

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра физики

Н.Р. Последович, И.И. Сергеев

Жидкие кристаллы

Учебное пособие по курсу «Физика»

Для студентов БГУИР всех специальностей и форм обучения

Минск 2014

Рецензент:

Доцент БНТУ, кандидат физико-математических наук В.А. Потачиц

Последович, Н.Р., Сергеев, И.И.

Жидкие кристаллы: учебное пособие по курсу «Физика» для студентов БГУИР всех специальностей и форм обучения.

Минск: БГУИР, 2014.- 20 с: ил.

Учебное пособие содержит лекционный материал в расширенном изложении по теме «Жидкие кристаллы». В пособии подробно рассматривается структура жидкокристаллических соединений, а также их физические свойства, лежащие в основе работы электрооптической ячейки – основного элемента различных устройств отображения информации. Учебное пособие предназначено для студентов БГУИР всех специальностей и форм обучения.

© Последович Н.Р., Сергеев И.И., 2014
© УО Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Жидкие кристаллы – особое агрегатное состояние вещества

Необычное сочетание слов «жидкие кристаллы» многим уже знакомо, хотя далеко не все представляют себе, что же кроется за этим странным и, казалось бы, противоречивым понятием. Несмотря на то, что со дня открытия жидких кристаллов прошло уже более ста лет, ни в одном школьном учебнике физике и химии нет даже упоминания об этих удивительных веществах, столь удачно сочетающих свойства анизотропии кристаллов и текучести жидкости, а слово «жидкокристаллический» воспринимается как нечто непонятное, подобное горяче-холодному телу либо северо-южному направлению. И в то же время жидкокристаллические (ЖК) индикаторы являются неотъемлемой частью электронных часов, портативных компьютеров, плоских экранов миниатюрных телевизоров, пейджеров, цифровых измерительных приборов и многих других электронных приборов и устройств.

Мировое производство ЖК индикаторов исчисляется миллиардами и, по прогнозам, будет увеличиваться и дальше. Уже сейчас без преувеличения можно сказать, что прогресс целого ряда отраслей науки и техники немыслим без развития исследований в области жидких кристаллов. Не меньший интерес представляют жидкие кристаллы и для биологов, изучающих процессы жизнедеятельности. Функционирование клеточных мембран и генетического вещества, передача нервных импульсов, работа мышц, формирование атеросклеротических бляшек – далеко не полный перечень процессов, протекающих с участием ЖК веществ, для которых характерна склонность к самоорганизации, сочетающейся с высокой молекулярной подвижностью.

Со времени открытия жидких кристаллов прошло более ста лет. Впервые из обнаружил австрийский ботаник Фридрих Рейнитцер, наблюдая плавление сложного эфира холестерина – холестерилбензоата (рис. 1). При температуре плавления 145°C кристаллическое вещество превращалось в мутную, сильно рассеивающую свет жидкость, которая при температуре 179°C становилась прозрачной (эту температуру Рейнитцер назвал температурой просветления). Весьма удивленный этим явлением, Рейнитцер отправил препарат немецкому кристаллографу Отто Леману с просьбой помочь разобраться в странном поведении холестерилбензоата. Исследуя это вещество с помощью поляризационного микроскопа, Леман установил, что мутная фаза анизотропна. Поскольку свойство анизотропии присуще только кристаллам, а вещество в мутной фазе было жидким, Леман назвал его жидким кристаллом.

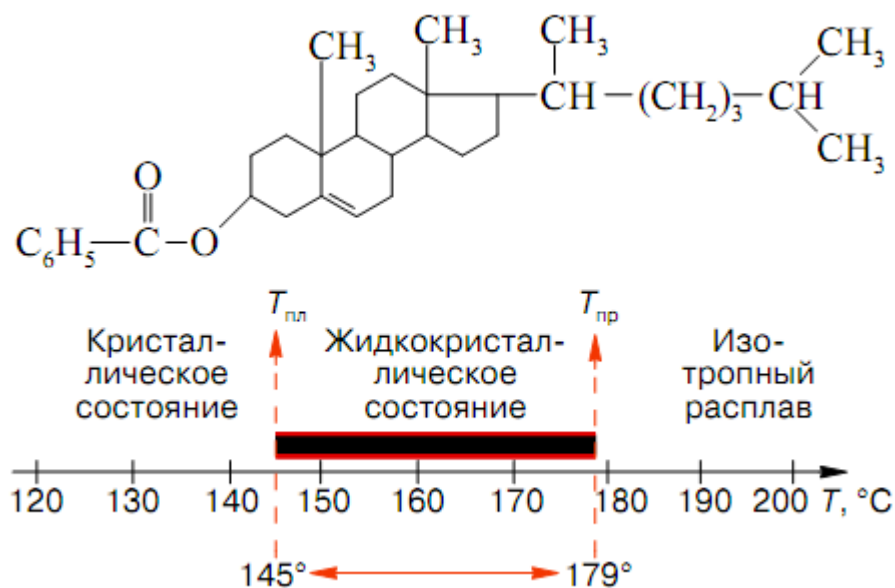


Рис. 1. Структурная формула холестерилбензоата.

С тех пор вещества, сочетающие в определенном температурном интервале выше точки плавления свойства жидкости (текучесть) со свойствами кристаллов (анизотропию), стали называть жидкими кристаллами. Такие вещества иногда называют мезоморфными, а жидкокристаллическую фазу – мезофазой (от греческого слова «мезос» – т.е. промежуточный).

Понимание природы ЖК-состояния и его структурной организации было достигнуто значительно позже. Серьезное недоверие к самому существованию таких веществ, бытовавшее в 20–30-ых годах двадцатого века, сменилось их активным исследованием. Работы Д. Форлендера в Германии во многом способствовали синтезу новых соединений (достаточно сказать, что под его руководством выполнено более 80 диссертаций по жидким кристаллам). Французский ученый Ж. Фридель предложил их первую классификацию, голландец С. Озеен и чех Х. Цохер создали макроскопическую теорию жидкокристаллического состояния, которая получила название теории упругости, российские ученые В.К. Фредерикс и В.Н. Цветков в 30-ых годах впервые исследовали свойства жидких кристаллов в электрических и магнитных полях. Вместе с тем вплоть до 60-ых годов не было никаких идей относительно практических применений жидких кристаллов, поэтому все научные исследования носили чисто академический интерес.

Ситуация резко изменилась в середине 60-ых годов, когда в связи с бурным развитием микроэлектроники оказалась возможной микроминиатюризация радиоэлектронных устройств и, соответственно, потребовались компактные устройства, способные отображать информацию, потребляя при



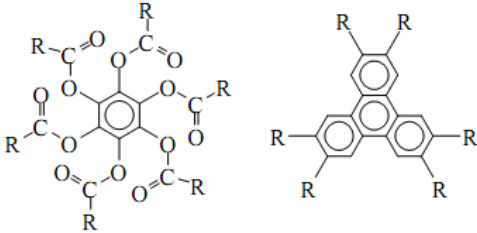
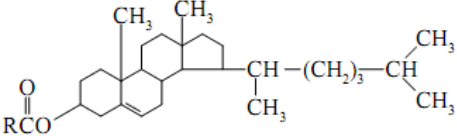

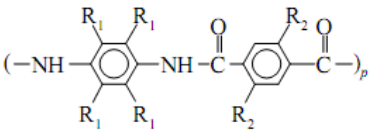
этом минимальную энергию. Таковые были созданы на основе жидких кристаллов, сочетающих анизотропию свойств и высокую подвижность молекул. В настоящее время быстродействующие и экономичные ЖК-индикаторы являются неотъемлемой составной частью многомиллионной армии часов, калькуляторов, телевизоров, компьютеров, цифровых измерительных приборов и многих других приборов и устройств самого разного назначения.

Молекулярное строение и структура жидких кристаллов

В настоящее время известны уже около сотни тысяч органических веществ, которые могут находиться в ЖК-состоянии, и число таких соединений непрерывно растет. Если в первые десятилетия после открытия жидких кристаллов основными представителями этих соединений были вещества, состоящие из ассиметричных молекул стержнеобразной формы – т.н. каламитики (от греческого слова «каламис» – тростник), то впоследствии были найдены другие мезоморфные вещества с молекулами в виде диска, пластины и др. Молекулы ЖК-соединений часто называют мезогенами, а группировки или фрагменты молекул, способствующие образованию мезофазы, – мезогенными группами. В табл.1 приведены примеры стержнеобразных мезогенов – каламитиков, а также химические формулы дискообразных (дискотики) и планкообразных мезогенов (сандики, от греческого слова *sanidis* – планка). Как следует из табл.1, среди мезогенных групп чаще всего встречаются бензольные кольца, связанные непосредственно друг с другом или с помощью различных химических группировок. Характерной особенностью всех мезогенов является ассиметричность молекул, обеспечивающая анизотропию поляризуемости и тенденцию к расположению молекул преимущественно параллельно друг другу вдоль их длинных (каламитики и сандики) и коротких (дискотики) осей.

Термотропные жидкие кристаллы. Согласно классификации, предложенной Фриделем, в зависимости от характера расположения молекул различают структуры ЖК-соединений трех основных типов: смектический, нематический и холестерический. Эти соединения относятся к т.н. термотропным жидким кристаллам, образование которых происходит при термическом воздействии на вещество (нагревание или охлаждение). На рис. 2 показаны схемы расположения стержне- и дискообразных молекул в перечисленных выше структурных модификациях жидких кристаллов. Каждая из трех мезофаз представляет собой непрерывную анизотропную среду, в которой в небольших областях, состоящих примерно из $10^4 \dots 10^5$ молекул, молекулярные оси ориентированы преимущественно в

Таблица 1. Типичные примеры химических соединений, образующих мезофазу.

| Стержнеобразные мезогены (каламитики) | Дискотические мезогены (дискотики) |
|--|---|
|  $\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_4\text{H}_9$ $\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}^+=\text{N}^--\text{C}_6\text{H}_4-\text{OCH}_3$ $\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ |   $\text{R} = \text{C}_n\text{H}_{2n+1}, \text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{O}^-, \text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{COO}^-$ $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^-$ |
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOK}$  | <p>Планкообразные мезогены (санидики)</p>   $\text{R}_1 = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-$ $\text{R}_2 = \text{CH}_3(\text{CH}_2)_n-\text{O}-$ $n = 7-11$ |

одном направлении. По аналогии с сегнетоэлектриками и ферромагнетиками такие области называются доменами.

Смектические соединения (смектики) по своему строению ближе всего к истинно кристаллическим телам. Молекулы в смектиках расположены в слоях, а их центры масс подвижны в двух измерениях (на смектической плоскости, рис. 2,а). При этом длинные оси молекул в каждом слое могут располагаться как перпендикулярно плоскости слоя (ортогональные смектики), так и под некоторым углом (наклонные смектики). Направление преимущественной ориентации осей молекул принято называть *директором* и обозначать вектором. Термин «смектики» происходит от греческого слова «смегма» – мыло, поскольку первые ЖК- соединения такого типа были обнаружены среди мылоподобных веществ.

Нематические соединения (нематики) характеризуются наличием только одномерного ориентационного порядка длинных (каламитики) или коротких (дискотики) осей (рис. 2, б,г). При этом центры масс молекул рас-

положены хаотично, что свидетельствует об отсутствии трансляционного порядка. Такое название нематики получили от греческого слова «нема» –

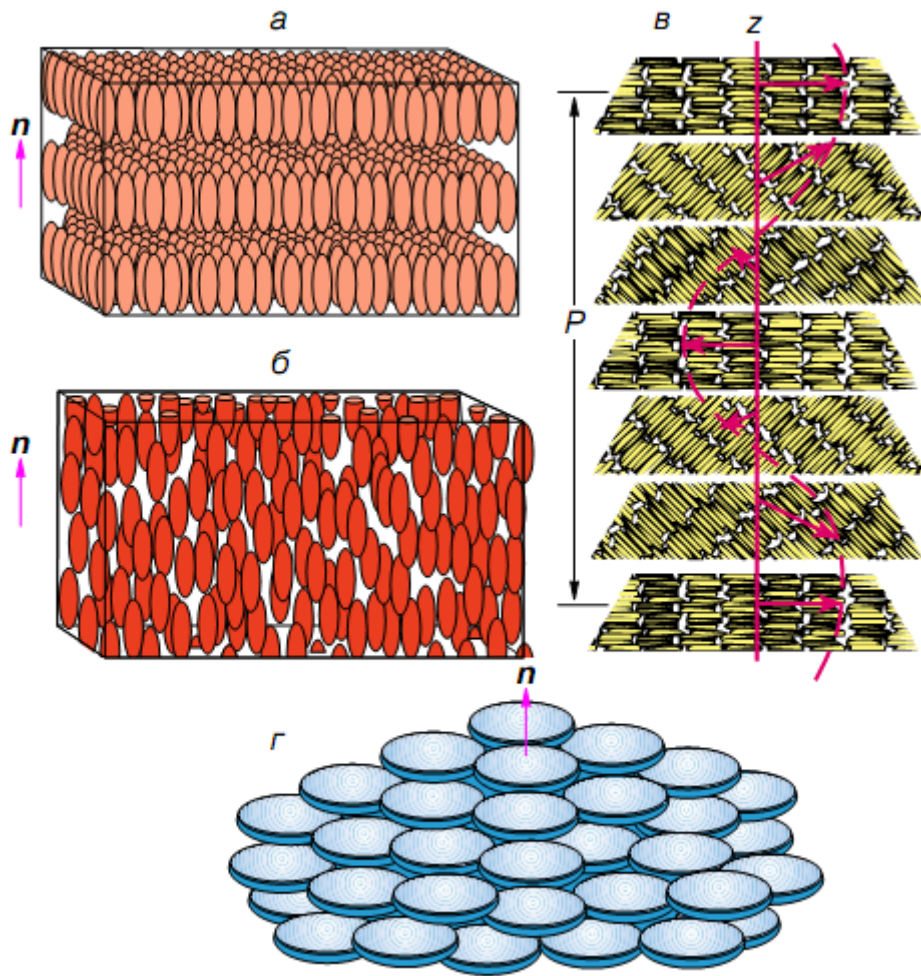


Рис.2. Схема расположения стержнеобразных (а-в) и дискообразных (г) молекул в смектической (а), нематической (б), холестерической (в) и дискотической (г) фазах. Вектор \vec{n} указывает направление директора.

нить. Фигуры нитевидного типа наблюдаются в тонких слоях нематика с помощью поляризационного микроскопа; нити представляют собой совокупность точек, в которых имеет место резкое изменение ориентации осей молекул.

Наиболее сложная структура характерна для *холестерических* жидких кристаллов (холестерики), образуемых оптически активными (хиральными) молекулами. Впервые холестерическая мезофаза была выявлена среди производных холестерина, откуда и произошло ее название. Холестерики во многом подобны нематикам, в которых имеет место одномерный ориентационный порядок. На рис. 2, в видно, что в холестерической мезофазе к струк-

туре нематика добавляется спиральная закрученность ориентации молекул; поэтому холестерик иногда называют закрученным нематиком.

Периодическая спиральная структура холестериков определяет их уникальную особенность – способность селективно отражать падающий на них свет, «работая» в этом случае как дифракционная решетка (ее период которой зависит от величины шага спирали). Действительно, в случае параллельного пучка (т.е. при фиксированном угле падения) условие дифракционного максимума будет выполняться только для составляющих пучка определенной длины волны; соответственно пленка холестерика будет окрашена в один цвет.

Обратимся далее к макроскопической структуре жидких кристаллов, которая называется текстурой. Этот термин обозначает совокупность структурных элементов жидкокристаллического образца, помещенного между двумя стеклами, наблюдаемых с помощью поляризационного микроскопа. Мезофазы каждого типа самопроизвольно образуют вполне определенные текстуры, по которым их можно идентифицировать; мы ограничимся рассмотрением текстур трех основных типов.

Нематические жидкие кристаллы характеризуются т.н. шлирен-структурой (рис. 3,а), которая представляет собой систему тонких нитевидных линий и точек с нитеобразными хвостами. Эти линии называются дисклинациями (от греческого слова «клин» – наклон). Как уже отмечалось, они состоят из точек, в которых происходит резкое изменение ориентации осей молекул. Для смектиков характерна т.н. веерная текстура, которая во многом напоминает структуру поверхности обычных твердых кристаллов (рис. 3,б). Это свидетельствует о том, что в отношении структурной организации двумерно упорядоченные смектики наиболее близки к обычным кристаллам. Холестерики, состоящие из неориентированных молекул, образуют т.н. конфокальную текстуру; она формируется из отдельных связанных между собой сложных образований, называемых конфокальными доменами (рис. 3,в). Важно отметить, что все рассмотренные текстуры чрезвычайно лабильны и легко перестраиваются под действием даже слабых внешних воздействий – механического напряжения, нагревания, электрических и магнитных полей.

Лиотропные жидкие кристаллы. В отличие от термотропных соединений, лиотропные жидкие кристаллы образуются при растворении ряда

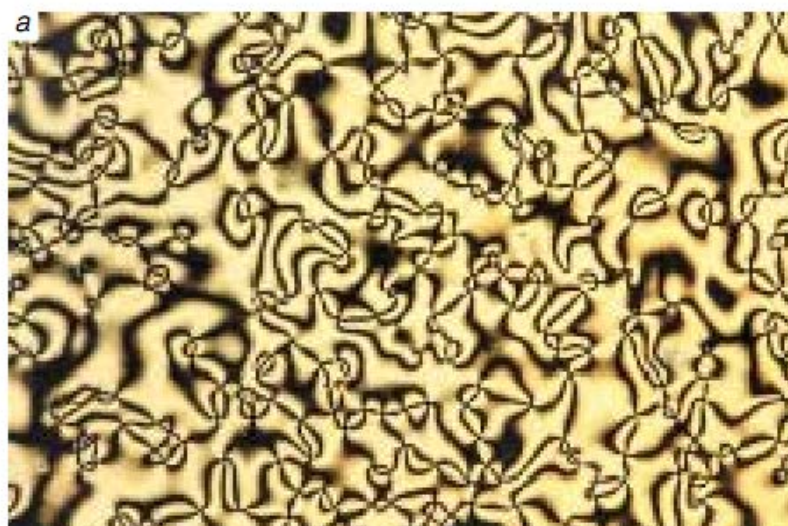


Рис. 3. Типичные текстуры нематических (а), смектических (б) и холестерических (в) жидких кристаллов.

т.н. амфифильных веществ в определенных растворителях. Такие вещества широко распространены в природе и состоят из молекул, содержащих

гидрофильные и гидрофобные группы. Например, амфифильным соединением является любая жирная кислота. Ее молекулы состоят из двух частей: полярной «головки» (гидрофильная $COOH$ -группа) и гидрофобного углеводородного «хвоста» $[CH_3(CH_2)_n-]$. При растворении подобных соединений в воде образуются т.н. мицеллы – группировки молекул, в которых полярные головки направлены наружу, находясь в контакте с водой, а углеводородные хвосты – вовнутрь (рис. 4,а). Из таких мицелл формируются

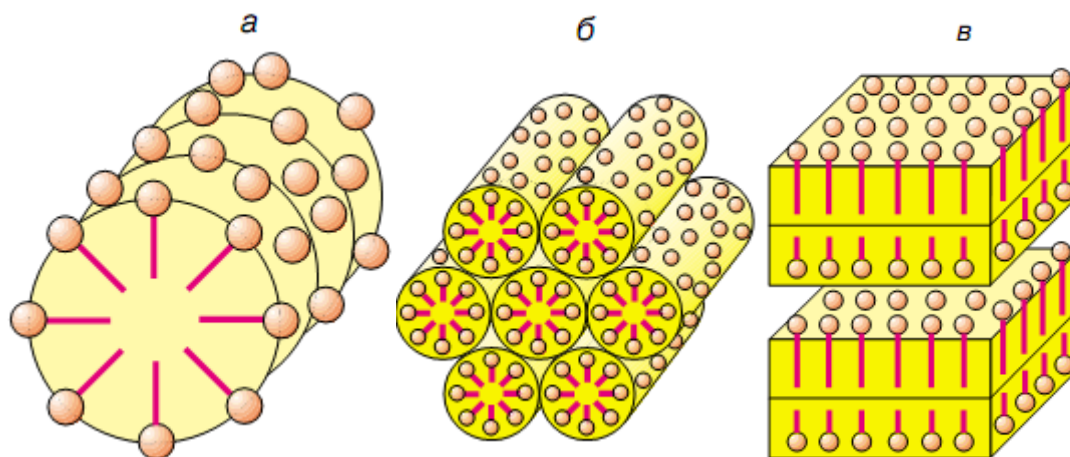


Рис. 4. Некоторые типы лиотропных структур, образуемые амфифильными молекулами в водных растворах: а – цилиндрическая мицелла; б – гексагональная упаковка цилиндрических мицелл; в – ламиллярный (слоистый) смектический жидкий кристалл.

различные структурные элементы, из которых состоят лиотропные жидкие кристаллы. В качестве примера на рис. 4 схематически изображена цилиндрическая мицелла, гексагональная упаковка таких мицелл, также структура лиотропного смектического жидкого кристалла.

В отличие от термотропных жидких кристаллов, где формирование определенной мезофазы определяется лишь температурой, в лиотропных соединениях структурная организация зависит уже от двух параметров – температуры и концентрации вещества. Лиотропные мезофазы обычно образуются в биологических системах, функционирующих в водной среде. Именно в таких системах наиболее отчетливо проявляется уникальная особенность жидких кристаллов – сочетание высокой подвижности молекул и склонности к самоорганизации. Ограничимся лишь одним примером, относящимся к жизнедеятельности клеток. Современные структурные исследования показывают, что клеточные мембраны, регулирующие обмен веществ, представляют собой типичные лиотропные ЖК-структуры. Анизотропное строение таких мембран, с одной стороны, обеспечивает защиту клетки от нежелательных

веществ, с другой стороны – высокие транспортные свойства, столь необходимые для нормального протекания обмена веществ.

Анизотропность физических свойств жидких кристаллов

Анизотропия физических свойств жидких кристаллов в сочетании с низкой вязкостью этих соединений позволяет легко и эффективно осуществлять ориентацию и переориентацию их молекул под действием даже небольших возмущающих факторов (электрических и магнитных полей, а также механических возмущений), существенно изменяя их структуру и свойства. Именно поэтому жидкие кристаллы оказались незаменимыми электрооптически активными средами, на основе которых было создано новое поколение самых разных ЖК-индикаторов.

Как уже отмечалось, главное отличие жидких кристаллов от обычных жидкостей в отношении внутреннего строения состоит в преимущественной ориентации осей молекул вдоль определенного направления, называемого *директором*. Естественно полагать поэтому, что анизотропия физических свойств мезофаз определяется именно степенью ориентационного упорядочения. Например, показатель преломления светового луча в случае параллельной (n_{\parallel}) и перпендикулярной (n_{\perp}) ориентации длинных осей молекул каламитиков относительно директора имеет разные значения. Это обстоятельство является причиной явления, которое называется двойным лучепреломлением. Аналогично, различные значения имеет диэлектрическая проницаемость жидкого кристалла при параллельной (ϵ_{\parallel}) и перпендикулярной (ϵ_{\perp}) ориентации. В зависимости от знака разности $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ различают мезофазы с положительной и отрицательной диэлектрической анизотропией.

В качестве меры ориентационного упорядочения используется т.н. параметр порядка, введенный В.И. Цветковым еще в сороковых годах:

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

(здесь θ – угол между осью отдельной молекулы и направлением директора, угловые скобки означают усреднение по всевозможным углам). Легко видеть, что в случае полностью изотропной жидкости $S = 0$, в случае твердого кристалла – $S = 1$; параметр порядка жидких кристаллов имеет промежуточные значения. Значения разности $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$ довольно велики; они изменяются в широких пределах в зависимости от химического состава жидкого кристалла и могут составлять 0,3...0,4 (для сравнения: разность значений показателя преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в кри-

сталлическом кварце составляет всего 0,01). Величина и знак $\Delta\varepsilon$ зависят от соотношения между анизотропией поляризуемости и величиной дипольного момента молекулы, а также от угла между направлением дипольного момента молекулы и ее длинной осью. Нагревание жидкого кристалла приводит к понижению ориентационной упорядоченности и уменьшению значений $\Delta\varepsilon$ и Δn ; при температуре исчезновения мезофазы анизотропия свойств полностью исчезает.

Как управлять жидкими кристаллами

Основой любого ЖК-индикатора является т.н. электрооптическая ячейка, устройство которой схематически изображено на рис. 5. Две плоские стеклянные пластинки с

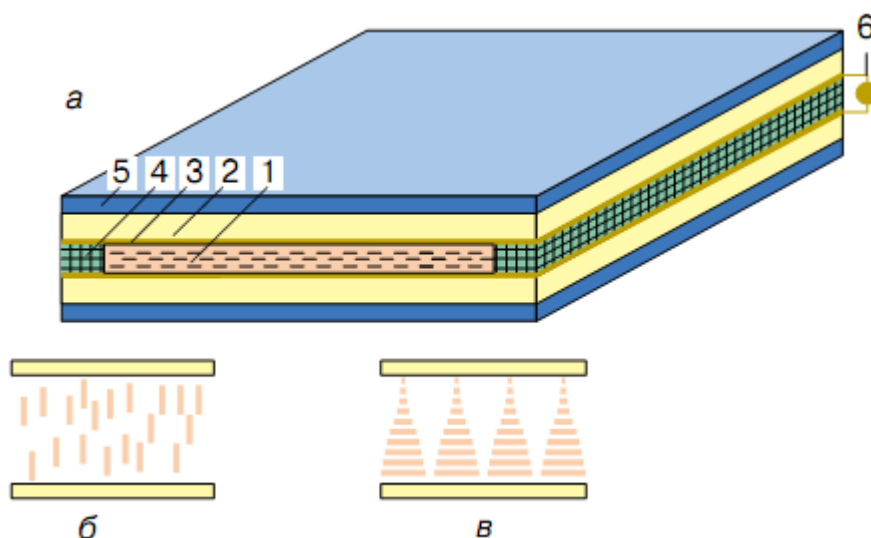


Рис. 5. Электрооптическая ячейка типа «сэндвич» с планарной ориентацией молекул (а) и схемы расположения молекул жидкого кристалла в ячейке: гомеотропная ориентация (б), твист-ориентация (в). 1– слой жидкого кристалла, 2– стеклянные пластинки, 3– токопроводящий слой, 4– диэлектрическая прокладка, 5– поляризатор, 6– источник питания.

Нанесенным на них токопроводящим слоем из окиси олова или окиси индия, выполняющие роль электродов, разделяются тонкими прокладками из диэлектрического материала (полиэтилен либо тефлон). Образовавшийся зазор между пластинками, который в зависимости от назначения ячейки составляет 5...50 мкм, заполняется жидким кристаллом, после чего ячейка «запаивается» по периметру герметиком. Такой «сэндвич» может быть помещен между двумя тонкими пленочными поляризаторами (поляроидами), плоскости поляризации которых образуют определенный угол. Поскольку ЖК-вещество

обладает малой вязкостью, подача на ячейку даже небольшого электрического напряжения (1,5...2 В) приводит к переориентации осей молекул в направлении максимальной диэлектрической проницаемости. При этом достигается также максимальное значение разности показателей преломления и, соответственно, резко изменяются оптические свойства жидкого кристалла.

Впервые воздействие электрических и магнитных полей на жидкие кристаллы было исследовано российским физиком В.К. Фредериксом, соответственно процессы ориентации их молекул в полях получили название электрооптических переходов (эффектов) Фредерикса. Один из трех, наиболее часто встречающихся вариантов ориентации молекул, изображен на рис. 5,а. Это т.н. *планарная* ориентация, когда длинные оси молекул параллельны стеклянным поверхностям ячейки; она характерна для нематических мезофаз с отрицательной диэлектрической анизотропией. Для жидких кристаллов с положительным значением Δn реализуется *гомеотропная* ориентация; в этом случае длинные оси молекул располагаются вдоль направления электрического поля перпендикулярно поверхности ячейки (рис. 5,б). Наконец, возможна *твист-* ориентация (*закрученная* ориентация), при которой длинные оси молекул, располагаясь параллельно стеклянным пластинкам, постепенно поворачиваются вдоль направления от верхней к нижней пластинке (рис. 5, в). Такая ориентация достигается натиранием стекол ячейки в направлениях, образующих определенный угол, либо нанесением на стекла веществ-ориентантов, задающих направление осей молекул.

Действие любого ЖК-индикатора основано на переориентации молекул, которая инициируется включением слабого электрического поля. В качестве примера рассмотрим работу ЖК-индикатора электронных часов, главным элементом которого служит изображенная на рис. 5 электрооптическая ячейка. Плоскости поляризации верхнего и нижнего поляроидов образуют угол 180^0 и совпадают с направлением длинных осей молекул у верхнего и нижнего электродов (рис. 6, а,б). Под нижним электродом расположено зеркало (на рис. 6 оно не показано). Нижний электрод обычно делают сплошным, верхний – состоящим из семи небольших сегментов; их различные комбинации позволяют изобразить любую цифру или букву (рис. 6,в). Каждый такой сегмент подключается к источнику напряжения согласно программе, задающей индикацию текущего времени.

Исходная ориентация молекул нематического жидкого кристалла – *закрученная* (рис. 6, а). Естественный свет, падая на верхний поляроид, становится плоскополяризованным. При отсутствии электрического поля (на

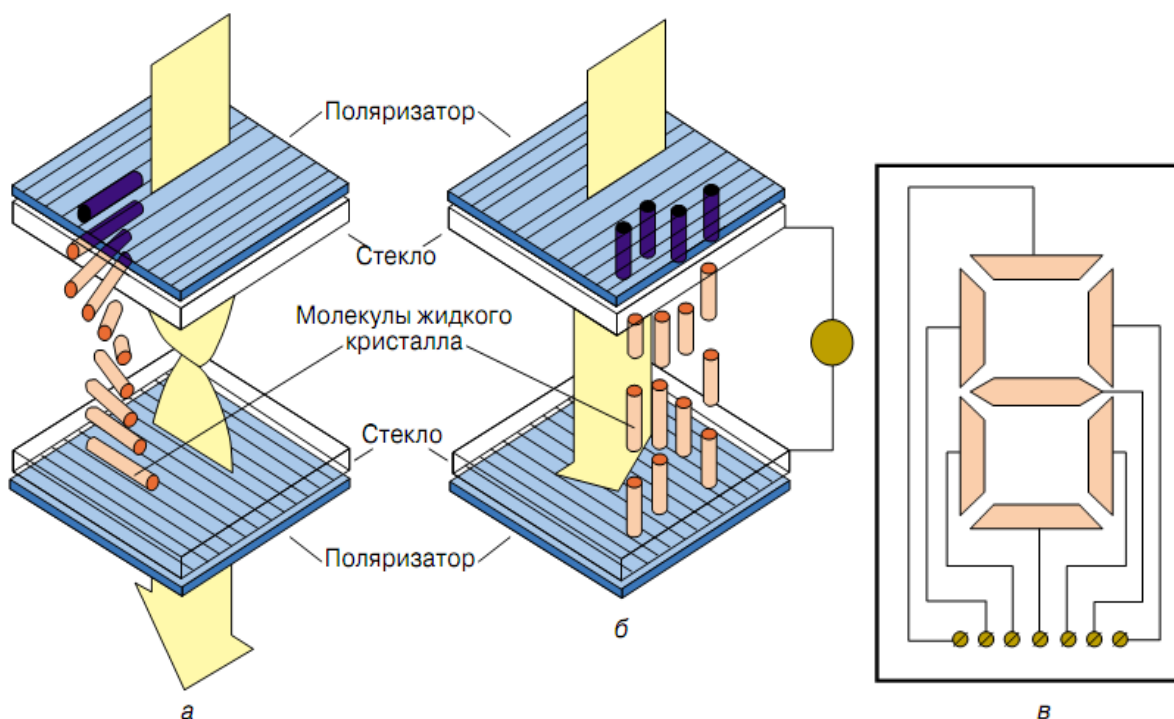


Рис. 6. Схема работы ЖК-индикатора электронных часов: твист-ориентация молекул до включения (а) и после включения электрического поля (б); семисегментный буквенно-цифровой электрод (в).

ячейку не подано напряжение) по мере распространения света от верхней к нижней пластинке направление поляризации изменяется в соответствии с изменением ориентации молекул. Поэтому на выходе из ячейки поляризация света будет совпадать с направлением плоскости поляризации нижнего поляроида (рис. 6,а). Отразившись от зеркала, свет пройдет ячейку в обратном направлении, и наблюдатель увидит светлый фон. При включении электрического поля (если ячейка заполнена нематиком с положительной диэлектрической анизотропией) произойдет переход от закрученной к гомеотропной ориентации (рис. 6,б). В этом случае свет, пройдя верхний поляроид, не изменив направление поляризации, уже не может пройти нижний поляроид и отразиться от зеркала. Поэтому наблюдатель, глядя на ячейке сверху, увидит темный фон. Подавая напряжение на нижний и верхний семисегментный электроды, таким образом можно «нарисовать черным цветом» на светлом фоне любую букву или цифру.

Основные преимущества ЖК-индикаторов – это низкие управляющие напряжения (1,5...5 В), малые потребляемые мощности (1...10 мкВт), высокая контрастность изображения, легкость встраивания в любые электронные схемы, в том числе в автомобилях, самолетах, надежность работы и относи-

тельная дешевизна. Увеличивая количество сегментов-электродов и усложняя их конфигурацию, можно создавать плоские телевизионные экраны, мониторы компьютеров, сотовых телефонов и т.п.

Как управлять холестерической спиралью

Среди рассмотренных жидких кристаллов наиболее экзотическими оптическими свойствами обладают холестерики. Необычайно тонко организованная спиральная структура их молекул чрезвычайно чувствительна к самым различным внешним воздействиям. При изменении температуры, давления, под влиянием электрических, магнитных полей и механического напряжения можно изменять шаг спирали и, соответственно, цвет холестерика. Необычайно высокая чувствительность этих соединений, позволяющая «пробегать» все цвета видимой части оптического спектра при изменении температуры в интервале $0,001 \dots 0,01^{\circ} \text{C}$, дает возможность использования их в качестве высокоэффективных термоиндикаторов.

У большинства холестериков шаг спирали с ростом температуры уменьшается; соответственно уменьшается длина волны отраженного света. На рис. 7 видно, что каждой из отмеченных температур (T_0, T_1, T_2, T_3) соответствует свой цвет. Поэтому, если нанести слой холестерического жидкого кристалла на поверхность различных объектов, можно получать топографию распределения температуры. Путем введения холестерика в полимерные пленки получают т.н. капсулированные жидкие кристаллы. На их основе создаются весьма удобные в обращении пленочные материалы, которые можно использовать в качестве термометров и визуализаторов тепловых полей. Например, наложение такой пленки на поверхность человеческого тела дает цветное изображение распределения температуры исследуемого участка, что позволяет выявить очаги воспалительных процессов или злокачественных новообразований, диагностировать сосудистые заболевания и т.п.

В последнее время разрабатываются смеси холестерических жидких кристаллов, изменяющие шаг спирали и, соответственно, цвет под действием соединений. Такие ЖК-индикаторы могут за сравнительно короткое время

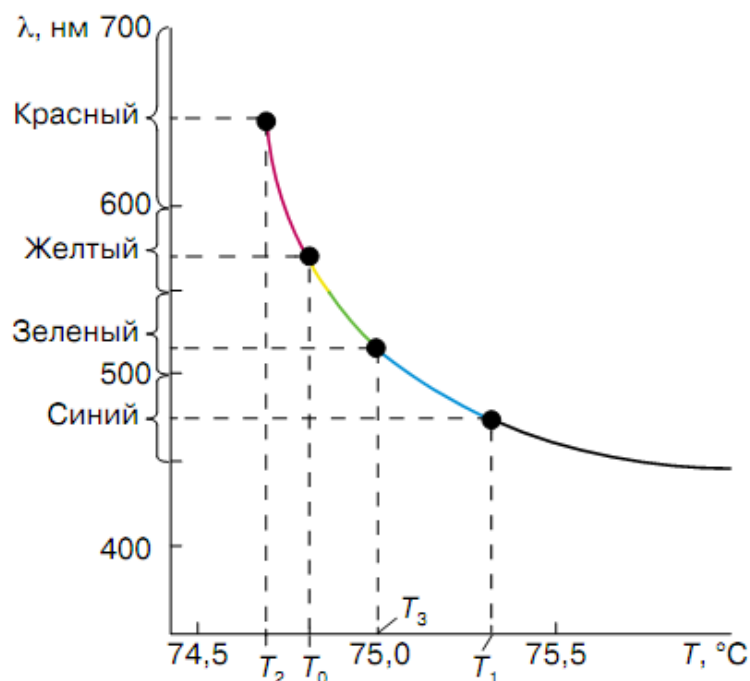


Рис. 7. Температурная зависимость длины волны света, отраженного от слоя холестерилпеларгоната.

(1...2 мин) менять цветовую окраску при превышении допустимой концентрации вредных паров, выполняя таким образом роль химических датчиков.

Интересные возможности открывает использование холестериков в неразрушающем контроле, например – для оценки однородности многослойных печатных плат, качества спайки и соединений металлических и металлокерамических изделий. Поскольку теплопроводность дефектных и кондиционных участков существенно отличается, окраска жидкого кристалла в местах с нормальным и некачественным соединением также будет различной.

Одним из факторов, влияющим на шаг холестерической спирали, является электрическое и магнитное поле. Действительно, при включении поля спираль начинает раскручиваться, шаг спирали – увеличивается, четко «отслеживая» величину поданного напряжения. Это означает, что можно непрерывно управлять цветом слоя холестерического жидкого кристалла. При определенном напряжении спираль можно полностью раскрутить, превратив таким образом холестерический жидкий кристалл в нематический (один из эффектов Фредерикса).

Сегнетоэлектрические жидкие кристаллы

Существуют ли сегнетоэлектрики-жидкости? Возможно сомопроизвольное упорядочение дипольных (полярных) молекул в жидкости таким образом, чтобы в ней возникли области спонтанной поляризованности? До сих пор физики-экспериментаторы давали на этот вопрос отрицательный ответ: все жидкости кристаллизуются прежде, чем реализуются условия, при которых электростатическое взаимодействие дипольных молекул преодолет разупорядочивающее влияние теплового движения. Более того, можно с уверенностью предположить, что электростатическое взаимодействие приведет не к параллельной, но к антипараллельной ориентации диполей молекул с нулевым суммарным электрическим моментом.

Тем не менее в 1975 г. группа ученых под руководством американского физика Р. Мейера сообщила о сегнетоэлектрических свойствах органического жидкокристаллического вещества сложного состава (сокращенное название – ДОБАМБЦ). Это вещество существует в двух фазах; для каждой из них характерно одно и то же направление (ось Z), вдоль которого молекулярные слои, перпендикулярные этой оси, расположены на одинаковых расстояниях порядка длины молекулы. Иначе говоря, обе фазы вещества обладают трансляционной симметрией вдоль оси Z . В направлениях, перпендикулярных этой оси, молекулярные слои могут скользить друг относительно друга, а молекулы перемещаться по слою. При температуре выше точки Кюри молекулы перемещаются хаотично по «своим» слоям, причем длинные оси молекул остаются в среднем параллельными оси Z (рис. 8,а). При охлаждении вещества ниже

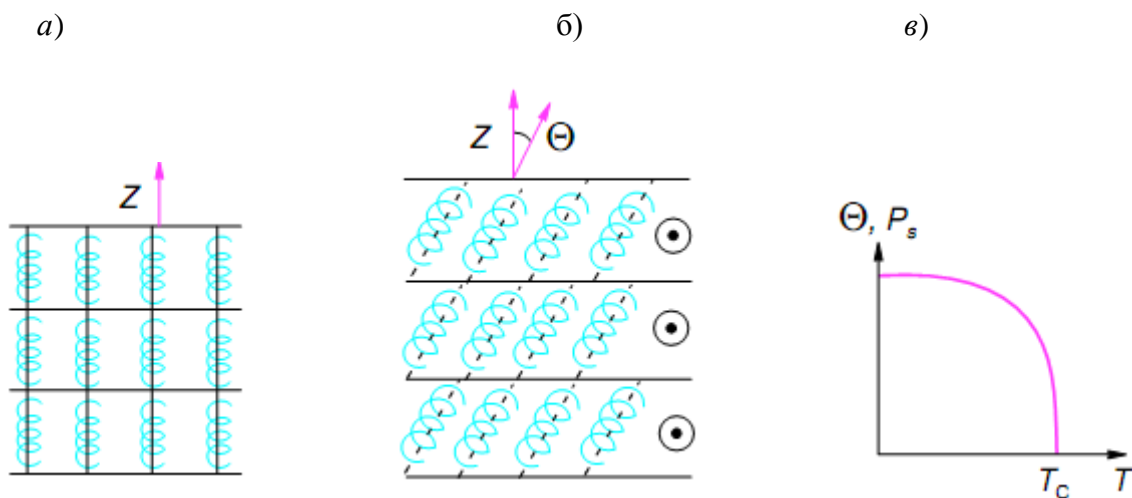


Рис. 8. Ориентация молекулярных осей при $T > T_c$ (а) и $T < T_c$ (б); зависимость угла поворота молекулярных осей и модуля вектора спонтанной поляризованности от температуры (в).

температуры Кюри длинные оси молекул самопроизвольно и синхронно отклоняются от оси Z на угол Θ , причем зависимость $\Theta = \Theta(T)$ вполне соответствует фазовому переходу второго рода (рис. 8, б,в). Согласно Мейеру, такой фазовый переход может быть сегнетоэлектрическим (т.е. приводит к спонтанной поляризации) только в том случае, если каждая молекула имеет спиральную структуру и дипольный момент, перпендикулярный ее длинной оси. Вектор спонтанной поляризованности \vec{P}_s каждого молекулярного слоя направлен вдоль оси, лежащей в плоскости слоя перпендикулярно оси Z . На рис. 8,б направление этого вектора «к нам» показано точкой в кружке; температурная зависимости модуля \vec{P}_s вблизи точки Кюри также характерна для фазовых переходов второго рода (рис. 8,в).

Вместе с тем поляризованности каждого слоя еще недостаточно для того, чтобы спонтанная поляризация макроскопического образца, состоящего из многих слоев, была отлична от нуля. Дело в том, что вследствие спиральности структуры молекул направления преимущественной ориентации их длинных осей в соседних слоях (т.е. направления директора) образуют между собой некоторый угол. В результате этого при переходе от слоя к слою директор поворачивается, образуя винтовую структуру (геликоид); при этом поворачиваются также векторы спонтанной поляризации отдельных молекулярных слоев. Следовательно, для получения отличной от нуля спонтанной поляризованности макроскопического образца необходимо деформировать геликоид, а еще лучше – «раскрутить» его путем какого то внешнего воздействия. Это может быть сделано путем смешивания ЖК-соединений с различным направлением закручивания молекулярных спиралей, а также специальной обработкой поверхностей, между которыми находится слой ЖК-вещества.

В настоящее время исследования жидкокристаллических сегнетоэлектриков переживают бурный расцвет. Несмотря на сложность молекул, обладающих спиральной структурой и поперечным дипольным моментом, современная молекулярная инженерия позволяет их «конструировать». В самое последнее время на этом пути достигнуты значительные успехи: количество новых ЖК-сегнетоэлектриков непрерывно растет, их спонтанная поляризация по величине приближается к таковой для кристаллических веществ. Получены также фазы, в которых дипольные моменты молекул в слоях чередуются так, что формируется своеобразная «антисегнетоэлектрическая» конфигурация молекул с дипольными моментами в соседних слоях, ориентированными в противоположных направлениях. Такие материалы, эффективно меняющие свои оптические

характеристики под влиянием слабых электрических полей, весьма перспективны в плане создания элементной базы компьютеров нового поколения.

Список использованной литературы

1. Грошев А.А., Сергеев В.Б. Устройства отображения информации на основе жидких кристаллов. «Энергия», Ленинград, 1977. 80 стр.
2. Шibaев В.П. Необычные кристаллы или загадочные жидкости. Соросовский образовательный журнал, № 11, 1996, с. 37-46.
3. Струков Б.А. Сегнетоэлектричество в кристаллах. Соросовский образовательный журнал, № 4, 1996, с.81-89.