

Текст № 6

Статья Генриха Владимировича Эрлиха, доктора химических наук, члена Редакционно-издательского и Информационного совета Нанотехнологического общества России, поможет вам разобраться, что из ваших знаний о нанотехнологиях — правда, а что — всего лишь миф. Статья приведена с небольшими сокращениями.

Г.В. Эрлих «Мифы нанотехнологий»

Любой вид человеческой деятельности обрастает мифами. Нанотехнологии, главный научно-технологический проект современности, не исключение. Более того, здесь мифотворчество касается самой сути. 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 небольшое шулерство, вполне допустимое правилами игры на высшем уровне. Миф сыграл свою благотворную роль инициатора 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 процессы, как зарубежные, так и проекты «Роснано», в корне противоречат мифу, что порождает сумятицу в головах (большинство людей до сих пор не понимает, что такое нанотехнологии), неприятие (это не настоящие нанотехнологии!) и даже отрицание нанотехнологий 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 нанотехнологии. Этот миф возник в 1992 году во время выступления проро-

ка нанотехнологии 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, незыблемый авторитет 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. 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 нанотехнологии. 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 безотходной технологии

Создавая объект атом за атомом, мы, очевидно, применяем безотходную технологию. Слово «очевидно» употреблено здесь в самом что ни есть первоначальном смысле — когда люди, в первую очередь чиновники, смотрят на картинки, изображающие процесс манипулирования атомами, они 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 большем количестве. 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. А для новой технологии, как представляют 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, в химическое взаимодействие с образованием химических соединений. Такова природа вещей, и с этим ничего нельзя поделать.

Любая технология требует некоторых приспособлений, средств производства, которые также ускользают от внимания апологетов сборки объектов из атомов. Впрочем, иногда, наоборот, привлекают их внимание и потрясают до глубины души. Действительно, туннельные и силовые микроскопы — это красивейшие устройства, зримое свидетельство мощи человеческого разума. И в целом лаборатории, в которых занимаются манипулированием атомами, являют образ технологий будущего в духе «Третьей волны» Элвина Тоффлера: так называемые чистые комнаты с кондиционированием и специальной очисткой воздуха, устройства, исключающие малейшую вибрацию, оператор в специальной одежде с университетским дипломом в кармане.

Все это тоже будут безотходно собирать из атомов? Включая фундамент, стены и крышу помещений? Полагаем, что утвердительно ответить на этот вопрос не рискнут даже самые ярые приверженцы этой технологии.

Человечество когда-нибудь создаст безотходные, экологически чистые технологии, но они будут основаны на других принципах или на принципиально другой технике...

Миф о нанороботах

Предположим, что мы создали на бумаге или на экране компьютера эскиз наноробота. 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 нанороботов 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 самого робота, 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, 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, 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 — это как раз размер одного транзистора, достигнутый промышленной технологией нашего времени, через 25 лет после написания Дрекслером книги «Машины созидания».

Но ведь Дрекслер и адресовал свою книгу в будущее, 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, — имеет вполне осязаемые размеры, 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, сам автор, который продолжал отстаивать ее даже тогда, когда ему доходчиво объяснили, что идея нереализуема в принципе. Аргументов против таких механических устройств множество, приведем лишь самый простой, выдвинутый Ричардом Смолли: манипулятор, «захвативший» атом, соединится с ним навеки вследствие химического взаимодействия. Смолли был лауреатом Нобелевской премии по химии, в этом, наверно, было дело.

Но идея продолжала жить своей жизнью и дожила до наших дней, заметно усложнившись и дополнившись различными приложениями.

Миф о медицинских нанороботах

Наиболее популярен миф о миллионах нанороботов, 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 докладывать о проделанной работе, передавая через наноантенну сообщения вроде: «Алекс — Юстасу. Выявлено повреждение митрального клапана. Поломка устранена». Именно последнее вызывает серьезную озабоченность общественности, ведь это разглашение частной информации — сообщение наноробота может быть получено и расшифровано не только врачом, но и посторонним. Эта обеспокоенность подтверждает, что во все остальное люди верят безоговорочно. Как 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). 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 вековечную мечту физиков: «И наконец, размышляя в этом направлении (возможности манипулирования атомами. — Г.Э.), 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?” Сами химики используют для приготовления молекул 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... 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 (внимание: не смешивать в домашних условиях!).

Предположим, что нам каким-то образом удалось сложить кучку из восьми атомов — двух атомов углерода и шести атомов водорода, изображенную на рисунке. Физику эта кучка 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 $\sim 3 \cdot 10^{22}$ молекул воды. Возьмем более привычный для нанотехнологий объект — золото. В кубике золота объемом 1 см^3 содержится $\sim 6 \cdot 10^{22}$ 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 легких и реакционноспособных атомов, а производительность автоматически возрастет на два-три порядка. Это, конечно, еще слыш-

ком 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, 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». <...>

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, пробил физики. За что мы все, исследователи, работающие в этой и смежных 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, области естествознания, объединяющей физику, химию и биологию.

Источник: Эрлих Г.В. Мифы нанотехнологий // <http://nauka.izvestia.ru/analysis/article101468.html> (16.11.2010)

Выполните задания к тексту:

1. Найдите в тексте ответы на вопросы:

- На какие два типа можно разделить все научные мифы?

- Кого можно считать отцом-основателем нанотехнологии?

- Является ли производство на основе нанотехнологий безотходным?

• Почему невозможно создать нанороботов, какими их представлял себе Эрик Дрекслер?

- Возможно ли появление «умной пыли»?

- В чем заключается разница между химическим и физическим методами синтеза веществ?

- Какой из методов синтеза вещества, по мнению Эрлиха, более перспективен?

- Каким образом физический метод может быть сделан более производительным?

2. Вспомните, что вы знали о нанотехнологиях до того, как начали изучать их в школе? Напишите, что из этого оказалось мифом, а что реальностью.

3. Нанороботы «будут созданы совместными усилиями физиков, химиков и биологов, ученых, работающих на ниве синтетической науки, называемой нанотехнологиями», — пишет Эрлих. Поясните, что в данном случае значит словосочетание «синтетическая наука».

4. Согласно Эрлиху, вокруг нанотехнологий было специально создано несколько мифов, которые позволили получить финансирование и дали толчок всей индустрии. «В сущности, это было небольшое шулерство, вполне допустимое правилами игры на высшем уровне. Миф сыграл свою благотворную роль инициатора процесса и был благополучно забыт, когда дело дошло собственно до технологий». Как вы думаете, допустимо ли использовать ложь для достижения благих целей? Можно ли было обойтись без мифологизации нанотехнологий. Свое мнение изложите в небольшом эссе.





