# Макрометоды в микромире

**Сергей Чебанов,**
***д. филол. н.***
***Балтийский государственный технический университет («Военмех»)***
***s.chebanov@gmail.com***

*— Сергей Викторович, ваше представление о нанотехнологиях...*

— Сама мера «нанометр» — старая мера. Помню ее с 1960-х годов, когда она широко использовалась в оптике для измерения длины различных волн. Это диапазон, используемый в спектрометрии и фотоколометрии, который отвечает видимой части светового спектра (свет с длиной волны 600 нм воспринимается как красный, 340 нм — как фиолетовый).

Для морфологической же характеристики клеточных и макромолекулярных структур чаше использовались ангстремы, равные одной десятой нанометра. Однако, в связи с внедрением системы СИ, ангстремы были вытеснены нанометрами как внесистемные — в СИ приняты единицы, кратные $10^3$, и ближайшей к ангстремам такой единицей оказались нанометры. Таким образом, ныне новым является только приложение этой терминологии на значительно более широкие области различной специализации.

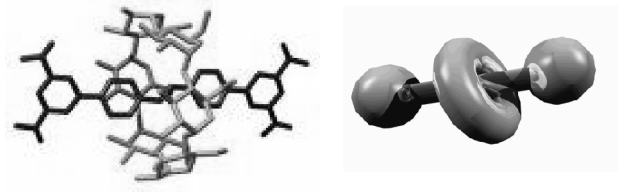
Толчком к развитию проблематики «нано» послужило широкое распространение технологий преднамеренного синтеза углеродных соединений, в первую очередь разнообразных молекул самого графита. Эти молекулы стали собираться из углеродных кластеров разных размеров. Мне кажется, частью это были просто игры химиков, частью попытки постановки содержательных задач.

Как раз в конце 1960-х все и началось: например, цепочка углеродных атомов собиралась в гантелевидное образование, на стержне которого собиралось кольцо, которое снять с построенной гантели было уже невозможно. Получалась принципиально новая молекула, которую невозможно назвать, следуя принципам рациональной номенклатуры органических соединений. Они получили название ротаксанов. Подобная ситуация относится и к молекулам, построенным как цепочки из сцепленных друг с другом колец — катенанов. Заметным событием был и синтез в 1985 г. фуллерена $C_{60}$ — молекулы углерода, состоящей из 60 атомов углерода. Синтез фуллерена считается важным событие на пути развития нанотехнологий.

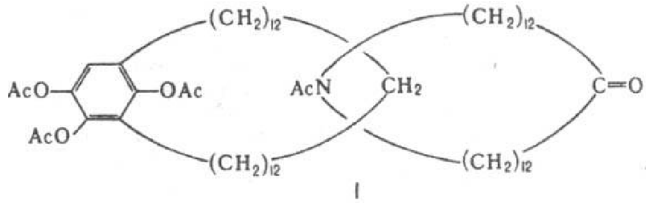
Подозреваю, что все нынешние нанотехнологии выросли из таких игр с углеродом...

Но при этом были использованы многие идеи органической химии и нестехиометрических соединений, которые обычными формулами не описываются. Кроме того, стало ясно, что структуры, подобные получаемым, имеют прямое отношение к таким важным проблемам, как, например, проблема сверхпроводимости...

Одним из важных объектов разработок в этой области являются и нанотрубочки, в частности, углеродные нанотрубочки. Особую роль они играют в клетках живых организмов. Из них построены две

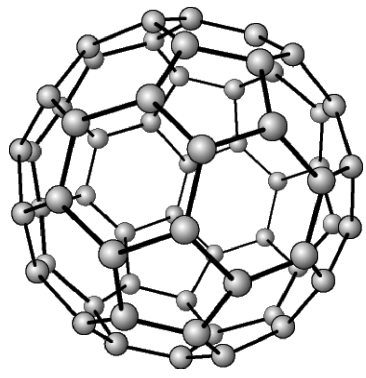


*Ротаксан*




I

*Катенан*



*Фуллерен $C_{60}$*

классические биологические структуры — жгутики и реснички клетки, а также нити веретена.

Во время деления клетки к центриолям крепятся нити веретена, растаскивающие хромосомы по вновь образующимся клеткам:

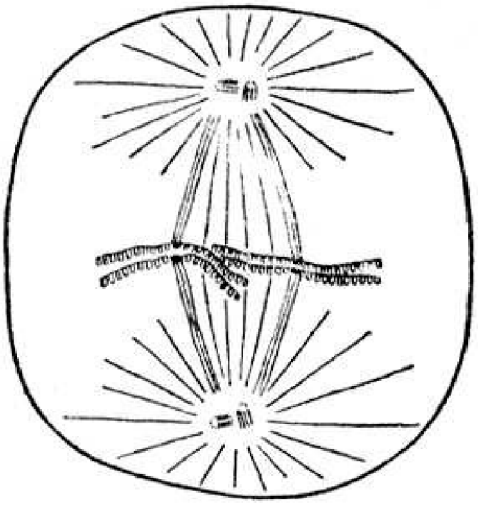
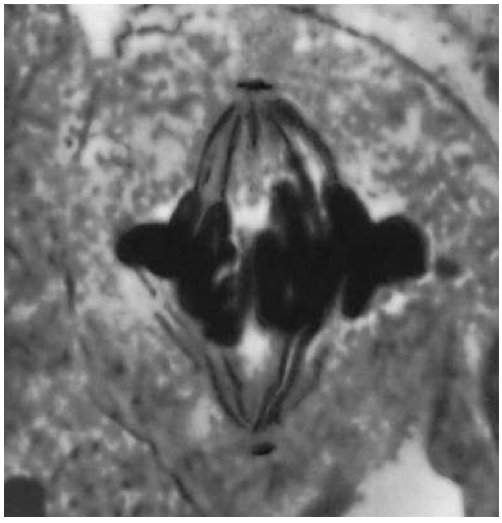


*Схема митотического веретена*



*Фотография митотического веретена*

Другим вопросом, среди возникших в 1970–1980-е гг., был вопрос о том, каким образом молекулы перемещаются в клетке? Например, каким образом белки, синтезируемые на рибосомах, проходят путь от места своего синтеза к месту их использования? Для объяснения подобных процессов задействовалась теория диффузии. Однако только броуновским движением факт переноса молекулы объяснить трудно — в соответствии с ним частица перемещается в клетке хаотически, пока не попадает в нужное место. Сегодня считается, что перемещение частиц внутри клетки — скажем, от места синтеза частицы белка до места ее использования — осуществляется за счет движения по микротрубочке как по рельсам. Броуновскую диффузию предполагать в этом случае не надо, хотя процесс такого перемещения можно описывать уравнениями диффузии, что и делают математики.

Дальнейший прогресс в исследованиях нанодиапазона, по-моему, оказался связанным с чистой техникой. От физиков стали поступать запросы на создание структур с заданными свойствами. А к этому времени подоспели успехи цитологии, связанные с микротрубочками и всем прочим клеточным хозяйством.

*— А с чем остались биологи?*

— С задачей управления движением функционально важных частиц внутри клетки... Сажая на нанотрубочки нужные молекулы и перемещая их, мы приближаемся к созданию продуктов с заданными свойствами.

В этом контексте интересны упомянутые ранее типы необычных химических соединений. Так, ротаксаны представляют собой молекулярное колесо, посаженное на ось. Если закрепляется ось, то можно на «колесо» насаживать какие-то частицы и доставлять их в определенное место. А можно закрепить «колесо», и получить вращающуюся втулку. В качестве молекулярных инструментов можно использовать и фуллерены — их можно наполнить мелкими частицами других веществ и перемещать по клетке в качестве контейнера.

Здесь важно обратить внимание на то обстоятельство, что шаг спирали ДНК и сенсорные клетки наших чувствительных рецепторов — палочки и колбочки сетчатки глаза, волоски улитки внутреннего уха — имеют размер нанодиапазона. Возникает закономерный вопрос — чем объясняется близость размеров синоптических щелей и пузырьков с нейромедиаторами, антигенов и антиген-распознающих рецепторов? Почему все ключевые механизмы имеют наноразмеры?

| Объект | Размер |
|---|---|
| Диаметр молекул ДНК | 2 нм |
| Шаг спирали молекулы ДНК | 3 нм |
| т-РНК | 5–20 нм |
| Сигнальные олигопептиды | 5–20 нм |
| Антитела | 5–20 нм |
| Синаптические пузырьки | 50 нм |
| Палочки сетчатки глаза | 6 нм |

Лобового объяснения этому нет. Одна из возможных идей — здесь та размерность структур, где частицы уже достаточно велики и разнообразны и не определяются безусловно свойствами атомов. Однако при этих размерах еще действуют вандерваальсова сила, силы водородных связей, деликатные воздействия которых могут обеспечить благоприятный контакт частиц друг с другом. Для многих важных процессов необходимо, чтобы это взаимодействие было относительно небыстрым, чтобы при его протекании подгонка друг под друга всех составляющих, складывающихся в единое целое, прошла в несколько стадий. Тогда достигается низкий процент дефектов, то есть отклонений от копируемого либо предполагаемого образца. Если скорость «правильная», то сортировка происходит лучше. Возьмем, как пример,

процесс кристаллизации. Если он протекает быстро, то в образующийся кристалл зачастую попадает много примесей, а при медленной кристаллизации их количество снижено.

Другой пример — если мы увеличиваем скорость роста растений или животных, у них возрастает число патологий, а малая скорость роста вероятность появления патологий снижает. В этом содержится одно из принципиальных, с моей точки зрения, ограничений на применение гормонов... Совсем простой пример — карельская береза. Высокая твердость ее древесины определяется именно медленной скоростью роста.

Можно считать, что наноразмеры обеспечивают высокую чистоту сортировки, поскольку в этом диапазоне все процессы протекают достаточно медленно, и в нем же проявляется воздействие малых сил, а не просто броуновских столкновений частиц и быстрых химических реакций...

Конечно, это только гипотеза. Но ничего другого на данную тему пока нет.

*— Куда отнести силы натяжения?*

— Это уже молекулярные, для нашего случая грубые силы...

*— Чем вы занимаетесь в этой области размеров?*

— Во-первых, уже около десяти лет сотрудничаю в проекте по гранту Национального института здоровья США, работа по которому осуществляется американским университетом Стони Брук, одним из «штатных» университетов штата Нью-Йорк и Центром перспективных исследований СПбГПУ. Университет Стони Брук невелик, однако имеет сильные научные школы — в нем сегодня работает несколько Нобелевских лауреатов. Наша группа объединяет специалистов из Санкт-Петербургского политехнического университета и Физтеха им. А. Ф. Иоффе. Под руководством Марии Григорьевны Самсоновой группа ведет проект по моделированию ранних стадий эмбриогенеза дрозофил. Цель проекта — целостное, системное моделирование генной регуляции процессов морфогенеза. При этом речь идет о генных сетях, функционирование которых связано с процессами, включающими структуры нанодиапазона. Мой вклад в эту работу можно обозначить как определение краевых условий задачи и прослеживание целостных эффектов, их соотнесения с классической эмбриологией. Во-вторых — уже в Балтийском техническом университете («Военмехе») — занимаюсь проблематикой размеров — в том числе в нанодиапазоне — семиотических объектов.

*— Семиотика — наука о знаках и значениях. Какое отношение к ним имеют размеры?*

— Размер знака не может быть безразличен. Важно получить достоверную статистику на этот счет, вытащить ее из имеющихся хаотических данных... Немалое количество наблюдений подтверждает, что организация тела знака небезразлична для его семиотического статуса. Пока систематических работ на эту тему нет, и даже по-прежнему утверждается, что семиотика начинается тогда, когда физическая организация тела знака оказывается незначимой. А наличие «наносемиотических» объектов — еще один повод не согласиться с этим утверждением. «Военмех» сейчас вплотную подходит к практической разработке нанотехнологий, и я думаю, как включать в дипломные работы студентов биосемиотическую проблематику...

*— Говорят, что на наноуровне химия, физика, биология становятся другими, или что разница между ними вообще стирается. Сохраняются ли специфические методы этих наук?*

— И биологи, и физики, и химики — по крайней мере, с конца XIX века — активно работают на этом размерном уровне, и он им хорошо знаком. Другое дело, что до недавнего времени не было инструментов для занятий технологиями в этом диапазоне размеров. С этой точки зрения последние десятилетия стали прорывными — такие инструменты учеными были получены.

Если же говорить о соотношении физики, химии и биологии, то картина получается примечательная. В технологическом аспекте действительно происходит размывание границы между физикой и химией — физикалистская картина мира и ее успехи «пожирают» химию. Нужны особые усилия, чтобы сохранить в такой ситуации специфику химии. К месту заметить, что Советский Союз, а ныне Россия — одна из немногих стран, где она преподается в средней школе как отдельный предмет. В других странах то, что преподносится в курсе химии средней школы, включено в курс физики. И методика преподавания в какой-то мере закладывает особенности будущей работы исследователя...

Ведь на чем основана химия? Это учение о разнообразии атомов, и о том, что из этого разнообразия следует. Однако все интересные эффекты, которые отслеживает химия, можно рассматривать как частные случаи, объясняемые общим учением об атоме... В России же учебные планы сложились таким образом, что это разнообразие выделяется в отдельный учебный предмет.

Вероятно, у этого существуют определенные культурологические предпосылки. Это восходит в иерархическому типу мышления, характерному для византийской интеллектуальной традиции. В этом ключе, например, была сделана такая яркая вещь для русской науки как таблица Менделеева

*— Таблица Менделеева как византийский след в русской науке?*

— Систематика ангельских иерархий, различения разных ипостасей жизни, разрабатываемых византийскими богословами, в чем-то эту таблицу предвещает... Вероятно, восточно-христианская идея об организации многообразия отразилась не только в

таблице Менделеева — сюда же можно отнести учение о гомологических рядах органических молекул А. М. Бутлерова, создание Федоровских групп симметрии кристаллов, положивших начало систематической кристаллографии, и треугольник гласных Л. В. Щербы, легший в основу структурной лингвистики. Поразительно, как все это возникло и уместилось на столь малом пространстве и в малые сроки — все произошло практически во дворе Санкт-Петербургского университета за четыре десятка лет...

*— Есть ли какой-то смысл в разделении нанонауки и нанотехнологии?*

— Нанонауки как таковой нет, потому что, как уже отмечено, этот диапазон давно и успешно изучается, и никаких специфических научных проблем здесь не возникает. А технологически «нано» очень интересно, потому что в нем можно практически использовать мягкие атомарные силы и силы не очень больших молекул. Здесь феноменология поведения агрегатов молекулярных комплексов подчиняется детерминистическим закономерностям физики школьной: вот падает камень, вот мы рассчитываем его траекторию... Поэтому манипулировать с такими комплексами можно как с макроскопическими объектами.

Другими словами, мы приходим к работе методами макромира в микромире. Когда такое стало действительно возможным, стали доступны результаты, которые никакими другими способами недостижимы. Безусловно, в нанодиапазоне нас ожидают кардинальные перемены в производственных практиках. В теоретическом плане это также дает интересным материал для разработки представлений о связях закономерностей микро- и макромира.