

## *ИСТОРИЯ ГЕНЕЗИСА И РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ*

**И.И. БУРЯК, М.Е. МУЛТЫХ**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: cubgtu.tssam@yandex.ru*

В научной статье аргументированно раскрыта актуальность исследования истории зарождения и развития нанотехнологий в контексте мировой истории науки и техники, особенности и сложности ее формирования в России; раскрыты способы производства наночастиц-«первокирпичиков», используемых для строительства веществ и материалов с заранее заданными свойствами; показаны уровень научных достижений и примеры использования новых предметов и конструкций, полученных с использованием наночастиц – атомов и молекул.

**Ключевые слова:** нанотехнологии, российские нанотехнологии, программа нанотехнологий в России, третья научно-техническая революция, информационное общество, наночастицы, углеродные нанотрубки, графен, фуллерены.

На завершающем этапе XX века в период формирования архитектуры новой общественной цивилизации – информационного общества приоритетным направлением развития науки и техники становятся инновационные технологии. Сегодня очевидны четыре основных приоритета инновационного развития. Это информационные технологии, нанотехнологии, биотехнологии, позволяющие конструировать «под заказ» любые неорганические и гибридные материалы, наконец, когнитивные технологии – то есть «одушевление» этих нанобиоматериалов по тем же принципам, по каким работает наше сознание на уровне молекулярной биологии. Скрещивание инфо-, нано-, био- и когнитивных (НБИК) технологий в перспективе создаст совершенно новую среду, новую экономику, новую цивилизацию.

Во всем многообразии инновационных направлений развития науки и техники центральное место занимают нанотехнологии. Это ключевое понятие и явление XXI века, символ стремительно развивающегося информационного общества, самые передовые технологии, на развитие которых ведущие державы тратят миллиарды долларов. По прогнозу ученых в текущем столетии нанотехнологии произведут такую же революцию с манипулированием

материей, какую в XX веке произвели компьютеры в манипулирование информацией, а их развитие изменит жизнь человечества больше, чем письменность, паровая машина или электричество.

Исследования истории зарождения и развития, перспектив использования нанотехнологий в контексте истории мировой науки и техники имеет исключительно большое актуальное научное и практическое значение. Перед обществом раскрываются фантастические перспективы создания новых веществ, предметов и конструкций на основе манипулирования чудо-наночастицами и, прежде всего, атомами. В историческом аспекте данная проблема изучена еще далеко не полно. Это имеет свое объяснение: наука нанотехнологий находится лишь в стадии генезиса, поэтому еще не накоплено достаточно большое количество исторических источников и эмпирических фактов.

Авторы статьи, ни в коей мере не претендуя на завершенность своего исследования, делают попытку раскрыть отдельные аспекты истории зарождения и первого этапа мирового развития нанотехнологий, показать особенности и трудности ее формирования в Российской Федерации, перспективные направления получения наночастиц и факты их практического использования.

Концепцию нанотехнологий выдвинул профессор Калифорнийского технологического университета Ричард Фейнман (Нобелевский лауреат 1965 г.). В лекции под странным названием «Внизу полным – полно места», прочитанной 29 декабря 1959 г. на рождественском обеде перед Американским физическим обществом, он отметил возможности использования атомов и молекул в качестве строительных частиц и манипуляции ими с целью создания новых веществ и объектов. Ученый призывал своих коллег ускорить создание приборов, в том числе сверхточных микроскопов, которые бы позволили заглянуть в мир атомов и молекул и воздействовать на них. Он прозорливо заявил, что там «внизу», в мире атомов много свободного места и исследователей ждут великие открытия и находки. Эта дата считается днем

рождения нанотехнологий. Термин «нанотехнология» предложил в 1974 г. японский физик Норио Танигучи, работающий в Токийском университете. Под этим понимается процесс разделения, сборки и изменения материалов путем воздействия на них одним атомом или одной молекулой, а также способ применения таких материалов. Таким образом, нанотехнология – область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомной структурой путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами. Термин быстро завоевал популярность в научных кругах [1, стр.190].

Приставка «нано» произошла от греческого слова «нанос» (переводится как «гном», «карлик»). Появилась потому, что ученые манипулируют при этом атомами, которые имеют размер миллиардной доли метра, то есть нанометра. Но не только в размере дело, а в том, что в процессе использования нанотехнологий в широких масштабах, мир переходит к принципиально новому способу конструирования веществ и материалов с заданными свойствами, основываясь на принципиально новой методологии, на новом подходе.

Директор Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» академик М.В.Ковальчук в своих работах раскрывает принципиальную особенность новой методологии, которая состоит, по его мнению, в том, что «в ходе её происходит смена парадигмы развития науки. Раньше мы шли «сверху вниз», то есть двигались в сторону миниатюризма созданных предметов. Сейчас мы идем «снизу», с уровня атомов, складывая из них, как из кубиков, нужные материалы и системы с заданными свойствами» [2, стр. 61]. Молекулярная архитектура и технологии атомарного конструирования новых материалов и структур с заданными свойствами будут в XXI веке определять, по мнению организатора отечественной науки, уровень науки, техники и культуры всего человечества.

Однако, чтобы создать новые вещества и конструкции, объекты и предметы необходимо иметь для этого строительные материалы – наночастицы и, прежде всего, «первокирпичики» - атомы. С этой целью ученые разработали несколько способов и технологий изготовления таких стройматериалов. Не вдаваясь в технические и технологические подробности и достижения, остановимся на трех из них наиболее перспективных и апробированных на практике.

Первый самый простой механический способ – диспергационный метод. При нем исходные материалы измельчают механически до необходимых размеров частиц. Полученная «наномука» и есть масса необходимых наночастиц.

При втором способе частицы получают за счет дробления вещества с помощью электрических импульсов.

Третий конденсационный метод предполагает нагревание, расплавление и испарение исходного вещества. Полученный пар резко охлаждают, он конденсируется и превращается в наночастицы.

Чтобы избежать «слипания» полученных наночастиц используется специальный стабилизатор, молекулы которого обволакивают наночастицу. Изменяя состав стабилизатора, можно получить микрочастицы необходимого размера [3, стр. 14 -15].

Нанотехнологии позволят в перспективе решить ключевые проблемы цивилизации: энергетическая, экологическая и продовольственная безопасность; качество жизни, образования и общественного управления; борьба с бедностью, болезнями и терроризмом и др. Вехи инноваций - это наноэлектроника, наноэнергетика, нанобиоорганика, нанобиотехнология, бионика, принципиально новые приборы бионического типа – биосенсоры, микророботы для очистки кровеносных сосудов без операции, молекулярные компьютеры и т. д.. А также развитие здравоохранения и вооружений и другие новые технологии, материалы и устройства, которые открывают перед человечеством совершенно удивительные перспективы. Наука также подошла

к важному рубежу – моделированию принципов построения живой материи, основанных на самоорганизации, самосборке. В индустриальном мире мы изучали возможности человека и копировали их техническими средствами, а в постиндустриальном – должны перейти к воспроизводству этих возможностей биоорганическими средствами.

Среди наиболее вероятных научных прорывов с использованием вновь созданных материалов с заранее заданными свойствами эксперты называют сферы научных исследований, компьютерных технологий, промышленности, строительства, транспорта, здравоохранения и др.

В обозреваемом будущем в области преобразования и генерации энергии будут созданы топливные элементы, использоваться термоэлектричество, технологии преобразования водорода, сохранения уже созданной энергии, углеводородные топливные катализаторы и суперкатализаторы. Сегодня значительные открытия достигнуты в области водородной энергетики. Здесь следует отметить достижения японской фирмы «HONDA». Она разработала полупроводниковый катализатор воды на основе углерода, позволяющий под воздействием солнечного облучения эффективно разлагать воду на кислород и водород. При этом используется не только видимый свет, но и более широкий спектр излучения. Это позволит повысить эффективность разложения воды до 8% и приблизить ее к пороговому в 10%, установленному министерством энергетики США для возможности рентабельного коммерческого использования водородной энергетики.

Приведем другие примеры практической реализации идей нанотехнологии в промышленном использовании. Наноскопические датчики, атомные выключатели, которые позволяют значительно минимизировать размеры компьютера и других наносистем, например, беспилотников. Принцип работы атомного выключателя заключается в том, что при прохождении тока по проводнику (из серебра) атомы на поверхности начинают «подпрыгивать» и замыкают зазор между пластинами (контактами), который составляет 1 нм. Это даст возможность значительно уменьшать контактные узлы компьютера.

Норвежская фирма «PROX DINAMIC» создавала и испытала самый маленький разведовательный беспилотник под названием «Черный шершен» весом 15 грамм. Диаметр лопасти винта этого вертолета – 10 см, дальность полета – 20 км.

Убедительный пример успешного использования на практике достижений нанотехнологий в военной промышленности – это, так называемая, «жидкая броня» (баллистическая ткань). Израильская компания «ArNanoMaterial» изготовила материал ArNano, наиболее стойкий к ударным нагрузкам (на основе дисульфида вольфрама) и выдерживающий нагрузку в 250 тонн/см<sup>2</sup>. В армейской научно-исследовательской лаборатории США разработан бронезилет на основе самосгущающейся жидкости – полиэтилгликаля. Эта суспензия с нанотрубками (нанокремний) автоматически создает резкое сопротивление удару в форме мгновенного увеличения вязкости суспензии, образуя гидрокластеры. В России в институте нанотехнологий (Зеленогорск) также разработали образец «жидкой брони». При ударе пули гель мгновенно затвердевает. Такой бронезилет выдерживает удар пули массой 1 гр. и скорости 526 м/с.

Большие возможности открываются при использовании наночастицы углерода на основе, которых образованы многослойные нанотрубки. Это углеродные структуры, сформированные в цилиндрическую форму, открыты в 1991 г. японским ученым Суино Киджимой. Исследуя с помощью новейшего сканирующего микроскопа сажу, появляющуюся на электроде после электродугового разряда, он обнаружил незнакомые частицы в виде трубок с закругленными концами и сетчатой (ажурной) структурой стенок. Углеродные нанотрубки имели диаметр всего около одного нанометра (т.е. в 50 тыс. раз тоньше человеческого волоса), обладают фантастическими свойствами [1, стр. 306].

В 2010 г. ученые, работающие в Англии в Манчестерском университете – выходцы из России К. Новоселов и А. Гейм открыли самый тонкий в природе материал – графен, будущее у которого просто фантастическое. Это слой

углерода толщиной всего лишь в один атом. За эту работу ученым была присуждена Нобелевская премия по физике [3, стр. 19].

Графен очень гибок, прочен и проводит электрический ток. Благодаря уникальным свойствам углерода в пространственной решетке графена он характеризуется высокой мобильностью электронов, что представляет высокую перспективу – как основу нанoeлектронных устройств. Кроме этого, целый ряд химических соединений, молекулы которых состоят только из четного количества атомов углерода (фуллерены) при высоких давлениях становятся твердыми как алмаз. Фуллерены обладают также сверхпроводящими и магнитными свойствами, что значительно расширяет и области их применения.

Другие уникальные свойства наноструктур – квантовые эффекты углеродных нанотрубок. Это свойство открывает большие перспективы в проектировании запоминающих устройств компьютеров и формировании будущих вычислительных технологий. Нет сомнений в том, что графен придет на смену кремнию и произведет революционные изменения в электронике.

Нанотрубки используются для изготовления крохотных, наноразмерных транзисторов. Они служат также идеальными сверхпроводниками, по которым электрический ток может протекать без сопротивления и выделения тепла. Самолеты, космические аппараты, автомобили, изготовленные с использованием чудо-трубок, становятся прочнее и легче, покрытия на их основе превращают военные машины и объекты в невидимок для радаров.

Пока производство нанотрубок обходится крайне дорого, и процесс этот длительный. Однако, ученые не сомневаются, в том, что со временем они научатся выращивать нанотрубки длиной в сотни метров и в короткие сроки. Американские конструкторы в 1998 году уже создали нанотрубки в промышленном масштабе, которые используются в качестве сырья для получения композитов [1, стр. 309].

Ученые активно работают в направлении разработки способов получения чудо-трубок. И уже открыли несколько перспективных технологий. Самый распространенный из них - «метод электродугового распыления

графита». Можно также получить их с помощью «лазерного испарения графита». Российские ученые разработали «метод химического осаждения» наночастиц.

Перспективы развития нанотехнологий связаны не только с умением оперировать отдельными атомами, но и с конструированием и использованием инструментов и приборов, способных осуществить эту работу.

В настоящее время установлено, что к любым биологическим молекулам можно прикреплять частицы золота, чтобы затем с помощью электронных приборов контролировать и управлять их поведением на расстоянии. Так, Дж.Якобсон (США) прикрепил к молекуле ДНК (2 нм) «антенну» из сотни атомов золота. При воздействии радиоволнами определенной длины молекула переходит в новое состояние. Управление биомолекулами с помощью радиосигнала самое современное направление исследований, способных произвести революцию в методах исследования живого мира и в биотехнологиях.

Идею создания приборов, способных проникнуть в глубину материи до границ нанометра выдвинул еще в начале XX в. выдающийся инженер-электрик и изобретатель сербского происхождения Никола Тесла. Именно он предсказал создание электронного микроскопа. Первые теоретические исследования, положившие начало разработке инструментального обеспечения будущих нанотехнологий, - это труды физика – теоретика Г.А.Гамова. В начале 20-х годов XX века ученый впервые решил уравнения Э.Шредингера, описывающие возможность частицы, преодолеть потенциальный барьер. Электрон, встретив на своем пути преграду, способен проникнуть через нее с потерей энергии (как волна) и преодолеть ее. Это явление названо «туннельным эффектом». Открытие дало возможность немецким физикам Эрнсту Руска и Максу Кноллуму в 1931г. создать электронный микроскоп. Он стал прообразом нового поколения приборов, позволивших заглянуть в мир нанообъектов. Изобретательность, фантазия, воображение ученых не знает предела. В 1981 г. швейцарские ученые Герд Беннинг и Генрих Рорер



разработали и испытали микроскоп, способный видеть и изучать как бы ощупывая поверхность объекта, в том числе отдельного атома. За изобретение сканирующего туннельного микроскопа ученым в 1986 г. присуждена Нобелевская премия. Фирма «Simens» выпустила первый сканирующий электронный микроскоп с разрешающей способностью 10 нм. Современные сканирующие микроскопы различают объекты размером до 0,01 нм. С помощью сверхсовременных микроскопов стало возможным не только видеть, изучать наночастицы, но и при помощи зонда микроскопа захватывать отдельные атомы и переставить, передвигать, перекаптовывать их, создавая новые материалы, структуры и конструкции [3, стр.25 - 29].

В историческом аспекте следует подчеркнуть, что процессы формирования новой научной идеологии в нашей стране начались с отставанием от передовых стран мира и, прежде всего, США. Однако, несмотря на политические и социально-экономические потрясения, произошедшие на изломе столетий и последующий за ним 10 летний период «выживания» отечественной науки и оттока «умов» на запад, Россия в значительной мере сохранила свой большой научный потенциал, высококвалифицированные кадры мирового уровня, работающие в разных научных направлениях, мощную научно-техническую базу (синхронные источники нейтронов мирового класса, атомно-силовая микроскопия и т. д.). В начале XXI в. руководство и научное сообщество страны повернулось лицом к инновациям [2, стр. 60].

В российском государстве и обществе сформировано убеждение, что для того, чтобы обеспечить нашей стране одно из лидирующих мест в мировом постиндустриальном мире, необходимо вырабатывать стратегию создания и развития национальной наноиндустрии, объединив усилия государства, научного и образовательного сообществ, промышленности и бизнеса для ее реализации. При этом учитывается тот факт, что в направлении генезиса и использования нанотехнологий российская наука уже имела определенный задел.

Масштабная практическая работа в области нанотехнологий началась после принятия Правительством РФ 18 ноября 2004 г. «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года», в августе 2006 г. - «Программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации». В документах были четко определены направления развития науки и ключевые мероприятия. Головной научной организацией стал Российский научный центр (РНЦ) «Курчатовский институт»

[2, стр. 11].

27 апреля 2007 г. Президент В.В.Путин опубликовал Президентскую инициативу «Стратегия развития nanoиндустрии», которую он обозначил накануне 26 апреля 2007 г. в своем послании Федеральному Собранию Российской Федерации и объявил тем самым о начале реализации отечественной научной программы развития nanoиндустрии [4].

Реальность осуществления научной программы развития nanoиндустрии в Российской Федерации признают специалисты и ученые многих стран. Например, пионер и энтузиаст нанотехнологий, руководитель американского Института стратегического предвидения Эрик Декслер отметил, что России посильны поставленные задачи, так как она имеет значительный интеллектуальный потенциал и научно-технический задел в сферы нанотехнологий [3, стр. 32].

19 июля 2007 г. был принят Федеральный Закон «О российской корпорации нанотехнологий». В результате, в относительно короткий срок времени в РФ была создана необходимая организационная, финансовая, нормативно-правовая инфраструктура. 4 мая 2008 г. Правительство РФ утвердило «Программу развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года». В документе определены основные цели. К 2011 году необходимо было сформировать конкурентоспособный сектор исследований и разработок в области nanoиндустрии для поддержания научно-технического паритета Российской Федерации с экономически развитыми странами мира по

перспективным направлениям науки, определяющим стратегию развития nanoиндустрии и безопасность применяемых наноматериалов и нанотехнологий для здоровья и жизни человека. Обеспечить рост объемов производства уже выпускаемой и востребованной продукции нанотехнологий, безопасной для жизни и здоровья человека и насыщение соответствующих рынков. Разработать новые нанотехнологии и виды нанотехнологической продукции, которые могут быть доведены до промышленного внедрения и производства в течение последующих двух-трех лет. Создать эффективную систему коммерциализации объектов интеллектуальной собственности в области нанотехнологий. К 2015 году необходимо обеспечить формирование условий для масштабного наращивания объема производства новых видов продукции nanoиндустрии и выхода профильных российских компаний на мировой рынок высоких технологий [2, стр. 146-154].

В рамках реализации Программы развития nanoиндустрии в РФ осенью 2009 г. Указом Президента РФ к РНЦ «Курчатовский институт» в реализации проекта нанотехнологий были присоединены Петербургский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова, Институт физики высоких энергий, Институт теоретической и экспериментальной физики. Таким образом, на практике произошло объединение научных сил России в направлении реализации нанотехнологий. [2, стр. 12].

С повышением роли и значения нанотехнологий со стороны государства и общества начался новый этап развития отечественной науки. Несмотря на существующие сложности, вызванные экономическими санкциями США и стран ЕС, очевидно, что российская наука перешла от периода «выживания» в первую крупномасштабную фазу поступательного развития. В рамках программы реализованы многие задачи, заложен прочный фундамент последующих научно-технических достижений.

Об успешном старте в осуществлении программы нанотехнологий в РФ свидетельствуют множество примеров. Приведем два из них. Первый, 26 апреля 2010 г. произведен запуск в г.Рыбинске завода по производству

монолитного твердосплавного инструмента с многослойным наноконструированным покрытием на основе научных разработок РНЦ «Курчатовский институт». Это пример промышленной коммерциализации наноразработок в России (участники: ТК «РОСНАНО», ОАО «Рыбинские моторы»). Второй пример. При поддержке «РОСНАНО» в городе Уральске - Сибирском Иркутской области на базе отечественного предприятия «НИТОЛ» в 2012 г. завершилось строительство комплекса по производству поликристаллического кремния, на основе которого производится до 90% всех солнечных элементов в мире и моносилана (бесцветного газа, служащего для производства ЖК-дисплеев и тонкопленочных солнечных модулей). Общий бюджет предприятия превышает 20 млрд. руб. [2, стр. 16].

В настоящее время в России фундаментальные, поисковые исследования и разработку нанотехнологий, а также образовательную деятельность в сфере наноиндустрии осуществляют около 200 организаций, а около 60 российских организаций производят и реализуют продукцию наноиндустрии [2, стр. 151].

В нанотехнологиях существуют области, в которых советские и российские ученые стали первооткрывателями, получив результаты, положившие начало развития новых научных течений. Среди них можно выделить: получение ультратрадисперсных наноматериалов, теоретические разработки и проектирование одноэлектронных приборов, а также работы в области атомно-силовой и сканирующей зондовой микроскопии. В России уже производится целый ряд нанопродуктов, востребованных на рынке: наномембраны, нанопорошки, нанотрубки. Большой прорыв сделан в наноэлектронике, новые открытия успешно внедряются в медицину. Например, мембранная технология по атомном уровне на основе графеновой пленки позволяет осуществить фильтрацию крови с целью отделения вирусов, фильтрацию других жидкостей [2, стр. 44].

Нанотехнологии – практически единственная из зон роста, где наше государство уже создало необходимую организационную, финансовую,

нормативно-правовую инфраструктуру. В результате впервые за долгое время мы имеем глобальный научный проект, уже ставший реальностью.

Всеобъемлющий характер применения нанотехнологий свидетельствует о том, что масштабные нанотехнопроекты носят международный характер и требуют применения новых организационных подходов для их реализации. Это обусловлено беспрецедентным разнообразием развиваемых направлений работ в рамках нанотехнологических программ, сложностью их эффективной координации, большим объемом выделяемых финансовых средств, а также ожидаемыми глобальными последствиями осуществления этих работ.

В условиях развертывания нанотехнологической революции в XXI веке от всех жителей планеты потребуются новые знания, навыки и точные расчеты. Активное вмешательство человека в преобразование материального мира на молекулярном и квантовом уровне уже сегодня требует и соответствующего духовного осмысления. С тем, чтобы формировать представления о человеке как о творце прогресса, необходимо тщательно анализировать и учитывать последствия научных, технических и технологических стратегий, их влияние на общество и экологию.

Колоссальные количественные и качественные изменения, связанные с внедрением нанотехнологий в настоящем и будущем, предъявляют новые требования и к высшей школе на образовательном пространстве Российской Федерации. В текущем столетии образование в нашей стране должно стать по-настоящему доступным, непрерывным и адекватным высоким требованиям постиндустриального общества. Междисциплинарный подход, по нашему мнению, должен активно приходить на смену отраслевому, что сформирует условия для подготовки специалистов с системным мышлением – лидеров, способных воспринимать нанотехнику как сплав индустрии, науки, экономики и духовной организации общества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рылёв Ю. 600 изобретений века, изменивших мир. М.: Эксмо, 2012. 432 с.

2. Ковальчук А.М. Идеология нанотехнологий. М.: ИКЦ «Академия», 2011. 224 с.
3. Черненко Г.Г. Нанотехнологии: настоящее и будущее. СПб.: «БКК», 2012. 80 с.
4. Послание Президента В.В. Путина Федеральному собранию Российской Федерации 26 апреля 2007 г. / [www.garant.ru.yandex.ru](http://www.garant.ru.yandex.ru).

#### REFERENCES

1. Rylev Yu., 600 Century Inventions that Changed the World, Moscow, 2012, 432 p.
2. Kovalchuk A.M., Ideology of Nanotechnology, Moscow, 2011, 224 p.
3. Chernenko G.G., Nanotechnology: Present and Future. Saint Petersburg, 2012, 80 p.
4. Message from the President V.V. Putin to the Federal Assembly of the Russian Federation on April 26, 2007 // [www.garant.ru.yandex.ru](http://www.garant.ru.yandex.ru).

#### *HISTORY OF GENESIS AND DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGIES*

**I.I. BURYAK, M.E. MULTYKH**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072;  
e-mail: [cubgtu.tssam@yandex.ru](mailto:cubgtu.tssam@yandex.ru)*

In the scientific article research relevance of history of origin and development of nanotechnologies in the context of world history science and equipment, feature and complexity of its formation in Russia is with deep arguments opened; ways of production of the nanoparticles-“basic bricks” used for building of substances and materials with in advance set properties are opened; level of scientific achievements and examples of use of the new subjects and designs obtained with use of nanoparticles – atoms and molecules are shown.

**Key words:** nanotechnologies, Russian nanotechnologies, program of nanotechnologies in Russia, third scientific and technical revolution, information society, nanoparticles, carbon nanotubes, graphene, fullerenes.