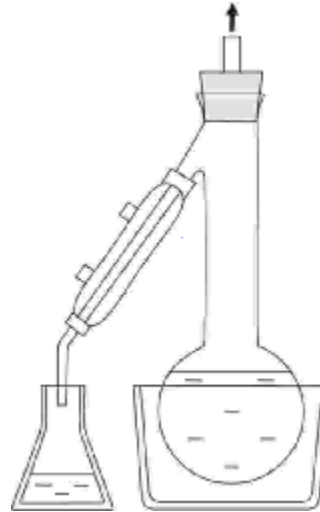


Рис. 4. Схема установки для получения МББА и ЭББА

Классическим нематиком, получившим широкое применение в индикаторной технике, является смесь, состоящая из $\frac{2}{3}$ МББА и $\frac{1}{3}$ ЭББА. Теперь у вас имеется возможность получить такую смесь. Рабочий интервал ее от -12 до $+54$ °С. Надо отметить, что физические характеристики жидких кристаллов зависят от степени их очистки, поэтому может оказаться, что полученные вами кристаллы будут иметь немного отличные характеристики, но пусть это вас не смущает!

Контрольные вопросы

1. Какие вещества называются жидкими кристаллами? Перечислите свойства, объединяющие их с твердыми веществами и с жидкостями.
2. Кем и когда были впервые обнаружены жидкие кристаллы? Какие еще важнейшие открытия в науке произошли в это время?
3. Какие типы классификаций ЖК вы знаете?
4. Чем определяются свойства ЖК? Что такое параметр порядка и в каких пределах он лежит для ЖК?
5. Перечислите основные области применения нематиков, смектиков, холестериков. Есть ли в вашем доме приборы или аппаратура, работающая на жидких кристаллах?
6. Какое значение имеют жидкие кристаллы в живых организмах?
7. Где, на ваш взгляд, могут еще применяться жидкие кристаллы в будущем?

Библиографический список

1. Де Жен П.Ж. Физика жидких кристаллов: Пер. с англ. / Под ред. А.С. Сониной. М.: Мир, 1977. 400 с.
2. Гегузин Я.Е. Живой кристалл. М.: Наука, 1987. 192 с.
3. Пикин С.А. Структурные превращения в жидких кристаллах. М.: Наука, 1981. 336 с.
4. Пикин С.А., Блинов Л.М. Жидкие кристаллы. М.: Наука, 1982. 208 с.
5. Сонин А.С. Кентавры природы. М.: Атомиздат, 1980. 192 с.
6. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983. 320 с.
7. Сонин А.С. Дорога длиною в век. М.: Наука, 1988. 224 с.
8. Сонин А.С. Постигание совершенства. М.: Знание, 1987. 220 с.
9. Рэмсен Э.Н. Начала современной химии: Пер. с англ. Л., 1989. 784 с.
10. Белиловский В.Д. Эти удивительные жидкие кристаллы. М.: Просвещение, 1987. 112 с.
11. Жаркова Г.М., Сонин А.С. Жидкокристаллические композиты. Новосибирск: Наука, 1994. 213 с.
12. Шибяев В.П. Необычные кристаллы или загадочные жидкости. Соросовский образовательный журнал. Soros Educational Journal. 1996. № 11. С. 37-46.

Оглавление

1. История открытия жидких кристаллов	4
2. Классификация жидких кристаллов	6
3. Свойства жидких кристаллов	11
4. «Профессии» жидких кристаллов	11
5. Жидкие кристаллы в живом организме	16
Творческое задание	19
Контрольные вопросы	21
Библиографический список	21

Учебное издание

*Никитина Екатерина Ивановна
Простякова Татьяна Михайловна*

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Методические указания к семинарским занятиям по курсу «Концепции современного естествознания»

Редактор *М.А. Турбина*
Компьютерная верстка *Ю.В. Борцова*

Изд. лиц. ЛР № 021277 от 06.04.98.
Подписано в печать 01.02.07.

1,5 печ. л.

1,3 уч.-изд. л.

Тираж 300 экз.

Заказ № 1665

Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения
630049 Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191
Тел./факс. (383) 228-73-81. E-mail: press@stu.ru