

Нанотехнологии: мифы, блефы и реалии

Генрих Эрлих, доктор химических наук, заместитель генерального директора Политехнического музея по науке, лауреат Премии Ленинского комсомола в области науки и техники, российский писатель, популяризатор науки

Любой вид человеческой деятельности обрастает мифами. Нанотехнологии, ставшие предметами главных научно-технологических задумок современности, не исключение. Более того, здесь мифотворчество касается самой сути основ современной науки. Большинство людей, даже принадлежащих к научному сообществу, убеждены, что нанотехнологии — это в первую очередь манипулирование атомами и конструирование объектов посредством сборки из атомов. Это — главный миф.

Научные мифы имеют двоякую природу. Одни порождаются неполнотой нашего знания о природе или недостатком информации. Другие создаются сознательно, с определенной целью. В случае нанотехнологий мы имеем второй вариант. Благодаря этому мифу и вытекающим из него следствиям удалось привлечь внимание власть имущих и резко ускорить запуск проекта «Нанотехнологии» с автокаталитическим ростом объема инвестиций. В сущности, это было шулерство, вполне допустимое правилами игры на высшем уровне. Миф сыграл свою благотворную роль инициатора и катализатора процесса, и был благополучно забыт, когда дело дошло собственно до технологий.

Но мифы обладают удивительным свойством: родившись, они начинают жить собственной жизнью, демонстрируя при этом поразительную живучесть и долголетие. Они настолько прочно укореняются в сознании людей, что влияют на восприятие действительности. Реальные нанотехнологические проекты, как зарубежные, так и «Роснано», в корне противоречат упомянутому мифу, что порождает сумятицу в головах. Поэтому большинство людей до сих пор не понимает, что такое нанотехнологии, они вызывают неприятие (это не настоящие нанотехнологии!) и даже отрицание как таковых.

Помимо главного мифа история нанотехнологий являет нам несколько сопутствующих мифов, которые возбуждающе действуют на разные группы населения, порождая необоснованные надежды у одних и панический страх у других.

Миф об отце-основателе

Самый безобидный в череде мифов – приписывание Ричарду Фейнману, специалисту в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц, роли отца-основателя нанотехнологий. Этот миф возник в 1992 году во время выступления пророка нанотехнологий Эрика Дрекслера перед сенатской комиссией на слушаниях на тему «Новые технологии для устойчивого развития». Для продавливания придуманного им нанотехнологического проекта Дрекслер сослался на высказывание Нобелевского лауреата по физике, незыблемого авторитета в глазах сенаторов.

К сожалению, Фейнман скончался в 1988 году и поэтому не мог ни подтвердить, ни опровергнуть это высказывание. Но если бы он мог его услышать, то, скорее всего, весело рассмеялся бы. Ведь он был не только выдающимся физиком, но и знаменитым шутником, недаром его автобиографическая книга носила название: «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» Соответственно была воспринята та самая прославленная речь Фейнмана, которую он произнес на предновогоднем ужине Американского общества физики в Калифорнийском технологическом институте.

По воспоминаниям одного из участников того собрания американского физика Пола Шликта, «реакцию зала в общем и целом можно назвать веселой. Большинство подумало, что докладчик валяет дурака». Но слова: «Известные нам принципы физики не запрещают создавать объекты «атом за атомом». Манипуляция атомами вполне реальна и не нарушает никаких законов природы», – были сказаны, это факт. Остальное представляло собой рассуждения на тему миниатюризации вкупе с футурологическими прогнозами.

По прошествии четверти века некоторые из высказанных Фейнманом идей были «творчески» развиты Эриком Дрекслером и породили главные мифы нанотехнологий. Далее мы будем часто возвращаться к этой речи, чтобы напомнить, что на самом деле говорил Фейнман, а заодно получить удовольствие от четкости и образности формулировок великого ученого.

Миф о безотходных технологиях

Если создавать объект атом за атомом, то речь, очевидно, будет идти о применении безотходной технологии. Слово «очевидно» употреблено здесь в самом, что ни есть, первоначальном смысле. Это когда люди, в первую очередь чиновники, смотрят на картинки,

изображающие процесс манипулирования атомами, и не видят никаких отходов, никаких дымящих труб, загрязняющих атмосферу, и промышленных стоков, загрязняющих водоемы.

По умолчанию понятно, что для перетаскивания почти невесомого атома на расстояние в несколько нанометров требуется ничтожное количество энергии. В общем, идеальная технология для «устойчивого развития» — концепции, чрезвычайно популярной в 90-е годы прошлого столетия. Вопрос, откуда появляются атомы для сборки почти неприличен. Естественно, со склада, откуда их, наверно, доставляют экологически чистые электрокары.

Подавляющая часть населения вообще слабо представляет, откуда что берется. Например, материалы, из которых сделаны различные промышленные товары, которые мы потребляем во все больших количествах. Связь этих товаров с химической промышленностью не просматривается. Химия как наука скучна и не очень нужна, а химическая промышленность как, безусловно, вредная для окружающей среды подлежит закрытию. Помимо всего прочего, химическая промышленность, по мнению большинства, хищнически расходует природные ресурсы, используя для своих процессов нефть, газ, руды, минералы.

Для новых же технологий, как представляют себе ее приверженцы, нужны лишь атомы: вот в этом отсеке склада у нас хранятся атомы золота, в следующем — атомы железа, потом атомы натрия, атомы хлора, в общем, вся периодическая система Менделеева. Вынуждены разочаровать авторов этой идиллической картины: атомы сами по себе, за исключением атомов инертных газов, существуют лишь в вакууме, во всех остальных условиях они вступают во взаимодействие с себе подобными или другими атомами, то есть в химическое взаимодействие с образованием химических соединений. Такова природа вещей, и с этим ничего нельзя поделать.

Любая технология для ее реализации требует средств производства, которые также ускользают от внимания апологетов сборки объектов из атомов. Впрочем, иногда, подобные средства, наоборот, привлекают их внимание и потрясают до глубины души. К примеру, туннельные и силовые микроскопы — это красивейшие устройства, зримое свидетельство мощи человеческого разума. И лаборатории, в которых занимаются манипулированием атомами, являют прообраз создателей технологий будущего в духе «Третьей волны» Элвина Тоффлера. Это, так называемые чистые комнаты с кондиционированием и специальной очисткой воздуха, устройства, исключающие малейшую вибрацию, специальная одежда операторов... И все это тоже будут безотходно собирать из атомов, включая фундамент, стены и крышу помещений?

Полагаю, утвердительно ответить на этот вопрос не рискнут даже самые ярые приверженцы нанотехнологий. Человечество когда-нибудь создаст безотходные, экологически чистые технологии, но они будут основаны на других принципах или на принципиально иной технике.

Миф о наномашинах

Собственно говоря, изначально речь и шла о другой технике. Идея о том, что для конструирования на наноуровне необходимо иметь манипулятор соответствующего размера, очевидна. Вот как видел реализацию этой идеи Ричард Фейнман:

«Предположим, что я изготовил устройство из десяти рук-манипуляторов, уменьшенных в четыре раза, и присоединил их проводами к исходной системе рычагов управления, так что эти манипуляторы одновременно и точно повторяют мои движения. Затем я вновь изготовлю набор из десяти манипуляторов в четверть нормальной величины. Естественно, что первые десять манипуляторов при этом изготовят 100 манипуляторов, уменьшенных, однако, уже в 16 раз... Ничто не мешает продолжить этот процесс и создать сколько угодно крошечных станков, поскольку это производство не имеет ограничений, связанных с размещением станков и их материалоемкостью. Понятно, что это сразу снимает и проблему стоимости материалов. В принципе, мы могли бы организовать миллионы одинаковых миниатюрных заводиков, на которых крошечные станки непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п.»

Этот подход — прямолинейная реализация идеи создания миниатюрных устройств. Он, пусть и со многими ограничениями, работает на микроуровне, подтверждением чему служат микроэлектромеханические устройства. Их используют в системах раскрытия подушек безопасности в автомобилях при авариях, в лазерных и струйных принтерах, датчиках давления, бытовых кондиционерах и индикаторах уровня топлива в бензобаке, в кардиостимуляторах и джойстиках игровых приставок. Разглядывая их под микроскопом, мы увидим привычные шестеренки и валы, цилиндры и поршни, пружины и клапаны, зеркала и микросхемы.

Но нанообъекты обладают свойствами, отличными от свойств макро- и микрообъектов. Если мы найдем способ, как пропорционально уменьшить размеры транзисторов с сегодняшних 45—65 нм до 10 нм, то они просто не будут работать, потому что электроны начнут туннелировать через слой изолятора. А соединительные провода истончатся до цепочки атомов, которые и ток будут проводить не так, как массивные образцы, и станут разбредаться в стороны из-за

теплового движения или, наоборот, собираться в кучку, прерывая требуемые электрические контакты.

То же относится и к механическим свойствам. При уменьшении размера микрообъекта растет отношение его площади поверхности к объему, а чем больше поверхность, тем больше трение. В результате нанобъекты буквально приклеиваются друг к другу или к поверхностям, которые для них вследствие их собственной малости кажутся ровными.

Это полезное качество для цепкопалой ящерицы - геккона, который легко шагает по вертикальной стене, но крайне вредное для любого устройства, которому надо ехать или скользить по горизонтальной поверхности. Чтобы сдвинуть его с места, придется затратить непропорционально много энергии, но мала инерция, и движение быстро прекращается.

Нетрудно сделать наномаятник, прицепив частицу золота диаметром в несколько нанометров к углеродной нанотрубке диаметром 1 нм и длиной в 100 нм, и подвесить его к пластинке кремния. Но этот маятник, если раскачать его в воздухе, почти сразу остановится, потому что даже воздух — существенное препятствие для него.

У нанобъектов, как говорится, высокая парусность, их вообще легко сбить с пути истинного. Через микроскоп можно наблюдать броуновское движение — беспорядочные метания мелкой твердой частички в воде. Альберт Эйнштейн еще в 1905 году объяснил причину этого явления: молекулы воды, находящиеся в постоянном тепловом движении, ударяются о поверхность частицы, и нескомпенсированность силы ударов с разных сторон приводит к тому, что частица хаотично перемещается в том или ином направлении. Если уж частица размером 1 мкм чувствует силу ударов маленьких молекул и изменяет направление движения, то что говорить о частице размером 10 нм, которая весит в миллион раз меньше, и для которой соотношение массы к площади поверхности меньше в 100 раз.

И, тем не менее, в научной и научно-популярной литературе, особенно в публикациях СМИ, постоянно встречаются описания наноконструкций различных механических деталей, шестеренок, гаечных ключей, колес, осей и даже редукторов. Предполагается, что из них будут созданы действующие модели наномашин и других устройств. Не надо относиться к этим публикациям с излишней серьезностью, осуждая, недоумевая или восхищаясь. «Я лично убежден, что мы, физики, могли бы решать такие задачи просто ради интереса или забавы», — сказал Ричард Фейнман.

Но физики шутят. На самом же деле они полностью отдают себе отчет в том, что для создания наномеханических или наноэлектромеханических устройств необходимо использовать конструкционные подходы, отличные от создания макро- и микроаналогов. И здесь для начала даже изобретать ничего не надо, потому что природа за миллиарды лет эволюции создала столько различных молекулярных машин, что нам многих лет не хватит, чтобы в них разобраться, скопировать, приспособить для своих нужд и попытаться что-то улучшить.

Наиболее известный пример природного молекулярного мотора — так называемый флагеллярный мотор бактерий (см. «Молекулярные машины» - «Химия и жизнь», 2010 г. № 2). Другие биологические машины обеспечивают сокращение мышц, биение сердца, транспорт питательных веществ и перенос ионов через клеточную мембрану. КПД молекулярных машин, превращающих химическую энергию в механическую работу, во многих случаях близок к 100%. При этом они чрезвычайно экономичны, например, на работу электромоторов, обеспечивающих движение бактерии, затрачивается менее 1% энергетических ресурсов клетки.

Мне представляется, что описанный биомиметический (от латинских слов «биос» — жизнь и «миметис» — подражание) подход — наиболее реалистичный путь создания наномеханических устройств. Это одна из тех областей, где содружество физиков и биологов на уровне нанотехнологий может принести ощутимые результаты.

Мифы о нанороботах

Предположим, что мы создали на бумаге или на экране компьютера эскиз наноустройства. Как бы его собрать, и желательно не в одном экземпляре? Можно, следуя Фейнману, создать «крошечные станки, которые непрерывно сверлили бы отверстия, штамповали детали и т. п.», и миниатюрные манипуляторы для сборки готового изделия. Эти манипуляторы должны управляться человеком, то есть иметь некую макроскопическую оснастку или, по крайней мере, действовать согласно заданной человеком программе. Кроме того, необходимо как-то наблюдать за всем процессом, например, с помощью электронного микроскопа, также имеющего макроразмеры.

Альтернативную идею выдвинул в 1986 году американский инженер Эрик Дрекслер в футурологическом бестселлере «Машины созидания». Выросший, как все люди его поколения, на книгах Айзека Азимова, он предложил использовать для производства наноустройств механические машины соответствующих (100—200 нм) размеров — нанороботы.

Речь уже не шла о сверлении и штамповке, эти роботы должны были собирать устройство непосредственно из атомов, поэтому они были названы ассемблерами — сборщиками. Но подход оставался чисто механическим: сборщик был оснащен манипуляторами длиной в несколько десятков нанометров, двигателем для перемещения манипуляторов и самим роботом, включая упомянутые ранее редукторы и передачи, а также автономным источником энергии. На круг выходило, что наноробот должен состоять из нескольких десятков тысяч деталей, а каждая деталь из одной-двух сотен атомов.

Проблема визуализации атомов и молекул как-то незаметно растворилась, и казалось вполне естественным, что наноробот, оперирующий объектами сопоставимых с ним размеров, «видит» их, как человек видит гвоздь и молоток, которым он забивает этот гвоздь в стену. Важнейшим узлом наноробота был, конечно, бортовой компьютер, который управлял работой всех механизмов, и определял какой атом, или какую молекулу следовало захватить манипулятором и в какое место будущего устройства их поставить.

Линейные размеры этого компьютера не должны были превышать 40—50 нм, что составляет габариты одного транзистора, достигнутые промышленной технологией нашего времени через 25 лет после написания Дрекслером книги «Машины созидания».

Но ведь Дрекслер и адресовал свою книгу в будущее, причем в далекое будущее. На момент написания книги ученые еще не подтвердили даже принципиальную возможность манипулирования отдельными атомами, не говоря о сборке из них хоть каких-нибудь конструкций. Это случилось лишь через четыре года. Устройство, использованное для этого впервые и используемое до сих пор — туннельный микроскоп, который имеет вполне осязаемые размеры в десятки сантиметров в каждом измерении, и управляется человеком с помощью мощного компьютера с миллиардами транзисторов.

Но мечта-идея о нанороботах, собирающих материалы и устройства из отдельных атомов, была настолько красивой и заманчивой, что это открытие лишь придало ей убедительности. Не прошло и нескольких лет, как в нее уверовали далекие от науки сенаторы США, журналисты, а с их подачи — общественность. И что совсем удивительно, в нее уверовал сам автор настоящей статьи, который продолжал отстаивать эту идею-мечту даже тогда, когда ему доходчиво объяснили, что идея нереализуема в принципе.

Аргументов против таких механических устройств множество, но приведем лишь самый простой, выдвинутый Ричардом Смолли: манипулятор, «захвативший» атом, соединится с ним навеки вследствие химического взаимодействия. Смолли был лауреатом Нобелевской премии по химии и знал что говорил. Но мифическая идея продолжала жить своей жизнью и дожила до наших дней, заметно усложнившись и дополнившись различными приложениями.

Наиболее популярен миф о миллионах нанороботов-медиков, которые будут шнырять по нашему организму, диагностировать состояние различных клеток и тканей, ремонтировать поломки с помощью наноскальпеля, рассекать и демонтировать раковые клетки, наращивать костную ткань сборкой из атомов, соскребать холестериновые бляшки с помощью нанолопатки, а в мозгу избирательно разрывать синапсы, ответственные за неприятные воспоминания. И еще они станут докладывать о проделанной работе, передавая через наноантенну сообщения вроде Алекс — Юстасу: «Выявлено повреждение митрального клапана. Поломка устранена».

Но именно последнее обстоятельство, а не сам миф, вызывает серьезную озабоченность общественности: ведь это разглашение частной информации — сообщение наноробота может быть получено и расшифровано не только врачом, но и посторонним. Подобного рода обеспокоенность подтверждает, что во все остальное люди верят безоговорочно.

Верят они и в нанороботов-шпионов, в «умную пыль», которая будет проникать в наши квартиры, наблюдать за нами, подслушивать наши разговоры и опять же передавать полученные видео- и аудиоматериалы посредством нанопередатчика с наноантенной. Или в нанороботов-убийц, поражающих людей и технику с помощью нанозарядов, возможно, даже ядерных.

Самое удивительное, что почти все описанное может быть создано, а что-то уже создано, но не в нановидах. Это и инвазивные диагностические системы, сообщающие о состоянии организма, и лекарственные средства, действующие на определенные клетки, и системы, очищающие наши сосуды от атеросклеротических бляшек, и наращивание костной ткани, и стирание воспоминаний, и невидимые системы дистанционного слежения, и «умная пыль».

Однако все эти системы настоящего и будущего не имеют и не будут иметь никакого отношения к механическим нанороботам в духе Дрекслера, за исключением размера. Они будут созданы совместными усилиями физиков, химиков и биологов, ученых, работающих на ниве синтетической науки, называемой нанотехнологиями.

Миф о физическом методе синтеза веществ

В своей лекции Ричард Фейнман невольно выдал тайную вековую мечту физиков: «И, наконец, размышляя в этом направлении (возможности манипулирования атомами), мы доходим до проблем химического синтеза. Химики будут приходить к нам, физикам, с конкретными заказами: «Слушай, друг, не сделаешь ли ты молекулу с таким-то и таким-то распределением атомов?». Химики для приготовления молекул используют сложные, и даже таинственные операции и приемы.

Обычно для синтеза намеченной молекулы им приходится довольно долго смешивать, взбалтывать и обрабатывать различные вещества. Как только физики создают устройство, способное оперировать отдельными атомами, вся эта деятельность станет ненужной. Тогда химики будут заказывать синтез, а физики — просто «укладывать» атомы в нужном порядке».

Химики не синтезируют молекулу, химики получают вещество. Вещество, его получение и превращения — предмет химии, по сей день загадочный для физиков. Молекула — это группа атомов, не просто уложенных в нужном порядке, но еще и соединенных химическими связями. Прозрачная жидкость, в которой на два атома водорода приходится один атом кислорода, может быть водой, а может быть и смесью жидких водорода и кислорода. Предположим, что нам каким-то образом удалось сложить кучку из восьми атомов — двух атомов углерода и шести атомов водорода. Физик эту кучку представится, наверное, молекулой этана C_2H_6 , но химик укажет еще как минимум две возможности соединения атомов.

Пусть мы хотим получить этан методом сборки из атомов. Как это можно сделать? С чего начинать: сдвинуть два атома углерода или приставить атом водорода к атому углерода? Вопрос на засыпку, в том числе и для автора. Проблема в том, что ученые пока научились манипулировать атомами, во-первых, тяжелыми, а во-вторых, не очень реакционноспособными. Довольно сложные конструкции собраны из атомов ксенона, золота, железа. Как оперировать легкими и чрезвычайно активными атомами водорода, углерода, азота и кислорода, не совсем понятно. Так что с поатомной сборкой белков и нуклеиновых кислот, о которой некоторые авторы говорят как о деле практически решенном, придется повременить.

Есть еще одно обстоятельство, существенно ограничивающее перспективы «физического» метода синтеза. Как уже было сказано, химики не синтезируют молекулу, а получают вещество. Вещество состоит из огромного числа молекул. В 1 мл воды содержится примерно 3×10^{22} молекул воды. Возьмем более привычный для нанотехнологий объект — золото. В кубике золота объемом 1 см^3 содержится примерно 6×10^{22} атомов золота. Сколько времени потребуется, чтобы собрать такой кубик из атомов?

Работа на атомно-силовом или туннельном микроскопе по сей день сродни искусству, недаром для нее требуется специальное и очень хорошее образование. Работа ручная: зацепи атом, перетащи на нужное место, оцени промежуточный результат. По скорости — приблизительно как кирпичная кладка. Чтобы не пугать читателя немислимыми числами, предположим, что мы нашли способ как-то механизировать и интенсифицировать процесс и можем укладывать по миллиону атомов в секунду. В этом случае на сборку кубика объемом 1 см^3 мы затратим два миллиарда лет, примерно столько же, сколько потребовалось природе, чтобы методом проб и ошибок создать весь живой мир и нас самих как венец эволюции.

Именно поэтому Фейнман говорил о миллионах «заводиков», не оценивая, впрочем, их возможную производительность. Именно поэтому даже миллион нанороботов, снующих внутри нас, не решат проблемы, потому что нам не хватит жизни, чтобы дождаться результата их трудов. Именно поэтому Ричард Смолли настоятельно призывал Эрика Дрекслера исключить из публичных выступлений всякое упоминание о «машинах созидания», дабы не вводить общественность в заблуждение этой антинаучной чушью. Так что же, на этом методе получения веществ, материалов и устройств можно ставить крест? Нет, отнюдь.

Во-первых, с помощью той же самой техники можно манипулировать не атомами, а существенно более крупными строительными блоками, например углеродными нанотрубками. При этом снимаются проблемы соединения легких и реакционноспособных атомов, а производительность автоматически возрастет на два-три порядка. Это, конечно, еще слишком мало для настоящей технологии, но таким методом уже сейчас ученые получают в лабораториях единичные экземпляры простейших наноустройств.

Во-вторых, можно придумать множество ситуаций, когда внесение атома, наночастицы или даже просто физическое воздействие иглы туннельного микроскопа инициирует процесс самоорганизации, физических или химических превращений в среде. Например, цепной реакции полимеризации в тонкой пленке органического вещества, изменения кристаллической структуры неорганического вещества или конформации биополимера в определенной окрестности точки воздействия. Высокоточное сканирование поверхности и многократное

воздействие позволят создать протяженные объекты, характеризующиеся регулярной наноструктурой.

И, наконец, этим способом могут быть получены уникальные образцы — шаблоны для дальнейшего размножения другими методами. Скажем, шестиугольник из атомов металла или единичная молекула. Но как размножить единичную молекулу? Невозможно, скажете вы, это какая-то ненаучная фантастика. Почему же? Природа прекрасно умеет создавать множественные, абсолютно идентичные копии, как отдельных молекул, так и целых организмов. В обиходе это называется клонированием. О полимеразной цепной реакции слышали даже люди, далекие от науки, но хотя бы раз посетившие современную медицинскую диагностическую лабораторию.

Эта реакция позволяет размножить единственный фрагмент молекулы ДНК, извлеченный из биологического материала или синтезированный искусственно химическим путем. Для этого ученые используют «молекулярные машины», созданные природой, — белки и ферменты. Почему мы не можем сделать аналогичные машины для клонирования других молекул, а не только олигонуклеотидов?

Рискну немного перефразировать Ричарда Фейнмана: «Известные нам принципы химии не запрещают клонировать единичные молекулы. «Размножение» молекул по образцу вполне реально и не нарушает никаких законов природы».

Миф о "серой слизи"

Элементарное соображение о чрезвычайно низкой (по массе) производительности нанороботов, естественно, не прошло мимо внимания Эрика Дрекслера. В мире «машин созидания» были и другие проблемы, которые мы за недостатком места не обсуждали подробно, например контроль качества, освоение выпуска новой продукции и источники сырья, откуда и как появляются атомы на «складе»...

Для решения этих проблем Дрекслер ввел в концепцию еще два типа устройств. Первый — разборщики, антиподы сборщиков. Разборщик, в частности, должен изучать строение нового объекта, записывая в память нанокomпьютера его поатомную структуру. Не устройство, а мечта, мечта химиков!

Несмотря на все достижения современной исследовательской техники, мы не «видим» все атомы, например, в белке. Установить точную структуру молекулы возможно только в том случае, если она вместе с миллионами других таких же молекул образует кристалл. Тогда, используя метод рентгеноструктурного анализа, мы можем определить точное, до тысячных долей нанометра, расположение всех атомов в пространстве. Это длительная, трудоемкая процедура, требующая громоздкого и дорогого оборудования.

Второй тип устройств — созидатели или репликаторы. Их основные задачи — поточное производство сборщиков и сборка себе подобных репликаторов, то есть размножение. По замыслу их создателя репликаторы — намного более сложные устройства, чем простые сборщики, они должны состоять из сотни миллионов атомов (на два порядка меньше, чем в молекуле ДНК) и соответственно иметь размер порядка 1000 нм. Если продолжительность их репликации будет измеряться минутами, то, размножаясь в геометрической прогрессии, они за сутки создадут триллионы репликаторов, те произведут квадрильоны специализированных сборщиков, которые приступят к сборке макрообъектов, домов или ракет.

Легко представить ситуацию, когда функционирование системы перейдет в режим производства ради производства, безудержного накопления средств производства — самих нанороботов, и когда вся их деятельность сведется к увеличению собственной популяции. Такой вот бунт машин эпохи нанотехнологий. Для собственного строительства нанороботы могут получить атомы только из окружающей среды, поэтому разборщики начнут разбирать на атомы все, что попадет под их цепкие манипуляторы. В результате по прошествии какого-то времени вся материя и, что самое обидное для нас, биомасса превратятся в скопище нанороботов, в «серую слизь», как образно назвал ее Эрик Дрекслер.

Каждая новая технология порождает сценарии неотвратимого конца света, обусловленные ее внедрением и распространением. Миф о серой слизи — лишь исторически первый такой сценарий, связанный с нанотехнологиями, но очень образный, поэтому его так любят журналисты и кинематографисты. К счастью, такой сценарий невозможен.

Если, несмотря на все сказанное выше, вы еще верите в возможность сборки чего-либо существенного из атомов, задумайтесь над двумя обстоятельствами. Во-первых, у описанных Дрекслером репликаторов не хватает сложности для создания себе подобных устройств — ста миллионов атомов мало не только для создания управляющего процессом сборки компьютера, но даже одной его памяти. Если предположить недостижимое, что каждый атом несет один бит информации, то объем этой памяти будет 12,5 мегабайт, а этого слишком мало. Во-вторых, у репликаторов возникнут проблемы с сырьем.

Элементный состав электромеханических устройств принципиально отличается от состава объектов окружающей среды и в первую очередь от биомассы. Поиск, извлечение и доставка атомов необходимых элементов, требующие огромных затрат времени и энергии, вот что будет определять скорость воспроизводства.

Если спроецировать ситуацию на макроразмер, то это то же самое, что собирать станок из материалов, которые необходимо найти, добыть, а потом доставить с различных планет Солнечной системы. Недостаток жизненных ресурсов ставит предел безудержному распространению любых популяций, куда более приспособленных и совершенных, чем мифические нанороботы.

Заключение

Перечень мифов можно продолжить. Миф о нанотехнологиях как локомотиве экономики достоин отдельной статьи. Ранее в статье «Нанотехнологий как национальная идея» (см. «Химию и жизнь», 2008, № 3) мы старались развеять миф о том, что «Национальная нанотехнологическая инициатива» США — это сугубо технологический проект.

Мифом является и каноническая история нанотехнологий, ключевым событием которой считается изобретение туннельного электронного микроскопа. Последнее легко объяснимо. «Историю пишут победители», а глобальный проект под названием «Нанотехнологии», в значительной мере определяющий лицо и финансирование современной науки, пробили физики. За это мы все, исследователи, работающие в этой и смежной областях, выражаем физикам свою бесконечную признательность.

Мифы сыграли свою положительную роль - они породили энтузиазм и привлекли внимание политической и экономической элиты, а также общественности к нанотехнологиям. Однако на этапе практической реализации нанотехнологий пора забыть об этих мифах и перестать повторять их из статьи в статью, из книги в книгу. Ведь мифы тормозят развитие, задают неверные ориентиры и цели, порождают непонимание и страхи.

И, наконец, необходимо написать новую историю нанотехнологий – новой науки XXI века, синтетической науки области естествознания, объединяющей физику, химию и биологию.
Химия и жизнь