

О. И. Зеленский, Б. Я. Пугач

Исторические и философские аспекты нанотехнологий

Нанотехнологии в последние годы стали одной из наиболее важных и захватывающих областей знаний на переднем крае физики, химии, биологии и технических наук. Они рассматриваются не только как одни из наиболее многообещающих ветвей высокой технологии, но и как системообразующий фактор экономики XXI века – экономики, основанной на знаниях, а не на использовании природных ресурсов или их переработке. Кроме этого, нанотехнологии стимулируют развитие новой парадигмы всей производственной деятельности («снизу-вверх» – от отдельных атомов – к изделию, а не «сверху-вниз», как традиционные технологии, в которых изделие получают путем отсечения излишнего материала от более массивной заготовки). Они являются источником новых подходов к повышению качества жизни и решению многих социальных проблем в постиндустриальном обществе.

По мнению большинства экспертов в области научно-технической политики и инвестирования средств, начавшаяся нанотехнологическая революция охватит все жизненно важные сферы деятельности человека (от освоения космоса – до медицины, от национальной безопасности – до экологии и сельского хозяйства), а ее последствия будут обширнее и глубже, чем компьютерной революции последней трети XX века [1]. Это представляет собой значительное событие в развитии научного познания в XXI веке.

Под нанотехнологиями понимается совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба [2].

Речь идет о перспективных направлениях в наноэлектронике, наноструктурных материалах, прикладной химии, области сверхпроводников, аккумуляторах водорода, сорбентах, оптических устройствах, фоточувствительных элементах и в других отраслях, где стали использовать так называемые фуллерены, нанотрубки и другие похожие на них структуры (рис. 1). Данные структуры можно назвать общим термином «углеродные каркасные

структуры». Углеродные каркасные структуры – это новая аллотропная форма углерода, принципиально отличающаяся от уже известных алмаза, графита и карбина. Главная особенность таких макромолекул состоит в том, что они в зависимости от назначения образуют замкнутый каркас определенной формы, в котором имеются, как правило, пустотелые «оболочки». Самым распространенным из углеродных каркасных структур является фуллерен C_{60} . За открытие которого первооткрывателям, американским ученым Роберту Керлу, Ричарду Смолли и великобританскому ученому Гарольду Крото была присуждена Нобелевская премия по химии «За открытие фуллеренов» за 1996 год [3].

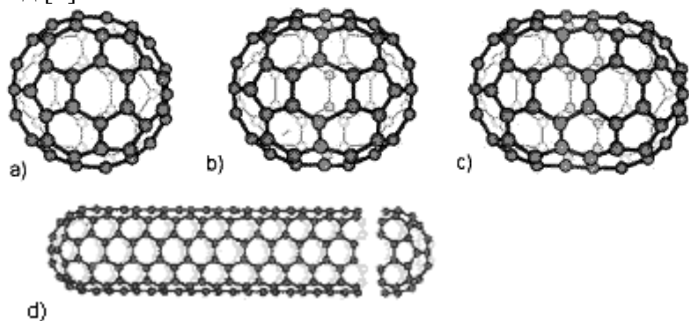


Рис. 1. Некоторые виды углеродных каркасных структур: а) – фуллерен C_{60} ; б) – фуллерен C_{70} ; в) – фуллерен C_{80} ; д) – однослойная нанотрубка.

Термин «фуллерен» берет свое начало от имени американского архитектора Бакминстера Фуллера, который применял такие структуры при конструировании куполов зданий. По этой причине молекулу C_{60} часто называют бакминстерфуллереном (buckminsterrullerene), а для обозначения класса молекул углерода, имеющих замкнутую сферическую или сфероидальную конфигурацию, используют название «фуллерены».

Греческого философа Демокрита, который 2400 лет назад ввел термин «атом» (от греч «atomos» – «неделимый») для описания самой малой частицы вещества можно считать родоначальником нанотехнологий.

Приведем некоторые исторические вехи в развитии нанотехнологий [4]:

1905 г – Выдающийся физик Альберт Эйнштейн (Нобелевская премия по физике 1921 г) доказал о том, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр.

1931 г – Немецкий физик Эрнест Август Руско (Нобелевская премия по физике «За фундаментальные работы в электронной оптике и создание первого электронного микроскопа» за 1986 г) создал электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты.

1959 г – Американский физик-теоретик Ричард Фейнман (Нобелевская премия по физике 1965 г) впервые опубликовал работу, где оценивались перспективы миниатюризации. Основные положения нанотехнологий были намечены в его легендарной лекции «Там внизу – много места» («There's Plenty of Room at the Bottom»), произнесенной им в Калифорнийском Технологическом Институте [5]. Фейнман научно доказал, что с точки зрения фундаментальных законов физики нет никаких препятствий к тому, чтобы создавать вещи прямо из атомов. Но тогда еще не существовало технологии, позволяющей оперировать отдельными атомами и чтобы стимулировать интерес к этой области, Фейнман назначил приз в \$1000, тому, кто впервые запишет страницу из книги на булавоочной головке, что осуществилось уже в 1964 году.

1968 г – Альфред Чо и Джон Артур, сотрудники научного подразделения американской компании Bell, разработали теоретические основы нанообработки поверхностей.

1974 г – Японский физик Норио Танигучи ввел в научный оборот слово «нанотехника», предложив называть так механизмы размером менее 1 микрона.

1981 г – Германские физики Герд Бинниг и Генрих Рорер создали сканирующий туннельный микроскоп – прибор, позволяющий осуществлять воздействие на вещество на атомарном уровне. Через четыре года им была присуждена Нобелевская премия.

1985 г – Американский физики Роберт Керл, Гарольд Крото и Ричард Смолли создали технологию, позволяющую точно измерять предметы диаметром в один нанометр.

1986 г – Создан атомно-силовой микроскоп, позволяющий, в отличие от туннельного микроскопа, осуществлять

взаимодействие с любыми материалами, а не только с проводящими.

1986 г – Американский футуролог Эрик Дрекслер опубликовал книгу, в которой предсказал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться.

1989 г – Дональд Эйглер, сотрудник компании IBM, выложил название своей фирмы атомами ксенона.

1998 г – Голландский физик Сеез Деккер создал нанотранзистор.

2000 г – Администрация США объявила «Национальную нанотехнологическую инициативу» (National Nanotechnology Initiative). Тогда из федерального бюджета США было выделено \$500 млн. В 2002 сумма ассигнований была увеличена до \$604 млн. На 2003 год «Инициатива» запросила \$710 млн., а в 2004 году правительство США приняло решение увеличить финансирование научных исследований в этой области до \$3,7 млрд. в течение четырех лет. В целом, мировые инвестиции в нано в 2004 году составили около \$12 млрд.

2004 г – Администрация США поддержала «Национальную наномедицинскую инициативу» как часть National Nanotechnology Initiative. Стремительное развитие нанотехнологий вызвано еще и потребностями общества в быстрой переработке огромных массивов информации.

Очень часто нанотехнологии ошибочно воспринимают лишь как количественный предел стремления к миниатюризации. Примером может служить уменьшение размера интегральных схем в микроэлектронике. На самом деле основная идея нанотехнологий – это исследование и применение качественно новых свойств материалов и устройств [6]. Установлено, что физическое поведение небольшого числа атомов и молекул очень сильно отличается от поведения их более многочисленных агрегатов (скоплений). На наномасштабном уровне отдельных атомов и молекул законы квантовой механики начинают доминировать над законами классической физики. Поэтому нанотехнологии следует воспринимать как истинно квантовомеханические технологии управления свойствами и поведения вещества.

Нанотехнологическая революция 1990–2000-х годов пришла на смену компьютерной революции 1980–1990-х годов. Это утверждение можно оспаривать только в отношении начала

решительного прогресса в нанотехнологиях. Инвестиции в этой области за период с 1996 по 2004 г. увеличились почти в десять раз: с 800 млн долл. в 1997 г. до более 8 млрд долл. в 2005 г. Считается, что к 2015 г. рынок нанотехнологий составит более 1 000 млрд долл. с количеством персонала более 7 млн научно-технических работников [7], [8], [9].

Обычно развитие нанотехнологий характеризуют следующими основными этапами [10]:

- развитие пассивных наноструктур, т.е. материалов с неизменными стабильными свойствами и функциями, например композиты с нановолокнами или электронные схемы с углеродными нанотрубками-контактами – с 2000 г.;

- развитие активных наноструктур, т.е. материалов с изменяющимися свойствами и функциями, например биоактивные молекулы или электронные схемы с нанотранзисторами – с 2005 г.;

- развитие сложных наносистем, например самособирающиеся электросхемы или регенерирующиеся имплантированные живые ткани – предполагаемое начало с 2010 г.;

- развитие сложных наносетей, например самособирающиеся сети нанокomпьютеров и нанороботов или адаптивные генетические терапевтические лекарства – предполагаемое начало с 2015 г.

Исследования в области нанотехнологий можно разделить на два основных направления: *применение* и *получение* наноструктур. Благодаря своим уникальным свойствам фуллерены и нанотрубки могут применяться во многих промышленных направлениях: создание новых материалов, полупроводники, устройства хранения, биотехнологии, полимеры, электрохимия, оптика и др. Но сдерживающим фактором их широкого внедрения является отсутствие технологии получения в промышленных масштабах этих структур. Существующие способы производства фуллеренов и нанотрубок, такие как лазерный, дуговой, гибридные системы, производство в пламени, каталитическое разложение углеводородов, химические способы и др. позволяют получать лишь десятки граммов в час [10].

Но несмотря, на многие принципиальные трудности, ученые смогли в последние годы найти альтернативные пути развития электроники. Они создали транзисторы, вентили, диоды, переключатели и тому подобное на основе мельчайших трубок,

волокон и даже молекул. Более того, им удалось связать их в сложные электрические цепи. Современная технология позволяет упаковать более 30 млн транзисторов на 1 см^2 с мельчайшим элементом около 130 нм, что в 50 тыс. раз больше характерного размера молекулы [11].

Углеродные нанотрубки привлекают столь большое внимание специалистов в области нанотехнологий, т.к. они обладают совершенной структурой на атомном уровне. Причем в зависимости от расположения атомов углерода в сечении трубки (по кругу или по спирали) можно управлять электрическими характеристиками нанотрубки: если атомы расположены по кругу, нанотрубка является проводником, а если по спирали, то полупроводником.

Создание столь миниатюрных и чрезвычайно сложных систем подвержено многочисленным дефектам расположения отдельных атомов и целых групп атомов, которые способны нарушить функционирование электрической цепи. Поэтому для повышения надежности электрических наносистем ученые создают совершенно новые архитектуры. Одним из наиболее активных направлений их исследования является создание решеток из перекрещивающихся рядов нанопроводов (толщиной всего 100 атомов), которые образуют сеть молекулярных переключателей в местах пересечения нанопроводов [13]. При достаточно сильном напряжении место пересечения переходит из непроводящего состояния «выключено» в проводящее состояние «включено».

Нанотехнология сейчас вошла в области традиционных высоких технологий. Достижения в сфере молекулярных композитных материалов позволили таким компаниям, как Nano-Tech, создать новое поколение тканей и одежды. Материалы, почти совершенно нечувствительные к пятнам и объединяющие удобство хлопка или натуральных волокон с прочностью и выносливостью синтетики (нейлона) уже появились на рынке в продуктах от Eddie Bauer, Lee Jeans и предшественника Nano-Tech— Burlington Industries. Данные изделия могут широко использоваться в больницах, где распространены патогены, и пациенты подвергаются риску заразиться друг друга.

Другой отраслью промышленности, в которой находит применение новая технология, является спортивное оборудование. Углеродное волокно и графитные композиты уже дебютировали в

облегченных мотоциклах и парусниках America's Cup. Стекловолокно и пластик используются для создания лучших налокотников и наколенников для хоккея и американского футбола. Для продления срока службы теннисных мячиков Double Core (Wilson) используется нанокompозитный клей (согласно документам Wilson жизнь мячика увеличивается в 2-4 раза), а компания Babolat; представила теннисные ракетки со сверхпрочными нанотрубками, имеющие повышенное сопротивление кручению и изгибу. Нанотрубки, очевидно, найдут широкое применение в спортивном оборудовании, когда снизится их себестоимость [5].

Нанотехнология довольно быстро развивается в области медицины. Хотя медицина традиционно не рассматривается как потребительский рынок, нанотехнологии могут это изменить. Домашние тесты на беременность уже демонстрируют такие улучшения, как легкость использования, быстрота результатов и общая точность, поскольку в их разработке стали использовать наночастицы, кроме того, стали реальными другие домашние тесты. Некоторые ученые надеются увидеть тесты на все, от сибирской язвы до СПИДа, ставшие, благодаря нанотехнологиям, достаточно простыми для домашнего использования.

В настоящее время нанотехнология уже является междисциплинарной наукой. Возможно, объединения ученых и инженеров будет недостаточно для стремительного роста нанонауки. Поэтому нанотехнологии требуют глубокой точной осмысленности с позиции философии, права, социологии и политологии.

Summary

This paper presents the problems of development a new branch of science and technology – nanotechnologies, which is used in different areas: electronics, informatics, energy, medicine, ecology etc. The history essay on development of nanotechnologies are given.

Список литературы

1. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2005. – 336 с.
2. <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/news/Physics/135.html>.

3. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. Фуллерены и структуры углерода // Успехи физических наук. 1993. – Т.163. – № 2. – С. 33-60.
4. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое в малом. – М., 2005. – 436 с.
5. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 240 с.
6. http://shp.by.ru/sci/fullerene/shp/full_mat.
7. <http://www.nanohub.org>.
8. <http://nanotube.msu.edu>.
9. <http://www.ieee-virtual-museum.org>.
10. <http://www.sciencemag.org>.
11. Богданов А.А., Дайнингер Д., Дюжев Г.А. Перспективы развития промышленных методов производства фуллеренов // Журнал технической физики. 2000. – Т.70. – вып. 5. – С. 1-7.
12. <http://nano.caltech.edu.html>
13. <http://www.physics.berkeley.edu/research>.