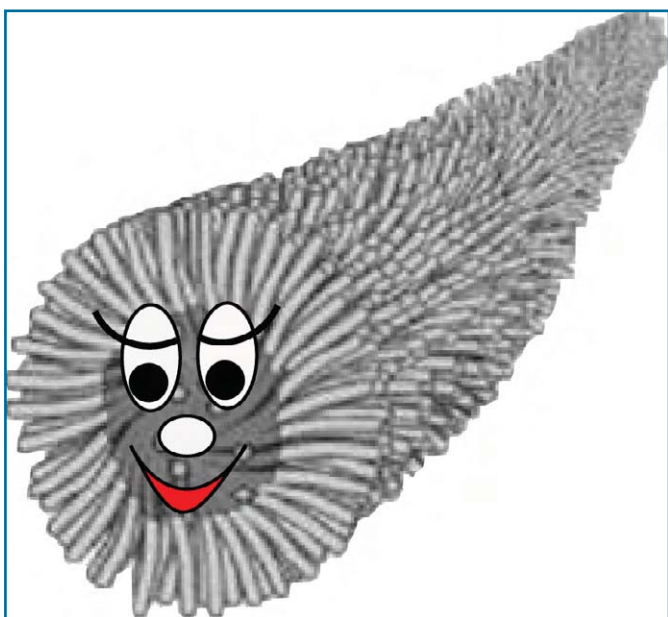


## ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

### (Liquid crystals)

*«В химии чудес немало.  
Мог ли кто-то предсказать,  
Что когда-нибудь КРИСТАЛЛЫ  
Можно будет НАЛИВАТЬ?»*

*Е.А. Померанцева*



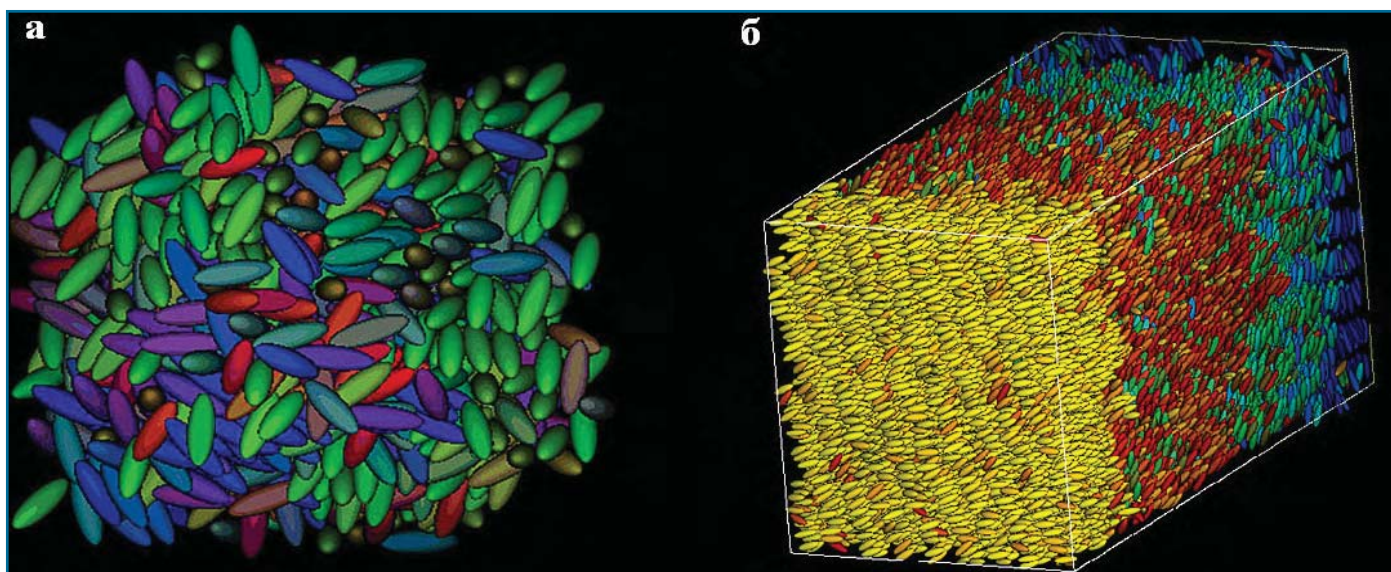
Чем жидкость отличается от кристалла и в чем смысл понятия *жидкий кристалл*? Давайте попробуем разобраться. Если вы посмотрите определение жидкости в словаре, окажется, что жидкость – это агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым телом и газом. Жидкие тела текучи, не обладают определенной формой, могут образовывать свободную поверхность и стремятся сохранить свой объем. В жидкостях атомы не имеют определенного положения, но в то же время им недоступна полная свобода перемещений. В кристаллах же, наоборот, характерно закономерное расположение атомов в периодической кристаллической решетке твердого тела. Так как же совместить два противоположных свойства в одном веществе?

Оказывается, такое возможно, если упорядочить в пространстве молекулы амфифильных веществ (которые, как правило, имеют вытянутую или дискообразную форму), но при этом не связывать их в жесткий каркас, а оставить возможность коллективно перемещаться вдоль какого-либо из направлений. Такую систему можно сравнить с потоком бревен, сплаваемых по реке: в целом они все выстроены в одном направлении, по течению, хотя каждое бревно плывет само по себе\*. В таком потоке все бревна-молекулы будут обладать определенной ориентацией, но полный порядок в расположении их центров тяжести будет отсутствовать (рис. 1). Именно такую структуру и имеют жидкие кристаллы. Как и любая жидкость, они обладают текучестью и способностью к каплеобразованию, и вместе с тем, подобно обычному кристаллу, характеризуются упорядочением в пространстве образующих его молекул.

Такого упорядочения достаточно для того, чтобы жидкие кристаллы проявляли необычные механические, магнитные, но, что еще более важно, аномальные электрические и оптические свойства.

Считается, что жидкие кристаллы открыл в 1888 году австрийский ботаник Фридрих Рейнитцер, изучавший роль холестерина в растениях. Нагревая синтезированное им твердое вещество холестерилбензоат, он обнаружил, что при температуре  $\sim 145$  °С кристаллы плавятся и образуют мутную, сильнорассеивающую свет

\* Меткое сравнение доктора химических наук Ю. Евдокимова.



**Рис. 1.** Схематическое представление (а) изотропной среды (жидкость, свойства которой во всех направлениях одинаковы) и (б) анизотропной среды (жидкий кристалл, ориентационное упорядочение)

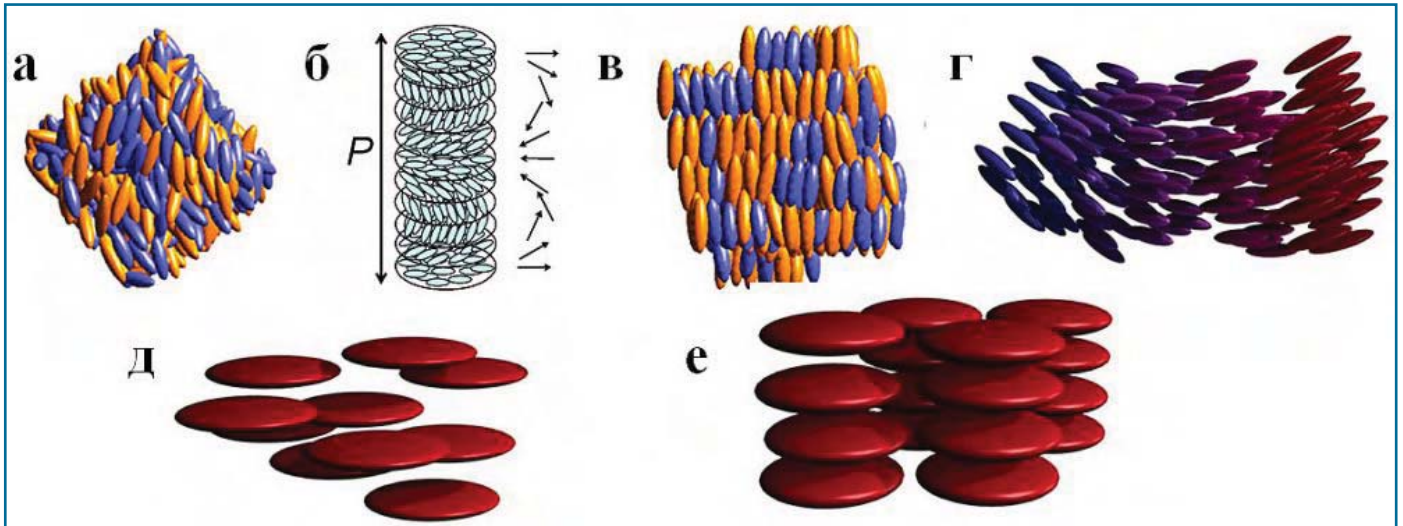
жидкость, ныне называемую жидким кристаллом, которая при дальнейшем нагревании ( $\sim 179^\circ\text{C}$ ) становится совершенно прозрачной. Почти все жидкие кристаллы, обнаруженные на сегодняшний день, представляют собой органические соединения; однако далеко не все органические вещества могут находиться в жидкокристаллическом состоянии.

В зависимости от способа получения жидкие кристаллы можно разделить на термотропные и лиотропные. К первому типу относятся вещества, получаемые нагреванием кристаллической фазы (как, например, нагревание холестерилбензоата). Лиотропными называют жидкие кристаллы, которые получают при растворении некоторых веществ в контролируемом количестве растворителя (например, воды). Существует два класса термотропных жидких кристаллов: нематические и смектические. Разновидностью нематических являются холестерические кристаллы.

Нематические жидкие кристаллы характеризуются наличием ориентационного порядка, но отсутствием позиционного (т.е. центры масс молекул расположены беспорядочно, и молекулы могут свободно вращаться вокруг своей продольной оси). Их можно сравнить с карандашами в коробке: каждый карандаш может вращаться и скользить вперед и назад, но все вместе карандаши должны оставаться практически параллельными друг другу (рис. 2а).

Холестерики (или хиральные нематики, получившие свое название от вещества холестерина, которого очень боятся люди, не соблюдающие диету) имеют слоистую структуру, в которой ориентация молекул каждого последующего слоя несколько развернута относительно предыдущего. Они характеризуются расстоянием ( $P$ ), за которое ориентационный вектор совершит оборот в  $360^\circ$  (рис. 2б). Для многих холестерических жидких кристаллов это расстояние сравнимо с длиной волны видимого света, что крайне важно для формирования оптических свойств. Например, нагрев жидких кристаллов этого типа на десятые доли градуса незначительно изменяет угол поворота соседних слоев молекул, однако это небольшое изменение приводит к тому, что изменяется угол вращения плоскости поляризации отраженного света, и холестерик изменяет свой цвет. На этом основано, например, использование холестерических жидких кристаллов в детских «налобных» термометрах, которые были какое-то время очень популярны в Японии.

Смектические жидкие кристаллы (от греч. смегма – мыло) характеризуются как ориентационным, так и позиционным порядком (рис. 2в). Молекулы размещаются так, чтобы их оси были параллельны, образуя слоистую структуру. Слои могут скользить друг по другу, а каждая из молекул двигаться в двух измерениях: скользить вместе со слоем и вращаться вокруг



**Рис. 2.** Типы жидкокристаллических систем: а – нематические, б – холестерические (хиральные нематические), в – смектические, г – хиральные смектические, д – дискоидные нематические, е – дискоидные колоннообразные

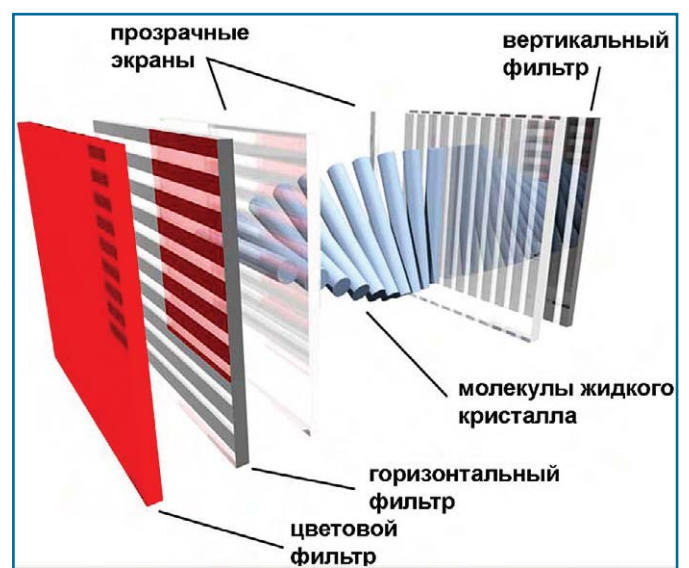
своей продольной оси. Выделяют также хиральные смектические жидкие кристаллы, у которых продольные оси молекул одного слоя повернуты на небольшой угол относительно молекул соседнего слоя (рис. 2г). Кроме того, существуют дискоидные жидкие кристаллы (образующие их молекулы имеют дискообразную форму). Дискоидные нематические фазы (рис. 2д) состоят из одинаково ориентированных дисков, но у них отсутствует позиционный порядок; дискообразные молекулы также могут выстраиваться в колонны (рис. 2е).

Долгое время считалось, что с точки зрения практического применения жидкие кристаллы не обладают никакими полезными свойствами. Однако было замечено, что жидкие кристаллы способны изменять направление поляризации проходящего через них излучения, практически не поглощая его, поэтому свое первое применение они нашли в дисплеях для калькуляторов и электронных часов, а затем их стали использовать в мониторах для портативных и настольных компьютеров, а также телевизоров.

Для создания жидкокристаллических мониторов (рис. 3) наиболее активно используют нематические жидкие кристаллы. Так, известное англоязычное обозначение ЖК-мониторов STN означает *supertwisted nematics*, то есть «суперперекрученные нематики», и их действительно перекручивают! Свет от лампы-подсветки про-

ходит через специальный фильтр, размещенный с тыльной стороны монитора, и поляризуется. С фронтальной стороны монитора также расположен поляризационный фильтр, который повернут относительно первого на  $90^\circ$  и поэтому не пропускает свет от первого фильтра.

Если бы между фильтрами не было никаких жидких кристаллов, то монитор всегда оставался бы темным. Однако в ЖК-мониторе есть также два прозрачных электрода с параллельными рядами бороздок на их поверхности, вдоль которых легко ориентируются приповерхностные слои жидкого кристалла. При этом бороздки на



**Рис. 3.** Схема жидкокристаллического экрана

противоположных электродах, как и фильтры, перекрещены, поэтому нематики перекручиваются электродами (если помните, они состоят из ориентированных нитей). А это приводит к тому, что перекручивается и плоскость поляризации света, идущего от первого фильтра. Ко второму фильтру свет приходит с другой поляризацией и уже может выйти наружу – монитор начинает светиться. Остается только научиться управлять ориентацией молекул жидкого кристалла, что делают путем приложения электрического потен-

циала между электродами, изменяющего светимость точки-пикселя. Если к этому добавить три цветовых фильтра (красный, зеленый, голубой, так называемая схема RGB, Red-Green-Blue), то можно легко смешивать цвета, формируя гаммы из тысяч и даже миллионов цветов.

В нанотехнологиях жидкие кристаллы очень часто используют в качестве темплатов, или шаблонов, для создания упорядоченных наноструктур, например мезопористых систем, наноструктурированных электродов и т.д.

#### Литература:

1. Жидкие кристаллы / Пер. с англ. С. Чандрасекар. 1980. 344 с.
2. <http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>