

Богатство наномира

Ю.Д.Третьяков

Е.А.Гудилин



ФНМ, химический
факультет,
НОЦ по
нанотехнологиям МГУ

www.fnm.msu.ru

www.nanometer.ru

Что такое НАНО?

«нано» - «гном, карлик», одна миллиардная метра



Вглубь

Ключ-замок

NANNOΣ

«Гномья олимпиада» www.nanometer.ru

Ректор МГУ академик В.А.Садовничий и декан ФНМ МГУ академик Ю.Д.Третьяков с серебряным гномом – символом олимпиады

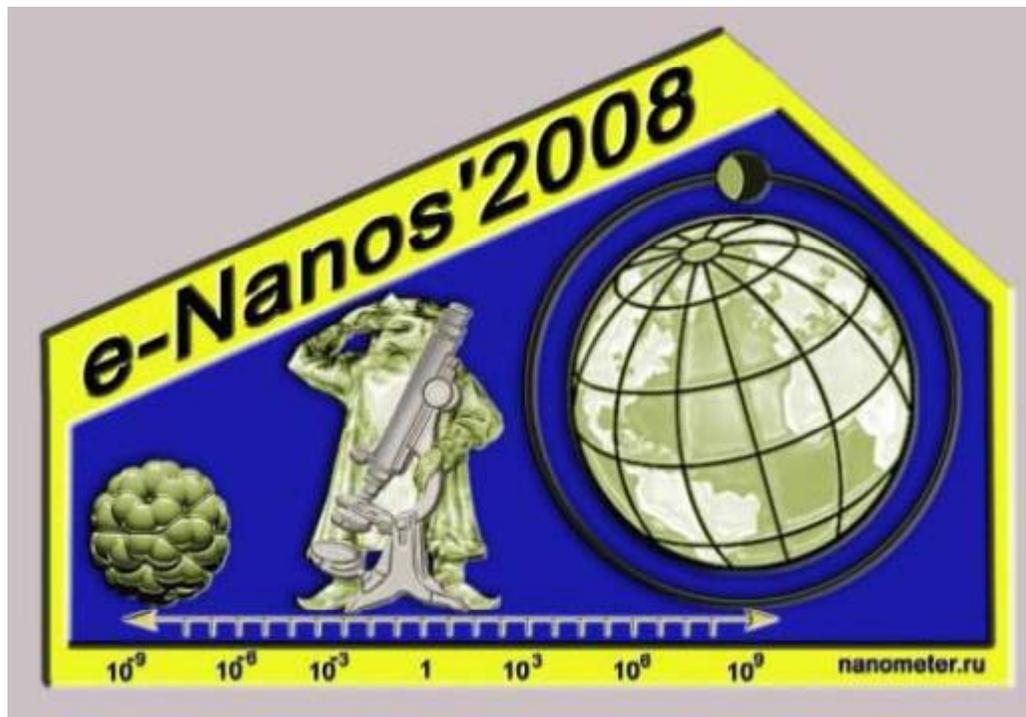


Насколько мал нанометр?



Когда – то, говорят, Чингис-хан приказал каждому из своих воинов принести по камню к его шатру. Приказано-сделано. Выросла гора. А что если каждый человек на земном шаре принесет по одной единственной квантовой точке (диаметр 10 нм, плотность материала 7 г/см³) и положит ее около штаб-квартиры Государственной Корпорации «Роснано» в кучу, то какую массу будет иметь эта куча?

(Ответ: 20 миллиардных долей грамма)



Почему автор эмблемы расположил гнома между фуллереном и Луной? **(Ответ: отношение размера гнома к размеру молекулы фуллерена примерно равно отношению размера Луны к размеру гнома)**

Мыльные пузыри



0.01 мл = 3.6 м

(при стенке
молекулярной
толщины из 1
капли раствора
получается
пузырь диаметром
3.6 м.)

Флэшка

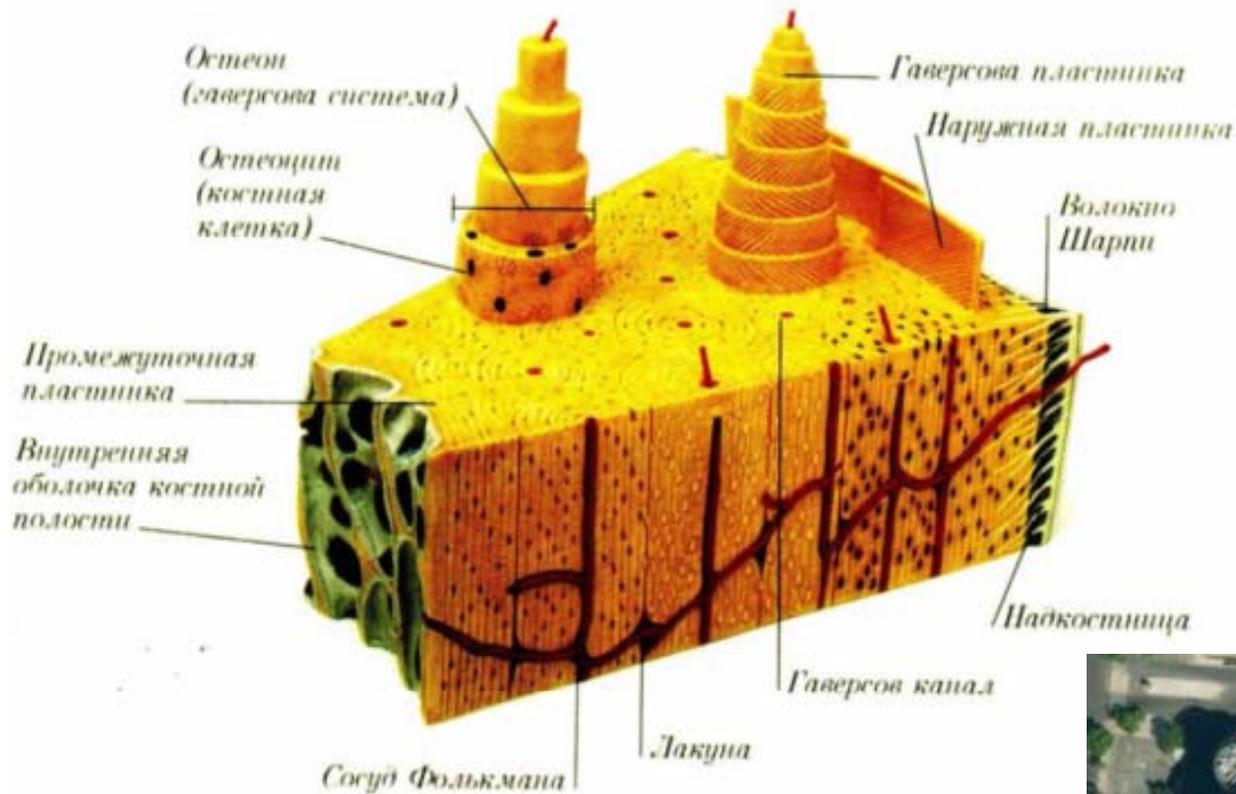
64 Гб = 25 нм

(линейный размер
записывающих
элементов
«флэшки» на
64 Гб составляет
в среднем 25 нм)

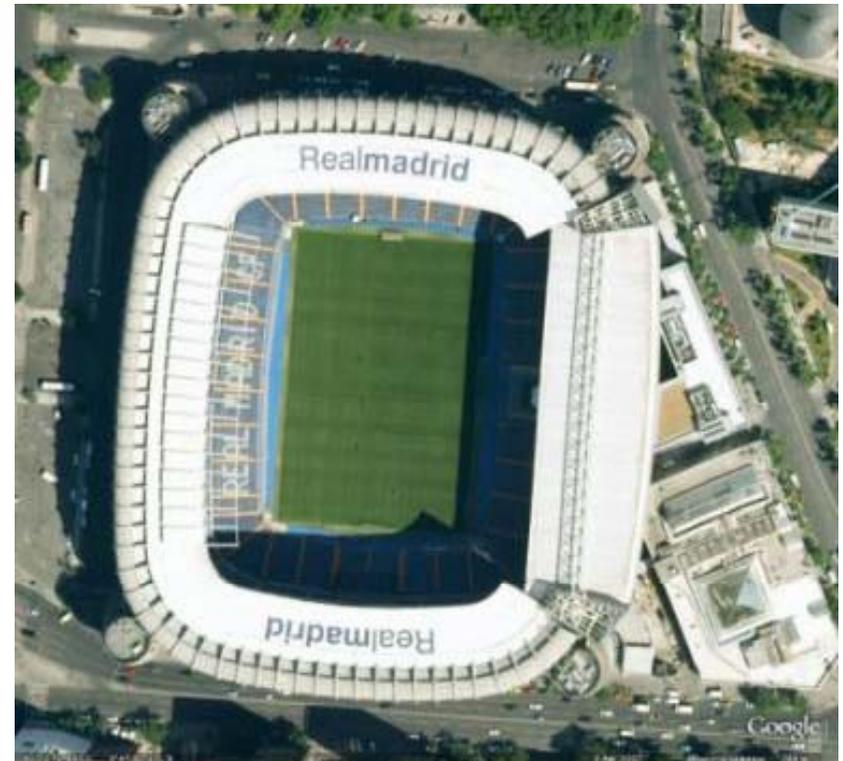


Кости

=10



(площадь монослоя чешуек гидроксилапатита из нашего скелета составит десять футбольных полей)



Космический лифт и наноботы

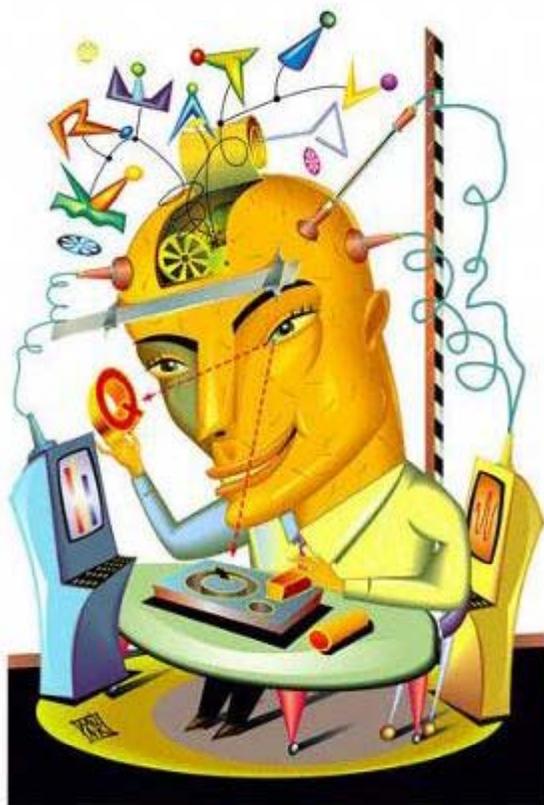
(давайте разберемся!)



**Ответ: диаметр троса 1 см,
10 триллионов тонн наноботов,
40 триллионов лет**

Для того, чтобы сделать трос для «космического лифта» планируется использовать одностенные углеродные нанотрубки, которые являются легким и чрезвычайно прочным материалом. Представьте, что один наноробот массой 0.01 миллиграмма сшивает две одинаковые одностенные углеродные нанотрубки длиной 1 микрон и диаметром 10 нанометров (каждая) за 1 миллисекунду, после чего у него исчерпывается запас энергии, и он «умирает». Затем два таких же наноробота сваривают куски из двух нанотрубок, сделанных предыдущими нанороботами, вместе на всем их протяжении (таким образом, пучок таких нанотрубок будет в два раза длиннее и в два раза толще). И т.д. Процесс прекращается, когда гигантский пучок достигает длины одну тысячу километров. Каков будет диаметр полученного троса? Через какой промежуток времени это произойдет? Какова будет масса погибших в процессе сборки троса нанороботов?

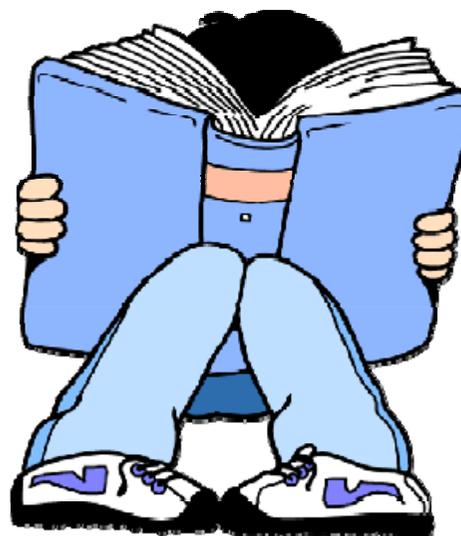
Три наностратегии



Физик: измерить и смоделировать

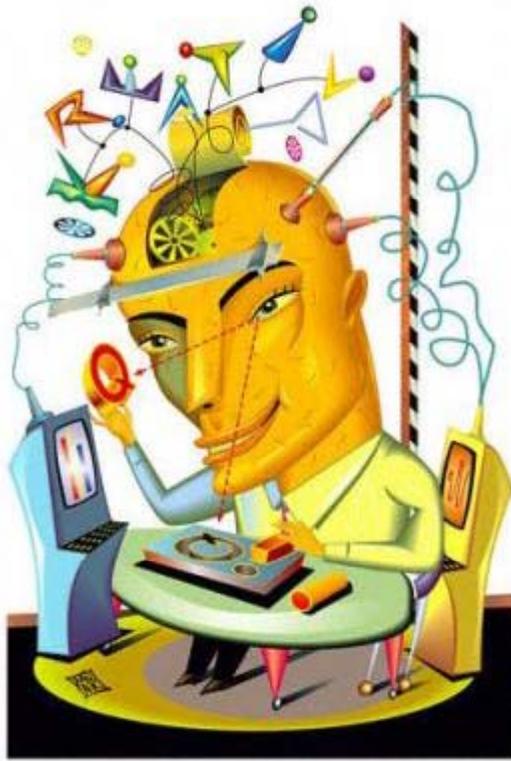


Химик: увидеть и понять



Биолог: найти в справочнике

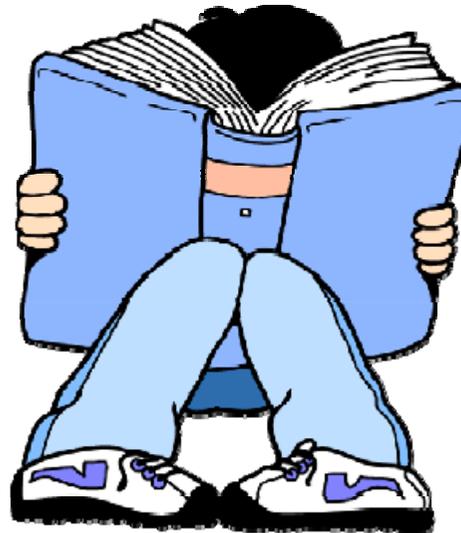
Три подхода к «нано»



**Физик: квантование
- туннелирование**



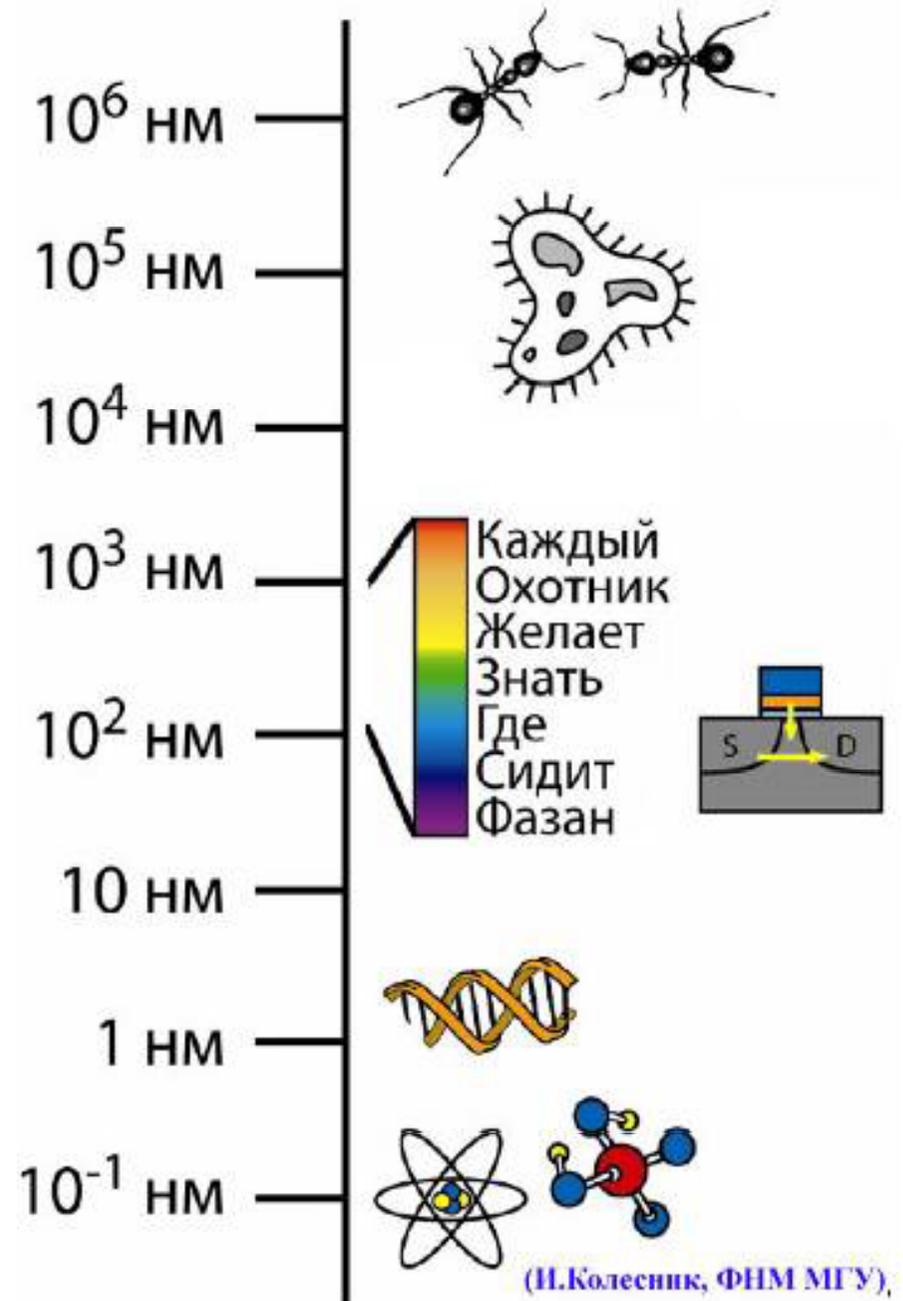
**Химик: слабые взаимодействия
и «оборванные» связи на поверхности**



**Биолог: молекулярные
машины в каждом из
нас уже давно работают!**

«Пятое измерение»?

- Размер по одному из измерений < 100 нм
- Новые по сравнению с объемным телом свойства
- Высокая реакционная способность
- Квантовые и туннельные эффекты
- Самоорганизация и самосборка
- Специфическое взаимодействие с живыми системами



Квантовые точки

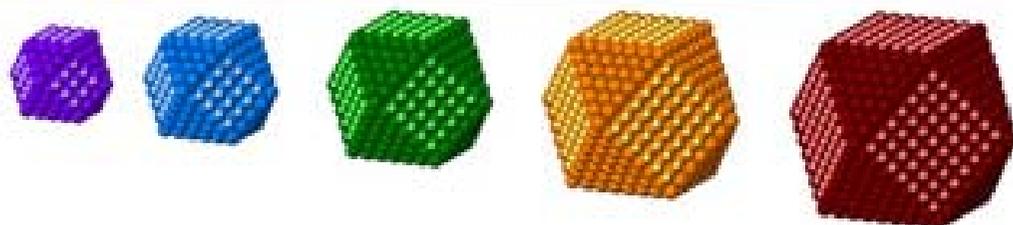
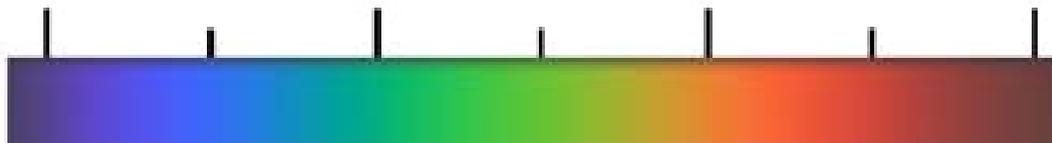
Обычное освещение

УФ

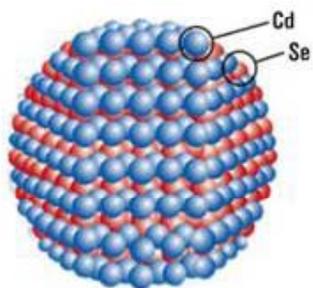
Photo by Roman Vasiliev

13/03/2006

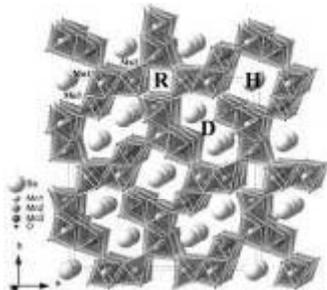
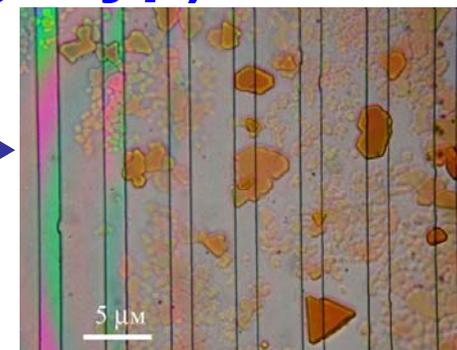
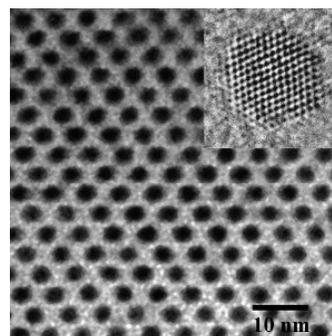
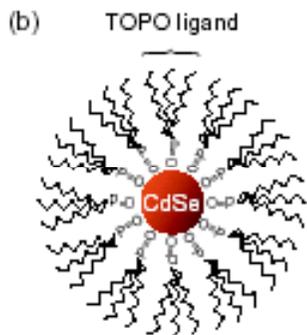
400 нм 500 нм 600 нм 700 нм



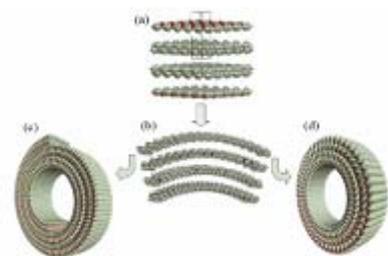
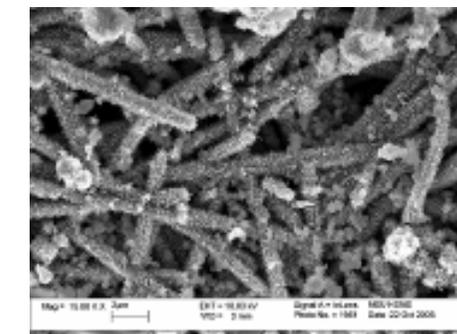
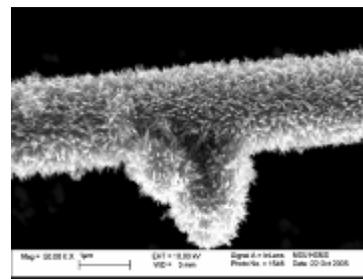
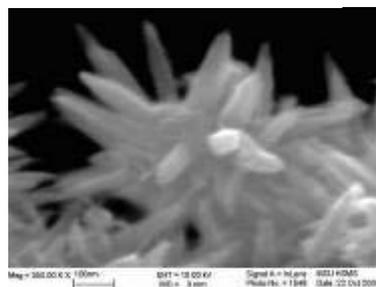
Эволюция наносистем на пути создания наноматериалов (иерархия структур)



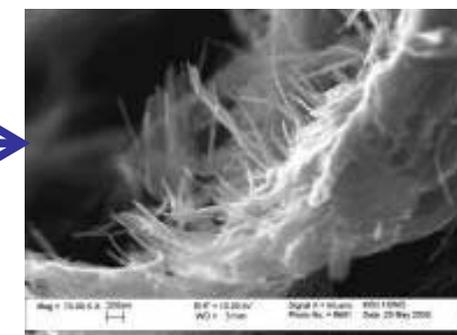
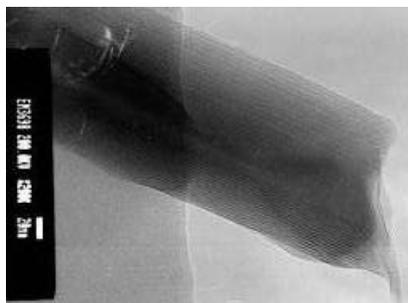
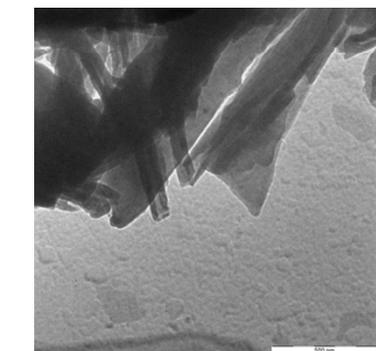
Квантовые точки



Каркасные манганиты



Нанотрубки VO_x

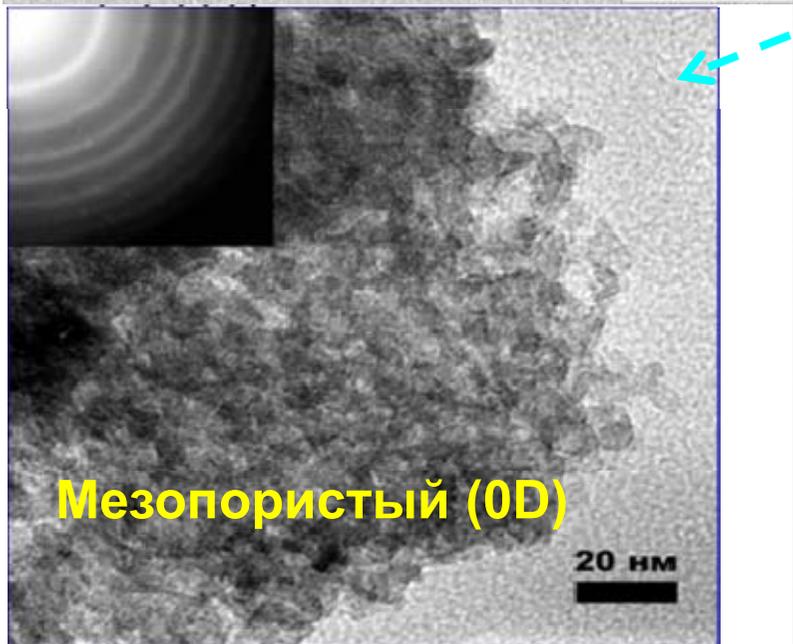
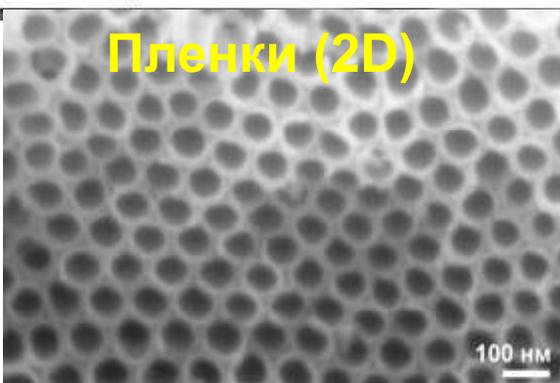
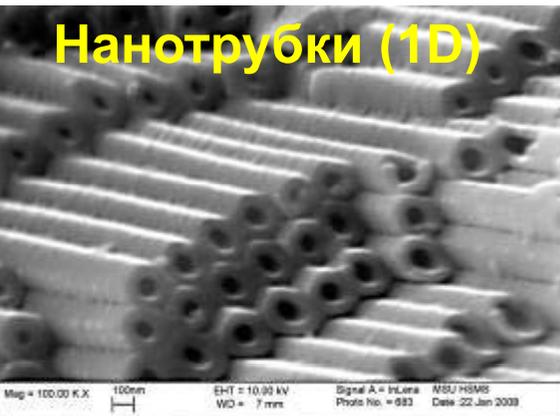
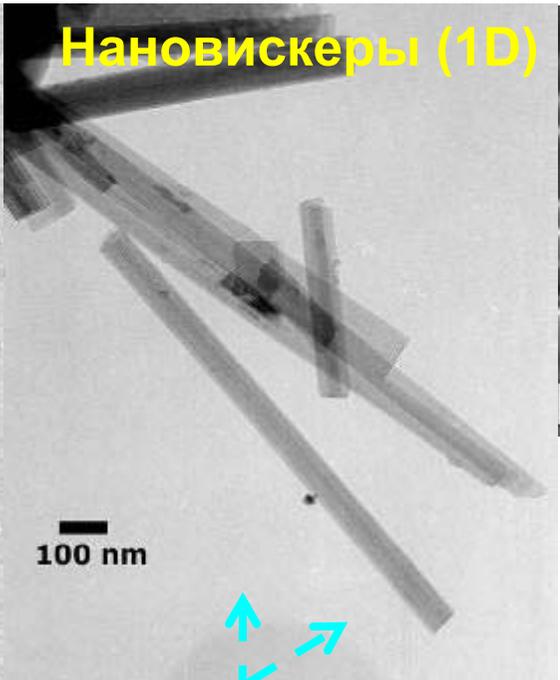
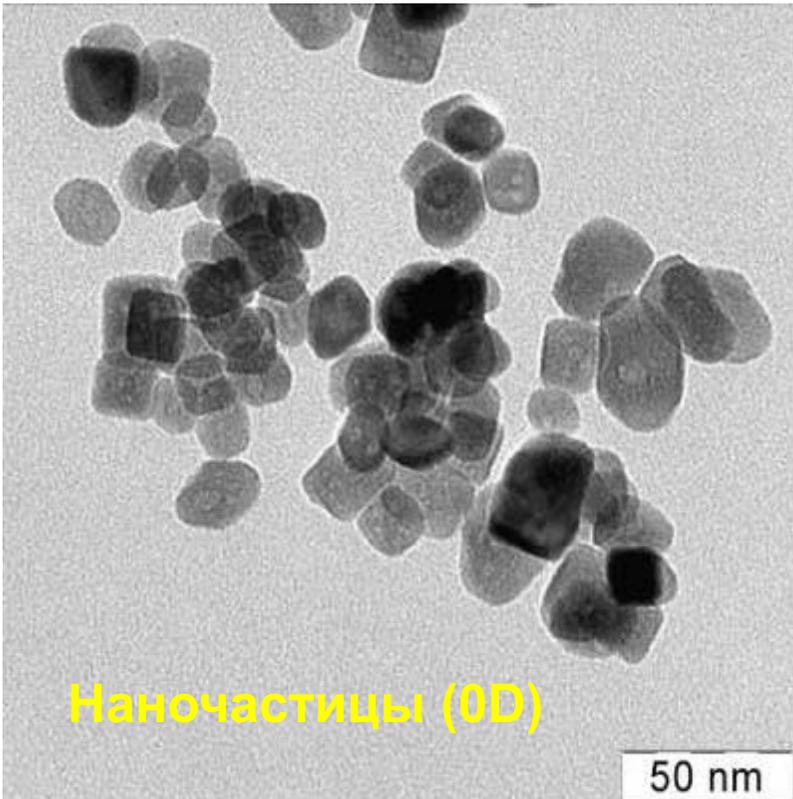


АТОМЫ, МОЛЕКУЛЫ

БЛОКИ

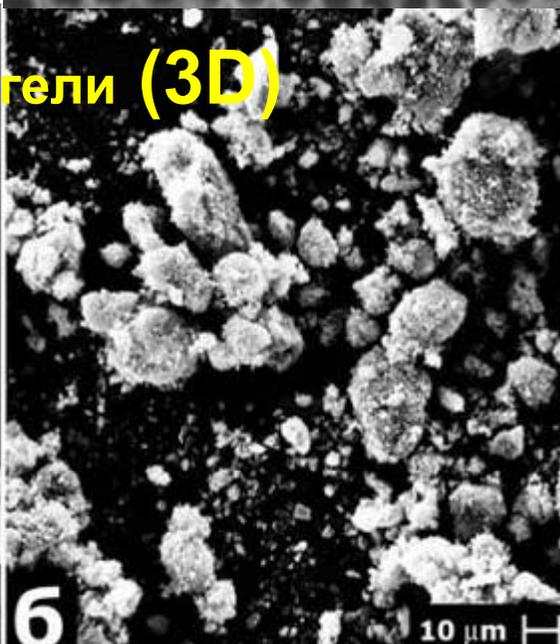
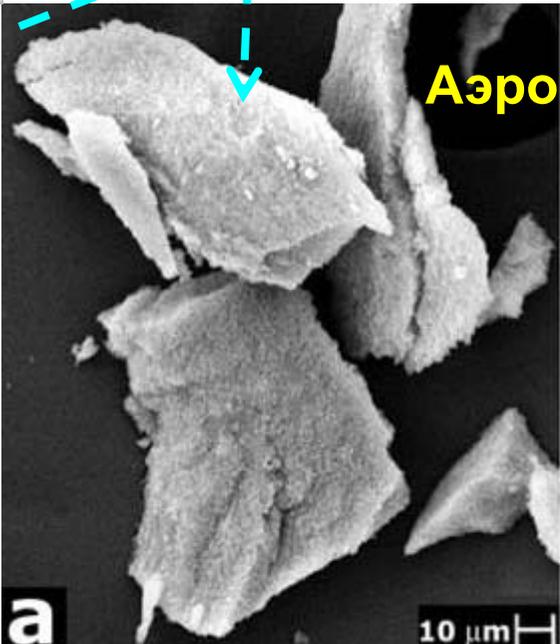
НАНОСТРУКТУРА

АССОЦИАТЫ

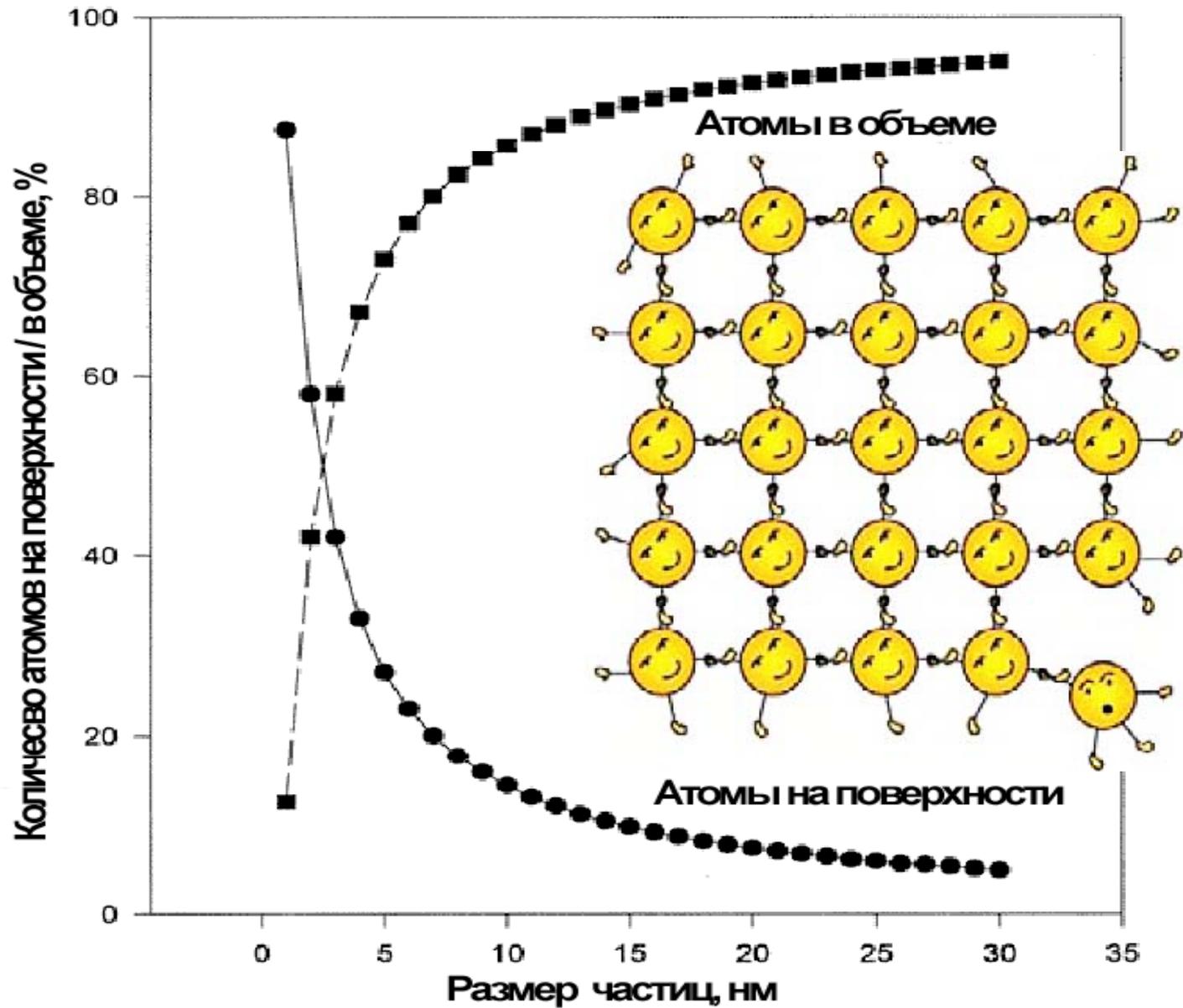


TiO_2

Four dashed blue arrows point from the central TiO_2 text to the four surrounding images.



Вклад поверхности





«Наночуровень» структуры (1 - 100 нм) существует всегда, и если он предопределяет свойства материала, то говорят о наноматериале.

1959 г. – Лекция Р. Фейнмана «Там внизу – много места»

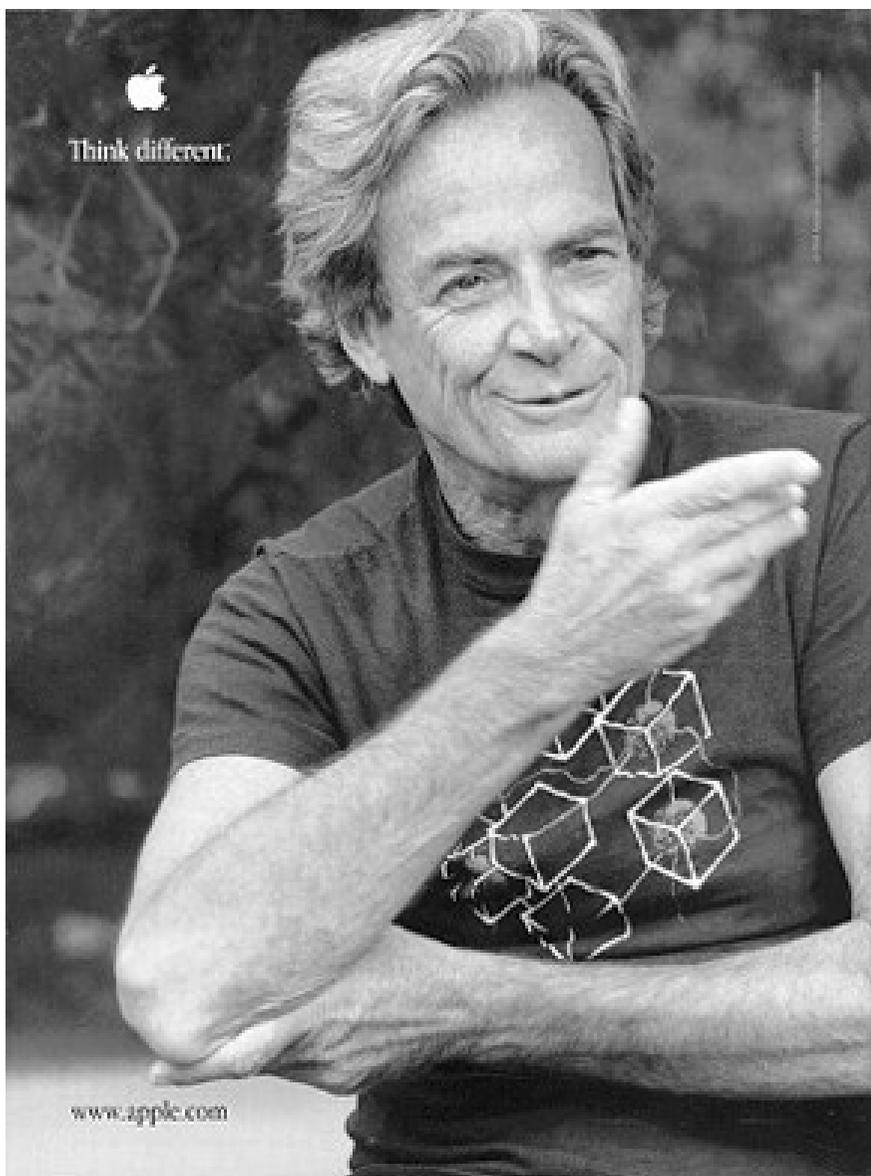
2001 г. – Национальная нанотехнологическая инициатива (500 млн. долларов)

2004 г. – Мировые инвестиции 12 млрд. долларов

2015 г. – Стоимость нанотехнологической продукции – 1 трлн. долларов

Возможные причины «нанобума»

- Появление принципиально новых методов диагностики наноразмерных объектов (современная электронная микроскопия, туннельная и атомно-силовая микроскопии)
- Осознание того, что наноматериалы обладают специфическими магнитными, электрическими, оптическими и др. свойствами, связанными с проявлением квантовых эффектов
- Открыт путь к миниатюризации технических устройств и огромной экономии ресурсов



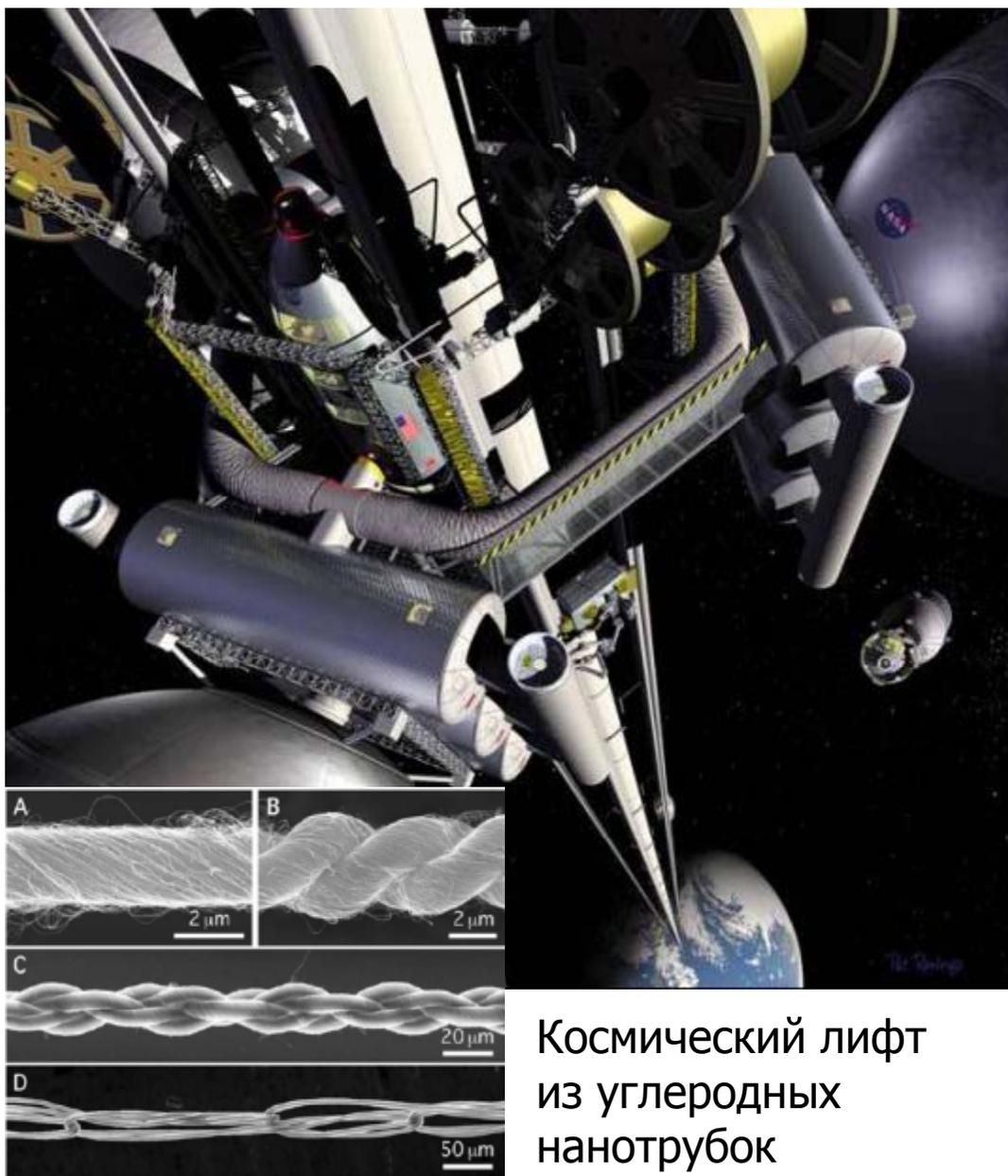
29 декабря 1959 г. Нобелевский лауреат **Р.Фейнман** прочитал в Калифорнийском университете свою знаменитую рождественскую лекцию **«Там, внизу, много места»**

Два подхода к созданию наноматериалов: «снизу-вверх» и «сверху-вниз»

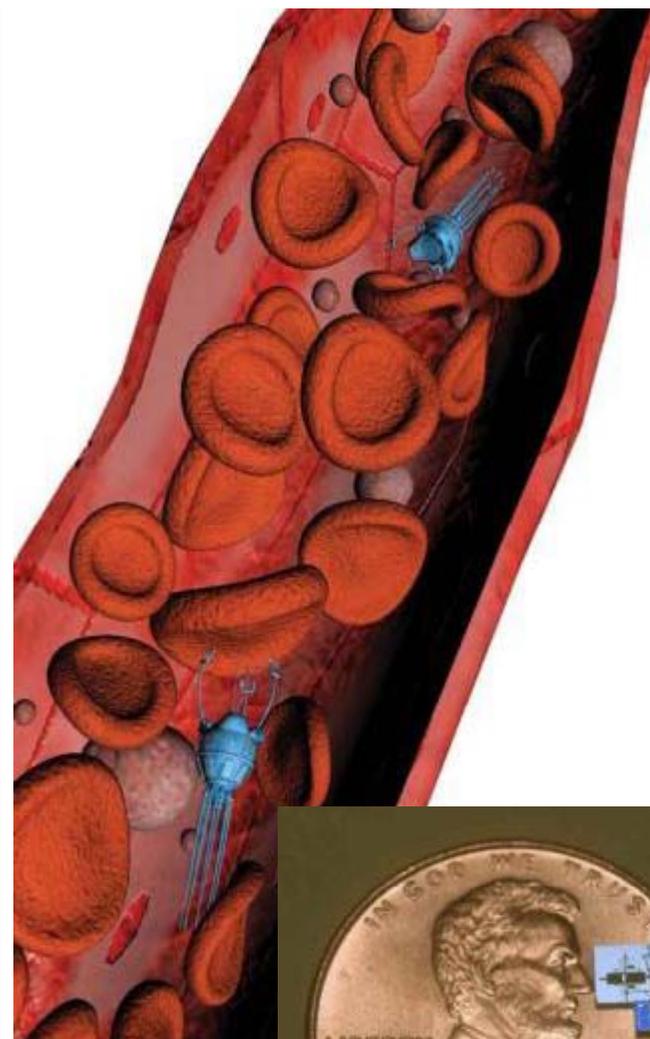
Нанотехнологии - совокупность методов и приемов, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании структур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, интеграции и взаимодействия составляющих их наномасштабных элементов (1-100 нм) для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами (**ГК «РоснаноТех»**).

Ричард Фейнман (Richard Feynman)

Футуристическое будущее



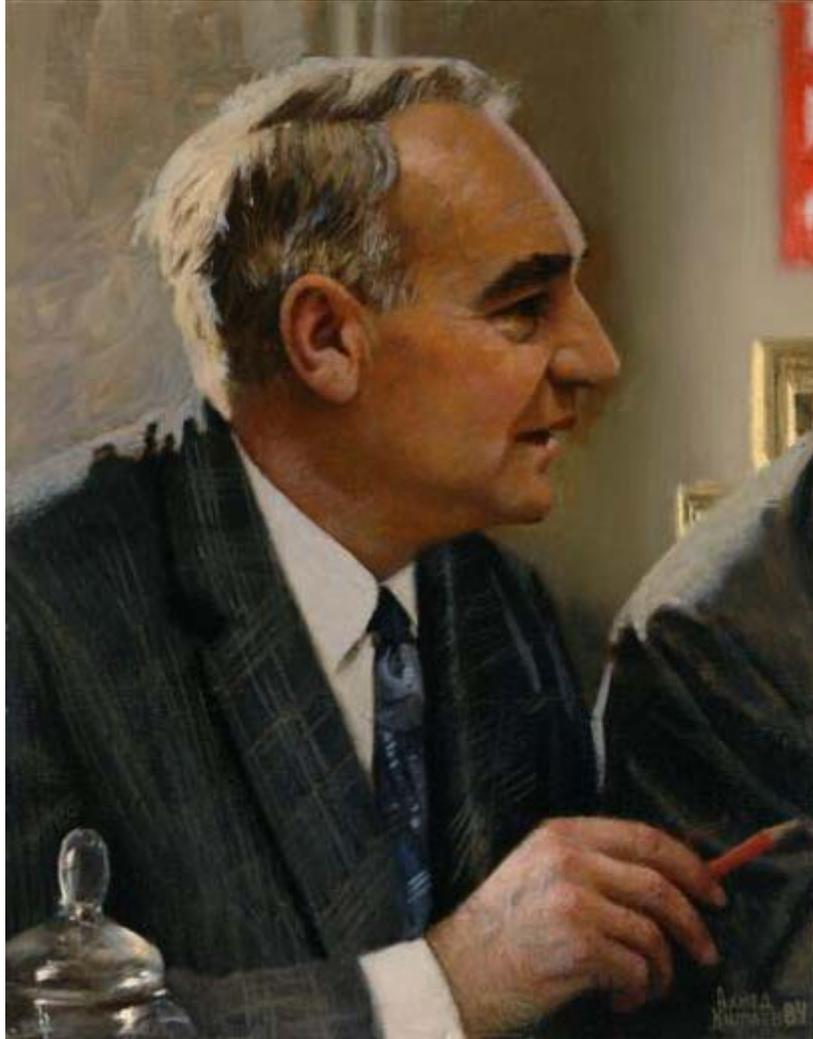
Космический лифт
из углеродных
нанотрубок



Нанобио-
роботы
в сосудах



Академик В.А.Каргин



**...сыграл огромную
роль в становлении
науки о полимерах**

Академик П.А.Ребиндер



**...физико-химия
дисперсных систем и
поверхностных
явлений**

Академик И.В.Тананаев



**...понятие о новой
«координате»
дисперсности,
определяющей
поведение, а также
термодинамические
свойства
ультрадисперсных
систем**

Послойная сборка

*reaction
on a surface*

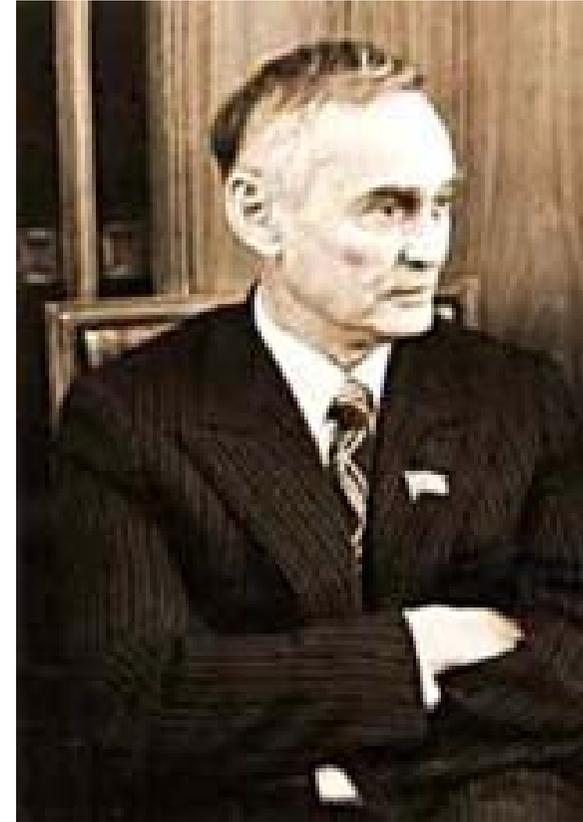
pulse of a purge gas

*pulse of the
1-st precursors*

*pulse of the
2-nd precursors*

*chemisorption
of precursors*

- летучесть;
- термостабильность;
- быстрая хемосорбция;
- способность к гидролизу;



**Член-корреспондент
РАН В.Б.Алесковский**

И.Д.Морохов



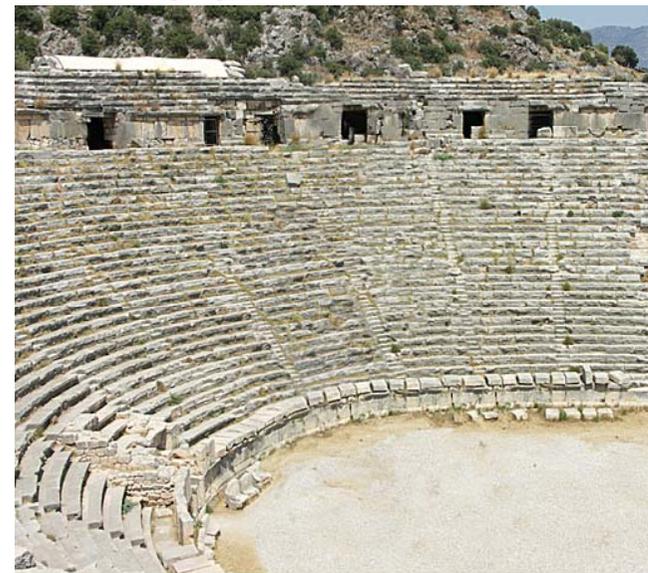
**...атомный проект СССР,
ультрадисперсные
металлические сплавы**

Академик Ж.И.Алферов

«ИСКУССТВЕННЫЙ АТОМ»



Изменение цвета (полосы испускания) коллоидного раствора частиц CdSe в оболочке ZnSe в зависимости от размера квантовых точек.



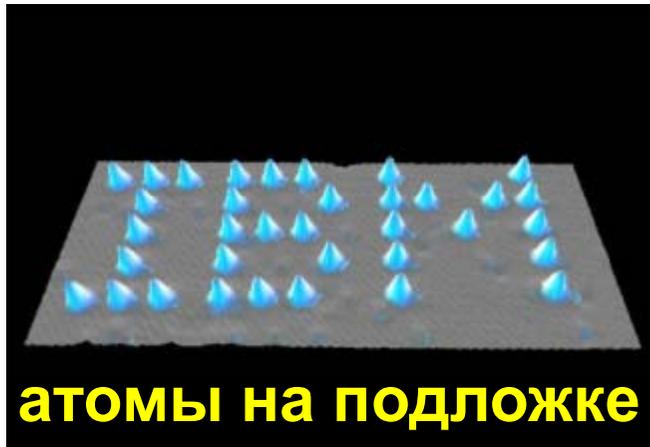
Древнегреческий амфитеатр

Сканирующая туннельная микроскопия



Gerd Binnig Heinrich Rohrer

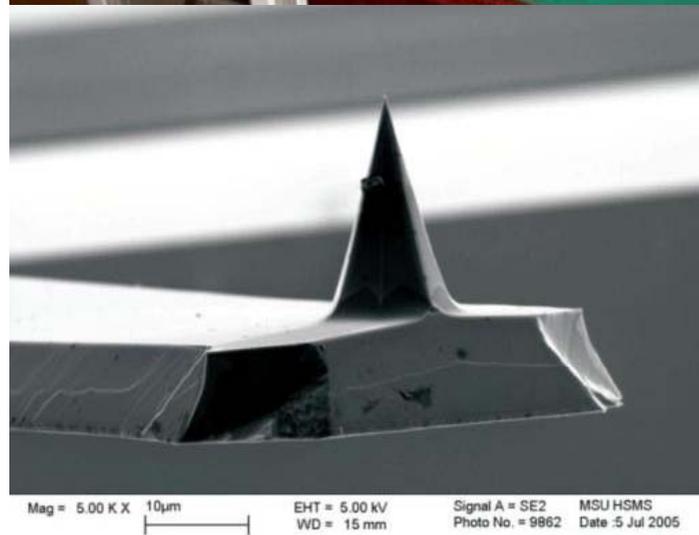
1981 создание первого СТМ, получение атомарного разрешения (ИВМ, Цюрих) - 1986 (Нобелевская премия)



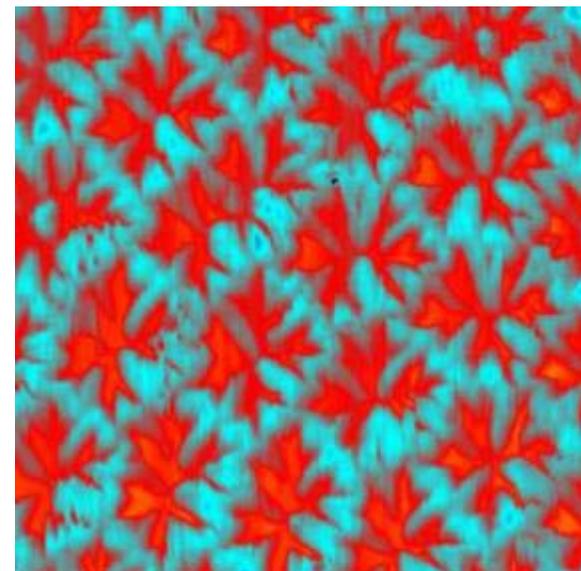
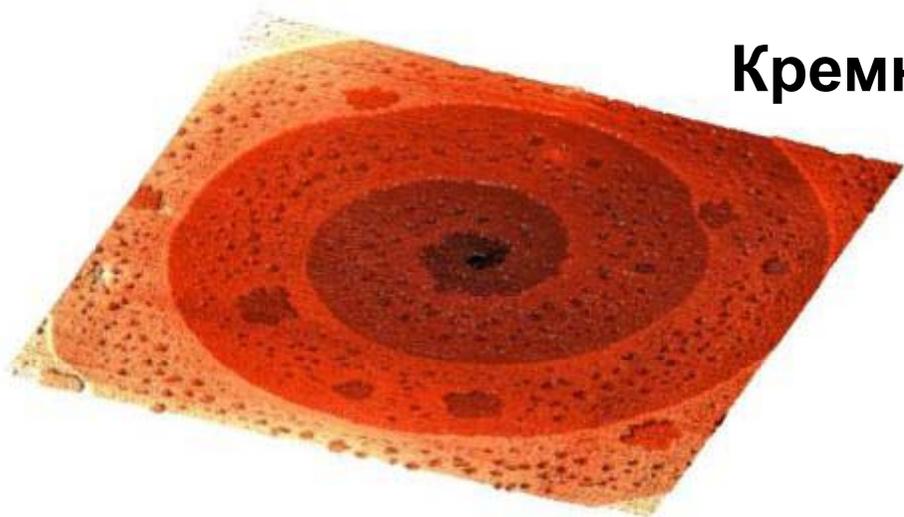
атомы на подложке



решетка графит

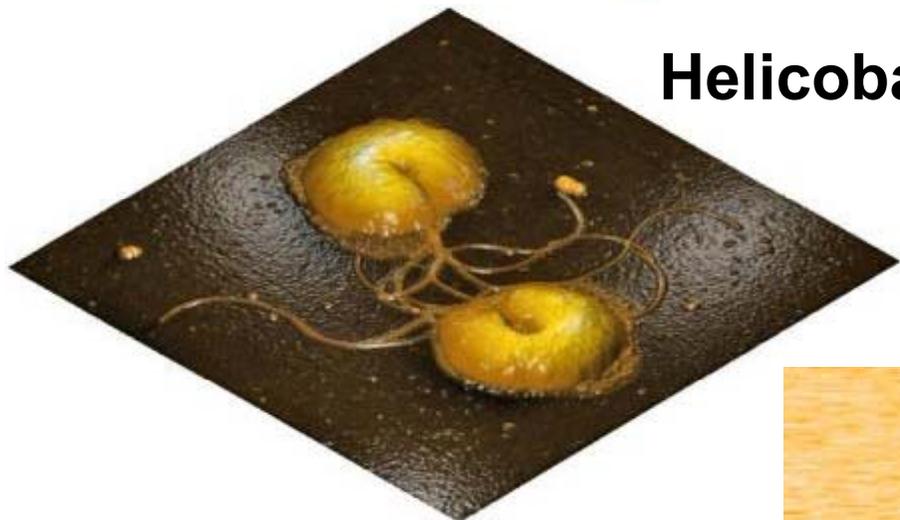


Кремний

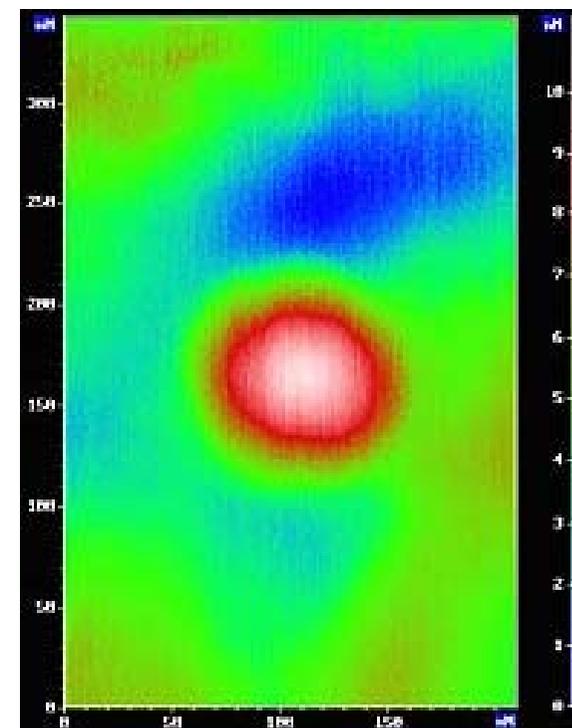
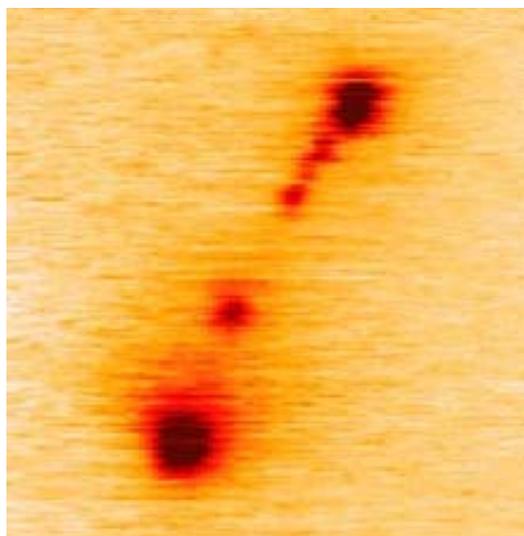


**Магнитная пленка
наночастица**

Helicobacter pylori



**Проводимость
ОУНТ**

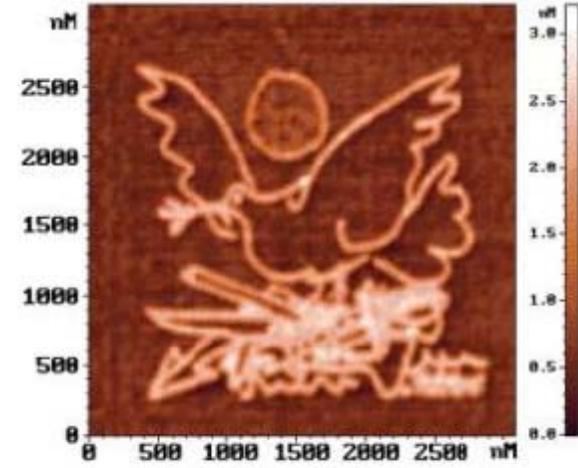


Нанолитография

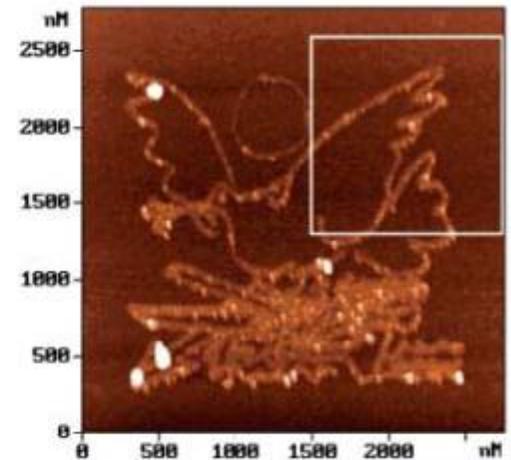
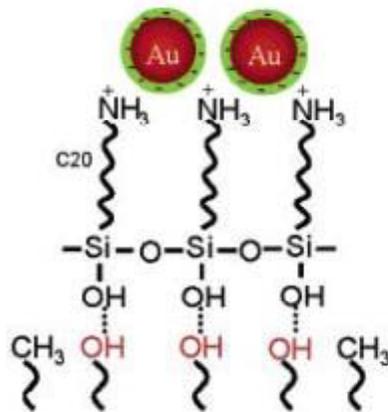
World Without Weapons
P. Picasso, 1962



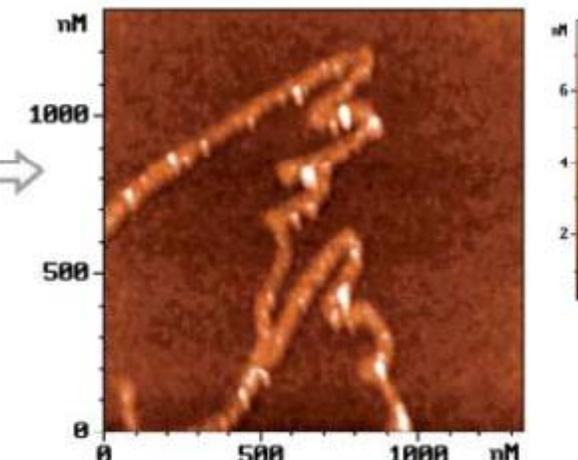
Friction (monolayer)



Topography (bilayer)



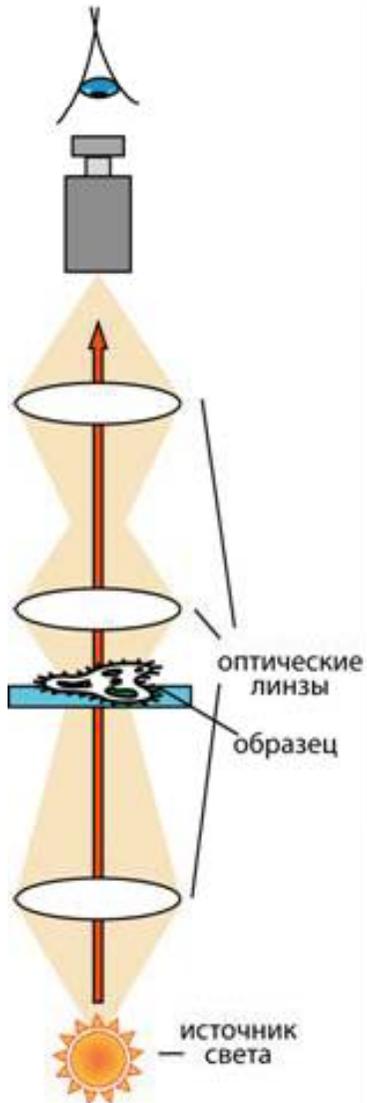
Topography (colloidal gold pattern)



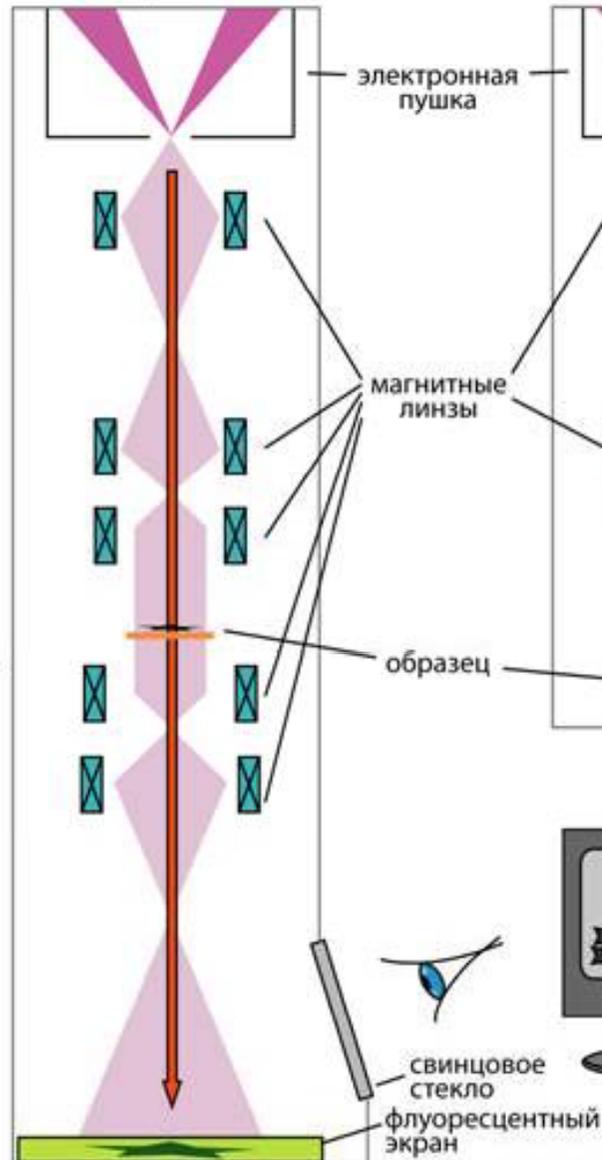
J. Sagiv and R. Maoz, Weizmann Institute, 2004

Оптические схемы

Оптический микроскоп



Просвечивающий электронный микроскоп



Растровый электронный микроскоп



ОМ – до 1000^{\times} +

поляризация

РЭМ – до $100\,000^{\times}$

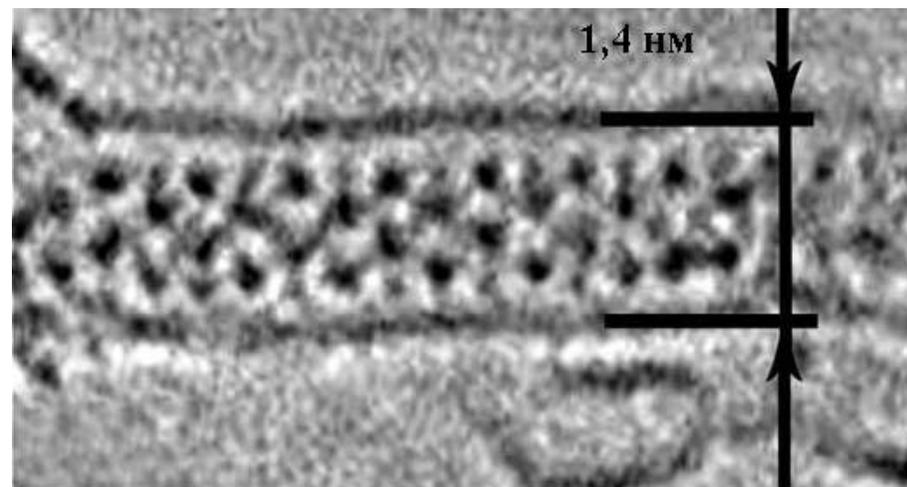
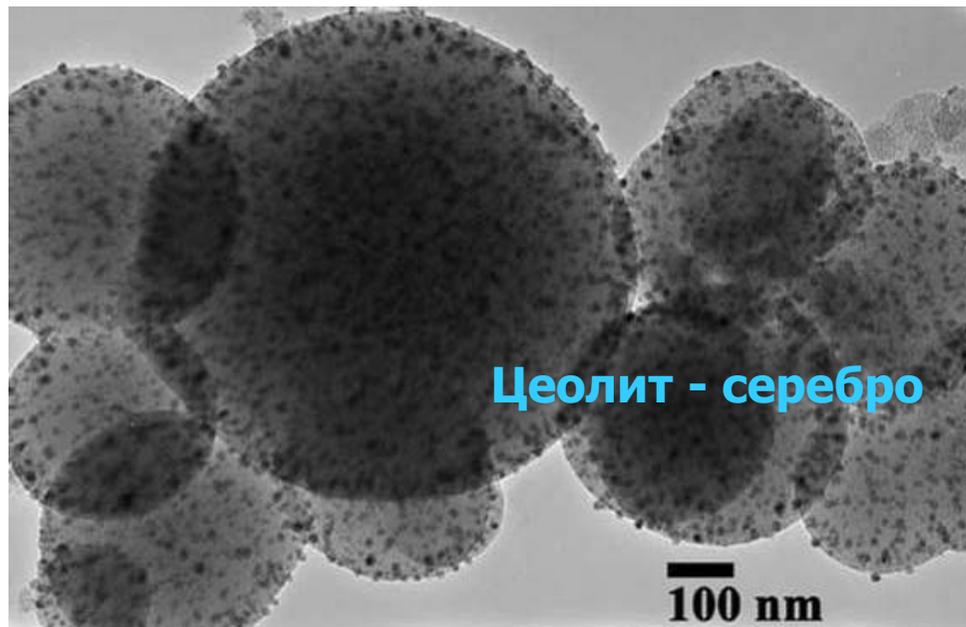
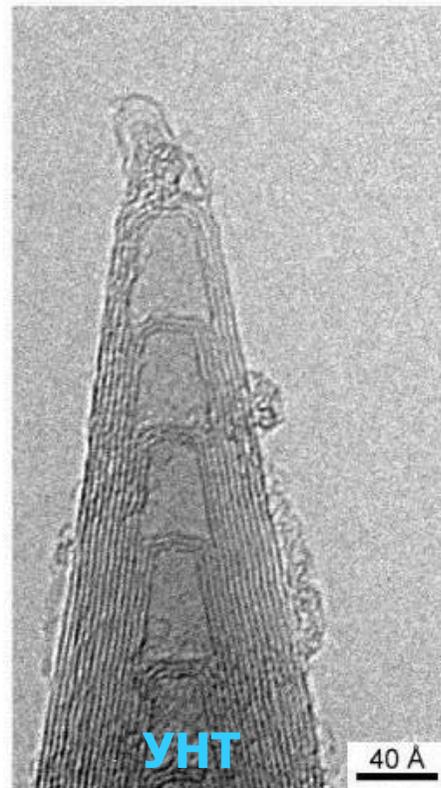
состав

ПЭМ – до $10\,000\,000^{\times}$

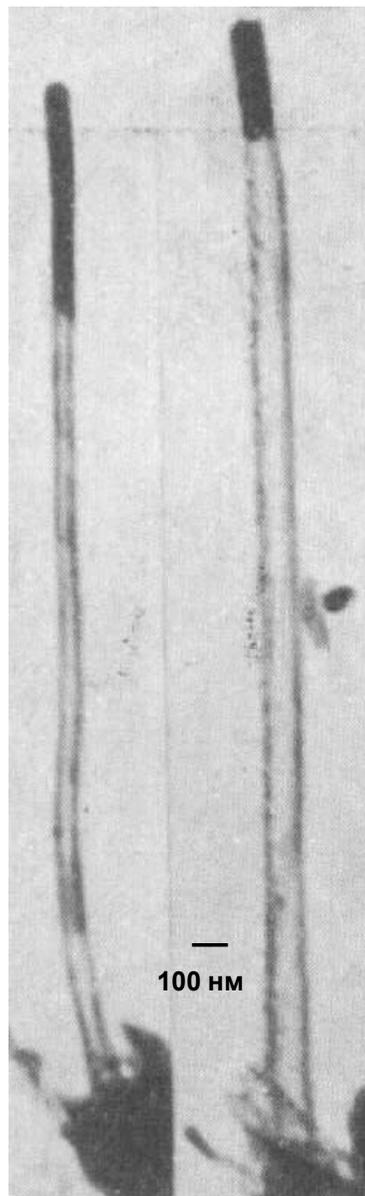
кристаллическая

решетка и состав

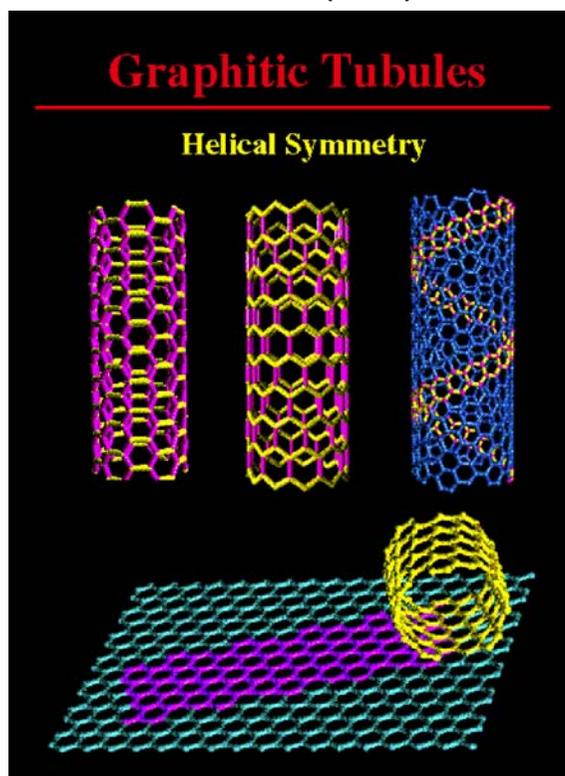
Просвечивающая ЭМ



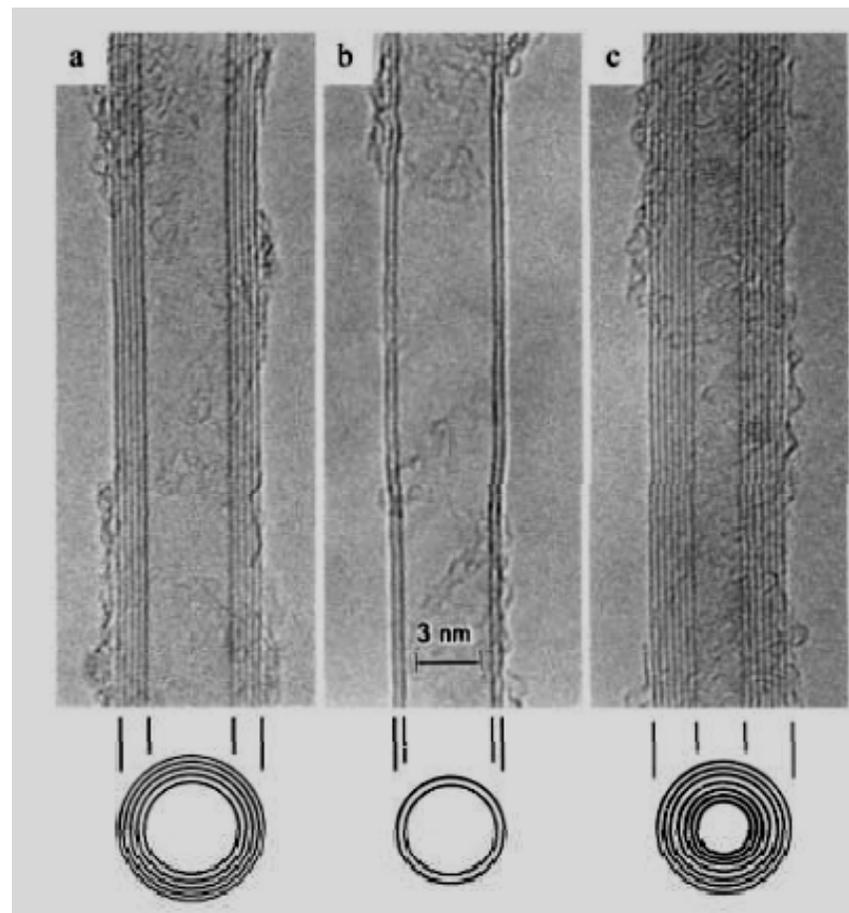
Первые РЭМ наблюдения углеродных нанотрубок



Л.В.Радушкевич, В.М.Лушкинович.
О структуре углерода,
образующегося при термическом
разложении окиси углерода на
железе ЖФХ (1952)

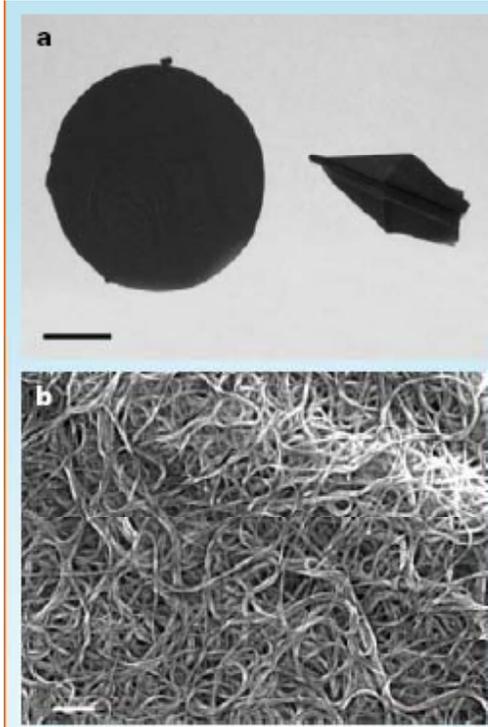
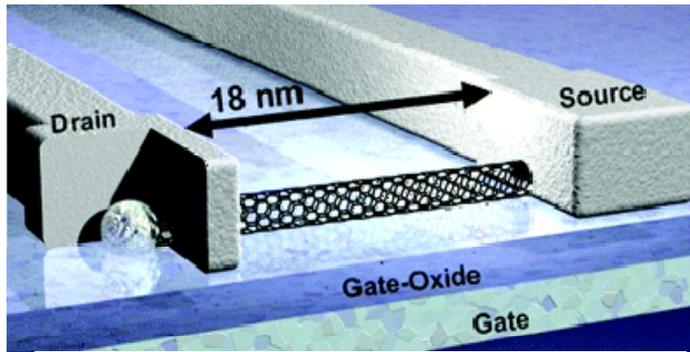


получены СНТ < 10 нм,
метод CVD (Oberlin, M.
Endo, T. Koyama. J. Cryst.
Growth 32, 335 (1976)).

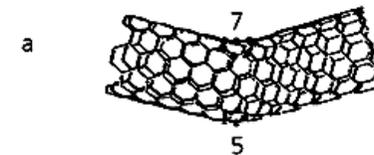


ТЕМ наблюдение J.Iijima (**Nature, 1991**) коаксиальных
многостенных нанотрубок (катод осадок в угл
дуге) различными внутренними и внутренними
диаметрами и числом оболочек с различной
хиральностью

Применение УНТ



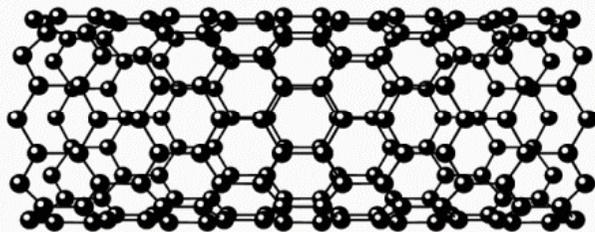
УНТ - дисплеи



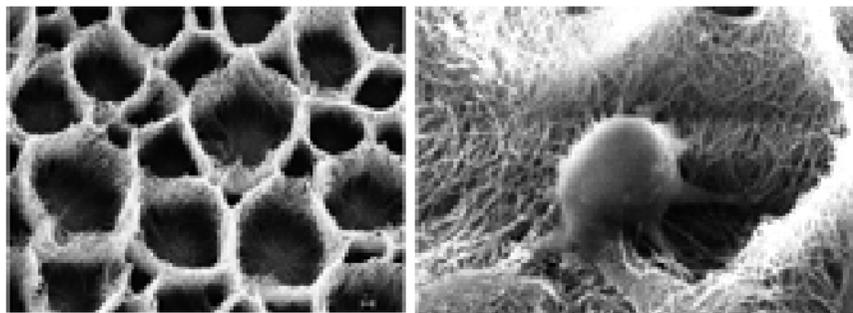
Нанодиоды



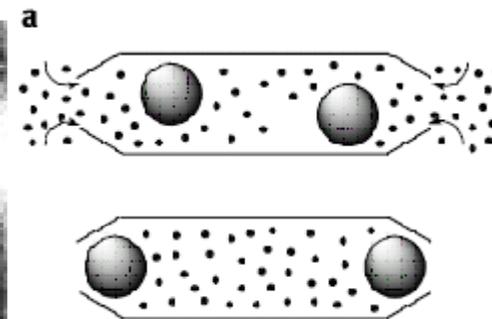
Нанотермометр (Ga-УНТ)



«Бумага» из УНТ

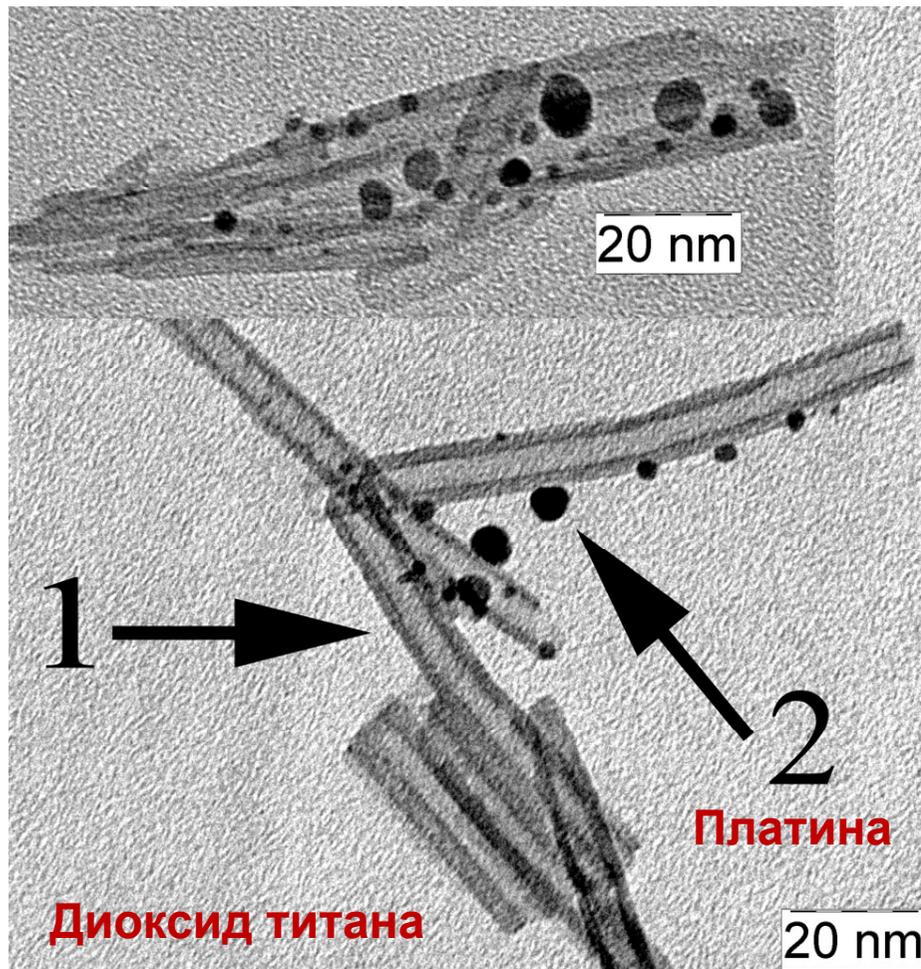


Биосовместимые подложки



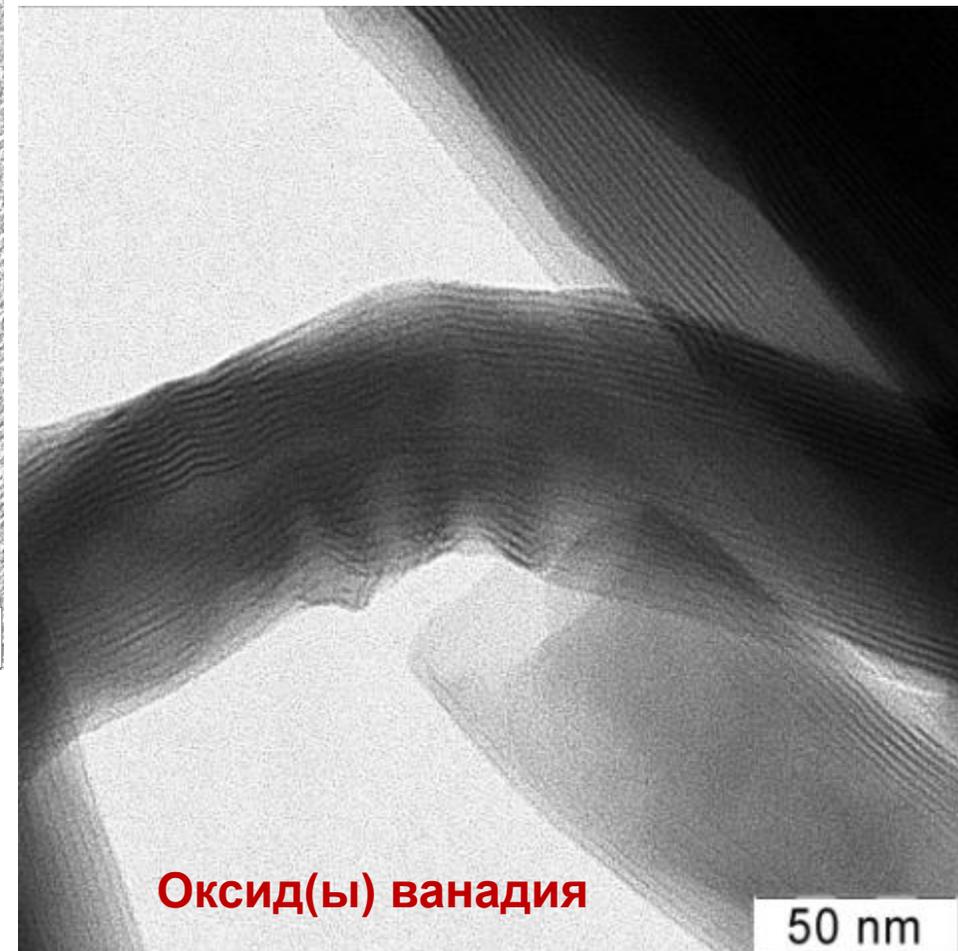
Хранение водорода

Неуглеродные нанотрубки

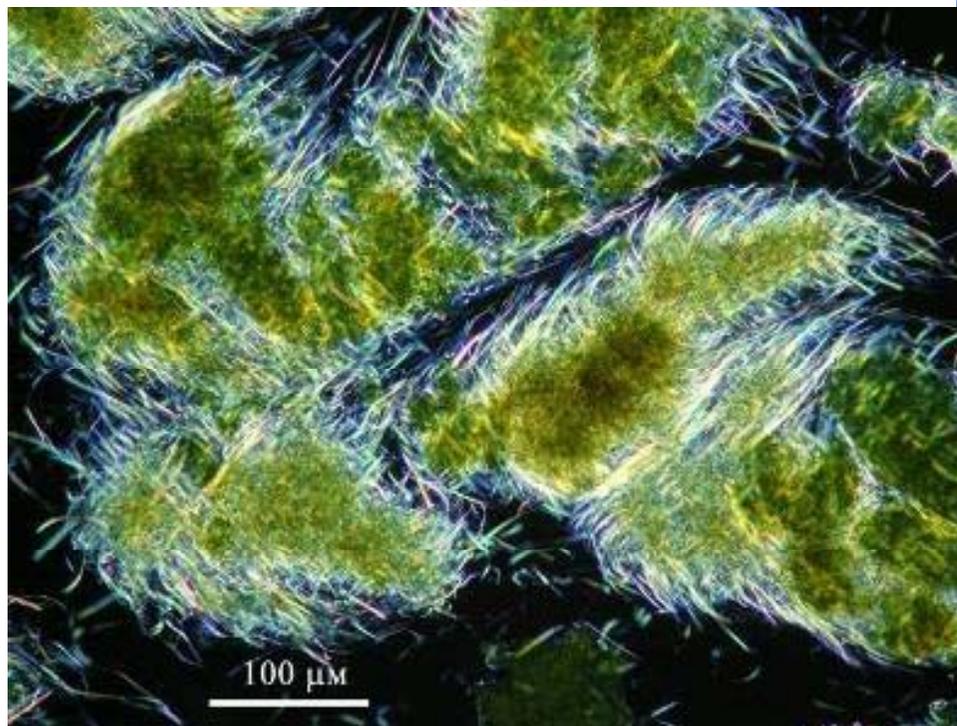
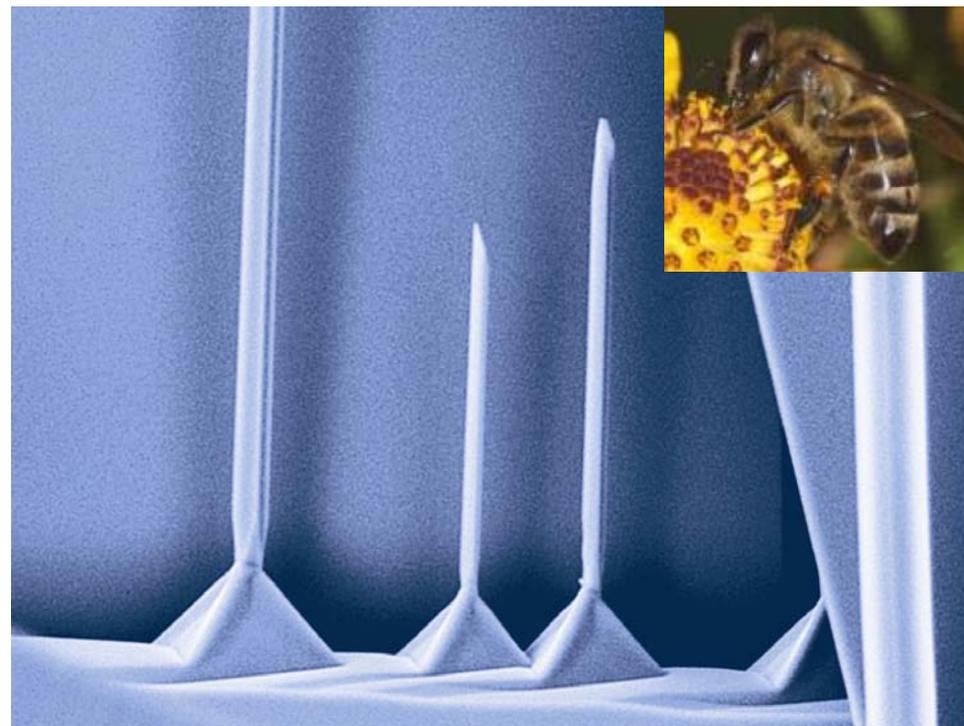
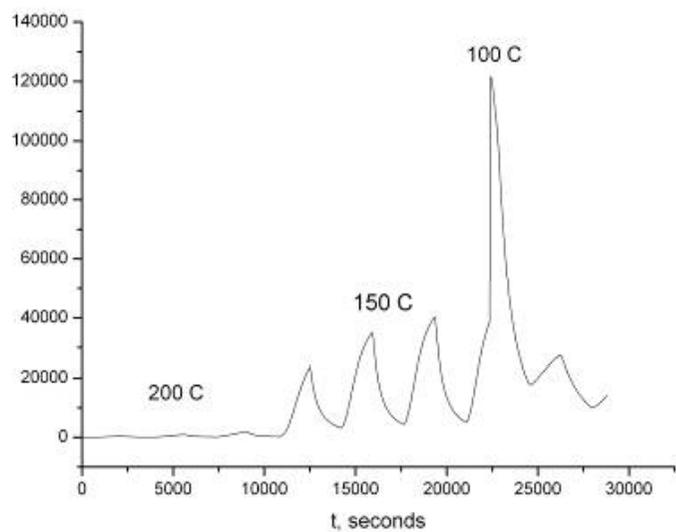


Катализ, дожиг топлива

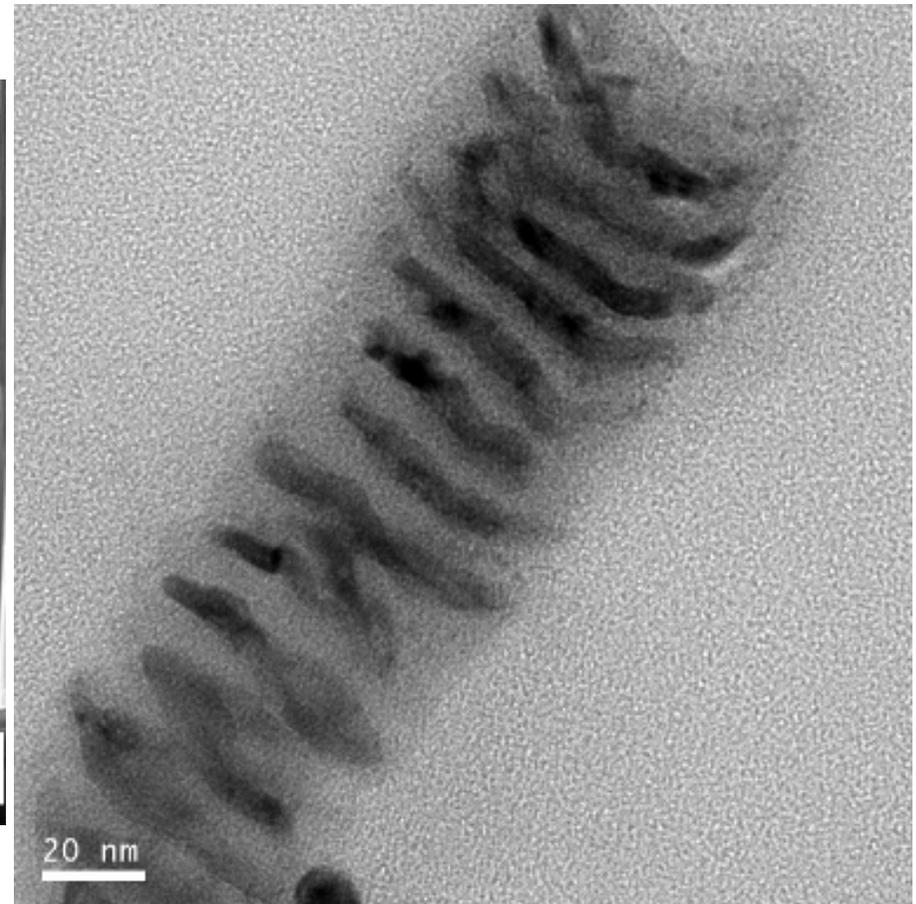
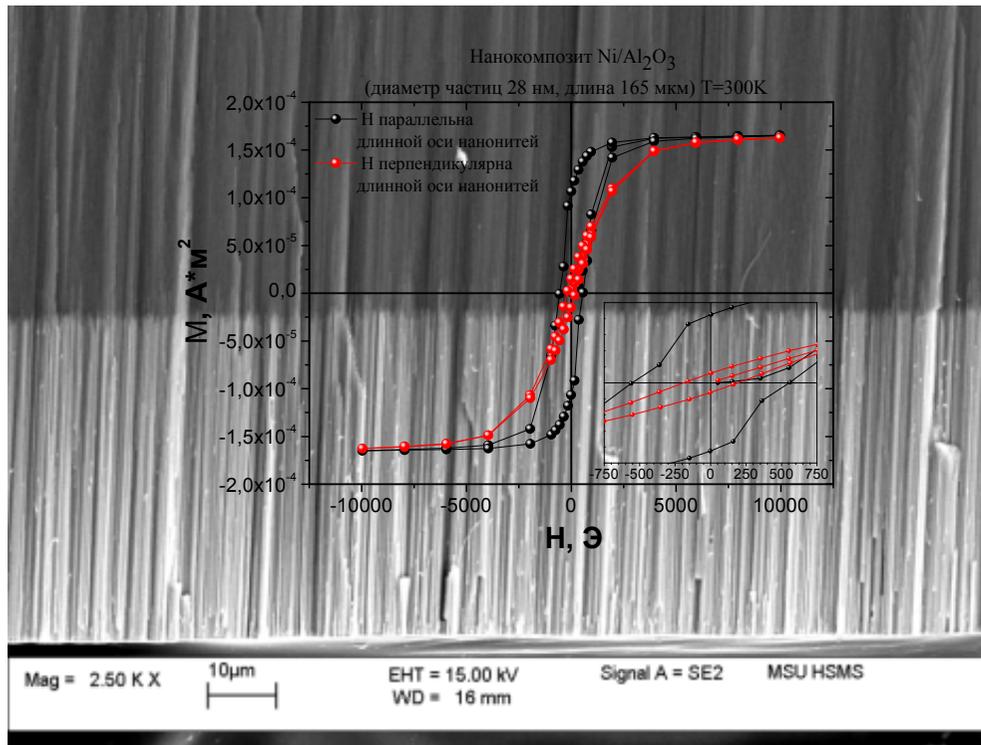
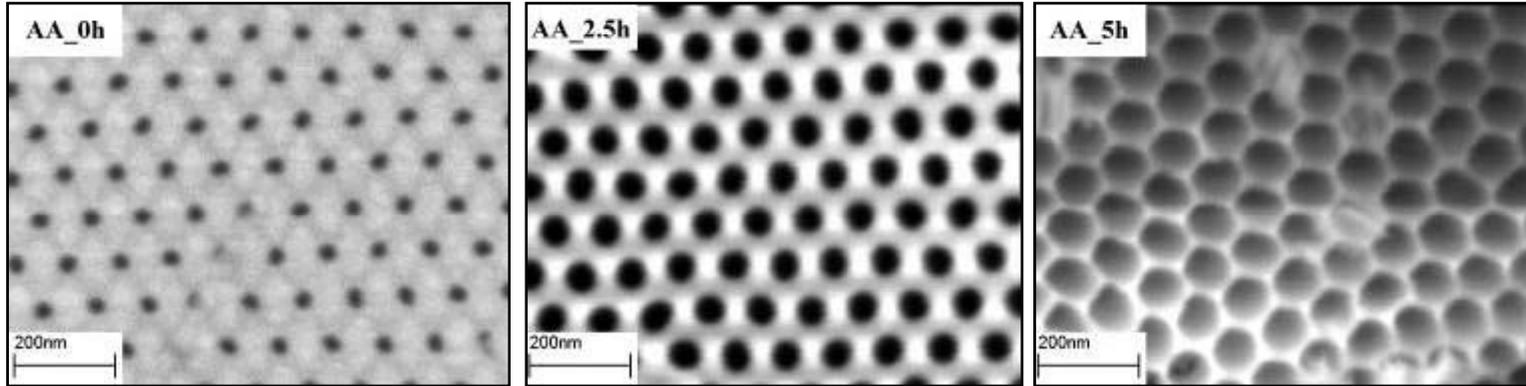
Литий-ионные аккумуляторы, гибкие катоды



Вискеры

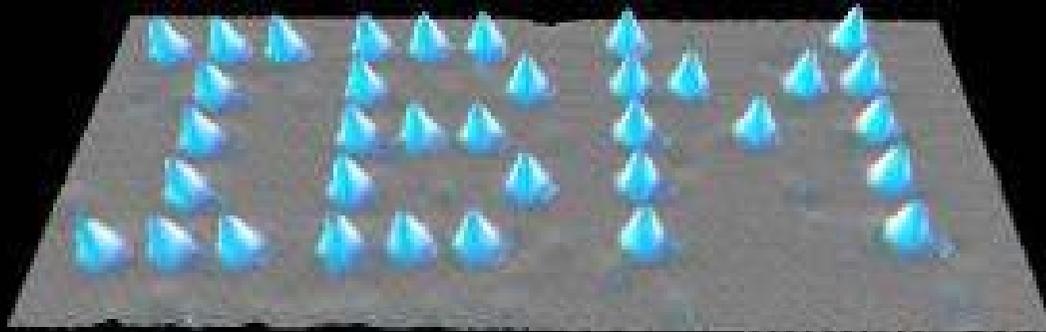


Керамические мембраны и нанокомпозиты



Нужно ли механическое оперирование отдельными нанообъектами?

35 атомов ксенона на пластинке из никеля (1990 г.)



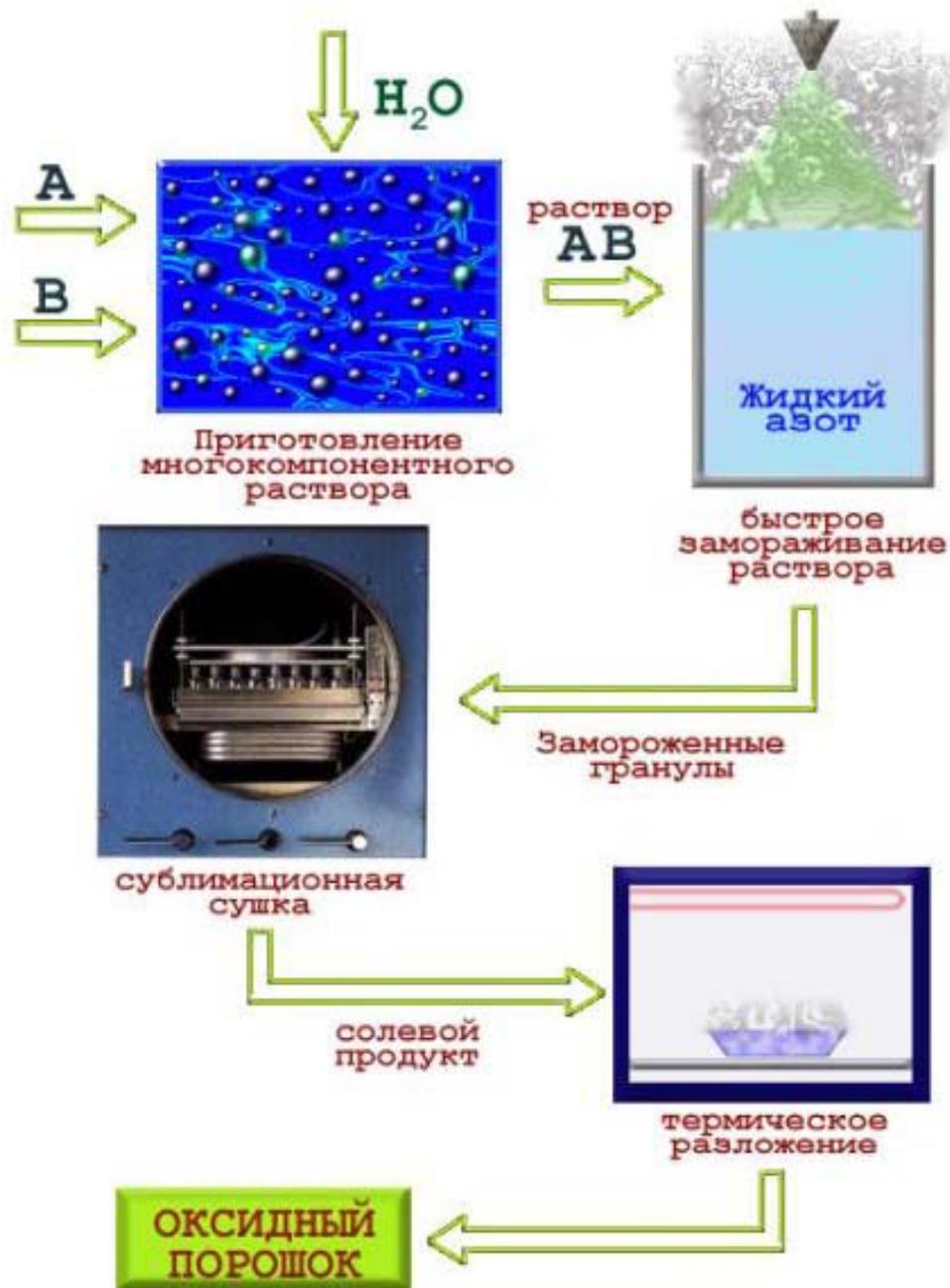
Поатомная сборка:
АСМ+220В+много
лет +\$

Сканирующая зондовая микроскопия

**Искусственная сборка на молекулярном уровне
практически невозможна**

Лучший вариант: самосборка и самоорганизация!

СХЕМА КРИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

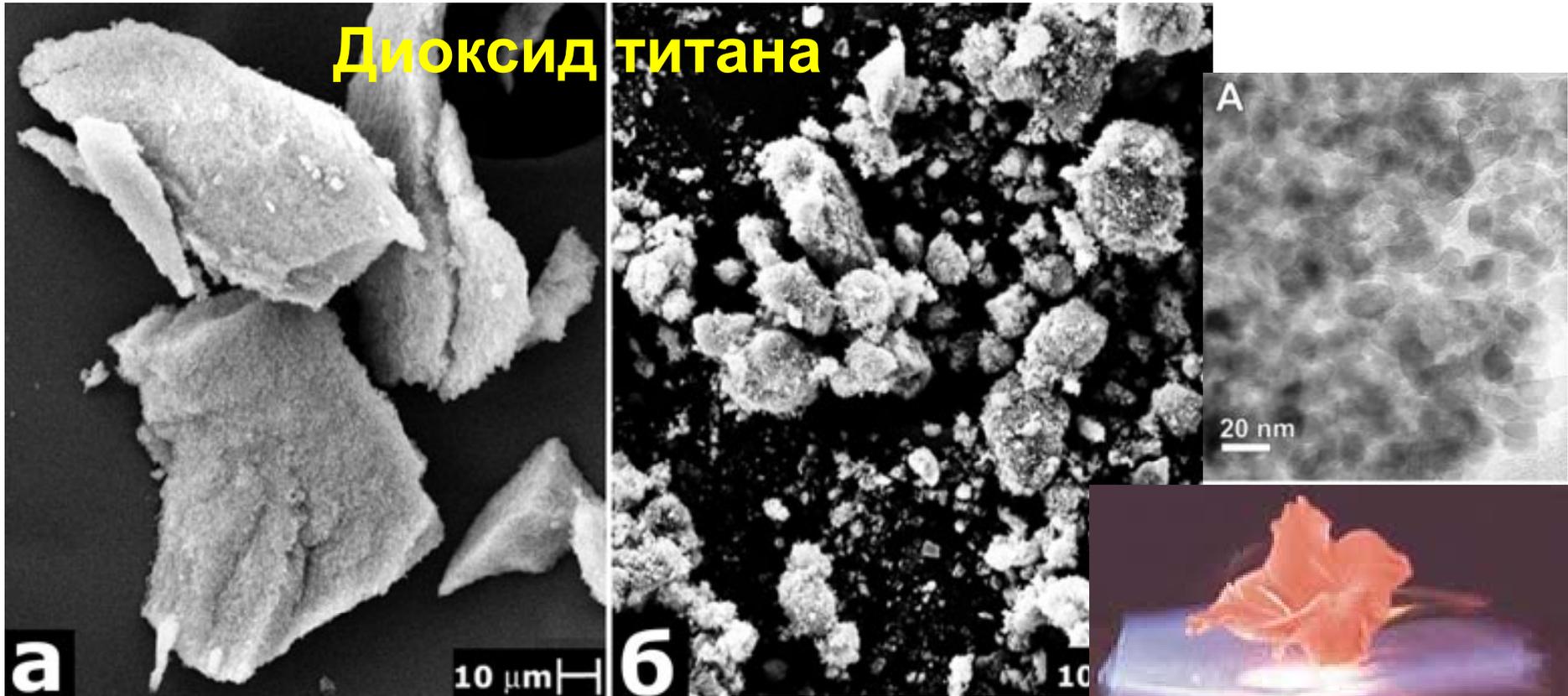


Сублимационная сушка



Аэрогели

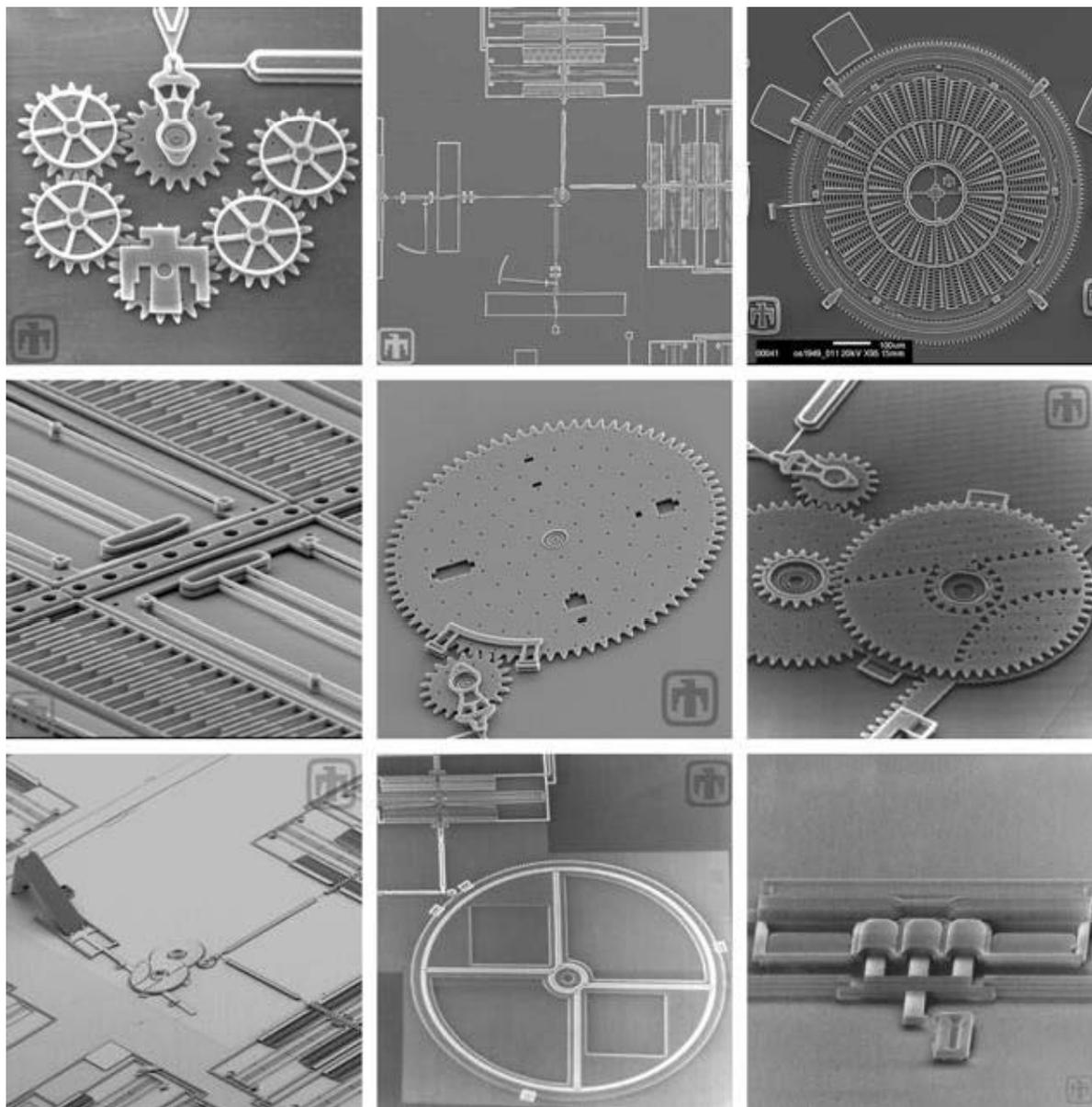
Диоксид титана



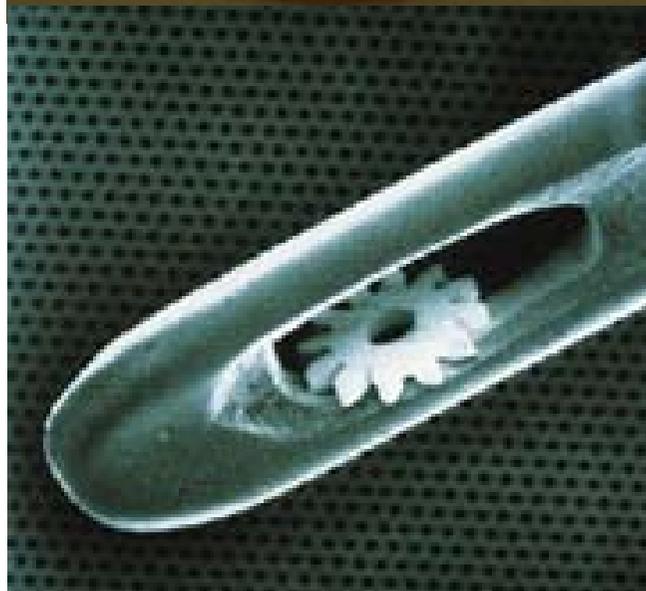
- малая плотность
- высокая пористость
- эффект «лотоса»



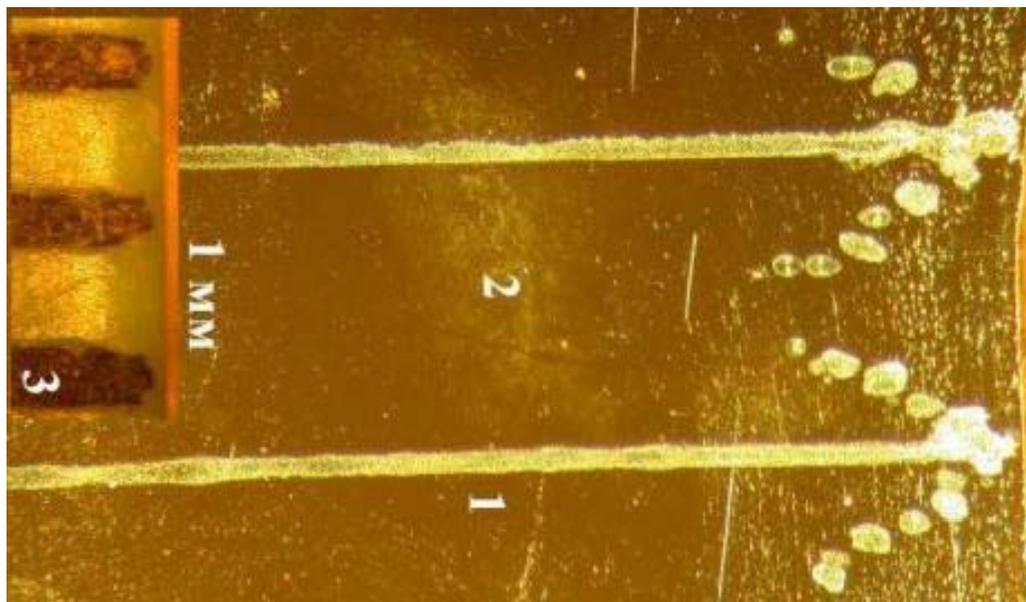
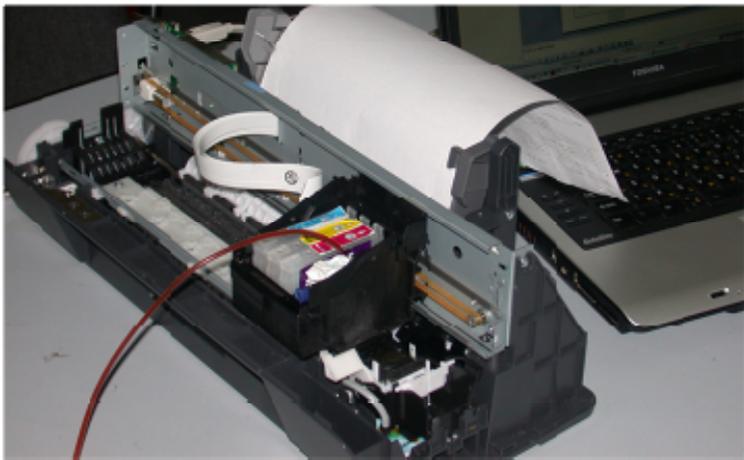
Микрозажимы, микроманипуляторы



(<http://www.mems.sandia.gov>)



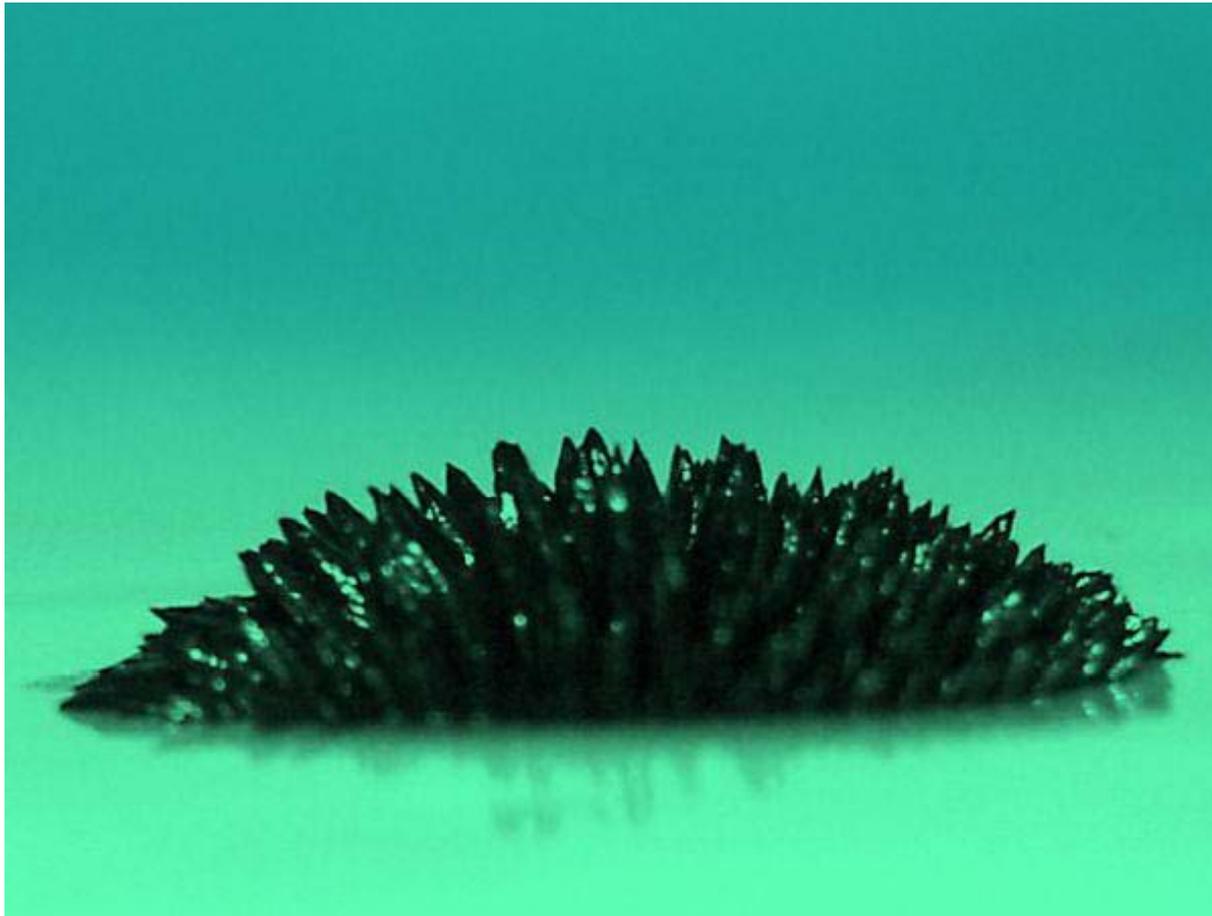
Микрочечать



Что ожидает молодежь?



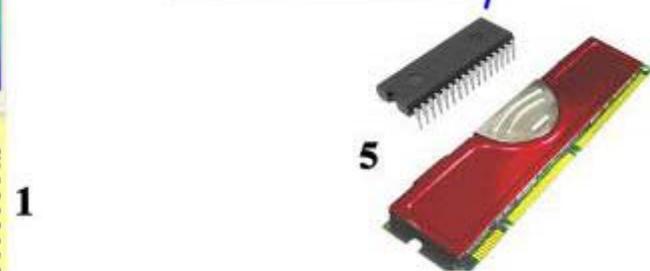
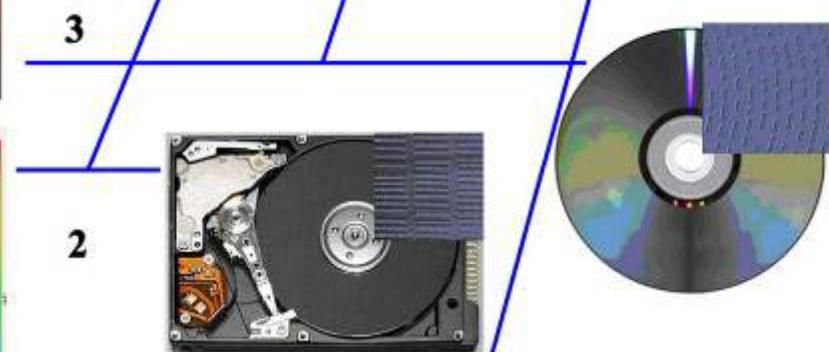
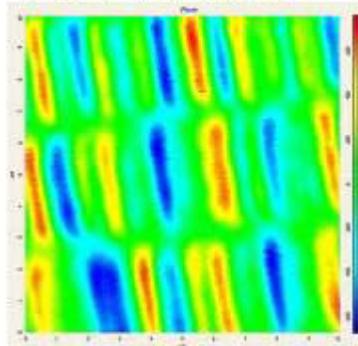
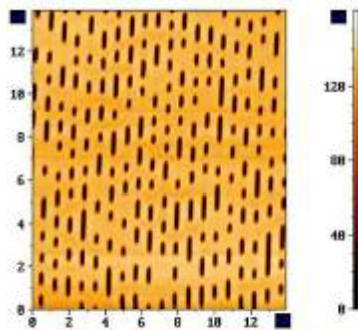
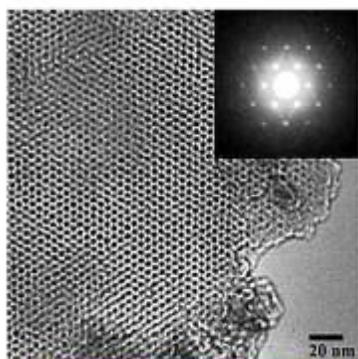
«Умные» жидкости



Е.Никитина, 9 класс (Москва)



Запись информации



- Варьируемый размер пор (1-10 нм)
- Однородность распределения пор по размеру
- Упорядоченность пор
- Создание анизотропных систем
- Изолированность каналов-пор
- Решение проблемы агрегации и химической изоляции наночастиц

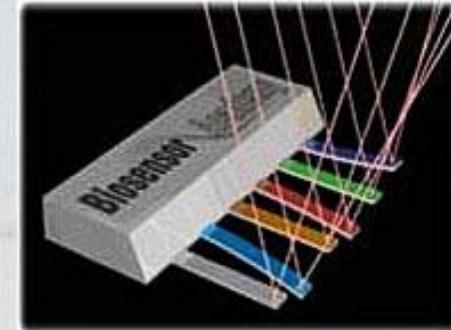
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Академия биосенсоров

Атомные Весы

Принцип работы:

- 1) Связывание детектируемого вещества в среде с химически модифицированным кантилевером
- 2) Образование монослойной пленки на кантилевере
- 3) Изгиб кантилевера за счет сил поверхностного натяжения в пленке
- 4) Детектирование изгиба лазерно-оптической системой



Применение:

- Сверхточное взвешивание частиц в среде (точность 10^{-19} г)
- Изучение свойств монослойных пленок
- Сверхчувствительный анализатор веществ в среде (в биологии, медицине, криминалистике)

НАНОБИОТЕХ



Микроустройства



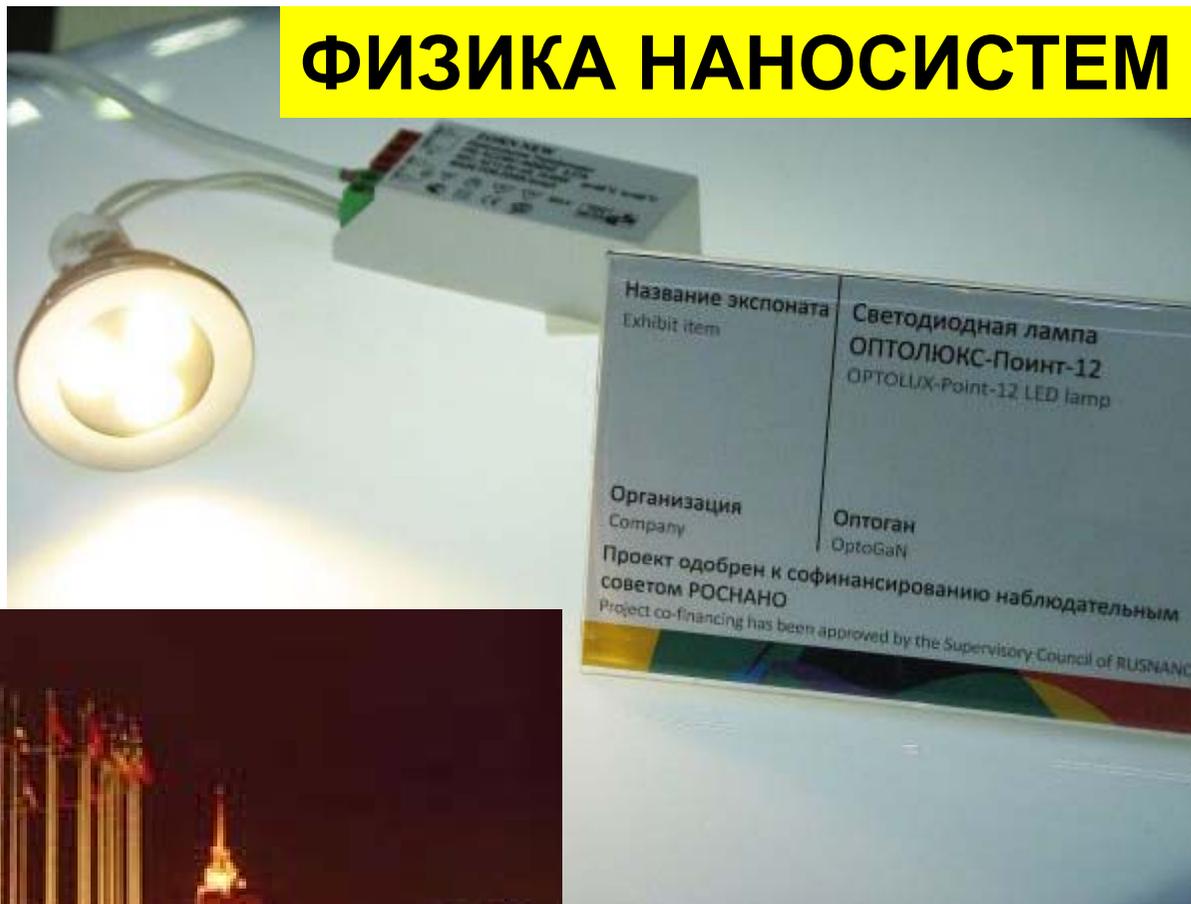
НАНОИНЖЕНЕРИЯ

Бауманский ГТУ

Светодиоды

- миниатюрность
- значительное время эксплуатации (10000 ч.)
- малое потребление энергии
- высокий квантовый выход
- не требуют водяного охлаждения
- излучение в любой области (видимого) спектра

ФИЗИКА НАНОСИСТЕМ

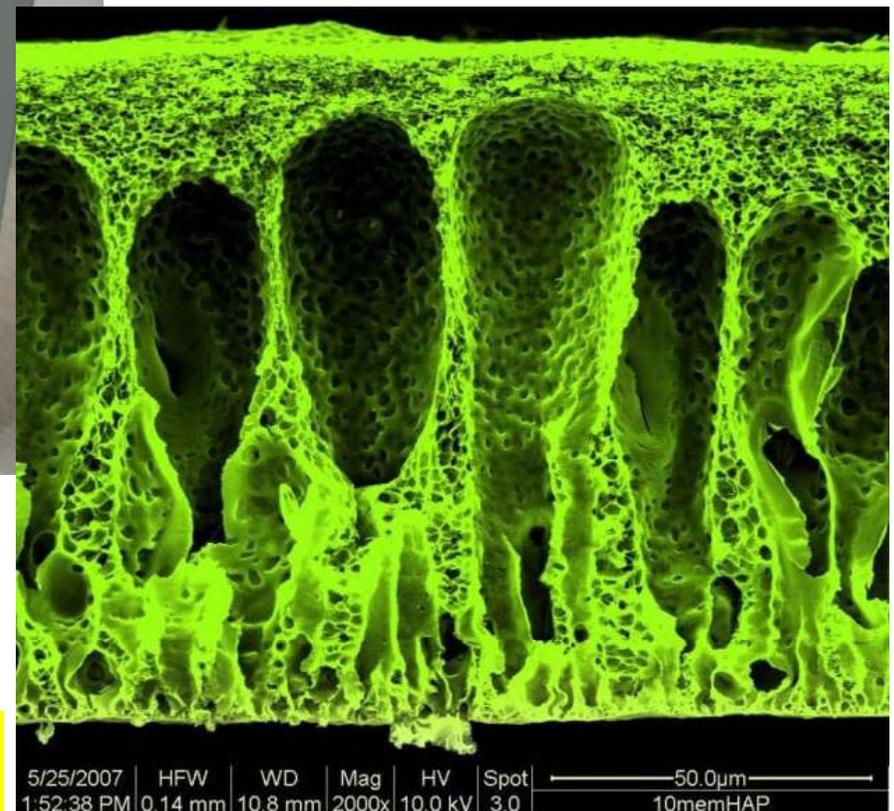
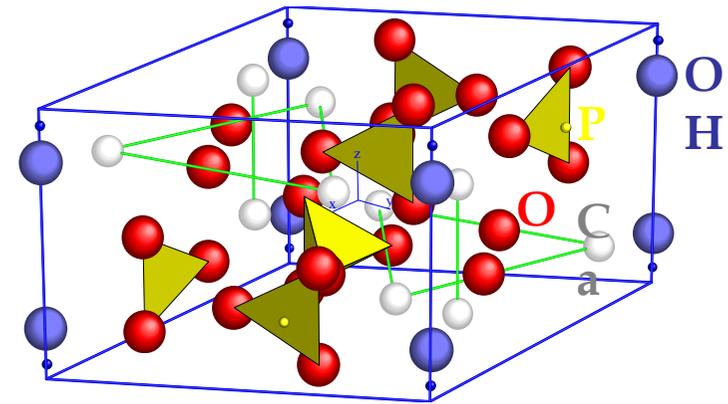


**Фонтан, Москва
(площадь Киевского
вокзала) - 2000 гг.**

Транспорт («стеклянный автомобиль»)

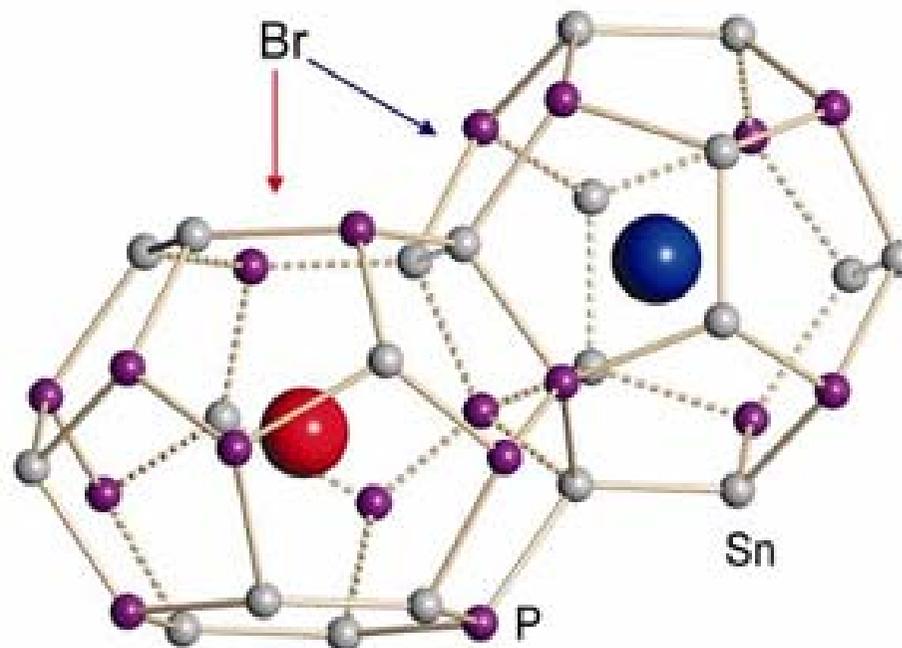
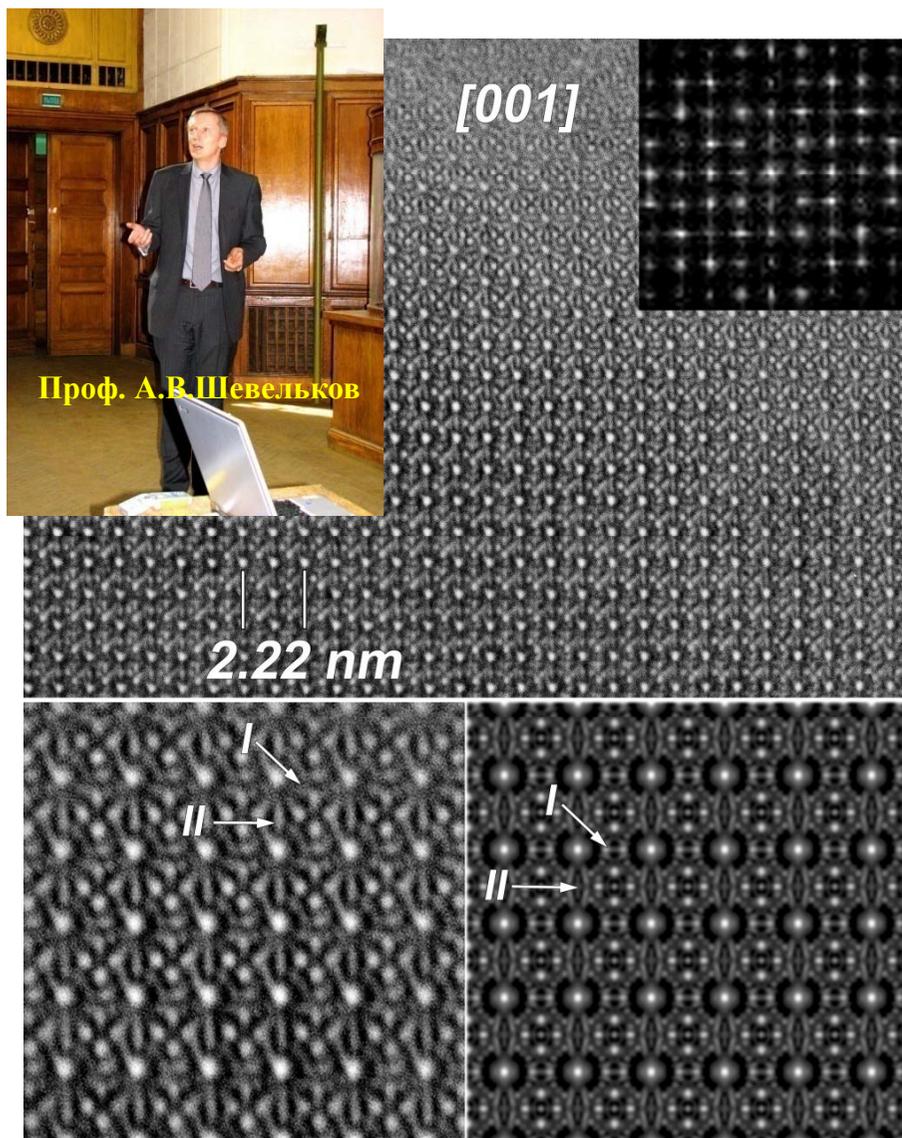


Биоматериалы



МЕХАНИКА НАНОСИСТЕМ

Термоэлектрические материалы



Холодильники без фреона о компрессора – бесшумные и безопасные

Наноматериалы для истребителя пятого поколения (ВИАМ)

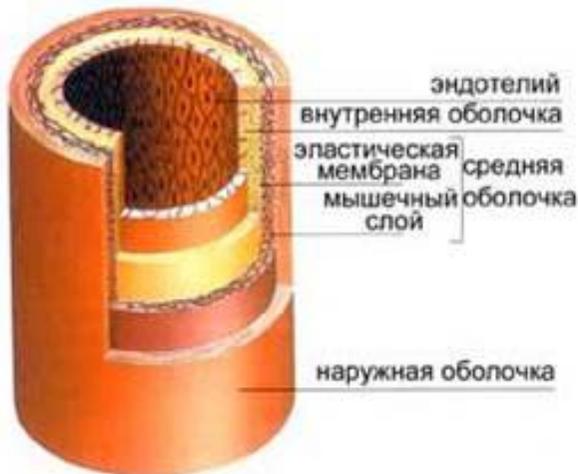


ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

«Нанобио»

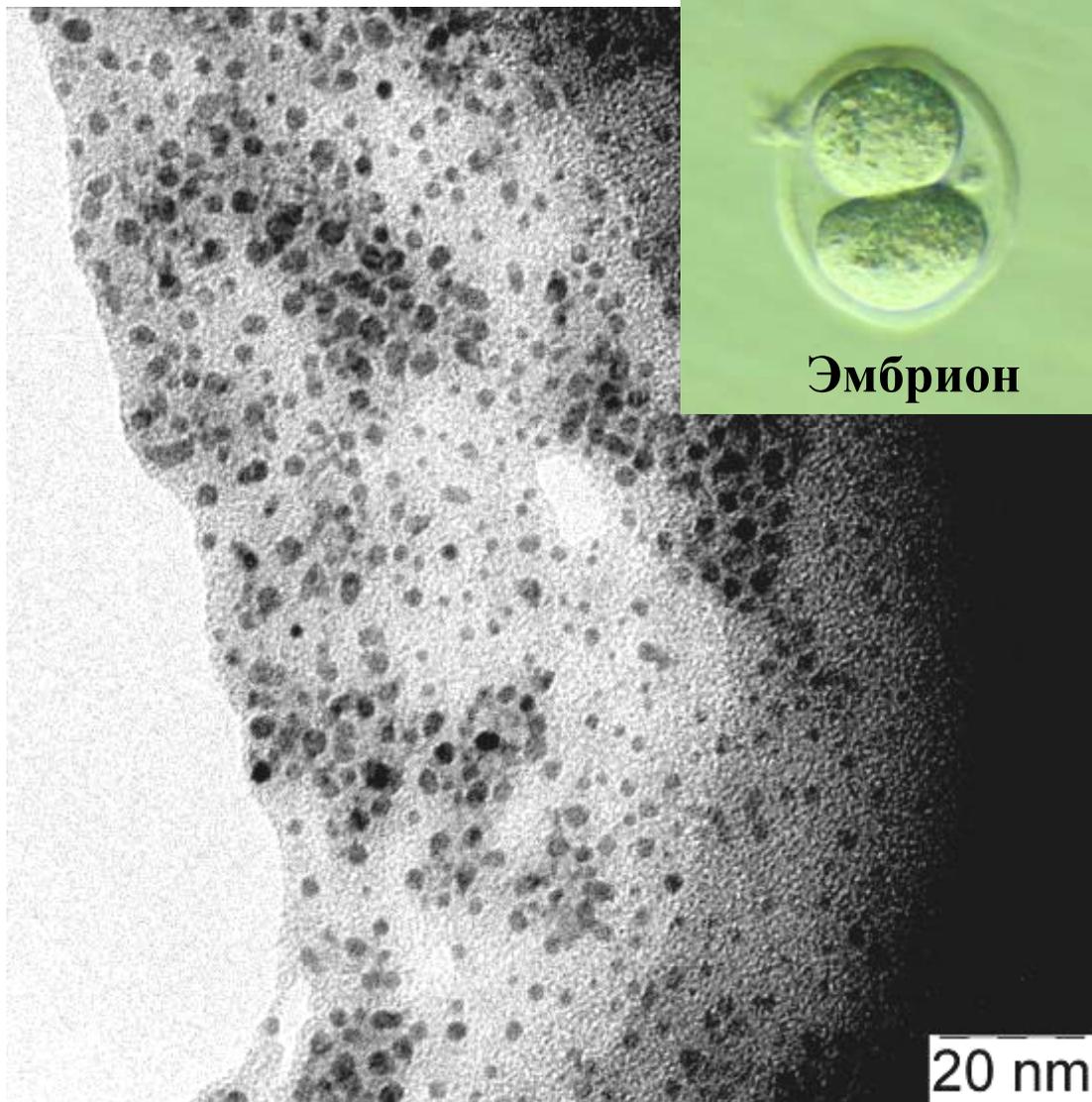


- Малый размер
 - ⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки
- Развитая поверхность
 - ⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в
 - ⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными
 - ⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности
- Необычные для свойства – магнитные и оптические

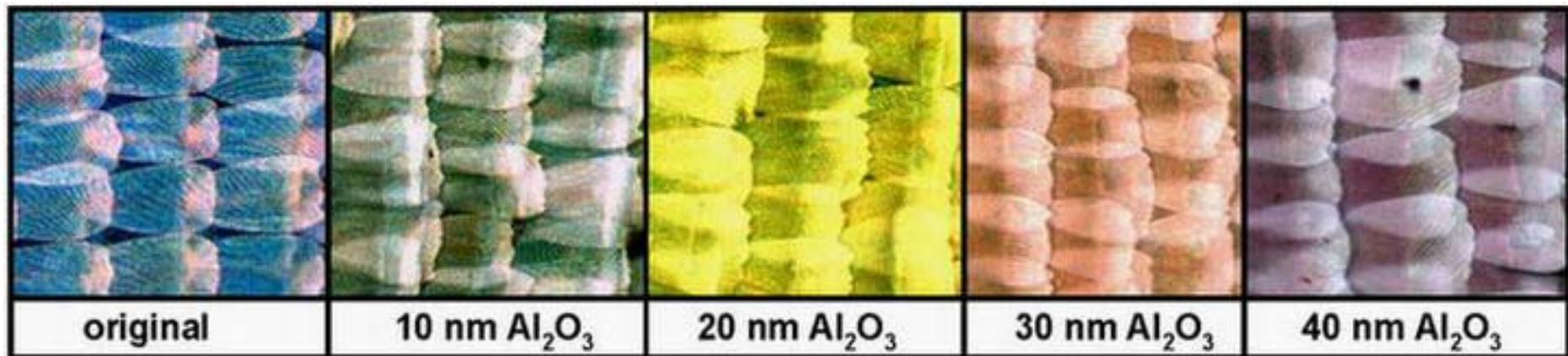


Создание новых биосовместимых наноматериалов с нетоксичной защитной оболочкой для медицинской диагностики, программируемой доставки лекарств и лечения онкологических заболеваний.

Исследование путей создания «умных» (магнитоуправляемых) наноматериалов для применения в биологии и медицине



Крылья бабочки - биомиметика



Аксиомы

- Понятие «нанотехнологии» не является универсальным. Они имеют различный смысл, значимость и наукоемкость в зависимости от их практического приложения к той или иной области человеческой деятельности.
- Нанотехнологии не возникли внезапно и на пустом месте. Они являются междисциплинарной областью исследований, основанной на достижениях химии, физики, биологии, механики и других классических наук, а также связанным с закономерной эволюцией этих и других наук прорывом в разработке методов синтеза и анализа (в том числе – визуализации и моделирования) веществ и материалов.
- Для нанотехнологий не только размер имеет значение. Важнейшими параметрами наносистем являются, как минимум, размер, размерность, упорядочение и функциональность. Любые объекты и материалы можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах, особенности структуры и свойств материалов на которых (структурная иерархия) лишь в неразрывной совокупности определяют его конечные свойства, важные для фундаментальных исследований и практики.

МГУ и YouTube





Академики В.А.Садовничий (МГУ) и Ж.И.Алферов (лауреат Нобелевской премии)

«За нанотехнологиями и нанонаукой – будущее, в нашей стране и в мире, поэтому вы находитесь на самом переднем крае научных исследований!» (Ректор МГУ, академик В.А.Садовничий)

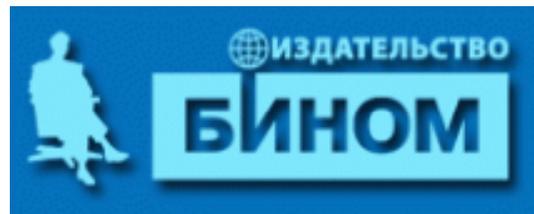
Контакты

- Гудилин Евгений Алексеевич
чл.-корр. РАН, профессор хим. ф-та МГУ
goodilin@inorg.chem.msu.ru
939-47-29
(917) 500—73-73

Мир нанотехнологий



РОСНАНО
Российская корпорация нанотехнологий



научно-образовательный центр
по нанотехнологиям
МГУ имени М.В. Ломоносова