

САМООРГАНИЗАЦИЯ (Self-Organization)

*«Скатерть-самобранка
Усердно им дорогою служила,
И был всегда готов им вкусный завтрак,
Обед и ужин в надлежащий час».*

В.А. Жуковский.

«Сказка об Иване-царевиче и Сером Волке»

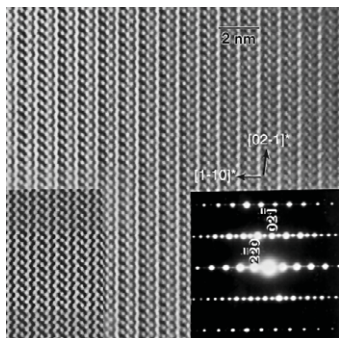
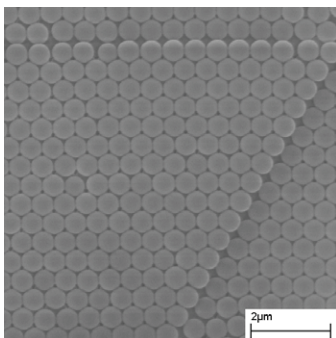
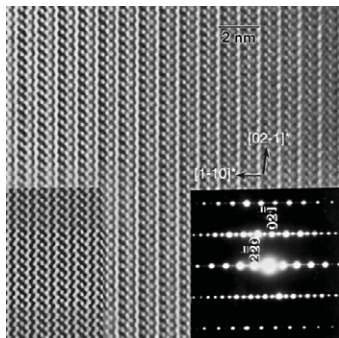
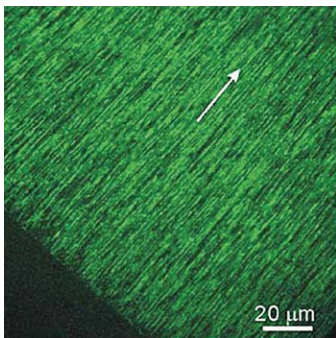
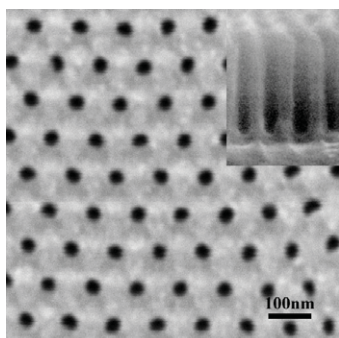
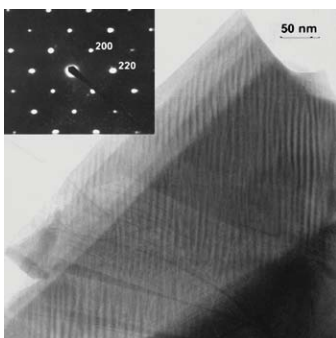
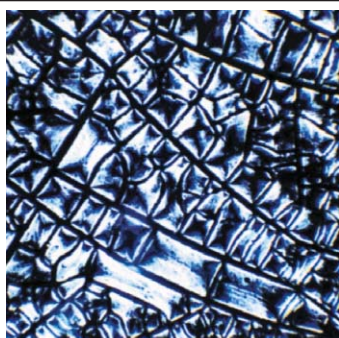
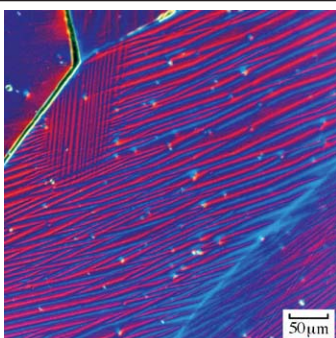


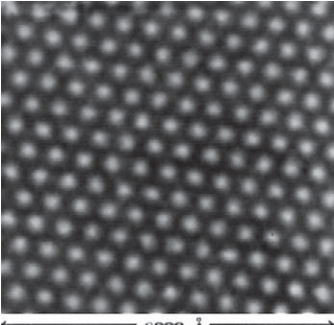
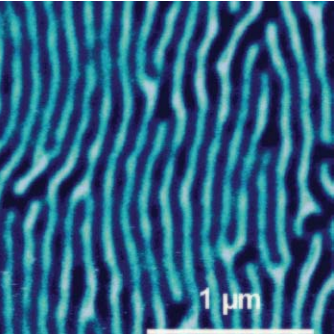
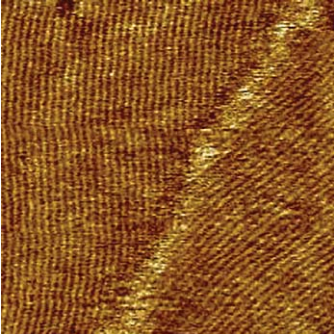
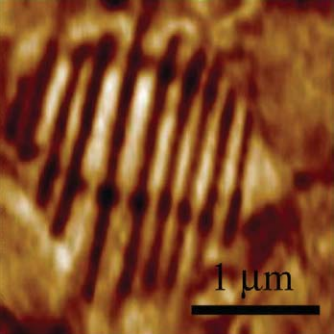


Наверное, каждый из нас сталкивался с ситуациями, когда вернувшись усталым домой, приходилось готовить ужин. Как наверное хотелось в этот момент разложить на столе скатерть-самобранку и не заботиться ни о чем. В сказках часто встречаются волшебные вещи, которые за секунду накроют Вам стол или построят дворец. Говорят, что во всяких сказаниях и легендах есть доля правды, и именно такой правдой является возможность самопроизвольной сборки определенных сложных структур из молекул или наночастиц – строительных блоков. Самоорганизация – это один из самых удивительных и загадочных эффектов, которые можно пронаблюдать в природе. Задумайтесь, например, как появились первые живые существа на Земле? И пусть этот вопрос до сих пор остается предметом споров, современная наука утверждает самопроизвольное зарождение жизни. Так, были проведены эксперименты, показавшие возможность получения простейших составных элементов белков – аминокислот – в первичной атмосфере Земли под воздействием грозных

разрядов. А под воздействием ультрафиолета из обычной синильной кислоты получился аденин – одно из азотистых оснований ДНК и РНК. Чуть более поздний опыт показал образование микросфер белков из смеси аминокислот нагретой застывающей лавой. Такие микросферы во многом похожи на **нанокансулы**, которые и могли быть первыми прародителями жизни.

Термины «самоорганизация», «упорядочение», «самосборка» стали появляться на страницах научных журналов в 70-х годах XX столетия. В это время возникла новая область исследований, затрагивающая различные науки и посвященная процессам самоорганизации. Анализ самопроизвольных процессов упорядочения позволил разделить самоорганизованные системы на консервативные и диссипативные. Консервативная самоорганизация является результатом эволюции закрытых систем (обменивающихся с окружающей средой энергией, но не веществом) в направлении уменьшения энергии Гиббса с диссипацией избыточной энергии (с уменьшением температуры) и приближением системы к состоянию равновесия. К таким процессам следует относить самосборку **наноструктур** в упорядоченные массивы или коллоидные агрегаты с **фрактальными** свойствами, формирование кристаллических решеток в твердых телах или квазикристаллов в жидкостях, образование магнитных или сегнетоэлектрических доменов, образование двойной спирали ДНК и т.д. (см. табл. 1).

Таблица 1. Самоорганизованные системы

3D самоорганизованные системы	
<p><i>Кристаллические вещества</i></p>  <p>Равновесные длины химических связей между атомами, молекулами или ионами определяется противодействием кулоновских потенциалов притяжения и отталкивания</p>	<p><i>Упорядоченные массивы наноструктур, фотонные кристаллы</i></p>  <p>Плотнейшая упаковка соприкасающихся микросфер образуется под действием электростатических зарядов, силы тяжести, или в области движущегося мениска</p>
2D самоорганизованные системы	
<p><i>Ячейки Бенара</i></p>  <p>Ячеистая структура в слое вязкой жидкости при неоднородном нагреве является следствием конкуренции теплопереноса по механизмам теплопередачи и конвекции</p>	<p><i>1D самоорганизованные системы</i></p> <p><i>Микротрещины и «тяжи» в пленках полимеров</i></p>  <p>Ориентированное расположение дефектов в матрице возникает из-за механического «вытягивания» полимера</p>
<p><i>Пористый алюминий, пористый кремний</i></p>  <p>Ячеистая структура в слое вязкой жидкости при неоднородном нагреве является следствием конкуренции теплопереноса по механизмам теплопередачи и конвекции</p>	<p><i>Расплавление твердых растворов или стекол</i></p>  <p>Ориентированное расположение дефектов в матрице возникает из-за механического «вытягивания» полимера</p>
<p><i>Ячеистая структура в кристаллах и стеклах</i></p>  <p>Упорядоченная сеть трещин или дефектов в материале возникает для минимизации механических напряжений при сокращении объема вещества в ходе кристаллизации</p>	<p><i>Фазовые переходы, мартенситная структура</i></p>  <p>Периодическая структура с ориентированным расположением монокристаллических областей является следствием минимизации напряжений между зернами в ходе роста</p>

<p><i>Смешанное состояние сверхпроводника II рода</i></p>	<p><i>Доменная структура магнитных материалов</i></p>
 <p>Упорядоченное расположение вихрей Абрикосова в сверхпроводнике в магнитном поле определяется конкуренцией процессов выталкивания и проникновения поля в образец</p>	 <p>Упорядоченное расположение областей с взаимориентированным направлением магнитных моментов является результатом конкуренции обменной энергии и энергии размагничивания</p>
<p><i>Жидкокристаллические фазы (то же для 1D систем)</i></p>	<p><i>Доменная структура сегнетоэлектриков</i></p>
 <p>Упорядочение молекулярных ассоциатов или мицелл под воздействием слабых лиофильных/лиофобных или электростатических Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий</p>	 <p>Упорядоченное расположение областей с ориентированным вектором искажения структуры возникает вследствие электростатических взаимодействий и разности потенциалов на гранях кристаллита</p>
<p>4D или пространственно-временная самоорганизация</p>	<p><i>Самосборка двойной спирали и репликация ДНК</i></p>
 <p>Расширяющиеся кольца в реакции Белоусова-Жаботинского являются следствием взаимосвязи эффектов автоколебательной реакции и диффузии</p>	 <p>Селективное связывание пуриновых и пиримидиновых оснований: аденина и тимина (или урацила), гуанина и цитозина двух молекул ДНК при образовании двойной спирали</p>

Аналогично, в случае интенсивного притока энергии извне оказывается возможным образование организованных **диссипативных структур** являющихся следствием эволюции системы в сильно неравновесных условиях (диссипативная самоорганизация). В данном случае движущей силой организации является стремление к увеличению беспорядка или, более научно, энтропии системы. К числу диссипативных самоорганизованных структур относят пространственно-периодические конвективные системы, системы с хаотическим поведением, некоторые типы динамических фрактальных струк-

тур, периодические пространственно-временные структуры – автоколебания и автоволны (табл. 1).

Изучение процессов самоорганизации и **самосборки** позволили установить, что для формирования устойчивых упорядоченных структур необходимо наличие локального минимума потенциальной энергии, среди возможных других состояний системы, иными словами, формирование упорядоченных структур оказывается невозможным при наличии только притягивающего или только отталкивающего потенциала между простейшими элементами. При этом самоорганизация является строго неравновесным процессом, во многом определяемым кинетическими

факторами. Так, агрегация **нанокластеров**, является гораздо более быстрым процессом, чем рекристаллизация с образованием более крупных частиц. Следовательно, формирование массивов **наноструктур** следует относить исключительно к неравновесным явлениям. В равновесных же условиях самоорганизация оказывается невозможна по причине стремления системы в целом к увеличению энтропии (то есть гомогенному «смешиванию» атомов). Это означает, что любые процессы организации можно рассматривать как накопление системой потенциальной энергии. При этом формирующиеся структуры обладают самоподобием – как кристаллические вещества состоят из отдельных атомов, так и агрегаты **наночастиц** состоят из отдельных **нанокристаллов**. Интересно отметить, что большую часть живой природы представляют системы, обладающие самоподобием по функциям или по структуре (например, цепочка клеточное ядро → клетка → организм → биосфера), что можно расцени-

вать как стремление живой природы к увеличению собственной внутренней энергии.

За работы по термодинамике необратимых процессов, особенно за теорию диссипативных структур» в 1977 году И.Р. Пригожину была присуждена Нобелевская премия по химии. Сегодня подходы самоорганизации уже используют в различных технологических процессах (оптические удвоители частоты, конструкционные композиционные материалы), при этом основной упор в высокотехнологичных областях науки и техники ставится на применение процессов **самосборки**. Так корпорация IBM уже выпустила первые интегральные чипы с применением самосборки составных узлов, а один из мировых лидеров в производстве носителей информации – компания Seagate использует самоупорядочение магнитных частиц для создания сред хранения информации со сверхвысокой плотностью записи (среды SOMA – self-ordered magnetic arrays).

Посмотрим, далеко ли до воплощения скатерти-самобранки в жизнь...

Литература:

1. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. 5-е изд. 2005. 296 с.
2. Третьяков Ю.Д. Успехи химии. 2003. Т. 72, № 8. С. 731–763.