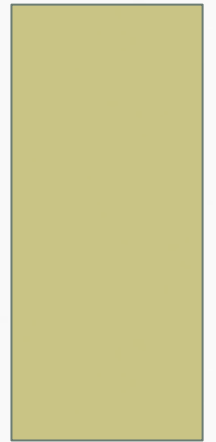
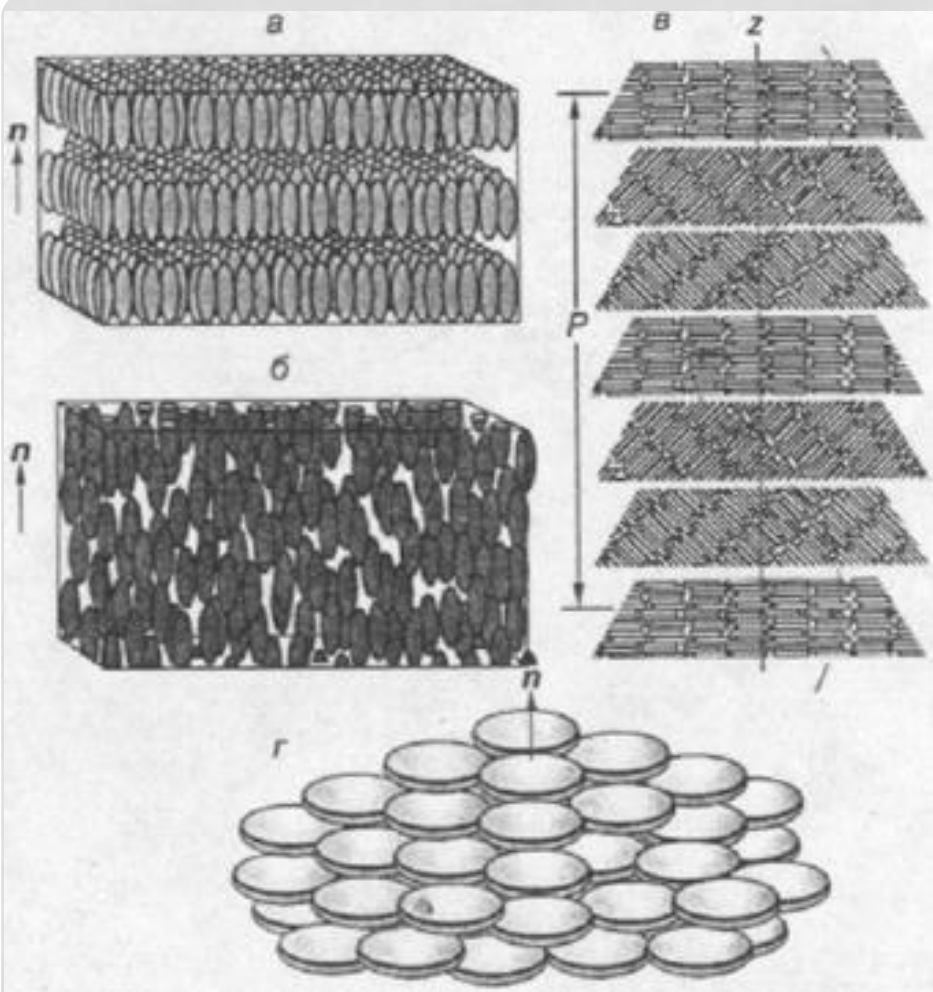


# Термотропные и Лиотропные жидкие кристаллы



# ТЕРМОТРОПНЫЕ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

- В зависимости от характера расположения молекул согласно классификации, предложенной еще Фриделем, различают три основных типа структур ЖК - соединений: смектический, нематический и холестерический. Указанные типы структур относятся к так называемым термотропным жидким кристаллам, образование которых осуществляется только при термическом воздействии на вещество (нагревание или охлаждение).



Основные типы расположения стержнеобразных (а-в) и дискообразных (г) молекул в жидких кристаллах: а - смектическая фаза, б - нематическая, в - холестерическая, г - дискотическая (n-директор).

На рисунке 1 показаны схемы расположения стержне- и дискообразных молекул в трех перечисленных структурных модификациях жидких кристаллов.

Смектический тип жидких кристаллов (смектики – от греч. слова "смеγμα" – мыло) ближе всего к истинно кристаллическим телам. Молекулы располагаются в слоях, и их центры тяжести подвижны в двух измерениях (насмектической плоскости). 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, который обычно обозначается вектором  $n$ .

Нематический тип жидких кристаллов (нематики от греч. "нема" — нить) характеризуется наличием только одномерного ориентационного порядка длинных (каламитики) или коротких (дискотики) осей молекул. При этом центры тяжести молекул расположены в пространстве хаотично, что свидетельствует об отсутствии трансляционного порядка.

Наиболее сложный тип упорядочения молекул жидких кристаллов холестерический (холестерики), образуемый хиральными (оптически активными) молекулами, содержащими асимметрический атом углерода. Это означает, что такие молекулы являются зеркально-несимметричными в отличие от зеркально-симметричных молекул нематиков. Впервые холестерическая мезофаза наблюдалась для производных холестерина, откуда и произошло ее название. Холестерики во многих отношениях подобны нематикам, в которых реализуется одномерный ориентационный порядок; они образуются также при добавлении небольших количеств хиральных соединений (1-2 мол. %) к нематикам. Как видно из рисунка 1.2в, в этом случае дополнительно реализуется спиральная закрученность молекул, и очень часто холестерик называют закрученным нематиком.

Периодическая спиральная структура холестериков определяет их уникальную особенность — способность селективно отражать падающий свет, "работая" в этом случае как дифракционная решетка. При фиксированном угле отражения условия интерференции выполняются только для лучей одного цвета, и слой (или пленка) холестерика кажется окрашенным в один цвет. Этот цвет определяется шагом спирали  $P$ , который при нормальном угле падения света простым образом связан с максимумом длины волны отраженного света  $\lambda_{\max}$ :

$$P = \lambda_{\max} / n, \quad (1)$$

где  $n$  — показатель преломления холестерика. Этот эффект избирательного отражения пленкой холестерика света с определенной длиной волны получил название селективного отражения. В зависимости от величины шага спирали, который определяется химической природой холестерика, максимум длины волны отраженного света может располагаться в видимой, а также в ИК- и УФ-областях спектра, определяя широкие области использования оптических свойств холестериков.

Любой из трех типов мезофаз рассматривается обычно как непрерывная анизотропная среда, где в небольших по размерам микрообъемах (их часто называют роями или доменами), состоящих, как правило, из  $10^4$ - $10^5$  молекул, молекулы ориентированы параллельно друг другу.



Теперь рассмотрим макроскопическую структуру жидких кристаллов, которую чаще всего называют текстурой, понимая под этим совокупность структурных деталей образца жидкого кристалла, помещенного между двумя стеклами и исследуемого с помощью оптического поляризационного микроскопа. Каждый тип жидкого кристалла самопроизвольно образует свои характерные текстуры, по которым их часто удается идентифицировать. Как правило, текстуры жидких кристаллов настолько "фотогеничны", что



Рисунок 1.2- Типичные текстуры нематических(а), смектических(б) и холестерических (в) жидких кристаллов: а — шликрен, б — веерная, в — конфокальная текстуры

Нематические жидкие кристаллы характеризуются так называемой шлирен-текстурой, представляющей собой систему тонких нитевидных линий и точек с нитеобразными черными "хвостами". Эти линии называют дисклинациями (от греч. "клин" - наклон). Они представляют собой места резкого изменения направления ориентации длинных осей молекул. Характерной текстурой смектиков является веерная текстура, которая во многом напоминает кристаллы обычных твердых тел, что подчеркивает наибольшую аналогию в структурной организации двумерно-упорядоченных смектиков и трехмерно-упорядоченных кристаллов. Неориентированные холестерики образуют конфокальную текстуру, которая состоит из отдельных и связанных между собой сложных образований, называемых конфокальными доменами.

Важно отметить, что все рассмотренные текстуры чрезвычайно лабильны и легко подвергаются структурным перестройкам под действием небольших внешних воздействий (механические напряжения, электрические поля, температура и др.).

# Лиотропные жидкие кристаллы

В отличие от термотропных жидких кристаллов лиотропные жидкие кристаллы образуются при растворении ряда амфифильных соединений в определенных растворителях и имеют, как правило, более сложную структуру, чем термотропные жидкие кристаллы. Амфифильные соединения состоят из молекул, содержащих гидрофильные и гидрофобные группы. Такие соединения широко распространены в природе. Так, например, любая жирная кислота является амфифильной. Ее молекулы состоят из двух частей: полярной "головки" (COOH-группа) и углеводородного "хвоста" [CH<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>—]. Подобные соединения при растворении в воде, как правило, образуют мицеллярные растворы, в которых полярные головки торчат наружу, находясь в контакте с водой, а углеводородные хвосты, контактируя друг с другом, смотрят вовнутрь. Такие мицеллы (рисунок 1.4 а) и являются теми структурными элементами, из которых строятся лиотропные жидкие кристаллы, формируя, например, цилиндрическую или ламеллярную формы (рисунок 1.4б,в).

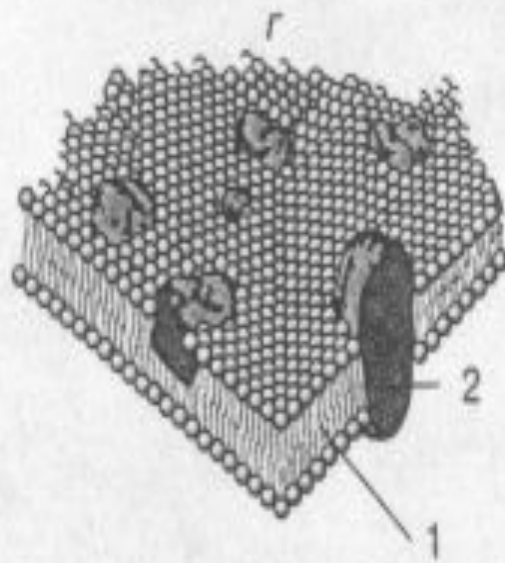
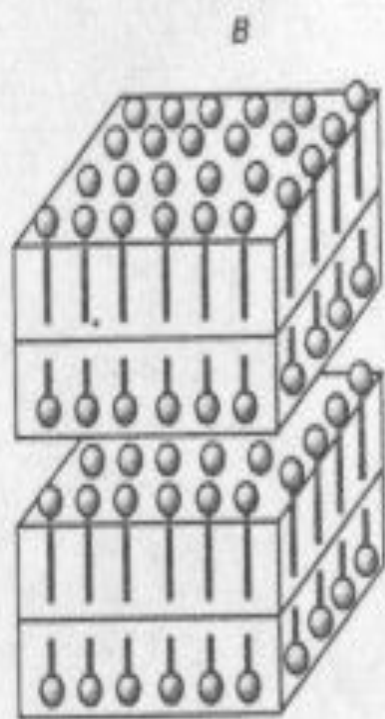
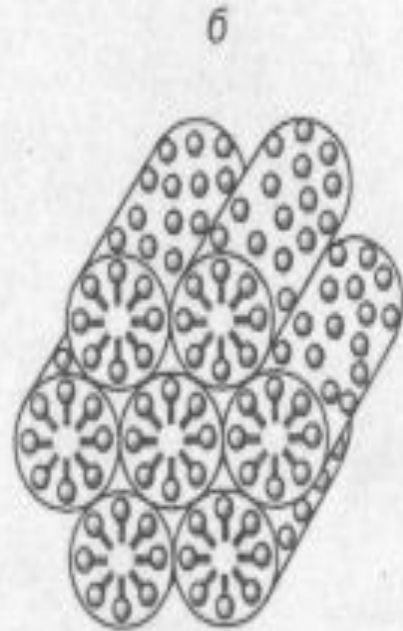
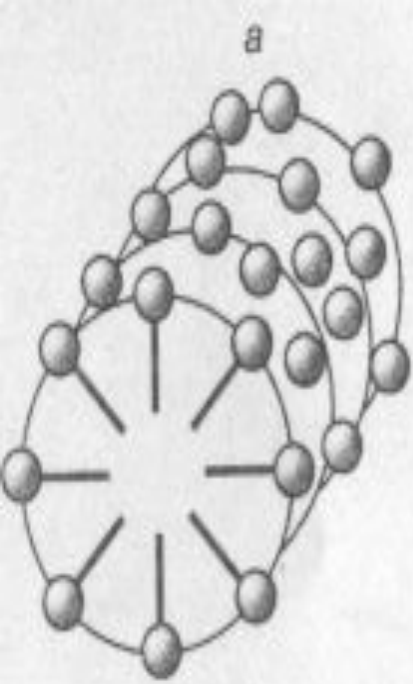


Рисунок 1.4 - Некоторые типы лиотропных жидkokристаллических структур, образованные амфифильными молекулами в водных растворах: а - цилиндрическая мицелла, б - гексагональная упаковка цилиндрических мицелл, в - ламеллярный смектический жидкий кристалл; г - строение мембраны, состоящей из фосфолипидного двойного слоя (1) и молекул белков (2).

В отличие от термотропных жидких кристаллов, где формирование определенного типа мезофазы определяется лишь температурой, в лиотропных системах тип структурной организации определяется уже двумя параметрами: концентрацией вещества и температурой. Лиотропные жидкие кристаллы наиболее часто образуются биологическими системами, функционирующими в водных средах. Именно в этих системах в наиболее яркой форме проявляются уникальные особенности жидких кристаллов, сочетающих лабильность с высокой склонностью к самоорганизации. Ограничимся лишь одним примером, относящимся к клеткам и внутриклеточным органеллам, покрытым тонкими высокоупорядоченными оболочками - мембранами. Современные структурные исследования показывают, что мембраны представляют собой типичные лиотропные ламеллярные лабильные ЖК-структуры, составленные из двойного слоя фосфолипидов, в котором "растворены" белки, полисахариды, холестерин и другие жизненно важные компоненты (рисунок 1.4г). Такое анизотропное строение мембраны, с одной стороны, позволяет защищать ее внутреннюю часть от нежелательных внешних воздействий, а с другой стороны, ее "жидкостной" характер обеспечивает высокие транспортные свойства (проницаемость, перенос ионов и др.), что придает клетке определяющую роль в процессах жизнедеятельности.