

## СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ ХИМИЯ (Supramolecular Chemistry)

*«Партитуру химии надо не просто исполнить, ее надо сочинить!»*

*Жан-Мари Лен*



«Ключ-замок» — основной принцип супрамолекулярной химии

Сколько вы обычно носите в сумке или в кармане ключей? Наверняка, у вас есть ключ от внешней и внутренней дверей квартиры, скорее всего, от почтового ящика, ну а у тех, кто работает или водит машину, еще, как минимум, найдется пара ключей. Но сколько бы их ни было, каждый ключ подходит только к строго определенному замку — в этом-то и заключается его смысл. Оказывается, на аналогичном принципе «ключ-замок» основана способность биологических молекул к самоорганизации и селективному взаимодействию с другими частицами, называемая молекулярным распознаванием. Только благодаря ей возможно, например, образование двойных спиралей ДНК или возникновение — в ответ на попадание чуже-

родного тела в организм — иммунных реакций, заключающихся в синтезе специальных белков для нейтрализации «непрощенных гостей». Стремление исследователей реализовать такие процессы в синтетических системах было настолько велико, что привело к формированию на рубеже 80–90-х годов отдельной области химии, названной французским ученым Ж.-М. Леном супрамолекулярной химией (рис. 1).

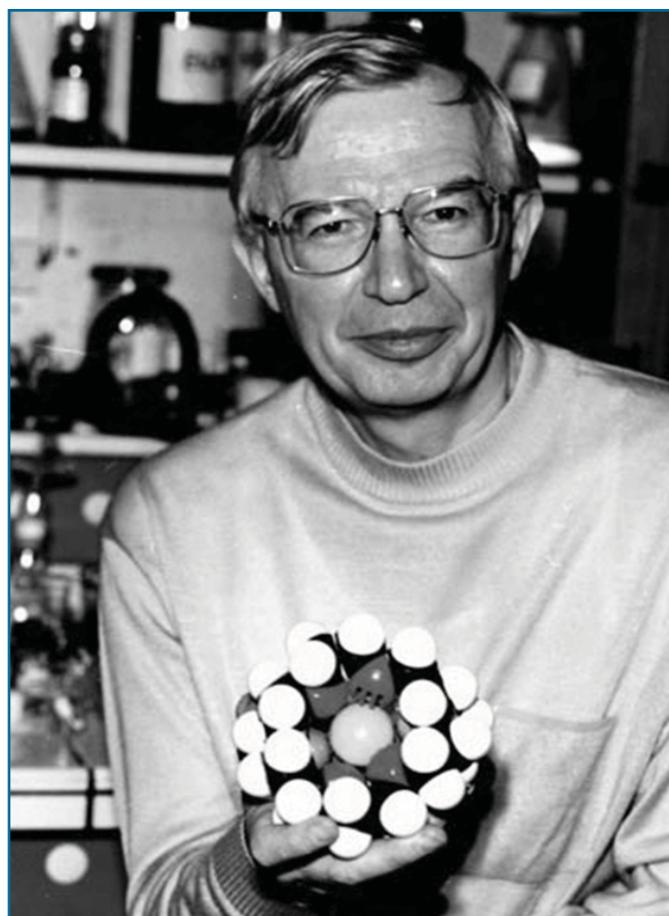
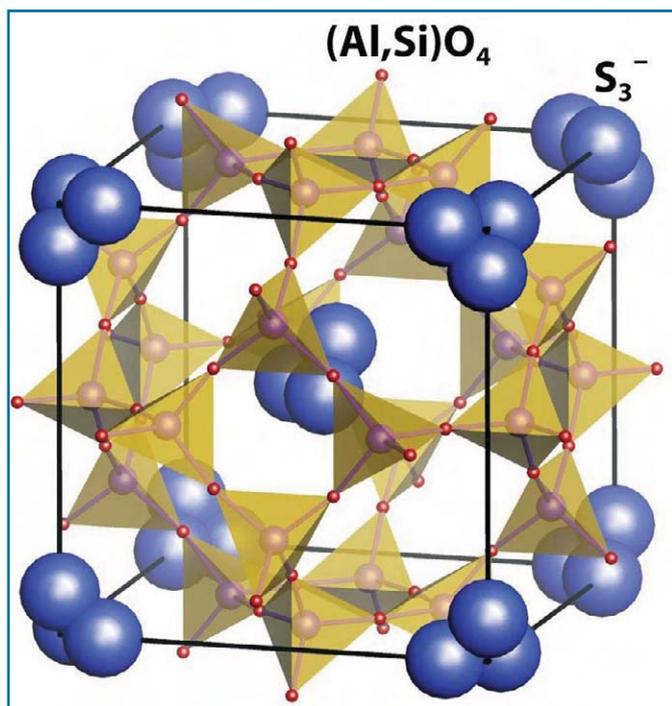


Рис. 1. Нобелевский лауреат Жан-Мари Лен



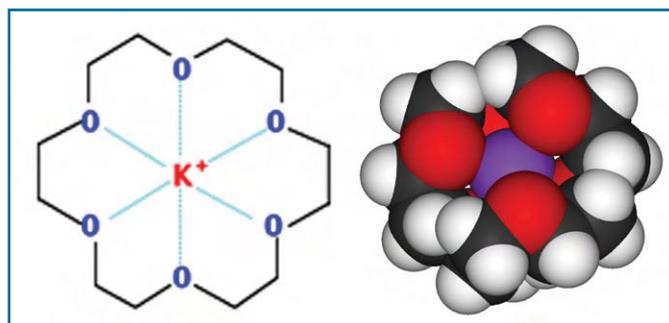
**Рис. 2** Кристаллическая структура синего пигмента ультрамарина — объемные «гостевые» полисульфидные анионы  $S_3^-$  — находятся в пустотах «хозяйского» алюмосиликатного каркаса

Современная супрамолекулярная химия изучает процессы молекулярного распознавания и селективного связывания молекул в так называемые супрамолекулы и супрамолекулярные ансамбли. Супрамолекулы представляют собой отдельные крупные образования, состоящие из большого, но обязательно конечного числа молекулярных олигомеров. В то же время супрамолекулярные ансамбли, к которым относятся мембраны, везикулы, *мицеллы*, *дендримеры*, блоксополимеры, клатраты, являются полимолекулярными системами, возникающими в результате спонтанной ассоциации неопределенного числа компонентов и обладающие пространственной организацией, с которой часто связаны уникальные физико-химические свойства.

Для супрамолекулярных систем важнейшим является принцип комплементарности: геометрическое, топологическое и зарядовое соответствие гостя («субстрата») и хозяина («рецептора») (рис. 2). Размер полости хозяина определяет размер «желанного» гостя; чем точнее соответствие, тем выше устойчивость ансамбля. Во всех супрамолекулярных системах рецептор содержит молекулярные центры (точно так же, как

замок — замочную скважину), нацеленные на селективное связывание определенного субстрата — «ключа». Как и в обычной химии, для связывания молекул между ними должны возникнуть определенные взаимодействия, за счет которых произойдет упорядочение в пространстве молекулярных блоков и сформируется супрамолекулярная архитектура.

Однако, в отличие от привычных нам молекул, в которых атомы объединены ковалентными или ионными связями, в супрамолекулах удерживание отдельных фрагментов происходит за счет невалентных межмолекулярных взаимодействий, к которым относятся водородные связи, электростатические силы и лиофильные—лиофобные взаимодействия. Почему же супрамолекулярные системы не распадаются на составные части, спросите вы — ведь энергия таких взаимодействий в 10–100 раз ниже энергии валентных связей? Конечно, если подвесить тяжелый предмет на тонкой ниточке, то она обязательно порвется, однако если таких нитей будет много, нагрузка распределится между ними равномерно — получится прочный канат. Так же и в случае слабых связей в ансамблях — когда их в системе становится много, это приводит к образованию устойчивых и вместе с тем гибко изменяющих свою структуру ассоциатов. Такое сочетание прочности и способности быстро и обратимо реагировать на внешние воздействия является характерной чертой всех биологических молекулярных систем — нуклеиновых кислот, ферментов, белков. Однако супрамолекулярная химия не ограничивается биологическими системами — аналогичные принципы действуют при образовании, к примеру, краун-эфиров (рис. 3) — наличие кисло-

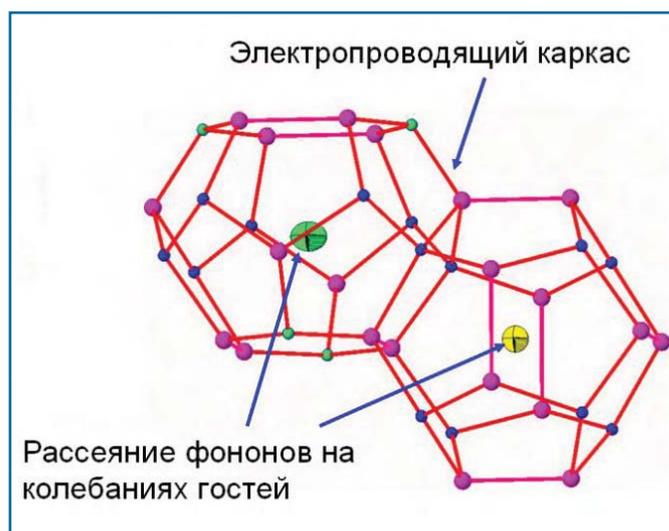


**Рис. 3.** Молекула калиевого комплекса краун-эфира

родных центров делает возможным образование устойчивых комплексов с ионами металлов, селективность к которым строго определяется соотношением размера атома металла объему внутренней полости цикла.

В настоящее время активно развивается химия клатратов и соединений внедрения, внося огромный вклад как в фундаментальные знания, так и в практические разработки новых материалов. Это обусловлено тем, что уже сегодня супрамолекулярные системы находят широкое применение в сорбции и селективном катализе, рассматриваются в качестве наиболее перспективных кандидатов для захоронения радиоактивных отходов и разработки лекарственных препаратов нового поколения. Так, если помимо центров распознавания и связывания рецептор содержит другие функциональные группы, то после образования супрамолекулярной системы он может выступать в роли носителя, осуществляя направленный транспорт связанного с ним субстрата в определенные области организма.

Одной из более «прагматичных» областей применения супрамолекулярных соединений являются термоэлектрические материалы, которые могут быть созданы на основе полупроводниковых клатратов и которые уже сейчас можно поддерживать в руках (рис. 4). В них молекулы хозяина представляют собой решетку, построенную из прочных ковалентных связей. В ее пустотах



**Рис. 4.** Термоэлектрические супрамолекулярные материалы (Химфак МГУ)

располагаются подвижные атомы или молекулы гостя, способные колебаться внутри предназначенного для них объема. Их быстрое движение рассеивает фононы, которые служат проводниками тепла, тем самым снижая теплопроводность кристаллического материала до уровня стекла. В результате возникает новая область техники – супрамолекулярная электроника. Полупроводники нового поколения смогут охлаждать активный элемент настолько, чтобы в ход шли сверхпроводники – а значит, скорости, с которыми работают современные компьютеры и устройства микроэлектроники, могут возрасти во много раз.

#### Литература:

1. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы / Пер. с англ. Новосибирск: Наука, 1998. 334 с/
2. Стойков И.И. Начала супрамолекулярной химии. Казань: ООО «Регенть», 2001. 140 с.