

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО и НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

**Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет "ЛЭТИ"**

**кафедра Микрорадиоэлектроники и технологии
радиоаппаратуры**

преподаватель

Марголин Владимир Игоревич

кафедра МИТ,

5-й лабораторный корпус, лаб. № 5476

СТРУКТУРА КУРСА

1. Лекционный материал, 1,5 лекции в неделю
2. Лабораторные работы и их защита.
3. Самостоятельная работа, объем, равный примерно 2-м лекциям в неделю
4. Реферат по выбранной тематике из предложенного списка
5. Защита реферата и лабораторных работ
6. Экзамен (кошмарный)

СТРУКТУРА РЕФЕРАТА

1. Введение. Зачем это нужно (на хрена козе баян?)
2. Основная часть. Описание проблемы и методы ее решения.
3. Заключение и выводы. Ваша ЛИЧНАЯ оценка проработанного материала.
4. Список использованной литературы. Весь использованный материал снабжается нумерованными ссылками в [], которые в списке литературы раскрываются, причем приводятся полностью.

Лекционный материал

- 1. Введение**
- 2. Основные физические представления, лежащие в основе микро и нанотехнологии**
- 3. Основные понятия фрактальной геометрии и фрактальной физики**
- 4. Физические основы элементной базы микроэлектроники**
- 5. Физические основы технологий получения тонких пленок**
- 6. Физические основы литографических методов создания и переноса изображения.**
- 7. Физические основы методов модификации микроэлектронных структур**
- 8. Методы контроля и метрологии**

Рекомендованная литература

1. **В.И. Марголин, В.А. Жабрев, В.А. Тупик Физические основы микроэлектроники : учебник для студ. высш. учеб. заведений.- М.: Издательский центр "Академия", 2008.- 400 с., гриф УМО**
2. **Жабрев В.А., Лукьянов Г.Н., Марголин В.И., Рыбалко В.В., Тупик В.А. Введение в нанотехнологию. Учебное пособие - Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), М., 2007.- 293 с.**
3. **Марголин В.И., Тупик В.А. Основы нанотехнологии. Электронная литография и ионная имплантация: Учеб. пособие по дисциплине "Основы нанотехнологии". Спб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2000. 56 с.**
4. М.В. Бестаев, В.А. Жабрев, В.И. Марголин, А.А. Арутюнянц Физико-химические и химико-технологические основы субмикронной технологии: Учебное пособие; Сев.-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2009.- 172 с. гриф УМО .
5. В.А. Жабрев, В.И. Марголин, В.С. Павельев Введение в нанотехнологию (общие сведения, понятия и определения): учеб. пособие.- Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007.- 172 с.
6. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии.- М.: Мир.- 1985
7. Практическая растровая электронная микроскопия / под ред. Гоулдстейна Дж., Яковица Х. М.: -Мир.- 1978.
8. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы М.: Институт компьютерных исследований, 2002. - 656 с.

8. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой Учеб. пособие. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. - 144 с.
9. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники: Учеб. пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000.
10. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. М.: "Издано NNN".- 2005.- 433 с.
11. Суздальев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. -М.: КомКнига, 2006.- 592 с.
12. Хартманн У. Очарование нанотехнологии М.: БИНОМ.- 2008.- 173
13. Елисеев Д.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы / под ред. Ю.Д. Третьякова – М. ФИЗМАТЛИТ, 2010.- 456 с.
14. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику.- М.: Машиностроение, 2007.- 496 с.
15. И.В. Мелихов Физико-химическая эволюция твердого вещества.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 309 с.
16. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего, М. Изд-во Эксмо, 2009.- 256 с.
17. **Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Учебное пособие.- М.: КомКнига, 2005.- 512 с.**
18. **Воронов В.К., Подоплелов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние: Учебное пособие.- М.: Изд-во ЛКИ, 2008.- 36 с.**

Электроника - "наука о процессах в приборах, основанных на движении электронов в вакууме, газе или полупроводнике; область технологии, занимающаяся разработкой, производством и применением этих приборов" - БСЭ

Для осмысленной работы в области электроники и микроэлектроники необходимо изучать процессы, происходящие при взаимодействии электронов и других заряженных и нейтральных частиц с веществом, находящемся в любом из известных агрегатных состояний.

Основы физики твердого тела и физической химии; кристаллография; наука о материалах в целом и материаловедение в частности; физика элементарных частиц и физика плазмы; физика газового разряда и ионизованных газов; электрохимия, коллоидная химия и химия ультрадисперсных частиц и многое другое полезное и не очень и уметь применять эти знания на практике для создания реально существующих и реально действующих приборов. Электроника и ее разделы, такие, как микро- и наноэлектроника, занимаются проблемой, что именно надо сделать, т.е. приборными, аппаратными и системными вопросами. Основное поле деятельности - это создание так называемой элементной базы.

Проблемой изготовления прибора и всей аппаратной части электроники, т.е. тем, как это сделать, как практически реализовать эту самую элементную базу – занимается технология, соответственно подразделяющаяся на технологию электроники, микро- и наноэлектроники.

До 1947 года основным прибором электроники являлась электронная лампа - усилительный прибор, основанный на использовании процессов, связанных с движением электронов в вакууме. Достоинства – неоспоримы, недостатки, как считалось, неустранимы.



Электронные лампы

В 1937 году гарвардский математик Говард Айкен предложил проект создания большой счетной машины на электромеханических реле. Проектирование **MARK-1** началось в 1939 году, изготовлена в 1944. Компьютер содержал около **750 тыс. деталей, 3304 реле и более 800 км. проводов.** При огромных размерах и массе машина работала лишь в силу десяти арифмометров,

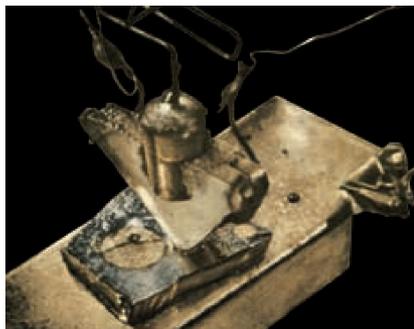


В 1942 году американские физики Джон Моучли и Джон Эккерт разработали и представили проект вычислительной машины ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer). В проекте в итоге участвовало 200 человек. Весной 1943 года ЭВМ была построена, а в феврале 1946 года рассекречена. ENIAC, содержащий 17468 электронных ламп шести различных типов, 7200 кристаллических диодов, 70000 резисторов, 10000 конденсаторов и 4100 магнитных элементов, занимавший площадь в 300 кв.метров и потреблявший мощность 174 кВт в 1000 раз превосходил по быстродействию релейные вычислительные машины. Этот компьютер проработал до 1955 года (подвергаясь модернизации) и выполнял баллистические расчеты, использовался в метеорологических исследованиях. На "ЭНИАКе" были сделаны предварительные расчеты для первой термоядерной бомбы "Майк", испытанной американцами 1 ноября 1952 г. в Тихом океане. Худшим из всех недостатков компьютера была ужасающая ненадежность - за день работы успевало выйти из строя около десятка вакуумных ламп. В 1945 году к работе был привлечен математик Джон фон Нейман, который подготовил доклад об этой машине.



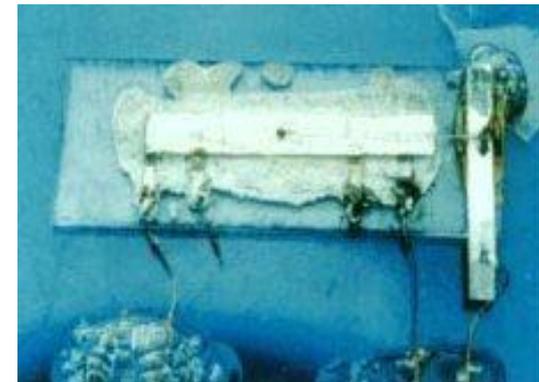
Электроника и радиоэлектроника

Ламповая электроника не могла обеспечить надежность работы устройств типа ЭВМ, а переход на транзисторную элементную базу вопрос в принципе не решал, хотя был естественно, революционным шагом, поскольку кардинально менял рабочую среду прибора с вакуума на кристаллическое твердое тело. **Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Уильям Шокли в декабре 1947 г.** создали первый работающий образец нового устройства, названного ими транзистором. Выглядел первый образец не очень привлекательно, зато заработал с первого включения. В 1950 году Дж. Бардин и У. Браттэйн получили патент на точечно-контактный транзистор, а У. Шокли в 1951 году – на плоскостной прибор.

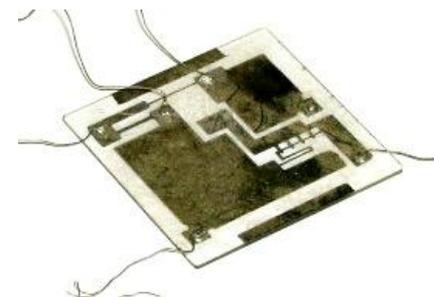


Аналогичные исследования велись в отраслевых и академических институтах и нашей страны. Авторами первого точечного отечественного транзистора были А.В. Красилов и его дипломница С.Г. Мадоян. А.В. Красилов был в то время научным руководителем ряда научно-исследовательских работ в НИИ-160 (ныне – НИИ "Исток"), а студентка **Московского химико-технологического института им. Менделеева С.Г.Мадоян** выполняла дипломную работу по теме "Точечный транзистор". Лабораторный образец работал не больше часа, а затем требовал новой настройки. Это было в феврале 1949 года.

Прогресс был возможен только на пути развития принципиально новой элементной базы, на основе интегральных схем. Приоритет в изобретении интегральных схем, ставших элементной базой ЭВМ третьего поколения, принадлежит американским ученым **Д. Килби** и **Р. Нойсу**, сделавшим это открытие независимо друг от друга. **Все мезаструктуры на этой схеме вытравливались вручную с помощью маскирования парафином.** В результате ЭНИАК размерами 9×15 метров в 1971 году мог бы быть собран на пластине в 1,5 квадратных сантиметра.



Совершенно неверно думать, что СССР на этом этапе в чем-то отставал от западных конкурентов. интегральная схема, спроектированная и изготовленная в стенах ЛЭТИ И. Казариным и О. Шевченко в июле 1962 г. Выглядит несколько более аккуратно, чем творение Килби и Нойса.

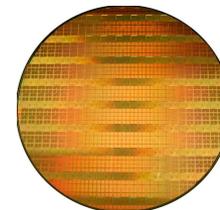
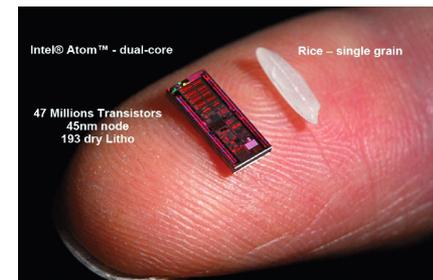


В пятидесятые годы прошлого века СССР был бесспорным мировым лидером в области информатики, а ЭВМ БЭСМ-6 еще долгие годы оставалась лучшей ЭВМ мира.

В 60-е годы под руководством академика В.М. Глушкова был создан проект Единая система – прообраз нынешнего Интернета, но идеология взяла верх и проект в жизнь не воплотился, что совершенно не удивительно. Массовый выпуск интегральных схем начался в 1962 году, а в 1964 начал быстро осуществляться переход от дискретных элементов к интегральным.

Система «Алтай» была прообразом мобильной связи.

Современный уровень электроники, теперь уже нано, характеризует достижение корпорации Intel, которая изготовила **первый в мире чип статической оперативной памяти (SRAM) с 1 миллиардом транзисторов и первый - по техпроцессу 0,045 микрона, то есть, с расстоянием между элементами схемы 45 нанометров.** В 2009 г. Intel представил в России на Роснанофоруме **процессор по 45 нм технологии.** Серийно производят чипы по новой технологии, используя кремниевые пластины диаметром 300 мм, но готовятся к переходу на 450 мм.



Ежегодная микроэлектронная продукция, выпускаемая развитыми странами, эквивалентна 10^{15} тонн ламповых электронных приборов. Эта масса покрыла бы всю поверхность нашей планеты ровным слоем толщиной несколько десятков метров, чего, к счастью пока не наблюдается, благодаря успешному развитию микроэлектроники и особенно субмикронной технологии. **Фундамент современной микроэлектроники составляет планарная технология.** Несущей конструкцией всей микросхемы является подложка, на которую в различных комбинациях и в требуемом количестве наносятся полупроводниковые, проводящие и изолирующие слои, в которых создаются требуемые конфигурации и топологические рисунки. Толщина этих слоев колеблется в зависимости от технологической надобности от 0,05 мкм до 1 – 2 мкм (для сравнения – человеческий волос имеет среднюю толщину 70 мкм мужской и 50 женский). Создание высокоточного прецизионного топологического рисунка в тонких, субмикронных по толщине слоях сейчас является наиболее сложной задачей микро и нанотехнологии. Микротехнология имеет дело с элементами микросхем, размер которых превышает 1 мкм, субмикронная технология оперирует с размерами 0,1 – 1 мкм, нанотехнология пытается освоить диапазон размером менее 0,1 мкм.



Подложку диаметром 450 мм даже держать в руках страшно, не то что с ней работать

Если бы темпы микроминиатюризации сохранились бы до 2010 г., то транзистор уменьшился бы до размеров вируса, его рабочая частота сравнялась бы с частотой колебаний атомов в решетке кристалла, число транзисторов в одной ИС достигло бы триллиона а рекордные размеры литографического рисунка достигли бы величины в 10 раз меньше размеров атома. Однако в реальной жизни такие чудеса сегодня пока не достигнуты, но поскольку рубеж 0,1 мкм в промышленности преодолен, это дает определенное право говорить о свершившемся переходе от микротехнологии к нанотехнологии (от греческого слова "нанос" - карлик), сфера действия которой размеры порядка нанометра (10^{-9} м = 10 ангстрем).

Традиционная субмикронная технология довольно далеко продвинулась в направлении миниатюризации. Если ранний вариант транзисторной структуры содержал эмиттерный слой толщиной 5 мкм, базовый 3 и коллекторный 10, то структура современного гетеротранзистора, разработанного в ФТИ им. А.Ф. Иоффе около 10 лет назад, состоит из последовательно нанесенных на подложку 17 слоев арсенида галлия, легированного различными примесями, причем самый толстый слой составляет 0,5 мкм, а самый тонкий 1,5 нм.

Успехи современного материаловедения и метрологии, особенно после изобретения туннельного электронного микроскопа и развития методов туннельно-зондового массопереноса, также продвинули исследования в области микротехнологии в нанометровый диапазон. **С точки зрения технико-экономических показателей, по оценкам неоднократно ошибавшихся американских специалистов, международный рынок нанотехнологий в 2010 – 2015 году достигнет ежегодного уровня порядка одного триллиона долларов при приоритете материаловедческой компоненты.**

Научное направление, связанное с ультрадисперсным состоянием вещества, называемым теперь наносостоянием, зародилось в СССР еще в самом начале 50-х годов на предприятиях ОПК, а с начала 70-х и во многих открытых организациях, что подтверждается соответствующими публикациями. Этот факт, хотя и без особого удовольствия, признают и зарубежные коллеги (что, впрочем, не мешает им при любом удобном и неудобном случае избегать ссылок на приоритетные работы их российских коллег). Нормальная политика двойных стандартов.

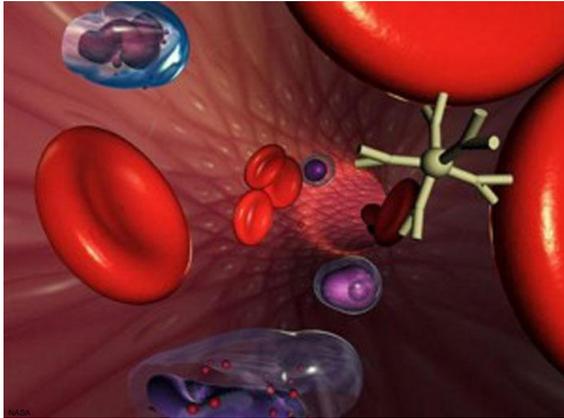
Основным инструментом нанотехнологии в биологии, по смелым прогнозам далеких от нанотехнологии людей, должен стать молекулярный сборщик, способный встраивать в молекулярную структуру отдельные атомы по заданной программе. Сборщик первого поколения будет создан из белка, его разработка будет вестись по аналогии со структурой рибосомы живой клетки.

Итогом этой работы должен стать сборщик второго поколения - небелковый молекулярный робот, способный манипулировать атомами любых элементов. Предполагается запускать таких роботов в организм человека через кровеносную систему для чистки и ремонта этого самого организма. А уж чего эти роботы там начистят, сказать будет трудно.

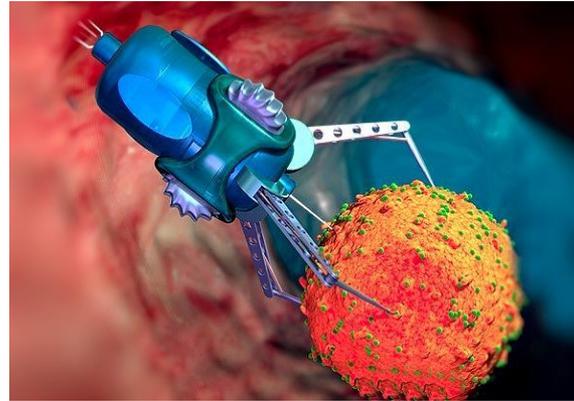
Предпосылки к этому на самом деле имеются, однако исключительно в мире живой природы. Молекула хлорофилла при фотосинтезе получает сигнал в виде кванта света, после чего переходит в возбужденное состояние и практически без потерь передает этот сигнал и запускает цепь последовательных химических превращений.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



Кошмарные фантазии "специалистов", весьма далеких от технологии вообще и нанотехнологии в частности. Чудеса и ужасы нанотехнологий



Наноробот в крови



Наноробот изымает инфицированную клетку



Нанороботы на основе бактериофага T4



Нанороботы внутри человека **будут отбирать качественные сперматозоиды** и направлять их по назначению. Чтобы не заблудились по дороге к яйцеклетке.

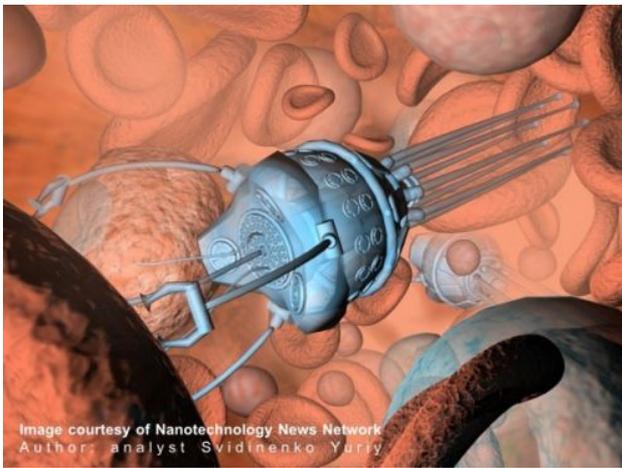
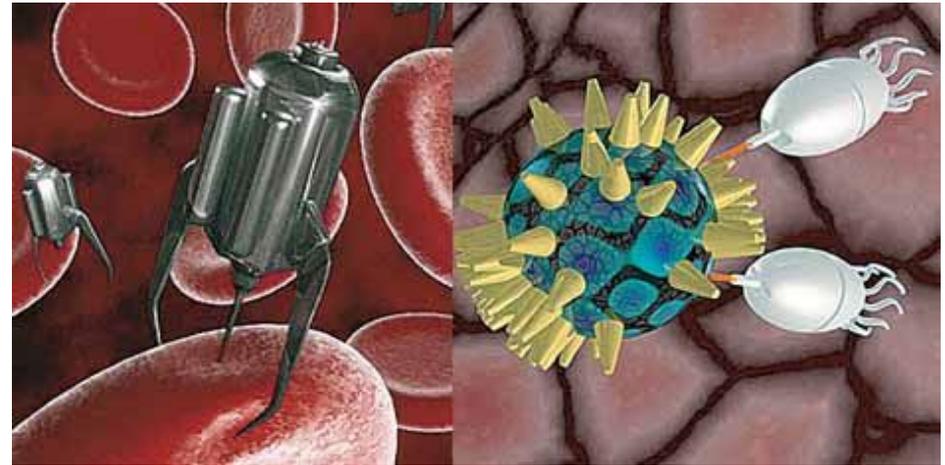


Image courtesy of Nanotechnology News Network
Author: analyst Svidinenko Yuriy

Наноробот - лекарь



Смерть злым вирусам



Отважный наноробот
сражается с вирусами



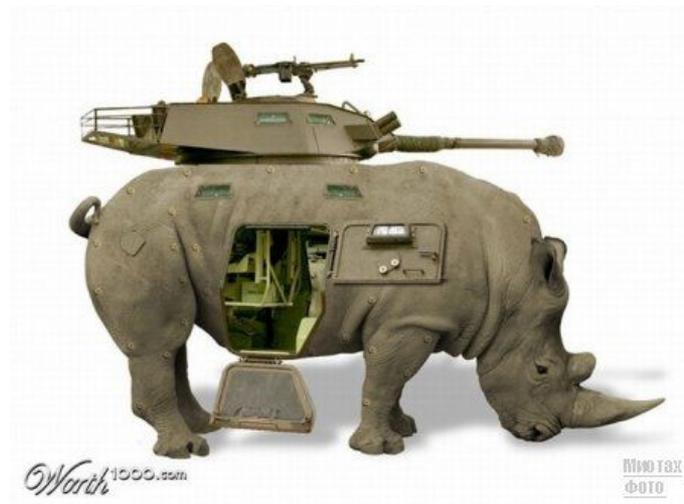
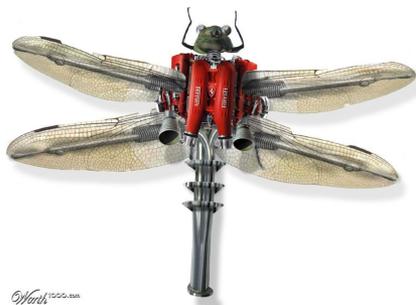
Наноробот в крови



СОВЕТСКИЕ НАНОРОБОТЫ
самые большие нанороботы в мире

Модернизация
по Сколково

Болезненные фантазии далеких от технологии "специалистов" на тему нановооружений.



Бионанотехнология в настоящее время

Молекулярные сита позволят направленно фракционировать болезнетворные вирусы и быстро находить пути их разрушения. С помощью нанотехнологии уже возможно создание биоимплантантов, повышение надежности их к отторжению и сенсорных систем, обнаруживающих возникновение заболевания в организме.

Биосовместимые наноматериалы медикотехнических изделий, контактируя с биосредой, обеспечивают сохранение собственных параметров для заданного функционирования изделий и не вызывают иммунных реакций среды с появлением вредных изменений в тканях и органах.

Данные материалы чаще всего применяются для медицинских имплантатов в ортопедии, стоматологии, сердечно-сосудистой хирургии с целью восстановления нарушенных либо утраченных функций органов.

Такие имплантаты испытывают механические и биологические воздействия, поэтому обычно имеют комбинированную конструкцию, включающую прочную основу из биоинертного металла и покрытие из биоактивного материала

Для покрытия наночастиц особенно часто используется полиэтиленгликоль, который создаёт эффект "стерической стабилизации". Его молекулы формируют защитный гидрофобный слой на поверхности наночастицы, который препятствует захвату наночастиц клетками системы фагоцитов

Биотехнология, основанная на нанокompозитах, требует повышенного внимания с точки зрения воздействия на окружающую среду и общество. Сконструированные на молекулярном уровне биоразрушаемые химикаты для питания растений и защиты от насекомых, улучшение генофонда животных и растений, снабжение генами и лекарствами животных и растений – все эти направления прямо или косвенно могут воздействовать на человека, его здоровье и качество жизни.

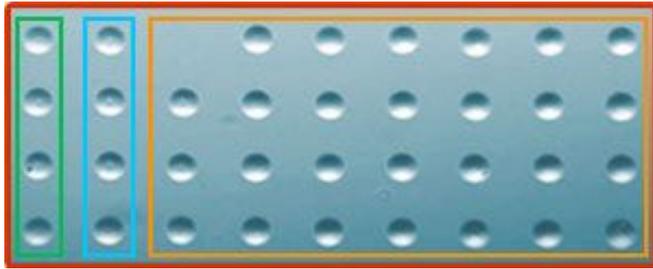
Наиболее перспективным считается создание основанных на наномассивах тестовых технологии для тестирования ДНК. Такие технологии позволят растениеводам узнать, какие гены активизируются в растении при засолении (почвы, а не огурчиков) или засухе.

Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве только начинает становиться существенным и как это скажется на экологии, требует пристального внимания целой толпы бездельников.

Необходимо изучение потенциальных рисков, которые могут нанести наноматериалы здоровью, регулировать порядок использования продуктов на основе нанотехнологии. Необходимо проведение исследований касающихся дальнейшей судьбы и транспортировки произведенных материалов, их влияния на окружающую среду, и в развитии технологий оценки полного жизненного цикла наноматериалов.

Важнейшей задачей нанотехнологии в медицине является разработка диагностических биочипов для экспресс анализа различных заболеваний и состояния организма. Ведущей организацией в России по разработке и производству биологических микрочипов (биочипов) является Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН (г. Москва) и его дочерние фирмы, основная цель которых - коммерциализация результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в этой области.

Разработанные технологии позволяют реализовывать как двумерные чипы, так и трехмерные. Фотография двумерного чипа приведена на рисунке, реальный размер подложки составляет единицы мм.



Увеличенное изображение
двумерного биочипа.

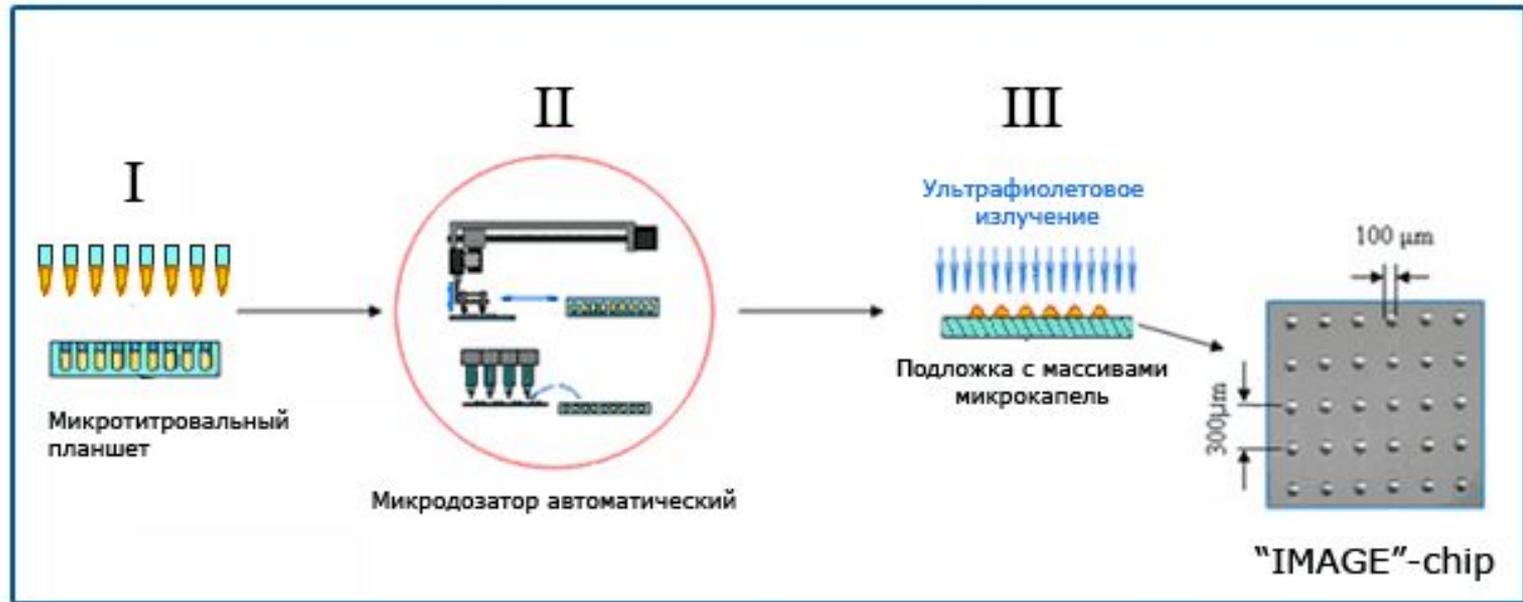


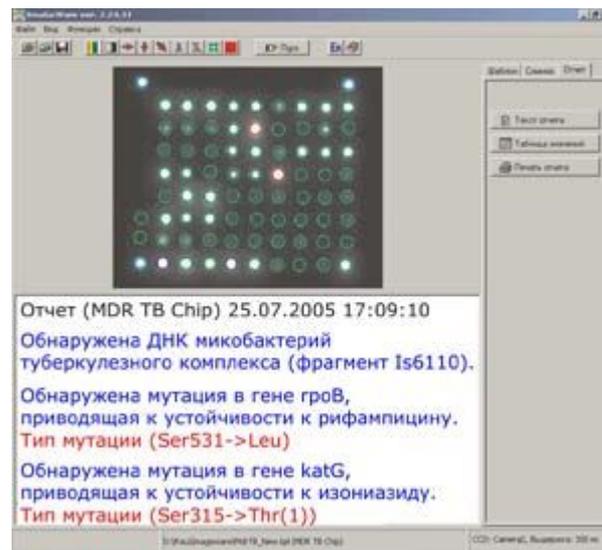
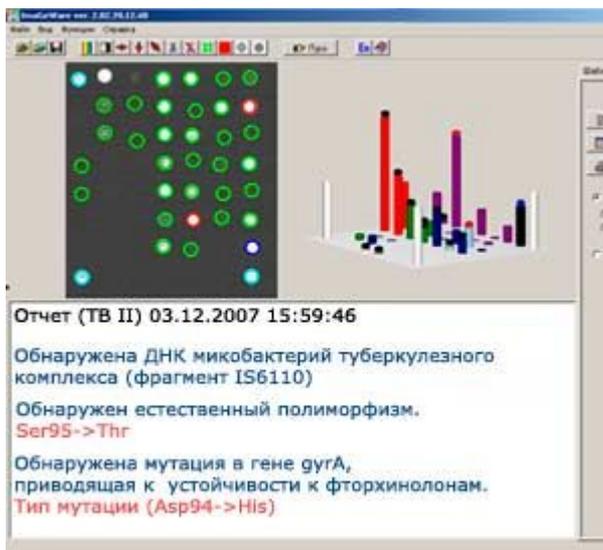
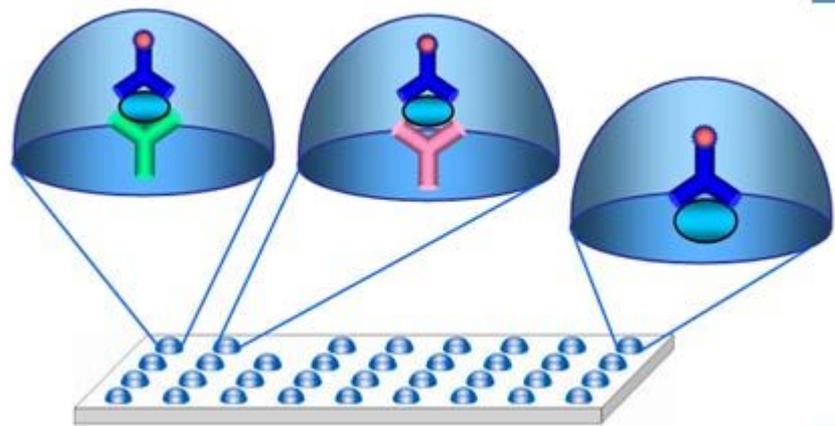
Двумерный и трехмерный
чипы.

На двумерных чипах велико влияние подложки, которая вносит существенную неоднородность в молекулярные взаимодействия и приводит к уменьшению стабильности комплексов между зондами и анализируемыми молекулами, в тоже время в гелевых биочипах взаимодействие между молекулами примерно такое же, как в растворе.

В трехмерной конфигурации ячеек в гелевых биочипах общее число иммобилизуемых молекулярных зондов на 2-3 порядка выше, чем в поверхностных биочипах, что приводит соответственно к более сильному и достоверному сигналу флуоресценции при проведении анализа.

Основой биочипов, является матрица полусферических гидрогелевых ячеек (диаметром около 100 микрон), каждая из которых содержит молекулярные зонды, специфичные к одной из множества биологических молекул или их фрагментов (например, последовательностям ДНК или РНК, белкам). На 1 см² может быть размещено до тысячи ячеек биочипа для анализа мутаций, определяющих предрасположенность к различным наследственным и онкологическим заболеваниям, для обнаружения патогенных бактерий и вирусов и выявления их лекарственно-устойчивых форм





Научное мировоззрение и наномир

Если исходить из хронологических представлений, то на фоне всей предыдущей человеческой истории, насчитывающей десятки тысяч лет (а по некоторым данным это число больше на один - два порядка) феномен науки и соответствующее ему представление о научном мировоззрении исключительно молоды. Им предшествовали:

1. Мистический путь познания мира

2. Схоластический путь (Аристотель). Среди его рассуждений "неоспоримые" факты: у мухи 8 лап; если жениться рано, то дети от этого брака будут женского пола, потому что кровь женщин темнее, чем кровь мужчин; что слонов, страдающих бессонницей, надо лечить, смазывая их плечи оливковым маслом и пик формы - доказательство того, что **у женщин меньше зубов, чем у мужчин, а у мужчин их 34.**

До нас дошло описание многочасового спора Альберта Великого (Альберт фон Больштедт Magnus, 1193-1280) и его ученика Фомы Аквинского (1225-1274) на актуальную и животрепещущую тему - есть ли у крота глаза.

Развитие научного подхода

В специальном трактате монах Роджер Бэкон (1214-1292) призывал расстаться со словами как источником мудрости и обратиться к опыту. Бэкон выдвинул идею о качественно различных элементах, комбинации которых образуют конкретные вещи.



"Нужно руководствоваться показаниями опыта и разнообразить условия до тех пор, пока мы не извлечем из опыта общих законов, ибо лишь опыт открывает нам общие законы" . Леонардо да Винчи (1452-1519).

Через 300 лет после Роджера другой монах, между прочим лорд-канцлер, Фрэнсис Бэкон (1561-1626) постулировал основные принципы научного мировоззрения. Они очень просты в формулировке и в то же время не просты в исполнении. **Первая заповедь или основной постулат: "критерий истины - эксперимент". И только он.** Это значит, что если самая замечательная и единственно верная теория противоречит эксперименту, то неверна теория, а не эксперимент или его результаты. (Безусловно, эксперимент должен быть абсолютно корректен.)

Далее. **"Эксперимент должен быть воспроизводим и повторяем".** Это значит, что если эксперименты проводятся в одинаковых условиях, то они должны давать одинаковые результаты, где бы они не производились. И результаты эти должны быть повторяемы и воспроизводимы. Поэтому наука не занимается исследованием таких невозпроизводимых и неповторяемых явлений, как телепатия, телекинез и прочие, несть им числа.



В результате победы научного мировоззрения был достигнут совершенно поразительный результат в области технического прогресса, опиравшегося на результаты научных исследований. Эпоху пара, начавшуюся в 1769 г. с изобретения, вернее факта патентования, паровой машины Джеймсом Уаттом, сменила эпоха электричества, ее эпоха информационных технологий и мы уже вступаем в эпоху нанотехнологий.

Происходящее на наших глазах становление и развитие нанонауки требует от исследователей определенной ломки привычных научных представлений и принятия новых научных парадигм. Принятие основных положений фрактальной геометрии и физики, нелинейной динамики и многомерной геометрии уже не вызывает прежнего отторжения и является осознанной необходимостью. Будучи пограничной междисциплинарной областью знания нанотехнология впитала в себя в числе прочего и различные положения квантовой механики. Вследствие этого, совокупное, или как теперь модно говорить, синергетическое воздействие этих составляющих нанотехнологии приводит к размытию основных постулатов научного мировоззрения. Малейшее, совершенно незначительное изменение параметра в начальных условиях нелинейной системы приводит к ее эволюции по разному сценарию. Самое неприятное, что количественное изменение этого параметра чаще всего находится за пределами чувствительности нашей аппаратуры. В наносистемах мы чаще всего не имеем возможности эти изменения проконтролировать, и вопрос о воспроизводимости экспериментов из дискуссионного переходит в область практического, что будет обсуждено далее.

Эксперимент, даже абсолютно корректный, сам по себе не обеспечивает правильное понимание наблюдаемых и регистрируемых этим экспериментов явлений, часто возникает невозможность разделить в эксперименте причину и следствие изучаемого явления.

Особую опасность в плане неверно трактуемых экспериментов представляют собой так называемые **пограничные явления** - лежащие на пределе чувствительности используемой аппаратуры. Это может приводить к "наблюдению" несуществующих феноменов, таких, к примеру, как **"обнаруженные" в 1903 г. Р. Блондло (1849-1930) N-лучи.**

Около ста статей о N-лучах были опубликованы в первой половине 1904 года, причем только французскими физиками. N-лучи поляризовали, намагничивали. Жан Беккерель утверждал, что N-лучи можно передавать по проводу, так же, как свет передается по изогнутой стеклянной палочке. Блондло утверждал, что металлы можно «анестезировать» эфиром, хлороформом или спиртом, после чего они переставали испускать и передавать N-лучи. Он установил также, что N-лучи проходят и через черную бумагу и через алюминий. Блондло ставил опыты с кирпичом: заворачивал его в черную бумагу и оставлял на улице, где лучи солнца, проходя через бумагу, попадали в кирпич. При этом кирпич запасался N-лучами и испускал их, даже будучи завернутым в черную бумагу. **Французские физики «обнаружили», что N лучи испускались растущими растениями, овощами и даже трупом человека.** Шарпантье нашел, что слух и обоняние также обострялись под их влиянием, как и зрение. Колеблющийся камертон испускал сильные N-лучи.

Французская Академия увенчала работу Blondlo своим признанием, присудив ему премию Лаланда и золотую медаль – «За открытие N-лучей», но американский физик Роберт Вуд доказал, что никаких таких лучей не существует. Blondlo был вполне искренний человек и большой ученый (в отличие от тех его коллег, которые подхватили и растиражировали его «открытие»), но он пал жертвой чрезмерного зрительного воображения после многих лет работы с приборами в темноте, на пороге наблюдаемых явлений.

Многие явления наномира пока лежат на пороге чувствительности имеющейся аппаратуры, и надо очень внимательно и скрупулезно относиться к наблюдаемым явлениям и их трактовке, чтобы не повторить путь Blondlo.

Наука - это люди, ее производящие. Двигаясь все дальше по пути познания мира, ученые вместе с тем иногда сами возводят препятствия на его пути. **Теорию относительности** так и не приняли великий А. Пуанкаре (1854-1912) и выдающийся ученый Э. Резерфорд (1871-1937). Нобелевский лауреат Ф. Ленард (1862-1947) назвал эту теорию "математической стряпней".

Наш соотечественник Б. Белоусов (1893-1970) открыл периодические реакции и установил, что неравновесность состояния какого-либо явления может стать причиной возникновения в нем порядка. **Против Белоусова выступили академики Л. Ландау (1908-1968) и М. Леонтович (1902-1981).**

А. Эйнштейн (1879-1955), ознакомившись с квантовой моделью Н. Бора (1885-1962), заявил: "Мне все очень понятно. Но если это правильно, то оно означает конец физики как науки.

В 1939 году советская Академия наук весьма сурово обошлась с пионером ядерной энергетики И. В. Курчатовым, обвинив в расхождении его исследований с научной актуальностью.

Биографы К. Гаусса после его смерти отыскивали в его черновиках подробные разработки неэвклидовой геометрии и признание ученого, что он не хочет рисковать обнародованием новой теории пространства потому, что опасается крика беотийцев.

Во времена начала поисков **высокотемпературной сверхпроводимости в керамике Л. Ландау** с некоторым свойственным ему высокомерием заявил **"В глиняных горшках сверхпроводимость искать не надо"** и приоритетные работы наших ученых легли на полку до момента присуждения западным ученым Нобелевской премии.

В штыки был встречен и Периодический закон Д.И. Менделеева. Немецкий химик Р. Бунзен назвал результат Д. Менделеева обыкновенной игрой в цифры, а В. Оствальд заявил, что периодический закон не закон, а неопределенное правило.

Однако и сам **Дмитрий Иванович** вкуче с **А. Кольбе** и **Н. Меншуткиным** резко выступал против идей **Вант-Гоффа** и **А. Бутлерова** по архитектуре молекул.

Научное мировоззрение, "это научная честность, принцип научного мышления, соответствующий полнейшей честности, честности, доведенной до крайности. Например, если вы ставите эксперимент, вы должны сообщать обо всем, что, с вашей точки зрения, может сделать его несостоятельным. Сообщайте не только то, что подтверждает вашу правоту. Приведите все другие причины, которыми можно объяснить ваши результаты, все ваши сомнения, устраненные в ходе других экспериментов, и описания этих экспериментов, чтобы другие могли убедиться, что они действительно устранены... Я хочу пожелать вам одной удачи - попасть в такое место, где вы сможете свободно исповедывать ту честность, о которой я говорил, и где ни необходимость упрочить свое положение в организации, ни соображения финансовой поддержки - ничто не заставит вас поступиться этой честностью. Да будет у вас эта свобода." Р.Ф. Фейнман



Исторические начала и корни нанотехнологии.

Одним из отцов основателей нанотехнологии принято считать Р. Фейнмана, который в своей лекции "There is plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics", прочитанной на Рождественском обеде Американского физического общества **29 декабря 1959 г** якобы и заложил все фундаментальные камни новой науки - нанотехнологии. **Фейнман говорил о "крошечных роботах, снабженных серводвигателями и маленькими "руками", которыми могут закручивать столь же маленькие болты и гайки, сверлить очень маленькие отверстия и т.д. ... Ничто не мешает продолжить этот процесс и создать сколь угодно крошечные станки, поскольку не имеется ограничений, связанных с размещением станков или их материалоемкостью".** В то же время Фейнман верно подметил, что научившись регулировать и контролировать структуры на атомном уровне, можно получить материалы с совершенно неожиданными свойствами и эффектами.

Сам термин нанотехнология по общепринятой концепции впервые применил японский исследователь Танагучи в 1974 г. применительно к прецизионной обработке хрупких материалов, после чего он (термин) получил права гражданства.

Совершенно неправильно думать, что ранее человек не имел дело с некоторыми объектами и явлениями нанотехнологии, но **с глубоким прискорбием надо осознать, что единичные образцы даже самой уникальной техники не определяют уровень развития технологии в целом.**

В.Ю. Киреев ведет родословную нанотехнологии от английского физика Майкла Фарадея (1791-1867), получившего в 1857 г. устойчивые коллоидные растворы золота, имеющие красный цвет. В 1903 австрийский физико-химик Р. Зигмонди (1865-1929) и немецкий физик Г.Ф. Зидентопф (1872-1940) изобрели щелевой оптический ультрамикроскоп, имеющий разрешение до 5 нм за счет реализации методики косвенного наблюдения в отраженном свете, что позволяло наблюдать более мелкие объекты, чем в обычном микроскопе. В ультрамикроскоп наблюдаются не сами частицы, а большие по размерам пятна дифракции света на них. Размеры и форму частиц в ультрамикроскоп установить нельзя, однако можно определить их концентрацию и вычислить средний размер. Применяя такие методики Р. Зигмонди удалось установить, что в коллоидных растворах золота желтого цвета частицы имеют размеры 20 нм, красного - 40 нм, синего - 100 нм.

Совершенно бесспорен приоритет работ школы академика П.А. Ребиндера (1808-1972) по диспергации материалов и приведению их в мелкодисперсное состояние. Надо сказать, что Петр Александрович Ребиндер был уникальным явлением в советской науке. Потомок древнего графского и баронского рода Ребиндеров, единственный в своем роду ученый (остальные его представители были в основном военными и государственными деятелями), автор более 500 научных работ, по существу и должен быть признан одним из отцов-основателей нанотехнологии. 30 ноября 1946 г. П. А. Ребиндер был избран академиком АН СССР по Отделению химических наук. Не будет преувеличением сказать, что именно его работы во многом заложили фундамент современной нанохимии.



Герб Ребиндеров

Если исходить из принципов объективной научной истины, то отцом основателем нанотехнологии следует считать нашего совершенно забытого ныне соотечественника Петра Петровича Веймарна (1879-1935). Лауреат премий имени академика Н.А. Бекетова, имени В.И. Шукина, имени тайного советника Ахматова от Императорской академии наук, он окончил Санкт-Петербургский горный институт Императрицы Екатерины II, награжден орденом Святой Анны III степени. Профессор, ректор Уральского горного института (1917-1920); в 1920-1922 г. ректор Владивостокского политехнического института; в 1922-1931 г. – профессор Императорского индустриального института в г. Осака (Япония); в 1931 г. – сотрудник частной лаборатории в г. Кобе (Япония), умер в Шанхае 2 июня 1935, **похоронен в Кобэ.**

В 1904 г. профессор Санкт-Петербургского горного института П.П. Веймарн постулировал, что между миром молекул и микроскопически видимых частиц существует особая форма вещества с комплексом присущих ей новых физико-химических свойств - ультрадисперсное или коллоидное состояние, образующееся при степени его дисперсности в области $10^5 - 10^7 \text{ см}^{-1}$, в котором пленки имеют толщину, а волокна и частицы - размер в поперечнике в диапазоне 1,0 - 100 нм.

Веймарн выдвинул следующее положение: «Коллоидное состояние не является обусловленным какими-либо особенностями состава вещества; наоборот, было доказано, что о коллоидах можно говорить как о твердых, жидких, газообразных, растворимых и нерастворимых веществах. При определенных условиях каждое вещество может быть в коллоидном состоянии»



Веймарн также считал необходимым вообще отказаться от термина «коллоид» и заменить его на понятие «дисперсоид», а коллоидную химию переименовать в дисперсоидологию – «науку о свойствах поверхностей и процессах, на них совершающихся». Так что по гамбургскому счету именно Петра Петровича Веймарна следовало бы считать подлинным отцом основателем нанотехнологии.

Мы считаем, что к коллоидам следует относить не отдельный класс веществ, а особое состояние любого вещества, характеризующееся, прежде всего, определенными размерами частиц, а наноструктурирование есть перевод вещества в коллоидное (ультрадисперсное, наноразмерное) состояние, т.е. создание в системе физических или химических фаз нанометровых размеров, которые можно рассматривать как наночастицы, отделенные от остальной структуры поверхностями раздела.

Наноразмерное состояние вещества есть качественно особая форма его существования с присущими только ей физико-химическими свойствами.

С точки зрения физической наномир открылся 90 лет назад, когда наш соотечественник Г.А. Гамов (1904-1968) в 1928 г. получил решение уравнения Шрёдингера, описывающее туннельный эффект, что объяснило многие экспериментальные факты и послужило фундаментом атомной науки и техники, хотя реализовано было в туннельных диодах через 30 лет. Затем Ю.С. Тиходеев из московского "Пульсара" рассчитал параметры приборов на основе многослойных туннельных структур, которые через 20 лет и удалось реализовать

При этом с глубоким прискорбием надо осознать, что единичные образцы даже самой уникальной техники не определяют уровень развития технологии. Многие человечеству было известно и ранее, хотя по разным причинам не получило развития.

Более 6 тысяч лет до нашей эры на Ближнем Востоке разработали технологию изготовления искусственной бирюзы путем последовательного нанесения очень большого числа тонких пленок сложного состава с отжигом в закрытой камере при определенных для каждого этапа условиях.

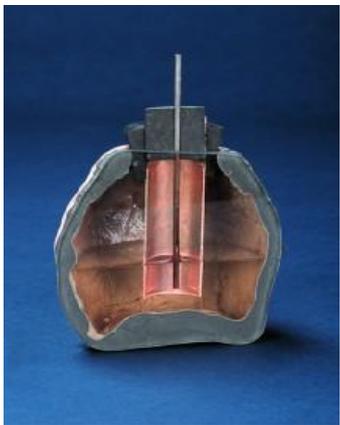


Кубок Ликурга

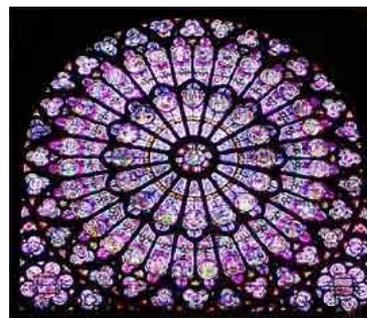
В Месопотамии 4 тыс. лет до н.э. умели изготавливать гальванические элементы и с их помощью путем электрохимического наращивания получать наноразмерное золотое покрытие на медных изделиях, что немножко попахивает криминалом (подобные весьма достойные древние традиции дожили и до наших дней).



Батарейка состоит из глиняного сосуда с пробкой из битума, которая протыкается железными прутами. Внутри банки пруты окружены медным цилиндром. Залитая винным уксусом, она дает напряжение порядка 2 В.



Багдадская батарейка



Фрагмент средневекового витража

Раздел I. Основные физические представления, лежащие в основе микро и нанотехнологии.

Переход от микротехнологии к нанотехнологии.

Развитие науки и технологии в середине прошлого века подготовили фундамент для очередного витка научно-технической революции, который уже начал стремительно разворачиваться в настоящее время.

Были заложены основы таких наук, как фрактальная геометрия и фрактальная физика, компьютерная оптика, нелинейная динамика и детерминированный хаос и ряд других. Начали на практике применяться знания, доступные ранее узкому кругу математиков и физиков. Возник интерес к изучению хаотической динамики различных объектов на основе анализа временных рядов, изучению их свойств на базе представлений о самоподобии и масштабной инвариантности, чему в немалой степени способствовал прогресс компьютерной техники.

Научное сообщество вплотную приступило к изучению так называемого наномира или, в рамках другого подхода – мезомира, мира мезоскопической природы вещества. Физика, химия и биология начали интенсивно исследовать объекты и структуры, размеры которых измеряются в пределах нанометровой шкалы, что обусловило появление терминов наномир, наночастицы, наноструктуры, нанокомпозиты и нанотехнология.

Илья Романович Пригожин, в своей нобелевской лекции отметил, что классическая физика макроструктур занимается описанием необратимых процессов на макроуровне, прибегая к операциям усреднения.

"Когда же речь заходит о необратимости и вероятности, мы традиционно подразумеваем, что эти понятия были введены в природу нами. Однако, даже такое привнесение стало невозможным после появления квантовой механики. Все, что мы знаем, например, о радиоактивности, сводится к понятию среднего периода полураспада. Никто не может предугадать, сколько атомов распадется за какой-либо заданный временной интервал. Мы можем лишь приблизительно подсчитать. Поэтому можно смело сказать, что квантовая механика обозначила гибель детерминизма

Микроструктура вещества макроподходом не учитывается, неоднородности и индивидуальности локальных микробластей усредняются. На атомно-молекулярном уровне превалирует описание обратимых процессов или описание больших ансамблей частиц, что позволяет применять стохастическое описание.

К объектам наномира неприменимы подходы классической физики, использующие интегральные и усредненные характеристики объектов и не интересующиеся характеристиками локальных микро и нанообластей.

Ситуация в наном мире иная, чем в мире классической или квантовой физики. Вследствие его расположенности на границах классической физики и квантовой механики объекты наном мира уже нельзя рассматривать как абсолютно одинаковые и статистически неразличимые. Все они индивидуальны, и одна наночастица отличается от другой наночастицы составом, строением и множеством других параметров и невозможно игнорировать наличие неоднородностей и нерегулярностей в структуре объекта и пользоваться для его описания средними, интегральными характеристиками, как это принято в классической физике. Многие процессы, характерные для наном мира, происходят в условиях, весьма далеких от равновесного состояния, а объекты наном мира чаще всего представляют собой открытые системы, обменивающиеся с внешней средой веществом, энергией и информацией.

Поэтому для описания наном мира необходимо пользоваться системами нелинейных дифференциальных уравнений, имеющих **несколько решений**, что приводит к необходимости заниматься и проблемами **эволюции объектов** наном мира, поскольку эволюция эта может происходить разными путями, в зависимости от изменения (иногда чрезвычайно незначительного) начальных условий и параметров.

Все объекты наномира индивидуальны!

Наносостояние есть особое состояние вещества,.

Как рассматривать изолированную наночастицу из небольшого количества атомов? По отношению к ней теряют применимость понятие жидкость и твердое тело (жидкая или твердая частица из пяти, десяти или пятидесяти атомов? - газ или плазма?).

Многие процессы нанотехнологии, характеристики нанообъектов могут быть объяснены, если предположить, что они происходят в пространстве с размерностью более 3-х, например в четырехмерном.

Это новое состояние вещества, которое всегда было и рядом с нами, и внутри нас самих, но которое мы только сейчас открыли и осознали и начали изучать осмысленно и в полной мере.

Наносостояние можно рассматривать как особое состояние вещества, которое по мере укрупнения своей структуры, выхода из нанобласти, переходит в жидкую фазу и подходит к точке бифуркации, из которой может перейти в твердую фазу или газообразную фазу, до следующей точки бифуркации, после которой возможен переход в плазму.

Переход от микротехнологий к нанотехнологиям возродил междисциплинарный подход к естественным наукам, которые в наном мире вновь начали рассматриваться как некое единое целое, особенно важным является взаимовлияние информационных технологий, биотехнологий, нанотехнологий и когнитивной науки. Данное явление получило название NBIC-конвергенции (по первым буквам областей: N-нано; В-био; I-инфо; С-когно). Термин введен в 2002 г. Михаилом Роко и Уильямом Бейнбриджем.

Начали осмысленно применяться принципы холизма.

Принцип холизма утверждает, что целое больше совокупности составляющих его частей, а свойства целого больше суммы свойств составляющих его фрагментов. Значит, изучая объект по сложившейся методике (разделение-анализ-синтез) мы теряем информацию об объекте, и чем сложнее объект, тем больше теряется информации.

В нашей стране до недавнего времени холизм представлялся идеалистической «философией целостности», близкой по своим идеям к теории эмерджентной эволюции и истолковывался как идеалистический принцип несводимости целого к сумме частей.

Эмерджентность — наличие новых свойств целостности у системы, т. е. таких свойств, которых нет ни у одного из составляющих ее элементов.

Таким образом, из элементов, имеющих одни качественные особенности, может сложиться система, обладающая иными качественными чертами. В литературе, чтобы подчеркнуть парадоксальность идеи целостности, ее символизируют формулой " $2+2=4$ ". Это означает, что система представляет собой нечто отличное (количественно или качественно) от суммы составляющих ее частей.

Эмерджентность (от англ. emerge—неожиданное появление) возникает при формировании или функционировании системы и выступает как форма проявления закона перехода количественных изменений в качественные. Например, превышение критической массы соединяемых ядер, приводящие к ядерной реакции.

Эмерджентная эволюция - идеалистическая теория развития. Получила распространение в современной буржуазной философии, особенно среди представителей неореализма. Теория эмерджентной эволюции возникла в 20-х гг. 20 в. в противовес материалистической диалектике. Ее цель - идеалистически истолковать скачкообразность развития, возникновение нового [Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова. - 4-е изд.-М.: Политиздат, 1981. - 445 с.].

Эмерджентная эволюция — метафизическая концепция, в соответствии с которой вещи возникают из основы мира, состоящей из "точек" пространства-времени, и посредством эмерджентной эволюции восходят на все более высокие ступени, поскольку наделяются все большим числом качеств. Концепцию эту, как философское направление следует отличать, с одной стороны, от совокупности эволюционных гипотез и концепций, используемых в науках, а с другой — от различных форм философий эволюционизма, прежде всего натуралистского, материалистического и биологического характера.

[Философия: Энциклопедический словарь. — М.: Гардарики. Под редакцией А.А. Ивина. 2004.]

Холистический процесс отменяет закон сохранения материи, а «фактор целостности» является нематериальным и непознаваемым и имеет мистический характер. Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова. - 4-е изд.-М.: Политиздат, 1981.

Холизм исходит из целостности мира как высшей и всеохватывающей целостности – и в качественном, и в организационном отношении, – целостности, обнимающей собой область психологической, биологической и, наконец, самой внешней, хотя и самой рациональной – физической действительности; все эти области представляют собой упрощение и обособление этой охватывающей целостности.

С точки зрения холизма совокупность предметов, образующих целостность, обретает некое новое качество, которое отсутствует во входящих в нее предметах. Связи между элементами такой совокупности имеют законоподобный характер и определяют место в ней каждой части. Философский энциклопедический словарь. 2010.

Обвинение в идеализме было одним из самых страшных в СССР, поэтому утверждение, что миром управляет холистический процесс - процесс творческой эволюции, создания новых целостностей было безусловной научной крамолой.

Невозможно было признать, что в ходе эволюции формы материи непрерывно увеличиваются и обновляются. Холистический процесс, якобы, отменяет закон сохранения материи, а «фактор целостности» является нематериальным и непознаваемым и имеет мистический характер.

На самом деле холизм исходит из целостности мира как высшей и всеохватывающей целостности – и в качественном, и в организационном отношении.

Наноструктуру можно определить как совокупность наночастиц с наличием функциональных связей.

Наноконпозиты представляют собой объекты, где наночастицы разного рода упакованы вместе в макроскопический образец, в котором межчастичные взаимодействия становятся сильными и нивелируют свойства изолированных частиц. Для каждого вида взаимодействий важно знать, как изменяются свойства материала в связи с его размерами.

В наноструктурах трудно провести границы между гомогенной и гетерогенной фазами, между аморфным и кристаллическим состоянием вещества. В настоящее время обычные представления химии, включающие понятия состав-свойство, структура-функция, дополняются понятиями размера и самоорганизации, которые и ведут к обнаружению новых фактов и закономерностей.

Наночастицы представляют собой системы, обладающие избыточной энергией и высокой химической активностью. Частицы размером порядка 1 нм практически без дополнительной энергии вступают в процессы агрегации, ведущие к образованию наночастиц больших размеров и в реакции с другими химическими соединениями, в результате которых получаются вещества с новыми свойствами.

Большинство методов синтеза наночастиц приводит к их получению в неравновесном метастабильном состоянии.

Это обстоятельство безусловно осложняет их изучение и использование в нанотехнологии, но с другой стороны, неравновесность системы позволяет осуществлять необычные, непрогнозируемые и невозможные в равновесных условиях химические превращения и реакции.

Размерные эффекты наиболее сильно проявляются в малых частицах и особенно характерны для нанохимии, где преобладают нерегулярные зависимости свойств от размера.

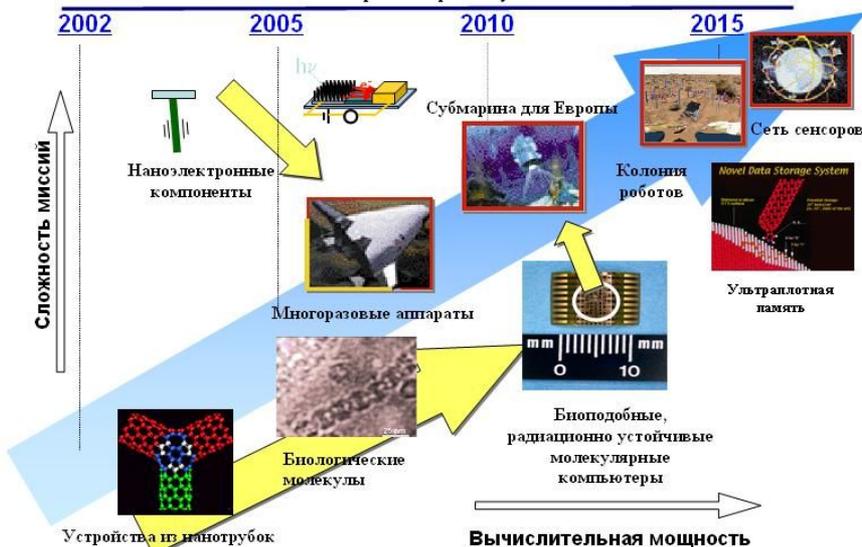
Особенность тонких наноразмерных пленок состоит в том, что у них объем, занимаемый поверхностными атомными или молекулярными слоями, вполне сопоставим с объемом самой пленки, а чаще всего его существенно превышает.

Ситуация с пленками нанометровых размеров (естественно, по толщине) усугубляется тем, что такую пленку можно рассматривать, как особую двумерную систему, свойства которой определяются исключительно свойствами поверхностного слоя, т.к. слоев, соответствующих объемному образцу, практически не существует.

Точно такая же ситуация складывается с частицами нанометрового размера. При диаметре частицы порядка 1,0 – 1,5 нм практически вся она представляет собой поверхность, и свойства ее будут совершенно уникальными.

Наиболее осмысленный и прагматичный подход к промышленному внедрению демонстрируют США. Здесь уместно привести две иллюстрации, характеризующие подход к нанотехнологии аэрокосмического ведомства США – НАСА.

Программа NASA по наноэлектронике и компьютерам
Влияние на космический транспорт, науки о космосе и о Земле

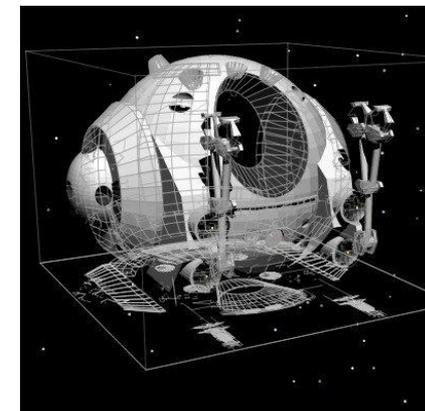


Программа работ НАСА по наноэлектронике

Программа NASA по наноматериалам
Влияние на космический транспорт, науку и автоматику



Программа работ НАСА по наноматериалам



Проект наноспутника

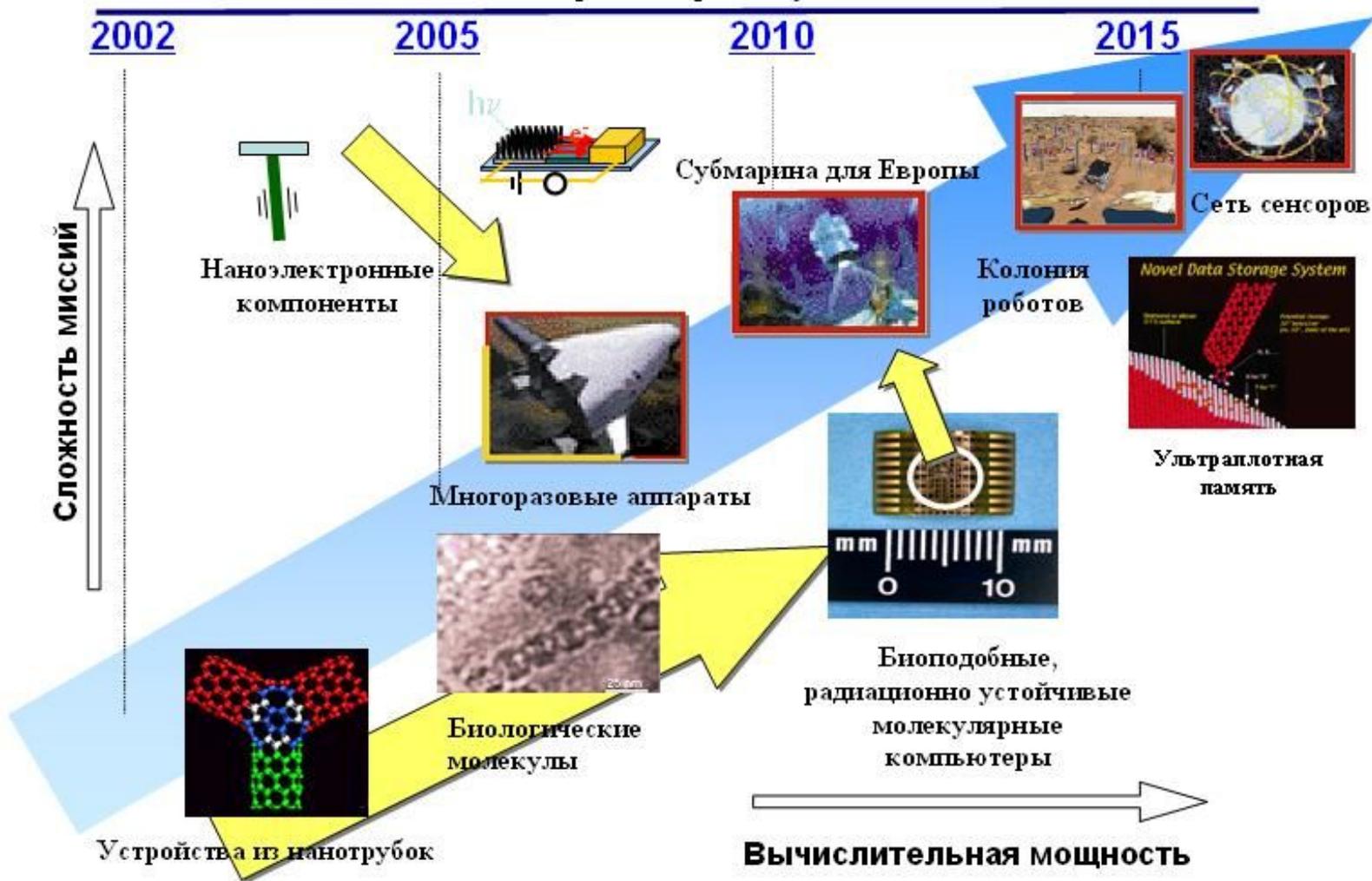
Программа NASA по наноматериалам

Влияние на космический транспорт, науку и автоматизацию



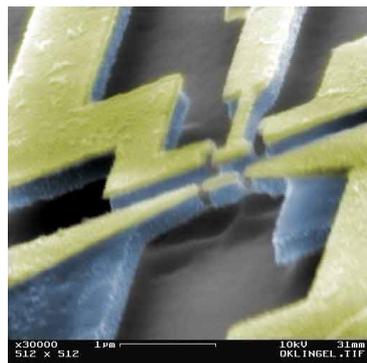
Программа NASA по нанoeлектронике и компьютерам

Влияние на космический транспорт, науки о космосе и о Земле

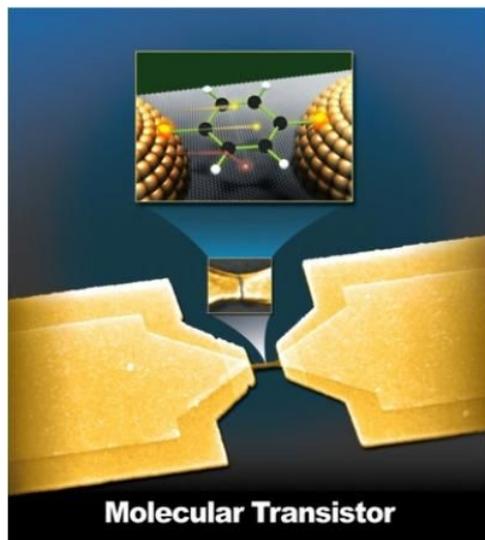




Проект космического лифта



Одноэлектронный транзистор. Колеблюсь, маятник ударяет молоточком в контакт – исток. В результате туннельного эффекта в молоточек поступает один электрон. Удар молоточка в сток пересылает электрон дальше по цепи. При комнатной температуре и напряжении между стоком и истоком 1 В, а сам маятник раскачивается напряжением 3 В. За один размах переносилось порядка 500 электронов. Подобрал оптимальную частоту генерации и значение напряжения, приложенного к "переходу", удалось создать условия для переноса лишь одного электрона.



Прототип оптического транзистора, состоящий из одной молекулы красителя. Краситель может находиться в двух состояниях - основном и возбужденном, причем во втором случае молекула красителя способна испустить фотон (при этом краситель переходит в основное состояние).

Идея заключается в следующем: находясь в возбужденном состоянии и испуская фотон, молекула красителя усиливает направленный на него луч. В основном состоянии краситель только поглощает часть излучения. Чтобы управлять исходным состоянием красителя, исследователи воспользовались вторым лучом. Когда второй луч переводит краситель в возбужденное состояние, первый луч усиливается, когда второй луч отсутствует, нет и усиления первого.

Огромное значение имеют так называемые проблемы масштабирования. В настоящее время многие наноразмерные частицы с необычными свойствами получают в миллиграммовых количествах. Синтез тех же соединений в больших, даже граммовых количествах приводит к другим, часто трудно воспроизводимым результатам.

Как следствие, в нанохимии формируются две тенденции. Одна из них определяется получением и поиском возможных новых объектов, синтезируемых в небольших количествах. Такие объекты являются сенсорными материалами и наноэлектронными устройствами.

Вторая тенденция - использование нанохимии в процессах получения материалов, применяемых в больших объемах. Это новые промышленные реагенты, например оксиды металлов и катализаторы на основе наночастиц металлов; это порошки, композиты, керамики, гибридные, консолидированные и другие новые наноматериалы.

Перспективным направлением является также использование нанотехнологий в производстве конструкционных материалов.

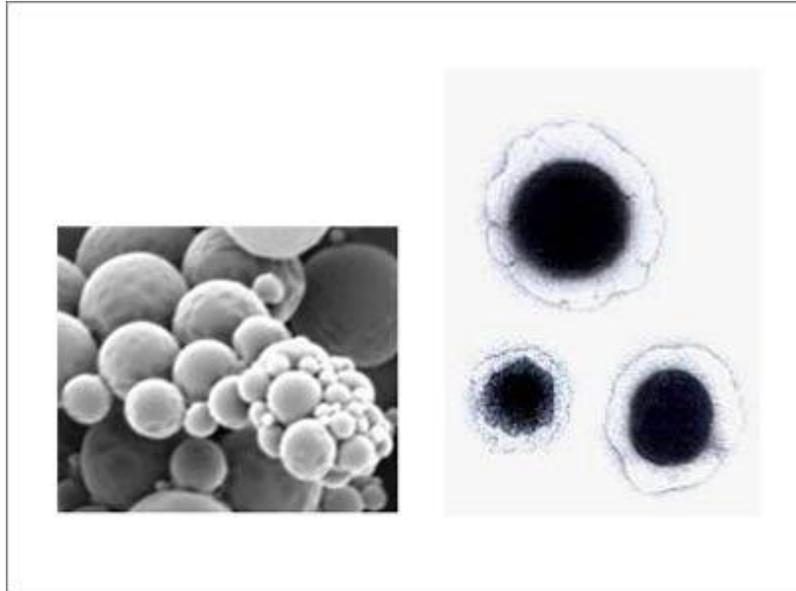
Это связано с тем, что свойства нанокристаллических материалов, включая конструкционные стали и сплавы, отличаются от обычных, для которых увеличение прочности приводит к снижению пластичности.

Изготовление наноструктурных керамических и композиционных изделий, разработка наноструктурных твердых сплавов для режущих инструментов с повышенной износостойкостью и ударной вязкостью, создание наноструктурных термо- и коррозионно-стойких покрытий, создание обладающих повышенной прочностью на растяжение волоконных структур на основе нанотрубок уже являются экономически оправданными.



Инструмент с
нанокomпозитом

Разработанные в НТЦ "Нанотехнология" покрытия имеют нанослойную структуру и состоят из слоев на основе алюминия, титана, хрома, циркония, молибдена и их соединений с азотом, углеродом, кислородом в разных сочетаниях толщиной ~ 5-10 нм. Сравнительные испытания показали, что обработанный твердосплавной инструмент имеет в 2,5 - 3 раза большую износостойкость.



Микрофотография
двуслойных наночастиц и их
разрез.

Применение нанотехнологических устройств в медицине позволит избирательно доставлять требуемый лечебный ингредиент непосредственно к больному органу.

На рисунке приведена микрофотография **двуслойной наночастицы**, устроенной таким образом, что она **проходит в поры раковой клетки, но не может попасть в здоровую клетку вследствие разного размера пор здоровой и раковой клетки**. Внутри наночастицы находится токсин, который и убивает раковую клетку после того, как наночастица локализуется в раковой клетке и ее оболочка растворится.