
Історія, методологія та соціологія науки

В.Г. Горохов

Новейшая история развития нанотехнологии как технонауки*

Приведены результаты наукометрического анализа развития нанонауки (три периода), рассматриваются переход в нанотехнологии от инженерной задачи к научной проблеме и от нее — к разработке новейших технологий, новый тип теоретических исследований в нанотехнонауке.

В современной науке происходят лавинообразные изменения, свидетелями которых становятся представители одного поколения. Даже фундаментальные исследования в естествознании становятся все более проблемно и проектно ориентированными на решение конкретных научно-технических задач, что делает их весьма сходными с технической наукой и находит свое выражение в обозначении этого нового этапа развития науки — технонауки, наиболее ярким представителем которой является нанотехнология. Нанотехнология признана ключевой научной сферой не только потому, что она ведет к изменению всего современного научно-технического ландшафта, но прежде всего потому, что обществом в ближайшем будущем от нее ожидаются позитивные экономические, экологические и социальные результаты. В связи с процессами сращивания науки и техники, например в нанотехнологии, возникает и целый ряд новых по сути дела

научно-технических проблем, настоятельно требующих своего специального рассмотрения. Несмотря на то, что нанотехнология является молодой наукой, можно говорить уже об этапах ее исторического развития.

1. Результаты наукометрического анализа развития нанонауки

Нанотехнология является, с одной стороны, проектно-ориентированной наукой, а с другой, в ней важнейшую роль продолжают играть фундаментальные исследования, о чем свидетельствует таблица¹.

На этой таблице сверху приведены данные о процентном соотношении публикаций по чисто фундаментальным исследованиям, фундаментальным исследованиям, ориентированным на приложения, инженерно-техническим разработкам и прикладным технологиям по всей науке вообще, а ниже — по нанотехнологии. Отчетливо видно, что если доля чисто фундаментальных исследо-

*Статья подготовлена в рамках проекта РФФИ „Технонаука в обществе знаний: методологические проблемы развития теоретических исследований в технических науках” № 09-06-00042а.

Публикации в целом по SCI и в области нанотехнологии в 2001 г. в мире в целом

	Число публикаций	Доля в процентах
Наука в целом в 2001 г.		
Чисто фундаментальные исследования	229.553	40 %
Фундаментальные исследования, ориентированные на приложения	156.713	28 %
Технические науки	118.750	21 %
Прикладная технология	63.349	11 %
Нанонаука в 2001 г.		
Чисто фундаментальные исследования	9.772	47 %
Фундаментальные исследования, ориентированные на приложения	8.150	39 %
Технические науки	2.799	13 %
Прикладная технология	37	0 %

Источник: Science Citation Index (SCI)

ваний по науке в целом составляет 40%, то в нанотехнологии она выше и равна 47%. Доля фундаментальных исследований, ориентированных на приложения, составила соответственно 28 и 39%, а инженерно-технические разработки — только 21% и 11%. Доля же публикаций по прикладным технологическим применениям в нанотехнологии исчезающе мала. Библиометрические исследования нанотехнологии демонстрируют отчетливый рост и публикационный массив. Начиная с 1992 года средний годовой прирост числа публикаций по нанотехнологии составляет 20%².

Немецкими учеными — сотрудниками Института оценки техники и системного анализа (ITAS = Institut für Technikfol-

genabschätzung und Systemanalyse) Исследовательского центра г. Карлсруэ, работающего организационно совместно с Бюро по оценке социальных последствий техники Германского бундестага (TAB = Technikfolgenabschätzung Büro des Deutschen Bundestages), проведена социальная оценка развития нанотехнологии в Германии. Основные исследования в этой области основываются на подсчете роста числа публикаций во времени. На рис. 1 показан сравнительный рост числа публикаций по нанотехнологии вообще в мире, в США, Японии и Германии (которые занимают первые три места по числу публикаций в области нанотехнологии) с 1996 по 2001 годы. Из этого графика видно, что число публикаций отчетливо растет, а опережающей страной по числу публикаций в этой области оставались США³.

На рис. 2 показан сравнительный рост публикаций по нанотехнологии в Китае, Франции, Великобритании, России, Италии, Испании и Швейцарии, из чего видно, что Россия занимает устойчивое срединное положение, а число китайских публикаций по нанотехнологии с 1998 года резко возрастает и к 2000 году выходит на четвертое место⁴.



Рис. 1. Три главных актера в области нанотехнологии: рост числа публикаций

Можно сказать, что, являясь междисциплинарным направлением науки, нанотехнология уже консолидировалась как новая область исследования, состоящая из нескольких исследовательских направлений и предполагающая развитие организационных форм научной коммуникации (советы, ассоциации, научные собрания, конференции и т.д.). Однако для становления научной дисциплины требуется добавить к этому еще и *организацию подготовки научных кадров* (курсы и кафедры в высших учебных заведениях) и формирование особого эшелона публикаций — учебников. В этом отношении нанотехнология еще только вступает в стадию формирования системы подготовки научных кадров и специализированного *исследовательского сообщества*, хотя уже имеет частично сформировавшуюся (и активно в настоящее время формирующуюся) профессиональную организацию — лаборатории, научно-исследовательские институты, ученые советы и т.д. Об экспоненциальном развитии нанотехнологии свидетельствует и рост финансирования исследований и разработок в этой области в экономически развитых странах уже в начале нового столетия.

Исходя из результатов биометрических исследований, развитие нанотехнологии можно разделить на три временных периода.

Первый период (1984—1994) связан с началом проведения в первую очередь фундаментальных исследований в наносфере и появлением понятия „нано”. В это время появляются и первые исследовательские институты, использующие в своих названиях обозначение „нано”, и первые публикации по нанотехнологии. В 1984 г. компания под названием „Nanometr Inc.” в Калифорнии, США, работавшая в области полупроводников, выпустила первые 3 публикации, а двумя годами позже был основан первый академический институт на электротехническом факультете уни-

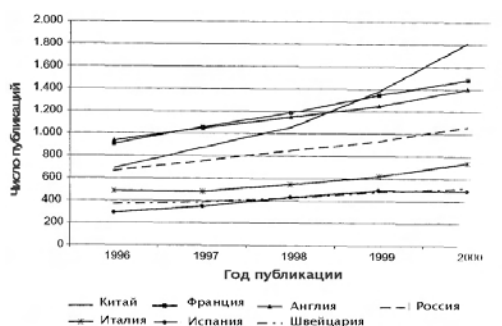


Рис. 2. Сравнение роста числа публикаций в области нанотехнологии в 1996—2000 гг.

верситета Глазго, Великобритания. Эта исследовательская группа по нанoeлектронике еще два года спустя превратилась уже в исследовательский центр. В 1987 г. Корнельский университет дает новое название „Национальный факультет нанопроизводства” факультету исследования субмикронных структур, который был основан Национальным научным фондом еще в 1977 г. Этот факультет на долгие годы становится одной из самых активных исследовательских организаций в области нанотехнологий. В 1988 г. японская Корпорация исследовательских разработок запускает проект по наномеханизмам, который до 1993 г. остается единственным нанотехнологическим исследовательским институтом Японии. С 1990-х годов, однако, доминирующим в сфере наноуки институтом становится Национальная лаборатория наноустройств на Тайване. В течение 1990-х годов в США и в Европе возникает множество исследовательских институтов по нанотехнологии. В США в 1993 г. даже создается целая скоординированная сеть таких исследовательских организаций нескольких американских университетов. Однако наиболее активные лаборатории и центры нанотехнологических исследований существуют в США в целом ряде университетов независимо от этой сети. Внеуниверситетские государственные исследовательские организации США, напротив, в 1990-х годах демонстриру-

ют отсутствие интереса в нанотехнологической области (за исключением Лаборатории военно-морского флота США). Только начиная с 1999 г. в них появляются небольшие подразделения нанотехнологического толка, но их вклад в публикационный массив нанотехнологической литературы остается весьма незначительным. Университетские же исследовательские организации продолжают развиваться и далее, выдавая треть всех публикаций по нанотехнологии в США. В Европе институализация нанотехнологических исследований также начинается в 1990-х годах главным образом в университетах⁵.

Второй период (1995—2000) характеризуется выходом в свет первых обобщающих монографических работ (например: К.Е. Drexler. *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*. John Wiley & Sons, Inc, 1998) и повсеместным распространением понятия нанотехнологии, а также появлением первых многообещающих прикладных разработок, находящихся, впрочем, на разной стадии реализации. В 1999 г. Исследовательский центр г. Карлсруэ, Германия, открывает совместно с техническим университетом г. Карлсруэ большой нанотехнологический институт, в 1997 г. Национальный исследовательский совет Испании начинает финансировать нанолабораторию в Мадриде. В Японии нанотехнологические исследования в течение последних десяти лет финансируются в рамках Атомного технологического проекта⁶. Для этого периода характерно формирование устойчивого нанотехнологического исследовательского сообщества, уже идентифицируемого самими исследователями, но еще мало заметного для широкой общественности.

Для *третьего периода* (2000—2007) характерно, с одной стороны, взрывное развитие научно-популярной литературы по нанотехнологии и различного рода публикаций, исследующих саму нанотехнологию как новейшее научно-техническое направление, и появление

первой учебной литературы⁷, а с другой, формирование перспектив становления новой нанотехнологической промышленности. Начало третьего периода связано с тем, что именно в январе 2000 года президент США Клинтон учредил так называемую Национальную нанотехнологическую инициативу (NNI), которая включила в себя почти все главные министерства и ведомства с целью координации нанотехнологических исследований и разработок в национальном масштабе. До 2000 года институализация нанотехнологических исследований в США происходила значительно медленнее, чем в Европе и Азии. С образованием NNI этот процесс значительно ускорился. Начиная с 1999 г. многочисленные наноинституты были организованы в Китае. В 2004 году мировые инвестиции в сферу разработки нанотехнологий почти удвоились по сравнению с 2003 годом и достигли 10 млрд дол.⁸ Финансирование нанотехнологии в Германии только через Федеральное министерство образования и научных исследований составило к 2003 году 112,1 миллионов евро⁹. Таким образом, в это время лавинообразно растет финансирование через национальные проекты и со стороны фирм, нанотехнология приобретает характер широкого научного движения. Под знамена этого направления встает все большее количество отдельных исследователей, исследовательских групп и исследовательских институтов и центров, использующих бренд „нано”, образуя глобальную нанотехнологическую сеть.

В этот период нанотехнология попадает в фокус библиометрического анализа, но анализируется лишь второй период ее развития. Это обусловлено тем, что именно с этого времени происходит самоидентификация исследователей и в название их работ попадает понятие „нано”. Иначе просто невозможно в социометрическом анализе по формальным основаниям отделить нанорелевантные работы от публикаций в других,

хотя может быть и содержательно весьма близких областях исследования. Третий же период захватывается пока лишь частично, поскольку библиометрические данные или труднодоступны в силу разных причин, или результаты таких исследований носят пока закрытый характер или еще не опубликованы в широкой печати. Тем не менее Й. Шумер из университета г. Дармштадт (Германия) провел подробное исследование различных аспектов институализации нанотехнологических исследований и разработок начиная с 1992 и кончая 2006 гг. Он проводит сравнение динамики институционального роста нанотехнологии и таких уже устоявшихся областей науки, как физика и материаловедение, по одинаковым показателям и с помощью коррелирующихся методов измерения, из которого видно, что институциональный рост физики, соответствующий институциональному росту науки в целом, составляет только 4,4% в год, в материаловедении — 10,8%, а в нанотехнологии он просто астрономический — 54%. Этот взрывной рост сохраняется уже почти 20 лет и удваивается каждые 19 месяцев. Как говорится, комментарии излишни. Конечно, как показывают библиометрические исследования роста научных публикаций в 60-е годы XX в., проведенные в науковедении, этот рост, в конечном счете, стабилизируется и кривая станет более пологой, что мы, собственно, и видим на примере физики. Поэтому выводы Шумера в цитированной работе (см. „Литературу...“) об экстраполяции этих кривых на последующие несколько лет следует принимать с осторожностью.

Таким образом, возникает вопрос, что же является мотором, раскручивающим сегодня колесо финансовой и институциональной поддержки со стороны ведущих в сфере научно-технического развития государств современного мира? Ответ напрашивается сам собой. Это, как и в случае таких крупных проектов времен второй мировой и „холодной“ войны (атомного, ракетного и радиолокацион-

ного) — нужды военно-промышленного и оборонного значения. А развернутая вокруг проблематики нанотехнологии рекламная кампания, обещающая достижение „вечной“ жизни на Земле, победу над болезнями и решение всех насущных социальных проблем человечества, призвана убедить общественность в том, что, хотя бы в обозримом будущем, эта область науки и техники будет весьма полезна и для решения гражданских проблем. При этом, несмотря на все уже сегодня просматриваемые социальные, психологические, физиологические и другие возможные негативные последствия для человечества, в целом финансирование нанотехнологии приобретает такие масштабы, что все ученые, могущие так или иначе „притулиться“ к этой проблематике, стремятся объявить себя нанотехнологами. Само по себе это вполне понятно и оправдано, поскольку, хотя бы таким образом, можно остановить наезд бюрократии на фундаментальные исследования в науке и технике. И хотя самим бюрократам не вполне или совсем непонятно, что такое нанотехнология и что она нам даст в обозримом будущем, они не могут больше сказать ни одного слова против, так как эта проблематика во всем мире заняла приоритетное положение. Но для того, чтобы общественности и правительствам стало более ясно, какие нанотехнология несет в себе позитивные и негативные следствия для общества, необходимы ее науковедческие, социологические, философские и т.п. социально-гуманитарные исследования.

2. От инженерной задачи к научной проблеме и от нее — к разработке новейших технологий

В нанотехнологии исследование часто инициируется некоторой инженерной задачей, а само оно имеет проектную форму и по сути дела является проблемно-ориентированным. В качестве примера можно привести исследование химической наносборки транзисторов из углеродных нанотрубок с целью по-

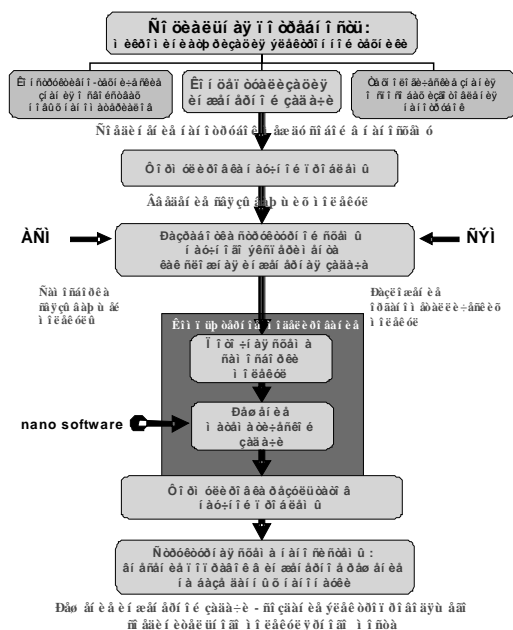


Рис. 3. АСМ — атомный силовой микроскоп; СЭМ — сканирующий электронный микроскоп; panosoftware¹¹ — стандартное программное обеспечение, специально разработанное для нанотехнологии с целью компьютерного моделирования нанопроцессов и наносистем, которое используется теоретиками и экспериментаторами для обработки полученных в экспериментах данных

лучения более сложной наноструктуры. Главной проблемой здесь оказывается обеспечение соединения отдельных нанотрубок в наносхему и визуализация данной наносхемы для измерения входных и передаточных характеристик полученного нанотранзистора¹⁰. Таким образом, исследовательская проблема детерминирована инженерной задачей. Поскольку „транзистор — важный компонент электронной промышленности”, а в данном случае одновременно и объект исследования. Для достижения все большей его миниатюризации, что диктуется фактически социальным заказом, требуется разрабатывать все новые технологии и материалы, среди которых одними из наиболее перспективных считаются транзисторы, изготовленные из углеродных нанотрубок. Транзисторы из углеродных нанотрубок

изготавливаются разными способами. Однако возникает серьезная не только инженерная задача, но и научная проблема присоединения нанотранзистора из нанотрубок, сконструированных и работающих на наноуровне, к микросхемам, в которые они включаются в качестве основных элементов, и самих нанотрубок между собой. Сложной инженерной задачей является создание электродов, соединяющих нанобъект с микробъектом — контактной площадкой традиционной микросхемы. Соединение углеродных нанотрубок между собой в определенную функционирующую наносхему также является исключительно сложной инженерной задачей. Ее можно осуществить химическим путем с помощью „самосборки”, поскольку на наноуровне невозможно оперировать с макро- и даже микроинструментами и необходим инструмент, вынуждающий нанотрубки самоорганизовываться в заданные пространственные структуры (рис. 3).

Чтобы соединить между собой углеродные нанотрубки, их химически функционализируют, т.е. им искусственным путем придают определенную функциональную направленность, придают некоторые свойства, делающие их из функционально нейтральных функционально определенными, например электропроводящими. С этой целью в их стенки искусственно вводят атомы или дефекты. Для соединения нанотрубок используются радикалы, которые начинают действовать как связывающая молекула „R” (рис. 4).

Сканирующий силовой микроскоп (рис. 5) в данном наноэксперименте вы-

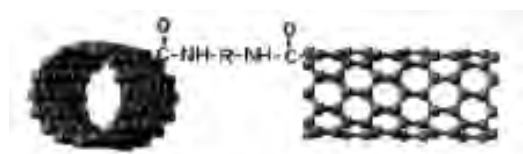
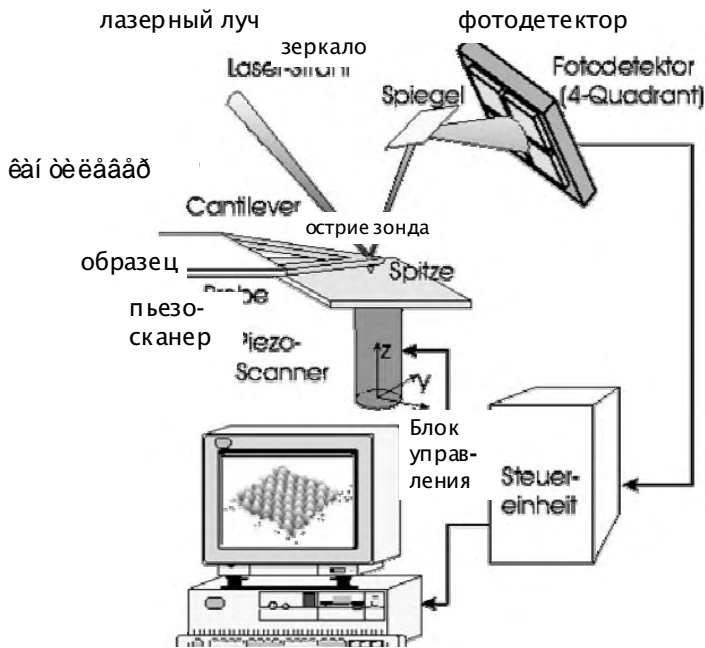


Рис. 4. Схематическое изображение двух углеродных нанотрубок, конец одной из которых соединен с серединой стенки другой с помощью связывающей молекулы R



Сканирующий атомный силовой микроскоп - **AFM (atomic force microscopy)**

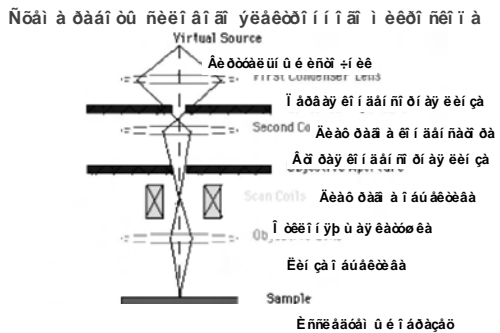
J. Kurz. Vortrag im Rahmen des PCF-Praktikums. Forschungszentrum Karlsruhe, 06.07.2004

Рис. 5. Принцип действия сканирующего атомного микроскопа¹³

стует средством и научного исследования, и одновременно изготовления мостика как между нанотрубками, так и нанотрубок с электродами¹².

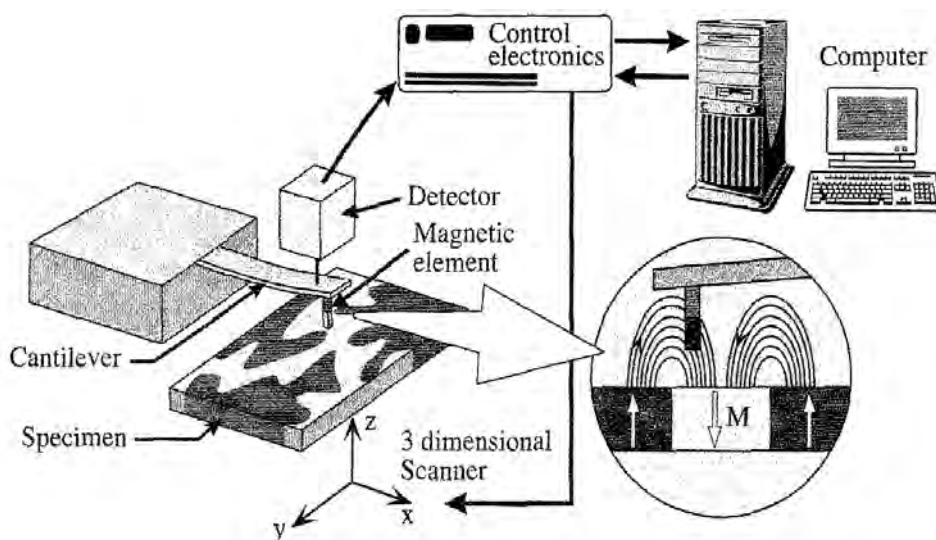
Другой способ соединения нанотрубок с микроэлектродом основан на использовании силового электронного микроскопа¹⁴, который одновременно выполняет функцию визуализации нанотрубок и создания такого рода соединений. В этом случае на поверхность образца с нанесенными на нем углеродными нанотрубками высаживаются органометаллические молекулы, содержащие в себе один или более атом металла. Некоторые из этих молекул адсорбируются („осаждаются“) на нанотрубках, что регистрируется силовым электронным микроскопом, электронный луч которого, направленный в желаемое место, разлагает эти молекулы, выделяя связанный в них атом металла. Таким образом на поверхности нанотрубки возникает электропроводящий соединительный мост (рис. 6).

В сущности в нанотехнологии научное исследование всегда сопровождается компьютерной симуляцией и то, что мы видим на экране дисплея, уже опосредовано определенной теорией, на основе которой построена данная измерительная система, и ее математически-



Th. Koch. Microstructure and Flux Flow Processes in Superconducting MgB₂ Films. Theses of PhD Dissertation in Physics and Mathematics. Chionaur: Mohavian Academy of Sciences, Institute of Applied Physics, 2016, p. 73

Рис. 6. В сканирующем электронном микроскопе функцию луча света выполняет поток электронов, выпускаемых из электронной пушки и управляемых рядом линз и отклоняющих пластин



Schmid G. et al. Nanotechnology. Assessment and Perspectives. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, p. 178

Рис. 7. Принцип магнито-силовой микроскопии

ми представлениями, зашитыми в программе имитационного моделирования (рис. 7).

Самосборка, собственно говоря, и означает лишь искусственный запуск естественного процесса, приводящего к формированию упорядоченных наноструктур, имеющих требуемые для определенных целей свойства. Сущность явления, может быть, еще не до конца понята и теоретически объяснена, но уже имеющиеся в нанотехнологии представления позволяют найти точку приложения силы, запускающей природную цепь, которая сама собой выстраивается в необходимую упорядоченность. Например, исследования в Центре фотохимии РАН направлены на „конструирование и разработку технологий получения материалов и устройств на основе самосборки (снизу—вверх, т.е. от атомарных до макроскопических объектов) молекул в наноструктуры и наноразмерных структур в наноструктурированные материалы и устройства. Такие материалы и устройства имеют иерархическую систему организации и содержат упорядоченные

или неупорядоченные ансамбли элементов разных уровней и архитектур — супрамолекулярных агрегатов, наноразмерных структур различного состава, микроразмерных элементов. ... Управление архитектурой и химическим составом частиц разных уровней иерархии позволяет получать материалы и устройства с новыми, наперед заданными, оптическими характеристиками”¹⁵. На рис. 8 показана модель самосборки, основными строительными блоками которой являются „тубулины-мономеры”.

В своей статье „Фотоника супрамолекулярных наноразмерных структур” академик М.В. Алфимов следующим образом характеризует самосборку наноструктур: „Эта технология самосборки широко используется в живой природе (например, сложные белковые структуры собираются из двадцати сравнительно простых молекул аминокислот). Можно надеяться, что, научившись использовать межмолекулярные взаимодействия ..., можно строить из молекул наноразмерные супрамолекулярные системы и на их основе созда-

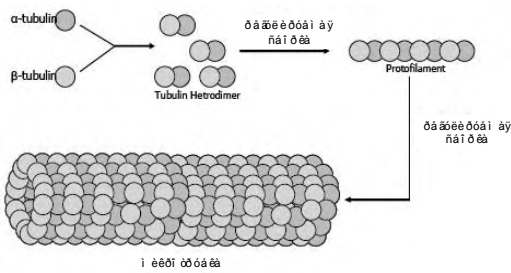


Рис. 8. Бета-тубулин и альфа-тубулин спонтанно соединяются между собой посредством полимеризации в форму функциональной подсистемы, называемой „heterodimer”, а затем собираются в линейные „protofilament”, в свою очередь соединяющиеся в микротрубочки¹⁶

вать новые поколения устройств для информационных технологий. Разрабатываемый в ЦФ РАН подход состоит в том, чтобы, используя процессы самоорганизации молекул, формировать оптически активные и фотохимически активные центры, а затем на основе этих предорганизованных супрамолекулярных систем создавать новые материалы различного назначения. Основной задачей на этом пути является проектирование и синтез устойчивых супрамолекулярных систем, состав и строение которых обеспечивает получение требуемых оптических и фотохимических характеристик... Для построения даже простейших супрамолекулярных систем с заданным строением необходимо, чтобы молекулы, входящие в состав такой супрамолекулярной системы, имели специфические взаимодействующие группы. Строение и положение таких групп, в основном, и определяют структуру супрамолекулярной системы. ...предварительная модификация молекул специальными группами, способными за счет межмолекулярных взаимодействий связывать молекулы друг с другом, является эффективным способом направленного создания супрамолекулярных систем с заданной структурой и оптическими свойствами. ...Можно надеяться, что формируя реакционные центры, т.е. собирая супрамолеку-

лярные системы, в которых реагенты предорганизованы в структуры, обеспечивающие эффективное протекание той или иной фотохимической реакции, можно направлено управлять скоростью протекания требуемой фотохимической реакции. ...синтезируя наноструктуры из органических молекул, можно получать наносистемы с заданными оптическими и фотохимическими свойствами¹⁷.

В сущности нанотехнология пытается понять и использовать принципы, лежащие в основе природных процессов. При этом необязательно провести редукцию биологического к физическим представлениям. Например, две исследовательские группы физиков и биологов попытались совместно изучить механизм действия „единичного биологического наномотора в липидных мембранах”, что потребовало в ходе такого междисциплинарного исследования решать проблему концептуального диалога в нанобиотехнологии, причем с ориентацией на получение по сути дела инженерных результатов. В ходе исследования в энзиме, ответственной в мембране митохондрии (маленьком сферическом или палочковидном теле, связанном двойной мембраной в цитоплазме большинства клеток) за производство энергии, были выделены два типа биомоторов: мотор F_0 — турбина, приводимая в движение потоком протонов, и мотор F_1 — высокоэффективный преобразователь химической энергии в механическую, который может производить вращение посредством гидролиза аденозинтрифосфата (АТФ). „Оба мотора непосредственно связаны, но движутся в противоположных направлениях. ...Размер всей энзимы — примерно 10 нанометров в диаметре и 20 нанометров в высоту. Это, следовательно, на три порядка меньше, чем современные искусственные ротационные машины. Процесс сборки механических наноустройств является одним из ограничительных факторов в нано-

технологии. Эта проблема решается в природе с помощью методов самоорганизующейся сборки”.

АТФ-синтаза рассматривается в этом случае как ротационная машина, которую в биологическом мире можно обнаружить в жгутиковом моторе бактерии (рис. 9). „Вращение изолированного мотора F_1 , приводимого в движение АТФ гидролизом, непосредственно наблюдалось с помощью оптического микроскопа, что позволило раскрыть его удивительное функционирование. Этот мотор вращается отдельными шагами в 120° , причем каждый из них приводится в движение с помощью гидролиза одной АТФ-молекулы с близкой к совершенству эффективностью”¹⁸.

Процесс сборки механических нанороботов является одним из ограничительных факторов в нанотехнологии. Эта проблема решается в природе с помощью методов самоорганизующейся сборки. Чтобы понять и использовать принципы, лежащие в основе этих процессов, исследователи разобрали такой двойной мотор на части и стали изучать функционирование отдельных его частей. Это было необходимо, чтобы „изучить их сущность и то, каким образом снова собрать данные части в функциональную наномашину”. Для решения этой задачи исследователи использовали широко применяемый в природе метод самосборки¹⁹.

Российские ученые именно таким образом исследовали структуру и функционирование такого рода естественной молекулярной машины²⁰ и на этой основе предложили усовершенствовать ее, а фактически создать „искусственную” молекулярную машину (за счет коррекции износившейся „природной машины”, что привело к гипоксии и сердечной недостаточности): „Синтез молекулярных энергоносителей в живых организмах осуществляется ферментами — молекулярными машинами²¹. Все они работают только в присутствии ионов магния. Но если в ферментах заменить

природный магний его чистой изотопной формой ^{25}Mg , то производство энергоносителей возрастает в 2—3 раза”. Уже создан такой „нанохимический контейнер” для доставки ионов ^{25}Mg по кровеносной системе в сердечную мышцу (или другой орган), чтобы увеличить производительность его „молекулярной машины”, заставив отдать эти ионы „страдающим от гипоксии тканям”²².

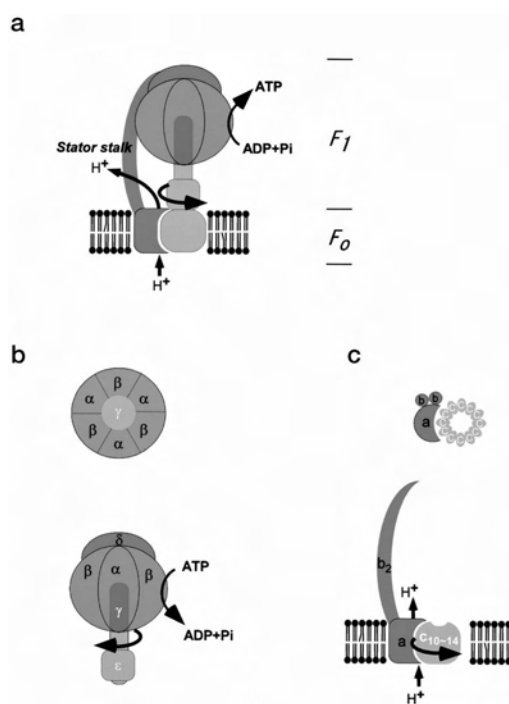


Рис. 9. Схематическое изображение АТФ-синтазы:

a — вид сбоку на АТФ-синтазу. АТФ-синтаза состоит из моторов F_1 и F_0 , расположенных на общем вращающемся валу. Стержень статора соединяет эти два мотора так, чтобы не было скольжения. Мотор F_0 порождает крутящий момент, принуждающий посредством потока протонов мотор F_1 синтезировать АТФ. Направление вращения — по часовой стрелке со стороны мембраны;
b — поперечное сечение и вид сбоку мотора F_1 . Цилиндр $\alpha_3\beta_3$ гидролиза АТФ создает вращение против часовой стрелки части ротора, состоящей из элементов γ и ε ;
c — поперечное сечение и вид сбоку мотора F_0 . Поток протонов сопровождается движением кольцевой структуры по часовой стрелке, создавая 10—14 копий элемента c

Таким образом, в данном случае использован метод мимикрии к природным условиям, а физический подход и подход структурной биологии к исследованию одной и той же гибридной нанобиосистемы выступают как рядоположенные, а не как соподчиненные.

Предельно общие представления о наносистемах и наноструктурах по сути дела представляют собой нанокартину мира — наноонтологию, как некоторое время прежде выдвигалась на передний край науки системная картина мира и системная онтология,— некоторую „универсальную” для данного класса исследуемых и проектируемых объектов теоретическую схему. Эти теоретические схемы „имеют две неразрывно связанные между собой стороны: 1) они выступают как особая модель экспериментально-измерительной практики” и, добавим, проект основанного на этой модели технического действия и „2) одновременно служат системным изображением предмета исследования, выражением сущностной связи исследуемой реальности”²³. В объяснении наноявлений часто с легкостью перескакивают от одной теории и частной научной картины мира к другой, что объясняется ее принципиальной междисциплинарностью. Например, электрон в одном случае рассматривается как сферический или точечный „заряд, вращающийся вокруг некоей оси”, в другом — как „облако электронного заряда между двумя связанными атомами как клей, сцепляющий эти атомы”, в третьем — „электроны в нанотрубке не являются сильно локализованными, а размазаны на большом расстоянии вдоль трубки”, а в четвертом они, как в квантовой теории, представляются в виде волны: „Если длина волны электрона не укладывается целое число раз на длине окружности трубки, она интерферирует сама с собой с погашением, так что разрешены только такие длины волн электронов, которые укладываются целое число раз на периметре трубки”²⁴. По сути дела речь

в нанотехнологии идет о различной реализации „квазиэлектронных” схем на основе химических или биологических процессов. Таким образом, электронные схемы являются лишь только одним из возможных способов реализации и теоретической репрезентации различных естественных процессов (электрических, химических или биологических), протекающих в *гибридной наносистеме*.

3. Новый тип теоретического исследования в нанотехнонауке

Современные представления о научной теории становятся все более близкими к ее пониманию как своего рода технической теории. В классической технической и физической теориях обнаруживается много общего, но есть и существенные различия. Технические и естественные науки занимают одну и ту же предметную область инструментально измеримых явлений. В то же время, хотя они могут изучать одни и те же объекты, но они исследуют их по-разному. Техническая теория ориентирована не на объяснение и предсказание хода естественных процессов, а на конструирование технических систем. Естественнонаучные знания и законы должны быть значительно уточнены и модифицированы в технической теории, чтобы стать применимыми к решению практических инженерных задач. Чтобы довести теоретические знания до уровня практических инженерных рекомендаций, в технической теории разрабатываются особые правила, устанавливающие соответствие между сферой абстрактных объектов технической теории и конструктивными элементами реальных технических систем, и разрабатываются операции перенесения теоретических результатов в область инженерной практики. Особенность технических наук заключается в том, что в них инженерная деятельность заменяет, как правило, эксперимент. Именно в инженерной деятельности проверяется адекват-

ность теоретических выводов технической теории и черпается новый эмпирический материал. В них теоретическое рассмотрение тесно переплетается с непосредственными практическими приложениями. В современной технoнауке эти различия полностью снимаются, так как естественнонаучный эксперимент становится неотделимым от проектирования, а результаты такого рода исследований направлены одновременно как на объяснение и предсказание хода естественных нанопроцессов, так и на конструирование новых искусственных наноструктур. Это легко увидеть во многих рассуждениях в области нанотехнологии: „*Конструирование* эпитаксиальных структур „германий-кремний” с квантовыми точками стало возможным *после изучения* начальных стадий осаждения германия на атомно-чистую поверхность кремния методом *сканирующей туннельной микроскопии* в сверхвысоком вакууме. *Управлять* плотностью и размером островков германия можно, если германий растет на поверхности кремния со слоем оксида толщиной в несколько атомных слоев непосредственно *в установке молекулярно-лучевой эпитаксии*” (курсив наш — В.Г.)²⁵. В нанотехнологии в принципе невозможно отделить научное исследование от разработки технологии и инженерного проектирования.

В нанонауке, с одной стороны, как в классическом естествознании, на основе математических представлений и экспериментальных данных строятся объяснительные схемы природных явлений и формулируются предсказания хода определенного типа естественных процессов, а с другой стороны, как в технических науках, конструируются не только проекты новых экспериментальных ситуаций, но и структурные схемы новых, неизвестных в природе и технике наносистем (рис. 10).

В структуре любой научной теории наряду с концептуальным и математическим аппаратом важную роль играют

теоретические схемы, образующие своеобразный внутренний скелет теории. Эти схемы представляют собой совокупность абстрактных объектов, ориентированных, с одной стороны, на применение соответствующего математического аппарата, а с другой,— на мысленный эксперимент, т.е. на проектирование возможных экспериментальных ситуаций. Это — особые идеализированные представления (теоретические модели), которые часто выражаются графически (геометрически)²⁶. Примером их могут быть электрические и магнитные силовые линии, введенные Фарадеем в качестве схемы электромагнитных взаимодействий. „Фарадеевы линии силы,— писал Максвелл,— занимают в науке об электромагнетизме такое же положение, как пучки линий в геометрии положения. Они позволяют нам воспроизвести точный образ предмета, о котором мы рассуждаем”²⁷. Герц использует и развивает далее эту теоретическую схему Фарадея для осуществления и описания своих знаменитых опытов. Например, он приводит изображения так называемого процесса „отшнуровывания” силовых линий вибратора, что стало решающим для передачи электромагнитных волн на расстояние и появления радиотехники, и анализирует распределение сил для различных моментов времени. Он называет такое изображение „наглядной картиной распределения силовых линий”. В нанонауке такого рода волновой процесс исследуется на уровне одиночного электрона, атома или молекулы, а также кластера атомов и молекул. А на основе такого исследования, например их волновой функции, строится наносистема, выполняющая в принципе ту же функцию, что и радиотехническое устройство или его элементы, как, например, транзистор, работающий на атомарном уровне, который „может переключаться с квантованного токопроводящего состояния „включено” на непроводящее состояние „выключено” и обратно с помощью подачи управляющего напряжения на тре-

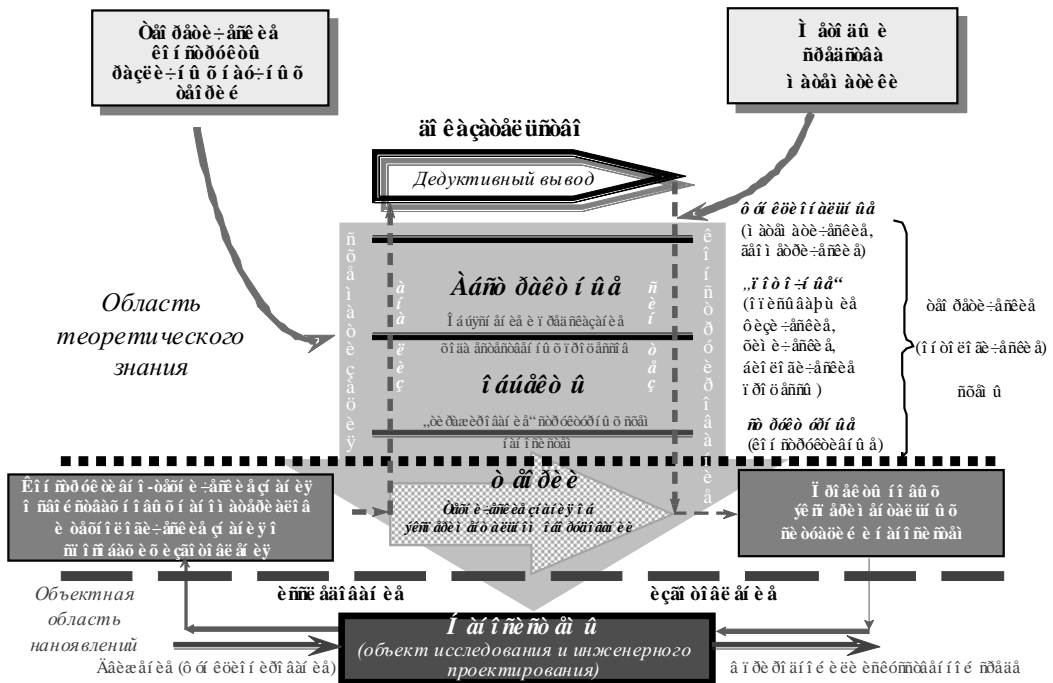


Рис. 10. Структура нанонауки

тий независимый электрод²⁸. В технике такого рода графические изображения играют еще более существенную роль, поскольку одна из особенностей инженерного мышления заключается в оперировании схемами и модельными представлениями.

Итак, нанотехнология может быть рассмотрена и как область науки, и как отрасль технологии. Поэтому и существует такое многообразие ее определений. Одни рассматривают ее как отрасль технологии, при этом подчеркивая ее направленность на проектирование наносистем, другие — как науку, исследующую общие закономерности функционирования, создания, совершенствования и использования наносистем. Все сходятся, однако, на том, что проблемы нанонауки и нанотехнологии являются комплексными и находятся на стыке ряда научных и технических дисциплин, что она позволяет устранить разрыв между научным исследованием и инженерным проектированием, который существует при традиционных методах работы,

что это — широкая сфера, игнорирующая границы, которые разделяют различные академические дисциплины и отделяют исследование от инженерных разработок. При этом она демонстрирует свою аналогичность системотехнике, направленной на исследование и проектирование больших технических систем, с тем лишь отличием, что в наносистемотехнике речь идет о микро- и наносистемах. „Наносистемотехника — совокупность методов моделирования, проектирования и конструирования изделий различного функционального назначения, в том числе наноматериалов, микро- и наносистем с широким использованием квантово-размерных, кооперативно-синергетических, гигантских эффектов и других явлений и процессов, проявляющихся в условиях материальных объектов с нанометрическими характеристическими размерами элементов“²⁹.

Даже из нескольких приведенных примеров видно, что в нанотехнологии оперируют понятиями из различных областей физики (как классической,

так и квантовой механики), химии, биологии и целого ряда технических наук. Даже в случае организации взаимодействия только физиков и биологов при решении общей научной задачи возникают сложные проблемы взаимопонимания и построения гибридных теоретических схем. Поэтому в нанотехнологии появляется острая потребность в специалистах, владеющих одинаково хорошо знаниями и методами нескольких наук, а также и в так называемых дженералистах — специалистах с развитой способностью к философской рефлексии, способных обеспечить стыковку различных исследовательских и проектных групп и их разнородных научных представлений. К этому следует добавить не менее сложные проблемы взаимодействия и взаимопонимания теоретиков, экспериментаторов, проектировщиков, технологов, органи-

заторов производства, также часто говорящих фактически на разных языках. Все возрастающую важность в нанотехнологии приобретают такие проблемы, как внедрение, оценка функционирования (включая оценку как позитивных, так и негативных последствий нанотехнологий) и утилизации наносистем (рис. 11).

В нанотехнологии различают две основные стратегии (см. схему на рис. 12). С одной стороны, существует так называемый „top-down” (сверху вниз) подход, „доминирующий главным образом в физике и физической технике. В данном случае, исходя из микротехники рассматриваются все более и более миниатюрные компоненты и структуры. С другой стороны, имеется „bottom up” (снизу вверх) подход, который направлен на целевое создание все более сложных систем из атомарных или мо-

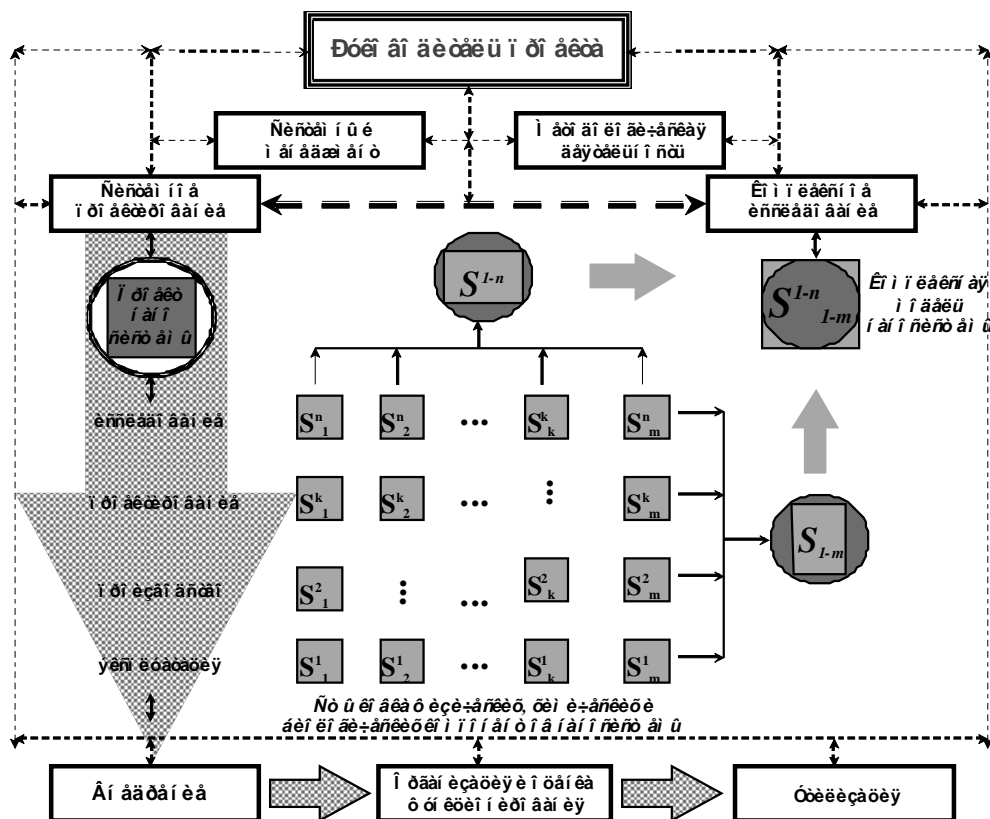


Рис. 11. Схема этапов и взаимодействий в нанотехнологии



Рис. 12. Нанонаука и нанотехнология как технонаука

лекулярных элементов. Этот подход до сих пор больше представлен химией и биологией, в которых обращение с объектами нанометрической величины уже давно является обычным делом”³⁰.

Как видно из вышеприведенной схемы, нанонаука ориентируется, с одной стороны, на общие методологические наносистемные представления, поскольку не существует единой теории для всех участвующих в нанотехнологической деятельности научных дисциплин и для соотнесения частных теоретических схем необходимо обращаться непосредственно к общенаучной картине мира. С другой стороны, ее теоретические модели всегда опосредуются „универсальными” (но проблемно-ориентированными) средствами имитационного компьютерного моделирования, где уже „защита” определенная математическая схема для представления объекта исследования („конфигуратор”). Теоретические схемы нанонауки, кроме того, всегда соединяют в

себе не только отображение хода естественного процесса в наноструктурах (абстрактные структурные схемы), но и описание алгоритмов исследования и конструирования таких наноструктур (абстрактные поточные — алгоритмические — схемы). Именно поэтому нанонаука и нанотехнология практически неразличимы и неразъединимы и составляют единую нанотехнонауку (nanotechnoscience).

Таким образом, нанотехнология может быть рассмотрена и как область науки, и как отрасль технологии. Одни рассматривают ее как отрасль технологии, при этом подчеркивая ее направленность на проектирование наносистем, другие — как науку, исследующую общие закономерности функционирования, создания, совершенствования и использования наносистем, требующих системного подхода к задачам их анализа и синтеза. Все сходятся, однако, на том, что проблемы нанонауки и нанотехнологии являются комплексными и

находятся на стыке ряда научных и технических дисциплин, что она позволяет устранить разрыв между исследованием и проектированием, который существует при традиционных методах работы, что это — широкая сфера, игнорирующая границы, которые разделяют различные академические дисциплины и отделяют исследование от инженерных разработок. Проектная установка, однако, оказывает влияние на изменение приоритетов такого комплексного исследования, способствует формированию отношения к научному знанию не только как к знанию о чем-то, но и как к средству деятельности: „главным видением нанотехнологии с самого начала была целенаправленная манипуляция материей на атомарном уровне”³¹.

Такая двойственная ориентация нанотехнологии и на научные исследования естественных, природных явлений, и на производство, воспроизведение замысла искусственным путем заставляет взглянуть на свое „изделие” одновременно как на природный объект, который выступает как „естественно-искусственная” система. С одной стороны, наносистема представляет собой явление природы, которое подчиняется естественным законам, а с другой — то, что необходимо искусственно создать: сначала определить материальные условия и искусственные средства, влияющие на природу в нужном направлении, заставляющие ее функционировать так, как это нужно для человека, и лишь потом на основе полученных знаний задать требования к этим условиям и средствам, а также указать способы и

последовательность их обеспечения и изготовления. В свою очередь искусственно созданные в эксперименте ситуации сами должны быть представлены и описаны в научном плане как определенные естественные процессы. Однако в классическом естественнонаучном эксперименте главный акцент все же должен делаться на естественной позиции, а в традиционной инженерной деятельности он ставится на искусственной позиции, поскольку основная цель эксперимента в классическом естествознании — подкрепить, обосновать с помощью искусственных средств теоретически выведенные естественные законы. Цель же традиционной инженерной деятельности, учитывая эти законы — создать искусственные технические средства и системы для удовлетворения определенных человеческих потребностей. В нанотехнологии эти позиции настолько переплетаются, что нанотехнологический эксперимент становится одновременно и средством проектирования наносистем. В вышедшей за последнее время на разных языках многочисленной популярной и квази-философской литературе часто ограничиваются рядом общих заявлений относительно нанотехнологии, не всегда схватывая суть происходящих в этой новой области науки и техники процессов. Поэтому мы попытались проиллюстрировать происходящие в ней изменения, а по сути дела формирование новой парадигмы научного исследования и технологического действия на ряде конкретных примеров из самой современной практики нанонауки.

Литература и примечания

¹ *Heinze T.* Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft. Das Beispiel der Nanotechnologie.— Frankfurt; New York, 2006.— S.113.

² *Ibid.*— S.108,109.

³ *Paschen H., Coenen Chr., Fleischer T.u.a.* Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2004.— S.52.

⁴ *Ibid.*— S.53.

⁵ *Schummer J.* The global institutionalization of nanotechnology research: A bibliometric approach to the assessment of science policy // *Scientometrics.*— 2007.— Vol. 70, No. 3.— P. 677—678.

⁶ Ibid.— P. 678—679.

⁷ *Poole Ch.P., Jr., Owens J. Fr.* Introduction to nanotechnology. Wiley-Interscience: — A John Wiley & sons, Inc., Publication, 2003 (русский перевод: Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс. Нанотехнологии.— М.: Техносфера, 2006).

⁸ См.: <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology> .

⁹ *Paschen H., Coenen Chr., Fleischer T. u.a.* Nanotechnologie. Forschung, Entwicklung, Anwendung.— Berlin, Heidelberg; New York, 2004.—S. 58.

¹⁰ *Roth S., Kern D.* Self-Assembly of carbon Nanotube Transistors. // Nanotechnology — Physics, Chemistry, and Biology of Functional Nanostructures. Results of the first research programme Kompetenznetz „Funktionelle Nanostrukturen” (Competence Network on Functional Nanostructures) / Th. Schimmel et al. (Eds.).— Stuttgart; Landesstiftung Baden-Württemberg, 2008.— P. 77—94.

¹¹ *Nanoscope Software 6.13 User Guide.* Veeco Instruments Inc., 2004 (www.veeco.com/pdfs.php/268/?showPDF=true).

¹² *Ведущее* представление нанотехнологии как целенаправленной манипуляции материей на атомарном уровне было сформулировано еще в 1959 году американским физиком, Нобелевским лауреатом Ричардом Фейнманом. В 1981 году Герд Карл Биниг (G. Binnig) и Генрих Рорер (H. Rohrer) сконструировали первый зондовый микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), при помощи которого удалось визуализировать атомы. С помощью зонда этого прибора можно определить модуляцию электронной плотности, энергии связей атомов и наблюдать каждый атом по отдельности и в заданных точках. Родился новый физический метод — сканирующая зондовая микроскопия, а вместе с ней и технологический прием локального воздействия на поверхность (электрического, магнитного, механического и т. д.) с точностью ориентации до отдельных атомов. Его относят сейчас к основным методам нанотехнологии.

¹³ *Сканирующий* атомный силовой микроскоп „поставляет не изображения или звуковые сигналы, а данные, которые протоколируют взаимодействие острия зонда и поверхности образца”. Здесь важны процессы интерпретации и подготовки полученного эмпирического материала, т.е. данных измерений. Главную роль в этих процессах играет специальный программный продукт для графической обработки данных, предлагающий средства для работы с изображением: прояснить, затуманить его, сделать рельефным. Компьютерные программы позволяют приспособить абстрактные данные к нашим привычным зрительным восприятиям. Первое, что должно быть сделано — придать данным измерения форму ортогональной проекции (т.е. задать представление в прямоугольных координатах), „таким образом представить, каковыми атомные группы теоретически предполагаются быть. Они также очищают изображение от шумов, т.е. артефактов измерительного процесса. Программа даже может представить все в цвете. Хотя на атомарном уровне нет никаких цветов, большинство нано изображений являются, тем не менее, цветными. С помощью преобразований Фурье можно убрать из изображения шумы и помехи, которые мешают отображаемой на картинке „иллюзии реальности”. Именно программа придает данным вид поверхности или глубинной структуры” (см.: J. Soentgen. *Atome Sehen, Atome Horen.* // *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektive.*— Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH, 2006). В принципе эта работа ничем не отличается от разведки местности с помощью радиолокационного устройства, например, со спутников. Полученные данные также проходят через многоступенчатый процесс фильтрации и устранения помех, проясняющих изображение, причем характер последнего зависит от поставленной цели. Если нужно картографировать рельеф местности, то дается один тип изображения, а если, например, исследовать донные отложения в водоемах и реках или залегают горных пород, - другое. Как и в случае с атомным силовым микроскопом, который тестирует поверхность образца с помощью тончайшего зонда, радар проводит сканирование поверхности, посылая и принимая сигналы от поверхности различных тел и обрабатывая их с помощью компьютеров. В сущности, острое наконечника зонда не соприкасается с поверхностью образца и измеряются силы их притяжения или отталкивания. К системе „образец — игла” в сканирующем туннельном микроскопе приложена разность потенциалов и электроны, как бы перескакивая с образца на иглу, создают туннельный ток, величина которого экспоненциально зависит от расстояния между исследуемым образцом и острием зонда. Сканирующий электронный микроскоп вообще осуществляет сканирование сфокусированным пучком электронов, что его еще более сближает с радиолокацией, которая сегодня использует для локации объектов не только волны радиодиапазона. Радиоволны при этом рассматриваются лишь как один из типов волн произвольной природы наряду с инфракрасными и световыми колебаниями, а также рентгеновским и гамма-излучением или механическими ультразвуковыми колебаниями упругой среды. Собственно, и полученное с помощью радара необработанное изображение мало что может сообщить об исследуемой поверхности, если не произведена его реконструкция с помощью специального программного алгоритма (см., например: S. Azevedo, T.E. Mcewan. *Micro Power Impulse Radar* // *Science & Technology Review January/February 1996* - <http://www.lasers.llnl.gov/lasers/idp/mir/mir.html>).

¹⁴ *В сканирующем* электронном микроскопе функцию луча света выполняет поток электронов, выпускаемых из электронной пушки и управляемый рядом линз и отклоняющих пластин. Сканирующий электронный микроскоп превращается из сложного экспериментального прибора в промышленную

установку „Nanowriter” электронно-лучевой литографии для производства наноструктур. (См.: H. Ahmed. Nanostructure Fabrication // Proceedings of the IEEE.— 1991.— Vol. 79, No 8.— P. 1144—1145).

¹⁵ Алфимов М.В. Самосборка молекул: Основные открытия еще впереди! // Центр фотохимии РАН.— 2006, декабрь, — № 1. „Самосборка компьютерной памяти: Новый наноматериал, разработанный учеными из университета штата Пенсильвания (США), приведет к радикальному изменению в технологии микроэлектроники и к созданию модулей памяти с уникальными свойствами. Исследователь Ритеш Агарвал (Ritesh Agarwal) и его коллеги разработали прототип одного из ключевых элементов компьютерной памяти - нанопровод из полупроводникового материала состава GeSbTe, обратимо меняющего фазовое состояние с переходом из аморфной структуры в кристаллическую. Нанопровод был изготовлен без использования литографического процесса. Вместо него исследователи применили процесс кристаллизации исходных реагентов при низких температурах, при этом они использовали металлические катализаторы размером в нанометры. В итоге на поверхности кремниевого субстрата самопроизвольно образовался линейный фрагмент полупроводникового материала длиной в несколько микронов и диаметром 30-50 нм, что соответствует размеру приблизительно 100 атомов. В ходе дальнейших экспериментов были изучены свойства полученного наноматериала. Оказалось, что он обладает уникальными свойствами для записи и хранения информации ... ” (опубликовано 02.10.2007 в: http://bio.fizteh.ru/index/NewsHiTech/nanomemory_02102007.html). Исследователи из Кореи разработали методику получения высокоанизотропных магнитных структур из наночастиц кобальта, основанную на самосборке этих частиц в магнитном поле, и „показали, как магнитное поле содействует сборке наночастиц в кристаллические анизотропные стержни и проволоки. ... Такого рода анизотропные магнитные суперкристаллы могут быть потенциально применимы как высококачественные магнитные системы, а также как магнитное запоминающее устройство с высокой степенью упаковки или как магнитные сенсоры” (Jong-II Park, Young-wook Jun, Jin-sil Choi and Jinwoon Cheon. Highly crystalline anisotropic superstructures via magnetic field induced nanoparticle assembly // The Royal Society of Chemistry 2007. Chem. Commun.— 2007.— P. 5002—5003 — <http://www.rsc.org/chemcomm>).

¹⁶ Ramana M. Pidaparti, David Primeaux and Brandon Saunders. Modeling and Simulation of Nanoscale Self-Assembly Structures <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/11219/36118/01717003.pdf>.

¹⁷ Алфимов М.В. Фотоника супрамолекулярных наноразмерных структур. — http://www.photonics.ru/pics/5136ref/alf_article.pdf.

¹⁸ Noji H., Yoshida M. The Rotary Machine in the Cell, ATP Synthase // J. Biol. Chem.— January 19, 2001.— Vol. 276, Issue 3.— P. 1665. — <http://www.jbc.org/cgi/content/full/276/3/1665>.

¹⁹ Börsch M., Wrachtrup J. The Electro-Mechanical Coupling Within a Single Molecular Motor // Nanotechnology — Physics, Chemistry, and Biology of Functional Nanostructures. Results of the first research programme Kompetenznetz „Funktionelle Nanostrukturen” (Competence Network on Functional Nanostructures) / Th. Schimmel et al. (Eds.).— Stuttgart; Landesstiftung Baden-Württemberg, 2008.— P. 41—43.

²⁰ С использованием новых технологий оптики и механики одиночных молекул ... (типа оптического пинцета) осуществлена визуализация механики самой красивой из молекулярных машин — АТФ синтазы..., измерен вращательный угловой момент ее ротора, ... доказано её замечательное свойство — изменение вращения ротора меняет режим работы фермента от синтеза АТФ к его гидролизу, т.е. смена механики меняет химию” (А.Л. Бучаченко, Д.А. Кузнецов. Магнитный изотопный эффект магния — ключ к механохимии фосфорилирующих ферментов как молекулярных машин. - <http://arkhangelski.livejournal.com/341.html>).

²¹ Ферменты, „осуществляющие биохимию живой клетки, являются молекулярными машинами — конструкциями, молекулярная механика которых производит химические реакции и синтез биомолекул”, преобразующими „механическую” энергию в химическую. „Загадкой является главный элемент работы механохимической машины — как и почему механическое движение преобразуется в химию, по какому физическому механизму движение в молекулярных машинах ... производит преобразование электронных оболочек молекул и перегруппировку их ядер, как молекулярно-механическое движение создаёт из исходных реагентов новые молекулы”. Российскими учеными как раз и был получен ответ на вопрос как работает механохимическая молекулярная машина: „Именно ион Mg²⁺ является тем реагентом, на котором механика белковой молекулы трансформируется в химию. Именно этот ион является ключевой деталью ферментов как механохимических молекулярных машин” (см.: А.Л. Бучаченко, Д.А. Кузнецов. Магнитный изотопный эффект магния — ключ к механохимии фосфорилирующих ферментов как молекулярных машин. — <http://arkhangelski.livejournal.com/341.html>).

²² В опытах на крысах было показано, что эти ионы, „доставленные в сердечную мышцу, производят в 3—4 раза больше АТФ”, поскольку сердечная недостаточность как раз и вызвана недостатком АТФ и следует увеличить скорость ее синтеза. Это и достигается доставленным в контейнере к сердечной мышце искусственно полученным изотопом магния „в виде безвредного проверенного всей медицинской практикой хлорида магния” (см.: А.Л. Бучаченко, Д.А. Кузнецов. Ядерно-магнитное управление синтезом энергоносителей в живых организмах. В: Вестник РАН, 2008, т. 78, № 7, с. 583).

²³ Степин В.С. Теоретическое знание.— М.: Прогресс-Традиция, 2000.— С. 163.

²⁴ Пул Ч.-мл., Оуэнс Ф. Нанотехнологии.— М.: Техносфера, 2006.— С. 90, 103, 116—117.

²⁵ *Aceev A.L.* Нанотехнологи в полупроводниковой электронике // Вестн. РАН.— 2006.— Т. 76, № 6.— С. 606.

²⁶ *Подробнее* о строении естественнонаучной теории см.: В.С. Степин. Теоретическое знание.— М.: Прогресс, 2000, а о технической теории см.: В.Г. Горохов. Концепции современного естествознания и техники.— М.: ИНФРА-М, 2000 и В.Г. Горохов. Основы философии техники и технических наук.— М.: Гардарики, 2007.

²⁷ *Максвелл Д.К.* Речи и статьи.— М.: Наука, 1967.— С. 69.

²⁸ *Для этой цели* точечный контакт формируется на атомарном уровне с помощью электрохимического осаждения серебра внутри промежутка нанометрического размера между двумя золотыми электродами, которое впоследствии может быть удалено или снова нанесено, позволяя таким образом открывать и закрывать этот промежуток”. Здесь имеет место эффект электрохимического циклического процесса и обсуждается „механизм формирования и действия квантового транзистора атомарного уровня” (см.: F.-Q. Xie, Ch. Obermair, Th. Schimmel. Configuring a Bistable Atomic Switch by Repeated Electrochemical Cycling // V International Conference on Microelectronics and Computer Science. Nanoscale Phenomena — Fundamentals and Applications. „NANO-2007”. 20—22 September 2007, Kishinev, Moldova).

²⁹ Лучинин В.В. Индустрия наносистем. Системный подход // Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс. Нанотехнологии.— М.: Техносфера, 2006.— С. 32, 212 (о системотехнике см.: В.Г. Горохов. Методологический анализ системотехники.— М.: Радио и связь, 1982).

³⁰ *Paschen H., Coenen Chr., Fleischer T. u.a.*— S. 1, 27.

³¹ *Ibid.*

Получено 19.10.2009

В.Г. Горохов

Новітня історія розвитку нанотехнології як технонауки

Наведено результати наукометричного аналізу розвитку нанонауки (три періоди), розглядаються перехід у нанотехнології від інженерної задачі до наукової проблеми і від неї — до розробки новітніх технологій, новий тип теоретичних досліджень у нанотехнонауці.

О.Л. Храмова-Баранова

Стандартизація: основні аспекти розвитку

Показано ідею стандартизації і загальне її розуміння з давніх часів. Здійснено аналіз літературних джерел, що підтверджує необхідність використання стандартів продукції для отримання високої її якості, а також формування законодавчої бази стандартизації. Висвітлено період, коли зародилася найпростіша форма стандартизації і виробник продукції вперше почав стверджувати, що вона відповідає вимогам загальноприйнятого стандарту.

Необхідність у стандартах виникає, як правило, тоді, коли людина повинна координувати свої або спільні з іншими людьми дії щодо будь-якого об'єкта. Стандартизація як одна з форм розумової діяльності людства починається з узагальнення понять. За їх допомогою може бути відображено деяку кількість реальних об'єктів. Просторові та часові властивості об'єктів є однією з форм аб-

страгування. Отже, можна припустити, що стандартизація починалася з нормування розмірних параметрів. Це підтверджується великою кількістю прикладів.

З розвитком суспільства безперервно удосконалювалась трудова діяльність людей, що проявлялося у створенні різних предметів, нових прийомів праці. При цьому люди намагалися відбрати і