

## САМОСБОРКА (Self-Assembly)

*«Кай возился с плоскими остроконечными льдинами, укладывая их на всевозможные лады... Он складывал из льдин и целые слова, но никак не мог сложить того, что ему особенно хотелось, – слово “вечность”. Снежная королева сказала ему: “Если ты сложишь это слово, ты будешь сам себе господин, и я подарю тебе весь свет и пару новых коньков”. Но он никак не мог его сложить».*

*Г.-Х. Андерсен.*

*«Снежная королева»*



**Рис. 1.** Кай так и не смог собрать из льдинок слово «вечность» (Г.-Х. Андерсен «Снежная королева», иллюстрация В. Ерко). Современные нанотехнологи стремятся создать такие условия, чтобы требуемые структуры собирались сами

Наверное, Кай был бы не против, если бы после часов его бесплодных усилий льдинки сжались и сами сложились в требуемое слово. Интересно, задумывались ли Вы когда-нибудь, почему буквы сами не складываются в слова, разбросанные по комнате вещи не хотят сами

раскладываться по ящикам, а на уборку уходит масса времени, которого и так всегда не хватает. На самом деле, стремление к беспорядку является одним из фундаментальных законов термодинамики, согласно которому энтропия (мера беспорядка) любой изолированной системы стремится увеличиться. Иначе говоря, согласно этому закону, вещи «просто мечтают» самопроизвольно оказаться разбросанными по комнате, и разложатся по ящикам лишь в том случае, если комната перестанет быть изолированной, и в нее начнется приток энергии извне в виде вашей кропотливой работы.

Этих законов никто не отменял и в наном мире. Если вы хотите упорядоченно «разложить» молекулы или наночастицы, последние наверняка не будут разделять ваше желание. О некоторых способах упорядочения нанообъектов, связанных с кропотливой работой нанотехнолога (см. *Сканирующая зондовая микроскопия, Нанопинцет, Оптический пинцет* и др.), Вы можете прочитать в этой книге. Впрочем, бывают ситуации, когда при определенных условиях микро- или нанообъекты вдруг начинают сами выстраиваться в виде упорядоченных структур. Например, одинаковые по размеру шарики в стакане сами складываются в плотнейшую шаровую упаковку. Противоречия с фундаментальными законами природы здесь нет – система в данном случае оказывается не изолированной, и на нанообъекты

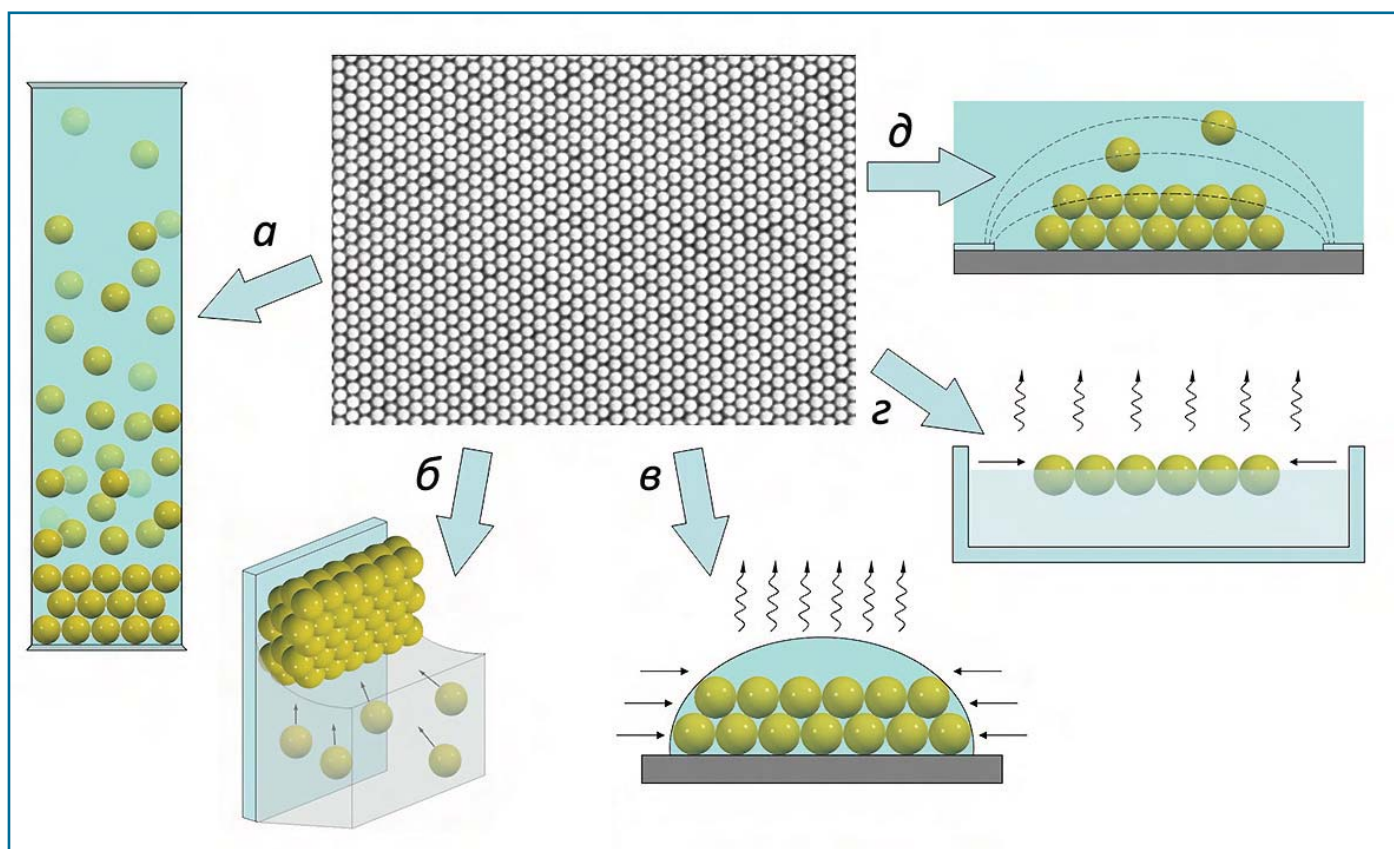
оказывается какое-то внешнее воздействие. Однако в отличие от поэтапных методов организации системы, данное воздействие направлено не на конкретную частицу, а на все сразу. Вам не нужно выстраивать требуемую структуру вручную, помещая нанообъекты в требуемые точки пространства один за другим – создаваемые условия таковы, что нанообъекты делают это сами и одновременно. Процессы, использующие создание таких особых условий, называются процессами самосборки, и уже сейчас они играют важнейшую роль во многих областях науки и техники.

В настоящее время известны примеры того, как с помощью различных методов самосборки удавалось получать упорядоченные структуры как из молекул, так и из более крупных образований – нано- и даже микрочастиц. Для создания особых условий, при которых в конкретной системе происходит самосборка, могут быть использованы гравитационное, электрическое или магнитное поля, капиллярные силы, игра на

смачиваемости–несмачиваемости компонентов системы и другие приемы.

Рассмотрим простую систему, наглядно иллюстрирующую различные подходы, используемые для самосборки. Предположим, у нас есть закрытый сосуд с водой, в которой диспергированы коллоидные сферические частицы на основе полистирола, и мы хотим, чтобы частицы образовали упорядоченную структуру, как показано на рис. 2. Если сосуд изолирован от внешних воздействий (например, парит в открытом космосе), то этого никогда не произойдет, поскольку частицы полистирола несут одноименный электрический заряд и поэтому отталкиваются друг от друга.

Какие же условия необходимо создать для самосборки? Вариантов несколько. Самое простое решение – вернуть сосуд на Землю. На полистирольные микросферы начнет действовать сила тяжести, под действием которой частицы начнут оседать на дно сосуда, образуя упорядоченную структуру (рис. 2а).



**Рис. 2.** Самосборка полистирольных микросфер под действием (а) гравитационного поля, (б) капиллярных сил, (в, г) сил поверхностного натяжения и (д) электрического поля. В центре — электронно-микроскопическое изображение упорядоченных полистирольных микросфер. Образец синтезирован на Факультете наук о материалах МГУ им. М.В. Ломоносова

Другой способ осуществить самосборку – открыть сосуд и вертикально поместить в него стеклянную подложку (рис. 2б). В области границы раздела «подложка–вода–воздух» образуется мениск, в который частицы будут втягиваться под действием капиллярных сил. По мере испарения воды мениск будет сползать вниз по подложке, оставляя за собой пленку из упорядоченных полистирольных микросфер. Самосборка под действием капиллярных сил – это очень распространенный способ синтеза структурированных микро- и *наноматериалов*.

Еще один несложный способ добиться упорядочения полистирольных частиц – поместить каплю суспензии из нашего сосуда на гидрофильную поверхность (рис. 2в). По мере высыхания капли частицы будут собираться вместе, и в данном случае самосборка будет происходить под действием силы поверхностного натяжения. В случае полистирольных микросфер поверхность, на которой происходит самосборка, не обязательно должна быть твердой. Дело в том, что плотность полистирольных частиц очень близка к плотности воды, поэтому полимерные шарики, оказавшиеся на поверхности воды, не тонут. Таким образом, при нагревании суспензии

полистирольных микросфер на поверхности быстро образуется белая пленка (практически как пенка на молоке), которая также состоит из упорядоченных частиц (рис. 2г).

Наконец, как уже отмечалось, полистирольные микросферы заряжены, поэтому для их самосборки можно использовать электрическое поле (рис. 2д).

Система полистирольных микросфер в воде достаточно проста, и далеко не все из рассмотренных способов самосборки можно применить для получения упорядоченных структур на основе более сложных объектов. Впрочем, многообразие микро- и наноструктурированных материалов, полученных методами самосборки велико – это и *самособирающиеся монослои*, и различные мезопористые структуры, и *фотонные кристаллы*... Огромное значение процессы самосборки имеют и в живой (рост кораллов, ракушек, зубной эмали...), и в неживой природе (снежинки, опалы...). В настоящее время процессы самосборки начинают активно использоваться и в производстве. В частности, известная компания IBM внедряет процессы самосборки для создания компьютерных чипов нового поколения.

#### *Литература:*

1. Третьяков Ю.Д. Успехи химии. 2003. Т. 72, № 8. С. 731–763.