

Всё течёт, всё меняется...

Насколько часто в повседневной жизни мы имеем дело с жидкими веществами?

Вспомним любой день: принимаем душ, пьём чай, кофе или молоко, моем посуду, заправляем бензином автомобиль, купаемся в море, стираем одежду, меряем нашу температуру ртутным термометром, пользуемся электронными приборами с жидкокристаллическими экранами, всматриваемся в звёздное небо. Наблюдательный физик заметит при этом, что морская вода — раствор, кофе и молоко — коллоидные системы, современный монитор невозможен без жидких кристаллов, а на звёздном небе можно наблюдать нейтронные звезды — квантовые Ферми-жидкости!

Неужели жидкое состояние столь разнообразно?

На этот вопрос следует ответить однозначным «ДА!». Любое вещество в жидком агрегатном состоянии принадлежит к одному из двух больших «семейств» — *жидкостям* или *жидкостным системам* (рис. 1).

Давайте познакомимся с обоими этими семействами поближе.

Жидкости

На первый взгляд, вода, ртуть и атомное ядро вовсе не имеют ничего общего. На самом деле все они — жидкости! Но «разные» жидкости.



Рис. 1. Классификация жидкого агрегатного состояния

По своим физическим свойствам жидкости разделяют на классические и квантовые. Различие между ними состоит в том, что в квантовых жидкостях средняя длина волны де Бройля λ_b частиц имеет тот же порядок величины, что и среднее расстояние \bar{l} между частицами ($\lambda_b \approx \bar{l}$), в то время, как в классических жидкостях $\lambda_b \ll \bar{l}$.

Вообще говоря, **жидкости** как таковые выделяют в отдельное «семейство» именно благодаря тому, что они состоят из частиц одного сорта. Этими частицами могут быть атомы, молекулы, ионы и т.д. В зависимости от типа таких частиц, **классические жидкости** делят на атомарные (пример — сжиженные инертные газы), молекулярные (вода, спирты и т.д.), ионные (расплавы солей) и ионно-электронные (химически чистые расплавленные металлы, например — ртуть).

Частицы **квантовых жидкостей** лишены своей «индивидуальности». Поэтому для систематизации представите-

лей этой группы пользуются квантово-механическим принципом тождественности одинаковых частиц и, в зависимости от чётности волновой функции относительно перестановки частиц жидкости, различают квантовые *Ферми-* и *Бозе-жидкости*.

Примером атомарной *Бозе-жидкости* является жидкий ^4He , ставший «знаменитым» благодаря явлению сверхтекучести, открытому П.Л.Капицей в 1938 году, за что учёный был удостоен Нобелевской премии по физике в 1978 году. Ещё раньше, в 1911 году, жидкий ^4He «помог» голландскому физiku Камерлинг-Оннесу открыть явление сверхпроводимости.

Квантовые *Ферми-жидкости* охватывают широкий спектр физических систем. Так, примером атомарной Ферми-жидкости является жидкий ^3He , известный как один из «претендентов» в будущем на роль основного источника энергии для термоядерного синтеза.

Менее очевидным для читателя наверняка окажется тот факт, что к Ферми-жидкостям относятся и такие «экзотические» объекты как нейтронные звезды и ядра атомов. Первые являются примером квантовых *нейтронных* Ферми-жидкостей, а вторые — *ядерных* Ферми-жидкостей.

К Ферми-жидкостям относятся и такие специфические жидкости как *электронные*. Под этим названием имеют в виду физическую систему взаимодействующих электронов при условии, что их радиус Вигнера-Зейтца $r_s = \left(\frac{3}{4\pi n}\right)^{1/3}$ (n — количество электронов в единице объёма) больше, чем радиус Бора $a_B = \frac{\hbar^2}{me^2}$ (в обратном случае, при условии $r_s < a_B$, систему называют электронным *газом*, поскольку характерная кинетическая энергия движения электронов намного больше, чем энергия их электростатического взаимодействия). Отметим, что полной теории электронных Ферми-жидкостей до сих пор не существует, а её создание составляет актуальную физическую задачу. Возможно, именно любознательный читатель этой статьи и создаст такую теорию.

Жидкостные системы

Ещё более разнообразно семейство жидкостных систем. Именно жидкостными системами наполнены все моря и океаны на Земле.

Пожалуй, наиболее известным представителем семейства жидкостных систем являются **растворы**. От жидкостей они отличаются только тем, что состоят из частиц двух или более различных сортов. В частности, при смешивании двух или более атомарных жидкостей получим *атомарный* раствор, при смешивании

молекулярных жидкостей — *молекулярный* и т.д.

Интересным примером *изотопного* раствора служит раствор тяжелой воды (D_2O) в обычной воде (H_2O). Раствор кухонной соли в воде также является раствором, но уже не молекулярным, а *ионным*, так как кристалл хлорида натрия при контакте с водой диссоциирует на ионы Na^+ и Cl^- . Именно в виде ионов кухонная соль «плавает» в супе.

Если расплавить сплав металлов, получим *ионно-электронный раствор*.

Близкими к растворам, но всё же отличными от них являются **смеси**. Смеси представляют собой жидкостные системы, состоящие из жидкости и молекул другого вещества, которое само не является жидкостью. Характерным примером может служить водная смесь фуллеренов или нанотрубок.

Наиболее известным представителем фуллеренов является C_{60} , частицы которого представляют собой такие себе «мячики» диаметром около 7 Å, состоящие из атомов углерода (рис. 2), причём каждый такой



мячик на самом деле образует единую отдельную молекулу! При испарении водной смеси фуллеренов¹ молекулы воды будут испаряться, а молекулы C_{60} будут образовывать *твёр-*

¹ Отметим, что молекулы фуллеренов гидрофобны и потому для приготовления их водной смеси используют химически модифицированные молекулы фуллеренов.

дую фазу. В этом и состоит отличие смеси от раствора.

Когда размер «посторонних» включений в жидкости достигает сотен нанометров, то такая жидкостная система будет уже не смесью, а **коллоидной системой**. В зависимости от того, какие именно эти включения — твёрдые, жидкие или газообразные — коллоидную систему называют суспензией, эмульсией или пеной.

В отличие от *суспензий*, которые состоят из жидкости и частиц твёрдого тела, *пены* состоят из жидкости и «пузырьков» газа, а *эмульсии* — из жидкости и капелек другой жидкости, которая не смешивается с первой. Самой известной водной эмульсией в быту является молоко, в котором плавают капельки, наполненные жирами.

Ещё одним интересным представителем группы коллоидных систем являются *системы с самоорганизацией*. Как правило, они содержат амфифильные молекулы (рис. 3), имеющих полярную гидрофильную «голову» и неполярный гидрофобный «хвост» длиной в несколько нанометров. Само название этих молекул происходит от греческих слов *amphis* (αμφις) — оба и *philia* (φιλία) — дружить, любить, и отражает тот факт, что такие молекулы одновременно растворимы как в полярных, так и в неполярных растворителях.

Стоит отметить, что амфифильные молекулы обладают способностью к самоорганизации, образуя в жидкостях разнообразные агрегаты: сферические или цилиндрические мицеллы, двойные шары и везикулы, а некоторые амфифильные молекулы способны образовывать также и причудливые биконтигуальные структуры (рис. 4).

Кстати, в быту мы имеем дело с мицеллами каждый раз, когда моем руки с мылом или

очищаем с помощью ПАВ (поверхностно-активных веществ) загрязнённые жиром поверхности.

Что же произойдет, если увеличивать концентрацию амфифильных молекул в жидкостной системе? В этом случае отдельные мицеллы начнут объединяться в более организованные структуры, выстраиваясь, например, в узлах кубической решётки (*кубическая фаза*, см. рис. 5). При больших концентрациях амфифильных молекул из них образуются трубчатые структуры (цилиндрические мицеллы), оси которых размещаются в пространстве так, что образуют правильные шестигранники, напоминающие пчелиные соты (*гексагональная фаза*). Дальнейшее увеличение концентрации амфифильных молекул приведёт к формированию *ламелярной фазы*, а затем — обратных фаз — кубической и гексагональной, «вывернутых наизнанку».

Такие жидкостные системы получили название *лиотропных жидких кристаллов* благодаря тому, что помимо характерной для жидкостей текучести они обладают ещё и пространственной анизотропией (что приводит, например, к двойному лучепреломлению), свойственной *кристаллам*. Лиотропными (от греч. *lyo* — растворяю и *trope* — перемена) их называют потому, что для существования жидкокристаллической фазы необходимо наличие жидкости-растворителя.

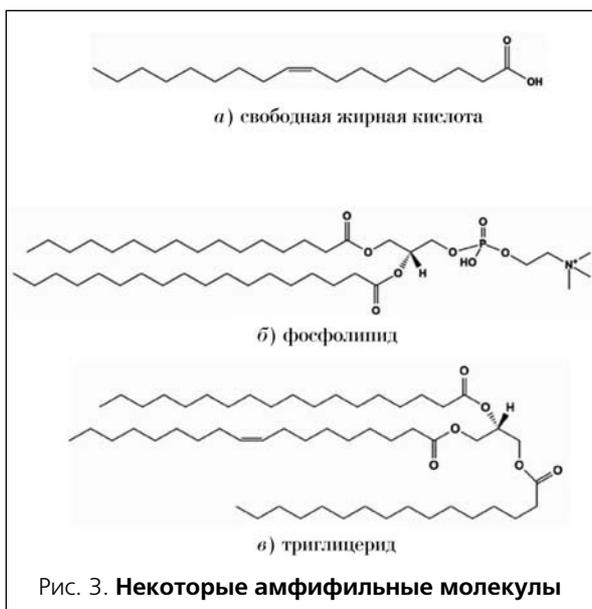


Рис. 3. Некоторые амфифильные молекулы

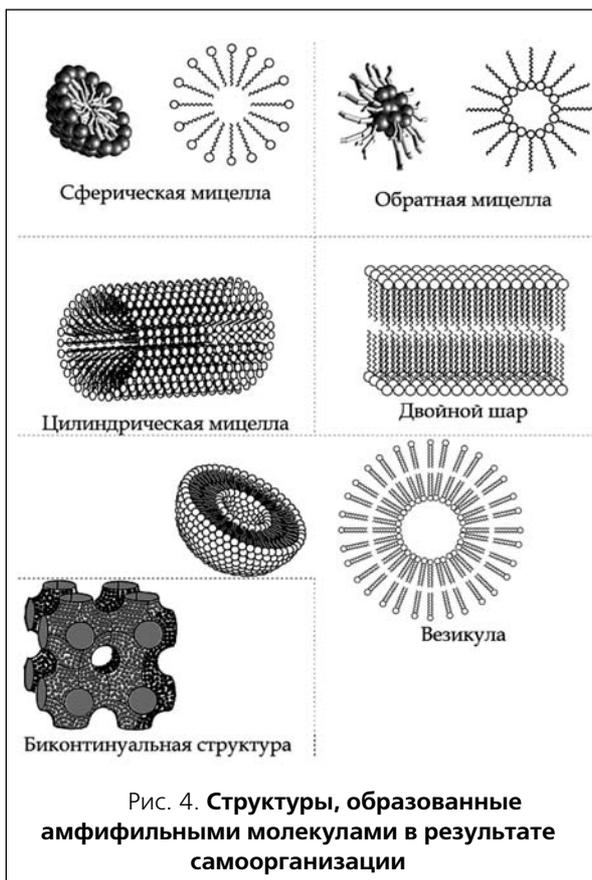


Рис. 4. Структуры, образованные амфифильными молекулами в результате самоорганизации

Интересно, что жидкокристаллические фазы при определённых температурах и концентрациях образуют даже молекулы обычного мыла в воде!

Кроме лиотропных бывают ещё *термотропные жидкие кристаллы*. Их структур-

ными единицами являются, в отличие от лиотропных, не сложные надмолекулярные образования, а отдельные одинаковые молекулы. Своё название термотропные жидкие кристаллы получили потому, что они образуются при нагревании некоторых твёрдых тел и существуют в некотором температурном интервале, ограниченном снизу точкой плавления кристалла, а сверху — разрушением, вследствие теплового движения, упорядоченности молекул и превращением вещества в обычную жидкость. Именно исследуя процесс плавления органического вещества холестерилбензоата, австрийский учёный-ботаник Ф. Рейнитцер открыл в 1888 году первый термотропный жидкий кристалл. Рейнитцер обнаружил, что при нагревании кристалла этого вещества при температуре 145°C оно становится мутной жидкостью, обладающей двойным лучепреломлением, которая становится прозрачной («просветляется») лишь при 179°C.

В повседневной жизни мы сталкиваемся с жидкими кристаллами каждый раз, когда смотрим на экран мобильного телефона или жидкокристаллического монитора.

Окончание на 27 стр.

Подводная археология является ничем другим, как подводной разведкой. Раскопки под водой невозможны, поскольку течение сразу заносит илом и песком то, что уже удалось раскопать. Однако, с развитием техники, уже доступна качественная **фото- и видео-фиксация** материалов. **Кафедра подводной археологии** существует на историческом факультете Киевского национального университета им. Т.Г. Шевченко. Однако набирают для

проведения подводных разведок только парней с крепким здоровьем. Интересный **проект** уже восемь лет подряд действует при **Государственном Эрмитаже в Российской Федерации**. Там археологии обучают слепых детей. И, возможно, именно эти дети, когда подрастут, пополнят ряды подводных археологов и внесут в археологию что-то новое, ведь в отличие от зрячих людей, они привыкли опираться в своих ощущениях не на зрение, кото-

рое под водой не всегда выдаёт нам верную информацию, а на свои тактильные ощущения.

Анна Заворотная,

выпускница магистерской программы «История (археологи и древняя история Украины)» Национального университета «Киево-Могилянская академия» «е5ологию что-то новое, ведь в отличие от зрячих людей, они привыкли опираться в своих ощущениях не на зрение, которое под водой не всегда выдаёт нам верную информацию, а на свои тактильные ощущения.

ТАКОЕ РАЗНООБРАЗНОЕ ЖИДКОЕ СОСТОЯНИЕ

Окончание. Начало на 23 стр.

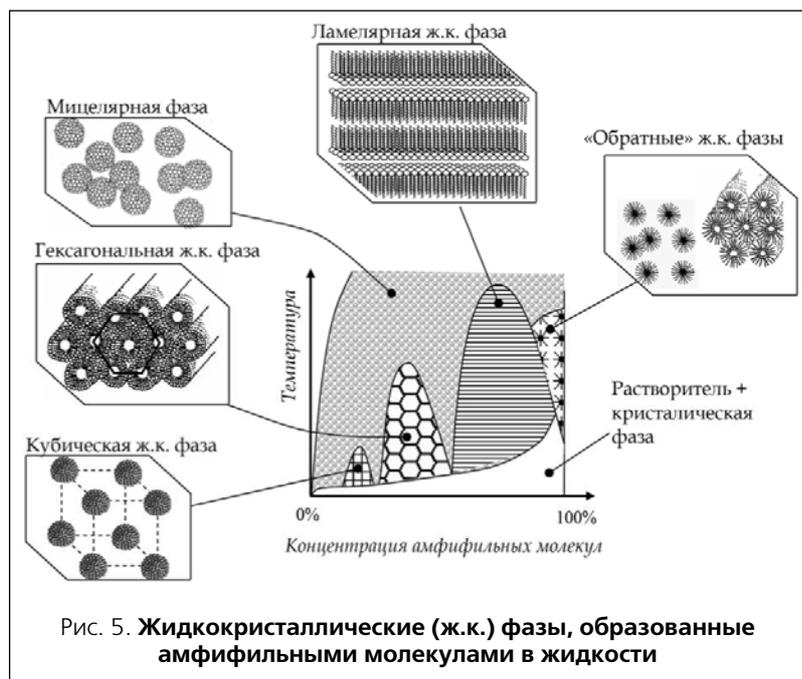


Рис. 5. Жидкокристаллические (ж.к.) фазы, образованные амфифильными молекулами в жидкости

Послесловие

Наш короткий обзор проиллюстрировал широчайшее разнообразие веществ, которые могут находиться в жидком агрегатном состоянии. Напоследок стоит добавить только, что и характерные времена процессов, происходящих в веществах в жидком состоянии, также лежат в «астрономически» широких пределах: от 10^{-12} с (время жизни водородной связи) до 10^2 с (напри-

мер, броуновское движение помещённых в жидкость частиц). Понятно, что для исследования такого разнообразия физических процессов экспериментаторы используют многочисленные современные методы исследования: упругое и неупругое рассеяние нейтронов, рассеяние рентгеновских лучей, рассеяние света, компьютерное моделирование, PVT-измерения, вискозиметрию, реологические методы и прочее.

Где можно узнать о жидком состоянии больше?

1. Сайт кафедры молекулярной физики физического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко <http://www.phys.univ.kiev.ua/molphys/index.html>

2. Учебник Адаменко И., Булавин Л.А. Фізика рідин та рідинних систем // Київ: АСМІ, 2006. Книга Беляков В.А. Жидкие кристаллы // Москва: Химия, 1986.

Обзорные статьи в журнале «Успехи физических наук».

3. Гинзбург В.Л. «Физический минимум» – какие проблемы физики и астрофизики представляются особенно важными и интересными в начале XXI века? // УФН. – 2007. – Том 177, 346 с.

4. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Фуллерены и структуры углерода // УФН. – 1995. – Том 165. 977–1009 с.

Л.А. Булавин,

академик НАН Украины

Т.Ю. Николаенко,

аспирант физического факультета КНУ имени Тараса Шевченко