

ОТ АВТОРОВ

Предлагаемое вашему вниманию учебное пособие «Введение в нанотехнологию» авторы считают своим долгом и приятной обязанностью посвятить 80-летию выдающегося советского и российского химика — академика Николая Тимофеевича Кузнецова. Николай Тимофеевич всегда проявлял интерес к нашим работам, оказывал всемерную поддержку, и без его доброго отношения вряд ли эта книга могла бы появиться на свет.

Академик Н. Т. Кузнецов — выдающийся ученый-химик современности, автор более 500 научных работ, родился 25 сентября 1931 г. на хуторе Хорошевский Тагинского района, ныне Ростовской области. Окончил в 1954 г. химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова и с 1957 г. работает в Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН. Основные работы Н. Т. Кузнецова посвящены изучению неорганических гидридов, координационных соединений и новых неорганических материалов. Он разработал принципиально новый подход к формированию электроннодефицитных кластерных борогидридов, позволяющий прогнозировать пути синтеза новых классов соединений; совместно со своими учениками синтезировал новые типы кластерных боранов, гетероборанов, металлоборанов; выявил способность боранов и гетероборановых кластерных структур выступать в роли новых типов лигандов в координационных соединениях; синтезировал новые гидридные фазы.

На этой основе создана технология энергоемких веществ для нейтронной терапии, обратимых аккумуляторов водорода, катализаторов нейтроннозащитных материалов, ряд новых лазерных материалов на основе фосфатов, алюминатов, титанатов, скандиатов, танталатов, а также оксидных ВТСП-материалов. Академик Н. Т. Кузнецов руководил работой по созданию новых поколений лекарственных веществ и методов лечения на основе боро-нейтронозахватной терапии



*Николай Тимофеевич
Кузнецов*

онкозаболеваний. Занимался созданием композитных материалов на основе кремния для современной авиационной, космической, подводной техники. Занимался разработкой способов и приборов определения концентрации углекислого газа, метана, углеводородов, аммиака, сероводорода в микроколичествах. Осуществлял разработку прибора по неинвазивной диагностике диабета на основе анализа выдыхаемого воздуха (по наличию паров ацетона). Николай Тимофеевич — заслуженный профессор МГУ им. М. В. Ломоносова (1999); почетный доктор Ростовского государственного университета; почетный профессор РХТУ; почетный профессор МИТХТ им. М. В. Ломоносова; почетный работник высшего профессионального образования РФ; лауреат Госпремии РФ (1996); лауреат премии Правительств РФ (2004); лауреат премии Президента РФ в области образования; лауреат орденов Почета, Дружбы.

С 1991 по 2000 г. Н. Т. Кузнецов возглавлял кафедру неорганической химии Московского института тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова. Академик Н. Т. Кузнецов — член Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН, главный редактор издания «Журнал неорганической химии» и журнала «Координационная химия».

Николай Тимофеевич Кузнецов определил главное направление данной книги: показать, что формирование вещества и тем более материала на основе наночастиц — сложный, но вполне познаваемый процесс. Внесение принципов нанотехнологий в физическую и химическую науку приведет к созданию новых уникальных материалов и композиций, особенно востребованных в современной радиоэлектронике. Отличное знание физики, химии, химической технологии, историографии науки позволили Н. Т. Кузнецову объединить авторов вокруг поставленной цели — создать современный учебник по химическим и физическим аспектам нанотехнологий.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Существует ли объективно наномир или же это некая спекуляция на модную тему? Имеются ли в природе наноразмерные объекты, индивидуальные по свойствам, независимые от других объектов и обладающие уникальными особенностями, отличающимися, и весьма существенно, от свойств макро- и микромиров? Соответственно, существует ли для мира науки и техники проблема перехода от микромира к наномиру, а в более узком аспекте — от микротехнологии и микроэлектроники к нанотехнологии и наноэлектронике? Наша цель состоит в том, чтобы показать, что наблюдаемые многочисленные экспериментальные факты, иногда достаточно парадоксальные, приводят к развитию новых концепций и идей, которые дадут доказательства очевидности наномира. Проблема наносостояния не является новой для химии и материаловедения. Р. Зигмонди в 1925 г. и Т. Сведберг в 1926 г. были первыми, кто получил Нобелевские премии за важные наблюдения в химии дисперсных (нано) систем. За 70–90 лет химики синтезировали несколько тысяч различных нанообъектов — частиц, материалов, структур. Это нанодисперсные порошки различных материалов, коацерваты, тактоиды, фазоиды, аллофены, гигантские кластеры, фуллерены, фуллериды, нанотрубки и т. п. Для неорганической химии переход в наноразмерный масштаб позволил обнаружить многие новые структурные типы, строение которых не соответствует незыблемым в макромире законам классической кристаллографии. В наномире были открыты объекты, имеющие ось симметрии пятого порядка, что категорически запрещалось классической кристаллографией. Наночастицы связывают самые разнообразные структурные элементы — одномерные, двумерные, трехмерные, фрактальные и всевозможные их комбинации. Что же предопределяет такое многообразие структур в наномире? Ответ на этот вопрос заключен в квантовом характере наносостояния и особых статистических законах, доминирующих в наномире. Наносистемы далеки от равновесного состояния, в том числе и вследствие наличия развитой поверхности. Положения атомов вблизи поверхности геометрически и физически отличны от положений атомов в объеме кристалла, что было отмечено еще академиком

И. Е. Таммом. Состав приповерхностного слоя не соответствует стехиометрическому составу химического соединения. Глубина модуляции структуры может простираться на несколько монокристаллических слоев.

Нобелевский лауреат И. Р. Пригожин указал на невозможность простого перехода от процессов на макроскопическом уровне к обратимым процессам на микроскопическом уровне и определил круг проблем, связанных с решением этой задачи. Выдающиеся открытия зарубежных и отечественных химиков в области синтеза и исследования строения наночастиц открывают новую страницу в исследовании этой проблемы. Методы микроскопии высокого разрешения и методы изучения фемтосекундных физических и химических процессов позволяют также экспериментально изучать наносостояние в реальном времени и в реальном масштабе и определить многие свойства, необходимые для следующего шага — перехода от микротехнологий к нанотехнологиям.

Наивно было бы думать, что до наступления эры нанотехнологии человек не сталкивался и не использовал объекты и процессы на наноуровне. Так, биохимические реакции между макромолекулами, из которых состоит все живое, получение фотографических изображений, катализ в химическом производстве, бродильные процессы при изготовлении вина, сыра, хлеба и другие происходят на наноуровне. Однако «интуитивная нанотехнология», первоначально развившаяся стихийно, без должного понимания природы используемых объектов и процессов, не может быть надежной основой в будущем. Поэтому первостепенное значение имеют фундаментальные исследования, направленные на создание принципиально новых технологических процессов и продуктов. Возможно, нанотехнологии смогут заменить некоторую часть морально устаревших и неэффективных технологий, но все-таки их главное место — в новых областях, в которых традиционными методами в принципе невозможно достигнуть требуемых результатов.

Академик А. И. Русанов показал, что понятие фазового или агрегатного состояния неприменимо к наночастицам. На новый тип динамических состояний материи, названных «диссипативными структурами», указал И. Р. Пригожин. Для химии и биологии диссипативные структуры представляют особый интерес. Их появление в системе свидетельствует о когерентных процессах, идущих на надмолекулярном уровне, отражением чего являются своеобразные свойства этих структур.

Основаниями для новой технологии являются глубокие знания свойств каждого атома вещества из таблицы Менделеева и наличие сил притяжения между ними при расстояниях < 1 нм. В результате действия этих сил могут образовываться атомные конфигурации с прочными связями (ковалентными, ионными, металлическими) или слабыми (ван-дер-ваальсовыми, водородными и др.). Атомные ассоциаты, содержащие небольшое количество атомов, называют молекулами или кластерами. Чем меньше частица и ниже температура, тем сильнее проявляются ее квантовые свойства. Однако сильные изменения свойств наночастиц по сравнению с макрочастицами того же вещества наступают, как правило, задолго до проявления квантовых пределов (обычно при размерах < 100 нм). Для разных свойств (химических, физических и др.)

этот критический размер может быть разным даже для одного и того же вещества, как и характер их изменений.

При малых размерах и низких температурах возможно возникновение специфических квантовых размерных эффектов, которые могут быть использованы в электронике, оптике, вычислительной технике. Ярким проявлением подобного поведения являются так называемые квантовые точки, проволоки, кольца и т. п. Ввиду резкой зависимости свойств вещества от числа одинаковых атомов в кластере это число иногда называют третьей координатой таблицы Менделеева.

Взаимодействие наночастиц, образующих большие системы и структуры — кристаллы, квазикристаллы, спирали, колеса, оболочечные частицы и т. п., — определяется самоорганизацией этих систем. Наиболее подробно эти вопросы проработаны Ю. Д. Третьяковым. Б. Фуллер, впрочем, саркастически заметил, что химики вынуждены признать существенными эти процессы, так как каждый раз, когда они пытаются выделить один элемент из комплекса или изолировать атомы или молекулы из соединения, отдельные части или их отдельные свойства не объясняют целого.

Последние достижения в области нанотехнологий стали возможными в связи с появлением в руках исследователей набора аналитических методов расшифровки тонкой структуры наночастиц, локального химического анализа и компьютерных программ, обеспечивающих пространственную трансляцию изображения наблюдаемых процессов.

Таким образом, будущее наномира не только в том, что будет существовать и развиваться наноэлектроника, нанохимия или нанобиология. Важнейшим прикладным значением наносостояния является возможность конвергенции неорганического, органического и биологического мира и создание невиданных ранее в природе новых веществ. Поэтому можно только приветствовать появление учебника, в котором проложен мост к пониманию физических и физико-химических основ нанотехнологии и наноэлектроники, рассмотрены на соответствующем уровне основы фрактальной геометрии, фрактальной физики и нелинейной динамики. Особо надо отметить, что также рассмотрены физические основы технологических процессов микроэлектроники и ее метрологической базы, что является хорошим фундаментом для изучения основ нанотехнологии.

*В. В. ГУСАРОВ — профессор, зав. кафедрой физической химии
СПбГТИ (ТУ), член-корреспондент РАН*

ВВЕДЕНИЕ

В 1937 г. гарвардский математик Говард Айкен предложил проект создания большой счетной машины на электромеханических реле. Спонсировал работу президент компании IBM Томас Уотсон, который вложил в нее 500 тыс. долларов. Проектирование «Марк-1» началось в 1939 г., строило эту машину нью-йоркское предприятие IBM. «Марк-1» содержал около 750 тыс. деталей, 3304 реле и более 800 км проводов. При огромных размерах и массе машина работала лишь в силу десяти арифмометров, поэтому, по большому счету, ее нельзя считать первой ЭВМ. Тем не менее в 1944 г. готовая машина была официально передана Гарвардскому университету (рис. В.1).

В 1942 г. американский физик Джон Моучли разработал, а затем и представил собственный проект вычислительной машины. В работе над проектом ЭВМ ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer — электронный числовой интегратор и калькулятор) под руководством Джона Моучли и Джона Эккерта участвовало 200 человек. Весной 1943 г. ЭВМ была построена, а в феврале 1946 г. рассекречена. ENIAC, содержащий 17 468 электронных ламп шести различных типов, 7200 кристаллических диодов, 70 000 резисторов, 10 000 конденсаторов и 4100 магнитных элементов, занимавший площадь

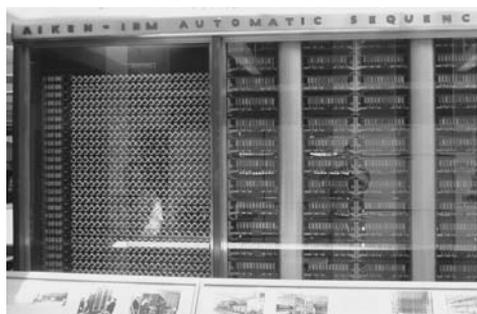


Рис. В.1
ЭВМ «Марк-1»

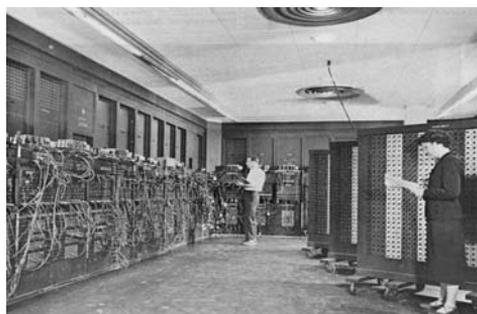


Рис. В.2
ЭВМ ENIAC

300 кв. м и потреблявший мощность 174 кВт (рис. В.2), в 1000 раз превосходил по быстродействию релейные вычислительные машины. Этот компьютер проработал до 1955 г. (подвергаясь периодической модернизации) и выполнял баллистические расчеты, использовался в метеорологических исследованиях. На ENIAC были сделаны предварительные расчеты для первой термоядерной бомбы «Майк», испытанной американцами 1 ноября 1952 г. в Тихом океане. Расчеты по этому устройству вообще не могли быть проведены без компьютера — настолько громоздки они были. Худшим из всех недостатков компьютера была ужасающая ненадежность, так как за день работы успевало выйти из строя около десятка вакуумных ламп.

В 1945 г. к работе был привлечен математик Джон фон Нейман, который подготовил доклад об этой машине. В докладе фон Нейман сформулировал общие принципы функционирования универсальных вычислительных устройств, т. е. компьютеров. С тех пор архитектура подобных компьютеров (подавляющее большинство современных компьютеров) называется «фон-неймановской». Читатели его «Предварительного доклада» были склонны полагать, что все содержащееся в нем идеи, в частности принципиально важное решение хранить программы в памяти компьютера, исходили от самого фон Неймана. Мало кто знал, что Моучли и Эккерт говорили о программах, записанных в памяти, по крайней мере за полгода до появления фон Неймана в их рабочей группе; большинству неизвестно было и то, что Алан Тьюринг, описывая свою гипотетическую универсальную машину, еще в 1936 г. наделил ее внутренней памятью. Фон Нейман читал классическую работу Тьюринга незадолго до войны. С тех пор фон Нейман многими считается отцом ENIAC и вычислительной техники вообще, а совершенно напрасно [1].

Ламповая электроника (на рис. В.3 приведены фотографии электронных ламп) не могла обеспечить надежность работы подобных устройств, а переход на транзисторную элементную базу вопроса в принципе не решал. Электроника, основанная на использовании дискретных элементов, стремительно двигалась в тупик. Прогресс был возможен только на пути развития принципиально новой элементной базы, на основе интегральных схем. 23 января 1959 г. Р. Нойс, а за полгода до него Дж. Килби независимо друг от друга создали первую в мире интегральную схему, представленную на рис. В.4. Все мезоструктуры на этой схеме вытравливались вручную с помощью маскирования парафином, но это уже была первая ласточка в истории развития ЭВМ.



Рис. В.3
Электронные лампы

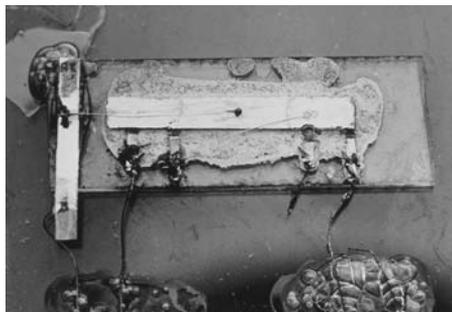


Рис. В.4
Микросхема Килби

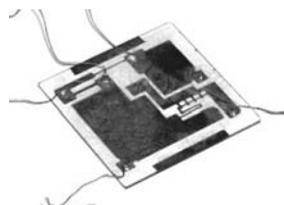


Рис. В.5
Микросхема
Казарина-Шевченко

Совершенно неверно думать, что СССР на этом этапе (да и на других тоже) в чем-то отставал от западных конкурентов. На рис. В.5 представлена интегральная схема, спроектированная и изготовленная в стенах ЛЭТИ И. Казариным и О. Шевченко в июле 1962 г. Выглядит более аккуратно, чем творение Килби. В 1950-е гг. СССР был бесспорным мировым лидером в области информатики, а ЭВМ БЭСМ-6 еще долгие годы оставалась лучшей ЭВМ мира. В 1960-е гг. под руководством академика В. М. Глушкова был создан проект Единая система — прообраз нынешнего Интернета, но идеология, отрицавшая любую возможность свободного общения граждан, в очередной раз взяла верх над технологией и здравым смыслом.

Массовый выпуск интегральных схем начался в 1962 г., а в 1964-м начал быстро осуществляться переход от дискретных элементов к интегральным. В результате ЕНИАС с его размерами 9×15 м в 1971 г. мог бы быть собран на пластине площадью $1,5 \text{ см}^2$, что и воплотилось в серийных микрокалькуляторах. Началось революционное перевоплощение электроники в микроэлектронику.

К началу XXI в. информационные технологии — детище этой революции — полностью преобразили если не весь мир, то по крайней мере промышленно развитые страны. Появился Интернет.

Интернет и локальные сети сделали в принципе доступной для любого гражданина любую информацию, которая представляет для него интерес. Правда, как в рассказе Станислава Лема, появился гигантский океан бессмысленной информации, в котором выловить нужную, а тем более правдивую, чрезвычайно сложно, а отличить правду от лжи весьма затруднительно, что превращает глобальные информационные сети в некую разновидность информационной «помойки».

Потоки электронов, организованные в определенные структуры в микрообласти полупроводникового кристалла, дали в свое время начало новой ветви эволюции элементной базы — поколению интегральных схем. Подвижность электронов в сочетании с малыми размерами микрообласти обеспечили скорость, а структура твердого тела — организацию информационных потоков в микропространстве монокристалла. Это привело к необходимости формировать кристалл с почти идеальным расположением атомов в решетке, заданным распределением примесей, образующих внутри кристалла сложную пространственную фигуру, и созданием на поверхности кристаллов элементов с возможно более малыми размерами (планарная технология). Эти принципы распространились не только на идеальные кристаллы, но и на аморфные твердые тела. В нанотехнологии ситуация существенно более сложная и принципиально иная. Надо отказаться от многих привычных взглядов и понятий или относиться к ним по крайней мере с большой осторожностью. Более того, надо осознать многие непривычные и вызывающие инстинктивное отторжение понятия и физические явления.

Однако сейчас мир стоит на пороге новой научно-технической революции, последствия которой представить пока затруднительно, но особого оптимизма они не внушают. Наука и технология в своем развитии вплотную подошли к оперированию объектами с размерами, лежащими в нанометровом диапазоне, что получило комплексное название нанотехнологии, фундаментальную часть которой принято называть нанонаукой, а совокупность исследуемых объектов — наномиром.



Рис. В.6
Реконструкция «багдадской батарейки»

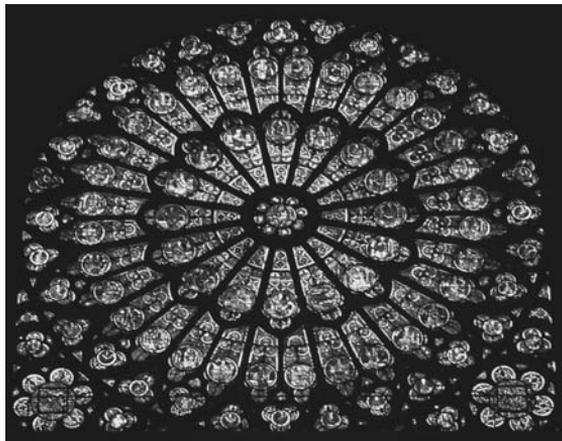


Рис. В.7
Образец витражного стекла

Нанонаука и нанотехнология создают принципиально новую техническую и технологическую базу цивилизации и опираются на новейшие достижения в области физики твердого тела, химии и физической химии, коллоидной химии, прикладной математики, фрактальной физики и геометрии, нелинейной динамики, динамического хаоса, материаловедения и других естественных наук. В результате предыдущей ступени прогресса элемент сам стал производить сложные действия над потоками информации, общаясь с внешним миром на языке математической логики. Каждый последующий этап компьютерной эволюции будет изменять именно функции элементов, а важнейшие принципы их работы и, возможно, технологии их изготовления, соответствующие предыдущему этапу развития, останутся в какой-то степени консервативными. Но только до той поры, пока в недрах технологического прогресса не зреет новая техническая революция.

Следует осознавать, что единичные образцы даже самой уникальной техники не определяют уровень развития технологии. Многие человечеству были известны и ранее, хотя знания, которыми не обладали древние, были исключительно обширны, как остроумно подметил некогда Марк Твен. Но и те, которыми они обладали, достаточно интересны и сейчас. Более 6 тыс. лет до нашей эры на Ближнем Востоке разработали технологию изготовления искусственной бирюзы путем последовательного нанесения очень большого числа тонких пленок сложного состава с отжигом в закрытой камере при определенных для каждого этапа условиях. И сейчас эта искусственная бирюза практически бездефектна и отличить ее от природной можно только с помощью современной аналитики. В Месопотамии 6 тыс. лет назад умели изготавливать гальванические элементы (так называемые «багдадские батарейки», реконструкция которых приведена на рис. В.6) — и с их помощью путем электрохимического наращивания получать золотое покрытие на медных изделиях. В 1000 г. н. э. индейцы майя в совершенстве владели техникой литографии — они наносили на раковины тонкие рисунки из смолы или асфальта и травили их соком кактуса, получая рельефное изображение. Древние карфагеняне и финикийцы умели варить стекла, в состав которых входили наночастицы металлов, что придавало стеклам уникальные оптические свойства — они меняли цвет в зависимости от освещения. В состав витражных стекол,

украшавших средневековые соборы, в качестве компонента также входили наночастицы металлов и оксидов, что определяло уникальные оптические свойства витражей не только с точки зрения цветовой гаммы. Дело в том, что входящий в рецептуру этих стекол диоксид титана при облучении ультрафиолетом проявляет сильнейшие антибактерицидные свойства, уничтожая бактерии. Так что при солнечной погоде воздух в соборах обеззараживался. Образец такого витража приведен на рис. В.7.

Однако тысячи остроумных приемов и десятки сложных физических явлений не реализуют сами по себе предмет развитой технологии, а нанотехнологии в особенности. Не существует такого приема или явления, которые бы самодостаточно выразили ее сущность. Элементную базу современной микроэлектроники для достижения практически любой поставленной цели можно реализовать на основе самых разнообразных физических явлений и использовать разные материалы — полупроводниковые, сверхпроводящие, магнитные или оптические. При этом должен сохраняться единственный принцип — это обработка информационных сигналов в мезоскопически и микроскопически малых областях твердого тела, в которых средствами современной технологии создано определенное распределение электронных свойств. Это относится к более или менее понятной для студента электронике. Однако на смену микроэлектронике идет наноэлектроника, а есть еще нанохимия и развиваются нанобиология и наномедицина.

Теоретически (в некоторых прогнозах) считается, что нанотехнология позволит создавать практически любые изделия — от вычислительных машин сверхвысокой производительности до искусственных органов человека, причем чем дальше автор от практической деятельности в области нанотехнологии (а таких пока подавляющее большинство), тем смелее и масштабнее генерируемые им прогнозы. Особенно это касается вторжения в область биологии, биофизики и биотехнологии.

Современная биотехнология рассматривается как первый этап становления и развития нанотехнологии, но на самом деле ей пока лишь доступен осмысленный синтез известных биологически активных веществ и их весьма ограниченные вариации.

Этот синтез ведется из сравнительно крупных молекулярных блоков, а основным инструментом нанотехнологии в биологии, по смелым прогнозам, должен стать молекулярный сборщик, способный встраивать в молекулярную структуру отдельные атомы по заданной программе. Сборщик первого поколения будет создан из белка, его разработка будет вестись по аналогии со структурой рибосомы живой клетки. Итогом этой работы должен стать сборщик второго поколения — небелковый молекулярный робот, способный манипулировать атомами любых элементов.

Предпосылки к этому на самом деле имеются, однако исключительно в мире живой природы. Молекула хлорофилла при фотосинтезе получает сигнал в виде кванта света, после чего переходит в возбужденное состояние и практически без потерь передает этот сигнал и запускает цепь последовательных химических превращений. Структуры, ответственные за процессы фотосинтеза в клетках, имеют размеры порядка десяти нанометров, и на одном квадратном миллиметре помещается более миллиарда таких элементов.

Переход к нанотехнологии является довольно болезненным, как и всякая революция и всякая резкая ломка привычных представлений, даже заключающаяся в простом, но резком расширении границ мировосприятия. В связи с этим приведем две цитаты.

Первая принадлежит западному философу Уильяму Джеймсу, занимавшемуся философией научного познания. «В любой науке вокруг общепризнанных и упорядоченных фактов вечно кружит пыльное облако исключений из правил — явлений малозаметных, непостоянных, редко встречающихся, явлений, которые проще игнорировать, нежели рассматривать. Всякая наука стремится к идеальному состоянию замкнутой и строгой системы истин. Феномены, не подлежащие классификации в рамках системы, считаются парадоксальными нелепостями и заведомо не истинны. Ими пренебрегают и их отвергают, исходя из лучших побуждений научной совести. Тот, кто всерьез займется иррегулярными феноменами, окажется способен создать новую науку на фундаменте старой. По завершении же этого процесса правилами обновленной науки по большей части станут вчерашние исключения» [2].

Вторая цитата принадлежит нашему соотечественнику, физика, занимающемуся проблемами квантовых измерений, Михаилу Борисовичу Менскому: «Нерешенные концептуальные вопросы квантовой механики часто объединяют под именем „проблемы измерения“. Они не имеют, подобно другим проблемам в физике, вполне ясной и однозначной формулировки и порой разными авторами преподносятся по-разному. Более того, большое число вполне квалифицированных и опытных специалистов считает, что никаких концептуальных проблем в квантовой механике вообще не существует. Те, кто такие проблемы обсуждает, часто встречают не только непонимание, но и осуждение. Типичная оценка такого рода обсуждений состоит в замечании, что это не физика, а философия, и при этом слово „философия“ иногда произносится несколько высоко... Парадоксы в квантовой физике возникают лишь тогда, когда исследователь не удовлетворяется этим „физическим“ уровнем теории, когда он ставит такие вопросы, которые в физике ставить не принято, другими словами, — когда он берет на себя смелость попытаться выйти за пределы физики. Вполне оправданной является точка зрения, что такая попытка со стороны физика не имеет смысла. Те, кто этой точки зрения придерживаются, не заслуживают осуждения. Более того, они по-своему правы, потому что для конструктивной работы в физике необходимо ограничить себя точно сформулированными, чисто „физическими“ задачами. Однако для некоторых физиков оказывается необходимым иногда попытаться выйти за рамки собственно физической методологии и поставить более широкий круг вопросов. Вот тогда возникают квантовые парадоксы. Оказывается, что попытки разрешить эти парадоксы могут приводить к удивительным новым концепциям, которые по меньшей мере весьма любопытны. Нельзя сказать, что на этом пути достигнут существенный прогресс. Однако красота и смелость возникающей при этом картины квантового мира невольно заставляют надеяться, что этот путь позволит в конце концов вывести теорию на качественно новый уровень» [3].

Экспериментальные исследования последнего десятилетия показали, что развитие нанотехнологий, нацеленных на производство и использование твердых нанодисперсных веществ, тормозится из-за недостатка информации о закономерностях их поведения в техногенных и природных системах. Назрела необходимость проведения планомерных фундаментальных исследований, цель которых — установить возможности получения и использования нанодисперсных веществ в технике, медицине и сельском хозяйстве. Тематики необходимых исследований относятся к пограничным областям физики, химии, биологии, медицины и формируют широкий фронт междисциплинарного поиска. Большинство материалов, независимо от их функционального или

конструкционного назначения, имеют многоуровневую структуру. Наноруровень структуры существует в любом материале, однако далеко не в каждом из них наноруровень играет определяющую роль в формировании функциональных свойств. Более того, наноруровень структуры, эволюционирующей в зависимости от условий создания или работы материала, со временем изменяется. Следует отметить, что сравнительно недавно в результате так называемой инструментальной революции эти изменения научились контролировать. В настоящее время изучение и моделирование поведения различных иерархически структурированных систем приобретают особое фундаментальное значение в связи с интенсивным развитием информационных, энергосберегающих технологий, биохимии и, разумеется, собственно нанотехнологий. Основной проблемой при этом является создание материалов с элементами наноструктурирования, в которых уникальные функциональные свойства или проявления полифункциональности возникают за счет вклада в «формирование» этих свойств различных уровней структуры — и не только на нано-, но и на микроуровне. Разработка новых типов наноматериалов — прямой индикатор эффективности фундаментальных исследований в области создания принципиальных основ новых нанотехнологий. Разработка проводится практико-целевым образом. Последнее означает выбор наиболее адекватных методов получения и соответствующего технологического регламента в зависимости от требуемых параметров конечного продукта. Очевидно, что понимание процессов, лежащих в основе современных и будущих методов получения наноматериалов, — важнейшее условие появления их новых типов. Существуют две основные причины, определяющие целесообразность проведения синтеза новых наноматериалов. Первая связана с ожиданиями того, что использование более дорогостоящих и трудоемких методов получения и хранения наноматериалов вместо «обычных» приведет к существенному улучшению существующих или к появлению новых уникальных свойств, оправдывающих дополнительные затраты на реализацию «нанотехнологического подхода». Вторая причина связана с необходимостью многопараметрической миниатюризации устройств, используемых в быту и технике, уменьшения их энергоемкости и энергопотребления, увеличения эффективности использования [4].

Внутренняя логика развития нанотехнологии призвана соединить существующую узкоспециализированную науку и отраслевую экономику в единую картину естествознания, но уже на новом уровне развития цивилизации, новом укладе промышленного производства, основанном на использовании отдельных атомов и молекул. Играя столь же важную надотраслевую роль, как информационные технологии, нанотехнологии, в отличие от первых, материальны, так как они прежде всего дают принципиально новый способ конструирования материалов. А любая область знаний, любая отрасль промышленности предполагает в первую очередь создание материалов. Так вот, нанотехнологии дают нам принципиально новый фундамент в виде технологий атомно-молекулярного конструирования для создания этих материалов. Нанотехнологии — это принципиальная модернизация всех существующих дисциплин и технологий на атомарном уровне. Нанотехнологии меняют принцип создания материалов, их свойства, т. е. фундамент для развития всех без ис-

ключения отраслей экономики постиндустриального общества. Парадигма развития науки в конце XX в. изменилась от изучения того, как устроен мир, к тому, чтобы целенаправленно и оптимальным путем самим создавать какие-то его элементы. Этот путь развития четко определен — наука достигла определенного уровня, и новейшие достижения нанотехнологий должны плавно и естественно перетекать в сферу производства, создавать новые продукты, формировать новые рынки и улучшать старые. В основе одной из составляющих нанотехнологии лежит сближение и взаимопроникновение «неорганики» и биоорганического мира живой природы. Это направление развития нанотехнологий называется «запуск будущего» и состоит в соединении возможностей современных технологий, в первую очередь твердотельной микроэлектроники, как наивысшего технологического достижения современности, с «конструкциями», созданными живой природой.

Бесспорно, что самое сложное создание, уникальное во всех смыслах, — это человек: самосогласованная и единая система, в которой нет по отдельности ни физики, ни химии, ни биологии, ни математики. В нас есть все эти компоненты, которые составляют замкнутую самоорганизованную систему, и чтобы ее понять, мы должны оценивать ее целиком. Стремление человечества в развитии научно-технического прогресса — достичь в технологических приборах того совершенства, которое заложено в каждом из нас. Сегодня мы подошли к технологическим решениям, в основе которых лежат базовые принципы живой природы, — начинается новый этап развития, когда от технического, модельного копирования «устройства человека» на основе относительно простых неорганических материалов мы готовы перейти к воспроизведению систем живой природы на основе нанобиотехнологий. Развитие этих направлений, создание гибридных материалов и систем на их основе требует принципиально новых подходов и формирования принципиально нового научного уклада. Готово ли к этому сегодня научное сообщество? Одно из главных условий — наличие специалистов междисциплинарной направленности. На первом этапе это касается объединения четырех глобальных направлений сегодняшней науки и технологий НБИК: Н — это нано, новый подход к конструированию материалов «под заказ» путем атомно-молекулярного конструирования, Б — это био, что позволит вводить в конструирование неорганических материалов биологическую часть и таким образом получать гибридные материалы, И — информационные технологии, которые дадут возможность в такой гибридный материал или систему «подсадить» интегральную схему и в итоге получить принципиально новую интеллектуальную систему, а К — это когнитивные технологии, основанные на изучении сознания, познания, мыслительного процесса, поведения живых существ и человека в первую очередь как с нейрофизиологической и молекулярно-биологической точек зрения, так и с помощью гуманитарных подходов. При соединении когнитивных технологий даст возможность, основываясь на изучении функций мозга, механизмах сознания, поведения живых существ, разрабатывать алгоритмы, которые фактически и будут «одушевлять» создаваемые нами системы, наделяя их неким подобием мыслительных функций [5].

ГЛАВА 1 ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НАНОТЕХНОЛОГИИ

1.1. НАУЧНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ, НАНОМИР И НАНОТЕХНОЛОГИЯ

Для лучшего понимания окружающего нас мира и проблем наноразмерного состояния вещества рассмотрим некоторые соображения по поводу научного мировоззрения в целом и роли личности в частности.

История развития человеческой мысли знает три основных подхода к окружающему миру. Первый, самый ранний, это мистический подход. Основывается на убеждении, что миром управляют различные мистические сверхъестественные существа, поэтому окружающий мир в принципе непознаваем, а чтобы как-то в нем ориентироваться, необходимо устанавливать контакты с этими самыми мистическими существами, заставляя их себе служить и пр. Такой подход был свойствен первобытным людям, но благополучно дожил и до наших дней.

Развитие знаний об окружающем мире привело к появлению второго подхода, именуемого схоластическим, который берет свое название от школы схоластиков. Самый яркий ее представитель — великий Аристотель (384–322 гг. до н. э.). Сущность схоластического подхода в том, что окружающий мир в принципе познаваем и познавать его необходимо. Но инструментом познания мира является только наука логика. Все, что нам надо знать об окружающем мире, необходимо выводить из логических построений и только из них, и если они выверены, то проверять их на практике бессмысленно. Никаких опытов и вообще обращений к Природе. Только логика.

До нас дошло описание многочасового спора Альберта Великого (Альберт фон Большгедт, 1193–1280) и его ученика Фомы Аквинского (1225–1274) на актуальную и животрепещущую тему — есть ли у крота глаза. Присутствовавший при сем садовник предложил им отловить крота и сразу узнать истину. Его убогое предложение было гневно отринуто великими мужами с криками — ни в коем случае, мы должны в принципе познать, есть ли у крота глаза!

Идеи и трактаты Аристотеля были взяты на вооружение сначала в арабском мире, известном своими выдающимися достижениями в математике, медицине, географии и прочих областях знания. Затем они благополучно перекочевали в Европу, где и процветали под тяжелой рукой католической церкви. Почти тысячу лет просвещенная Европа зачитывалась трактатами Аристотеля и свято верила его безупречным логическим выводам. В их числе «неоспоримые» факты: у мухи 8 лап; если жениться

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru