

# Богатство наномира

Ю.Д.Третьяков

Е.А.Гудилин



ФНМ, химический  
факультет,  
НОЦ по  
нанотехнологиям МГУ

[www.fnm.msu.ru](http://www.fnm.msu.ru)

[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)

# Что такое НАНО?

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



Вглубь

Ключ-замок

NANNOΣ

# «Гномья олимпиада» [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)

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



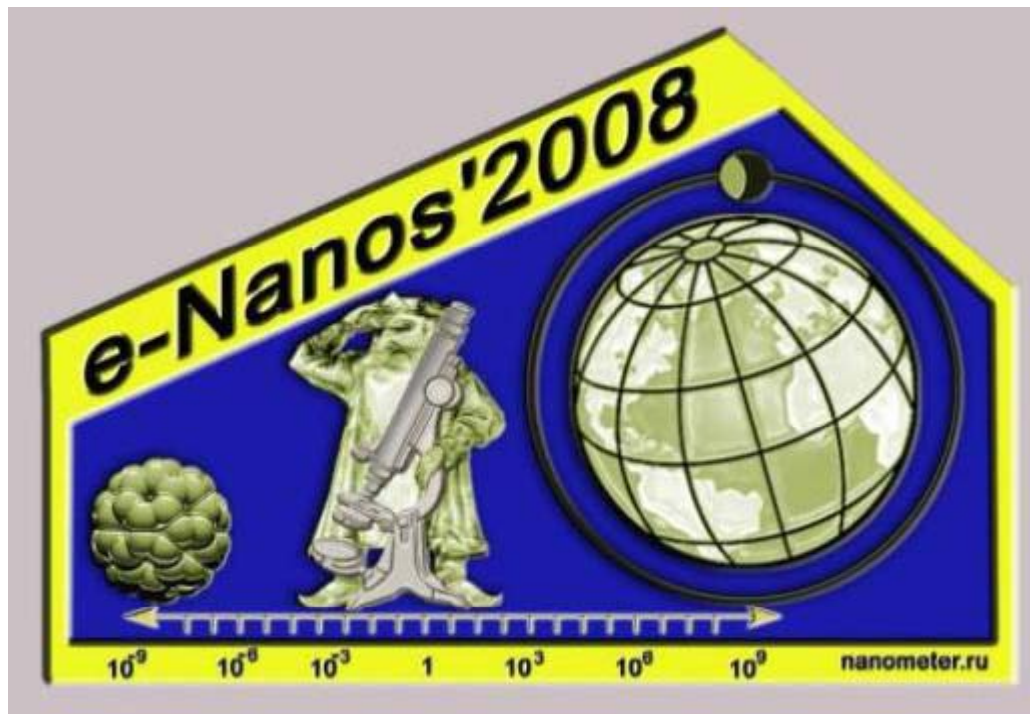


# Насколько мал нанометр?



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/см<sup>3</sup>) 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.)

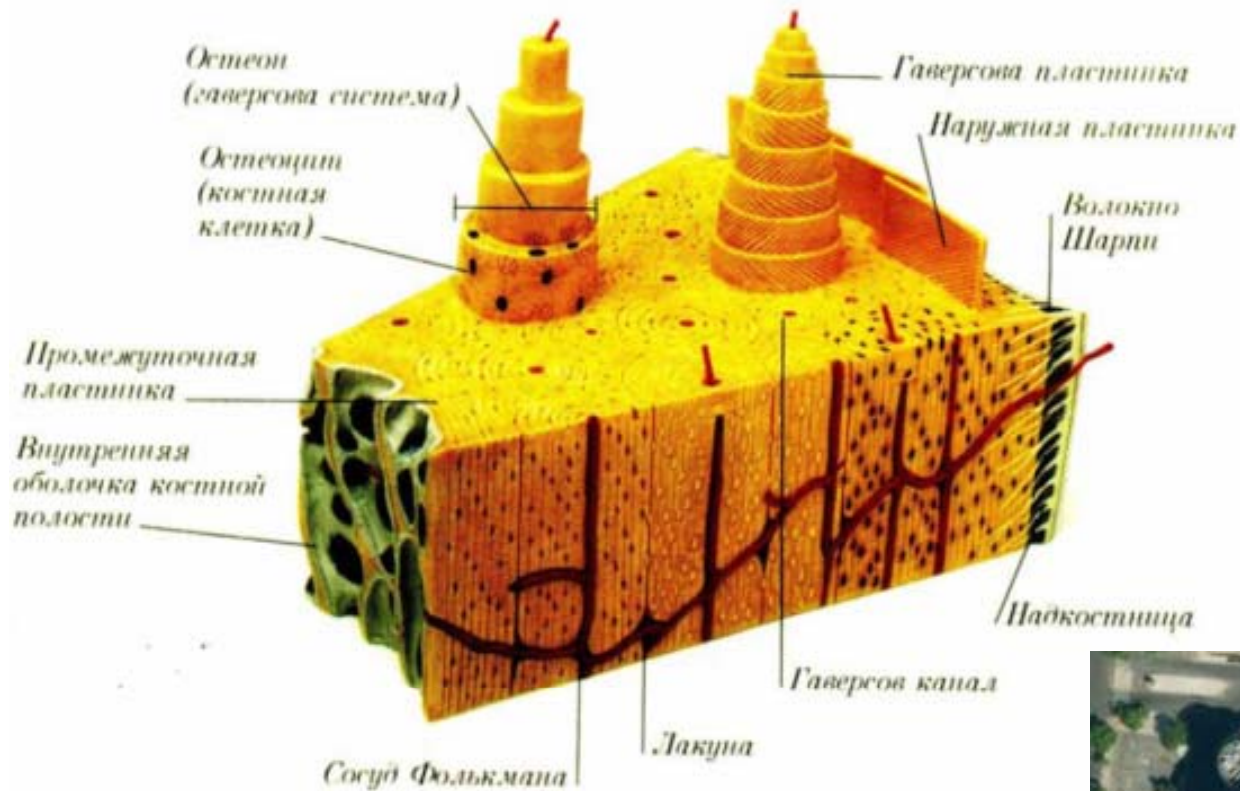
# Флэшка

**64 Гб = 25 нм**

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



# Кости



=10

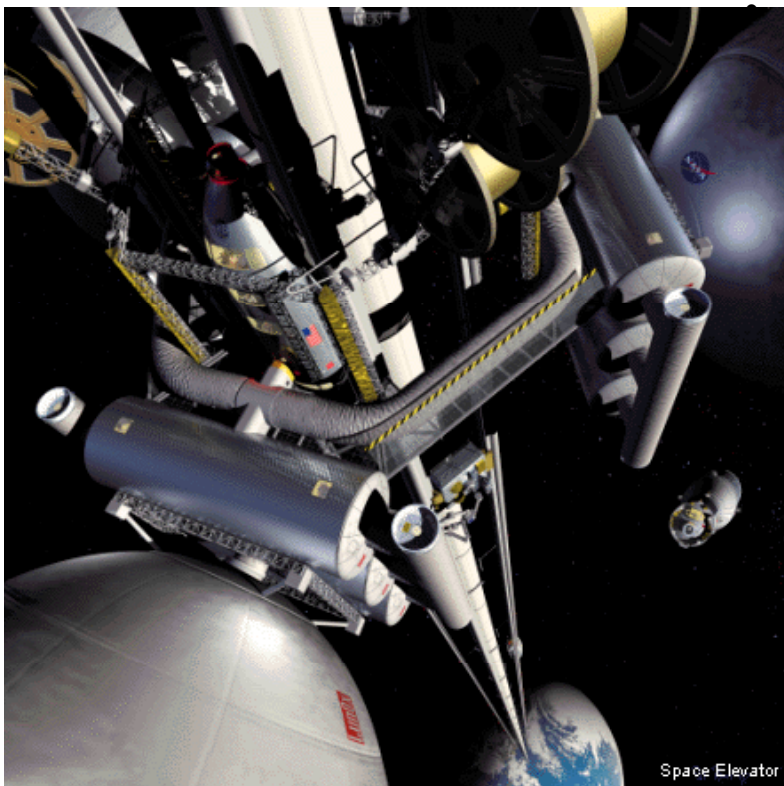
(площадь монослоя чешуек гидроксилапатита из нашего скелета составит десять футбольных полей)





# Космический лифт и наноботы

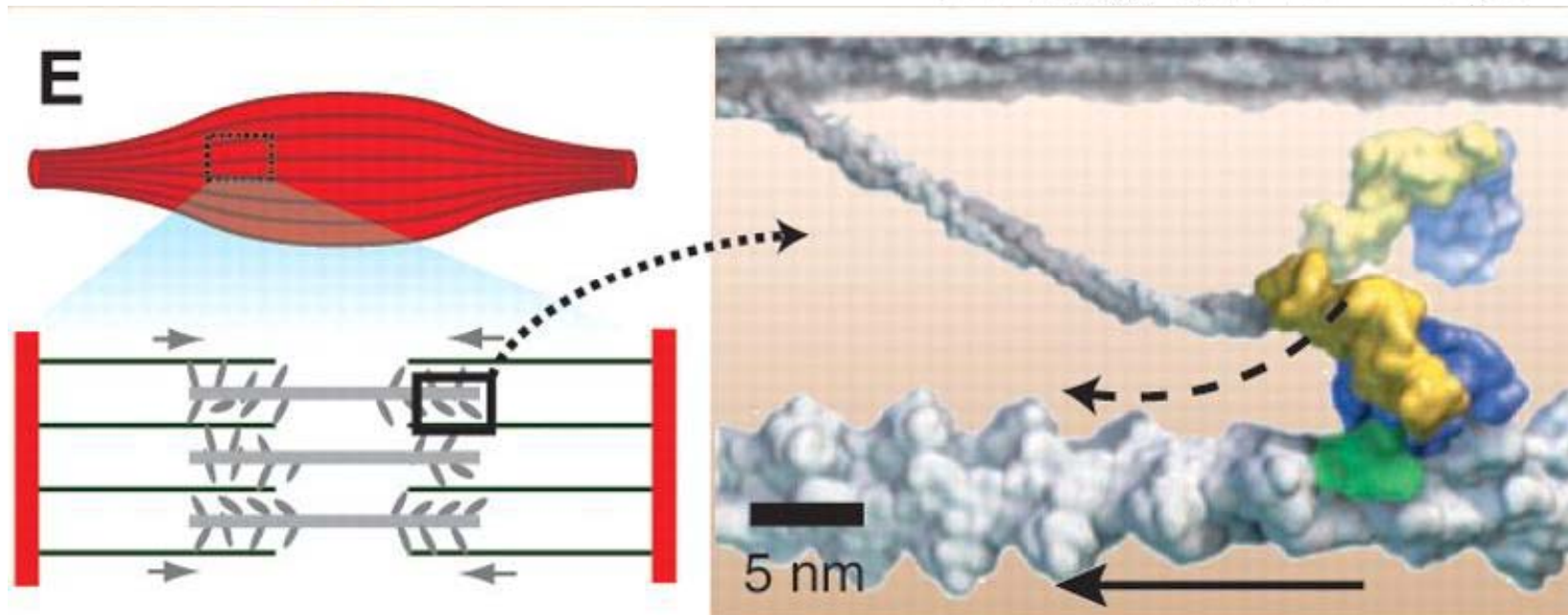
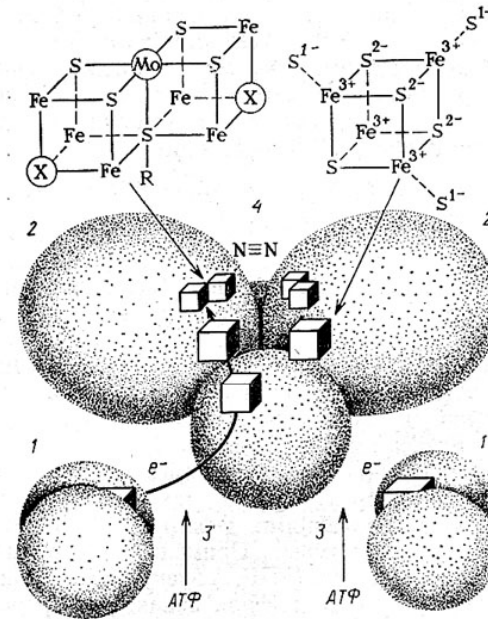
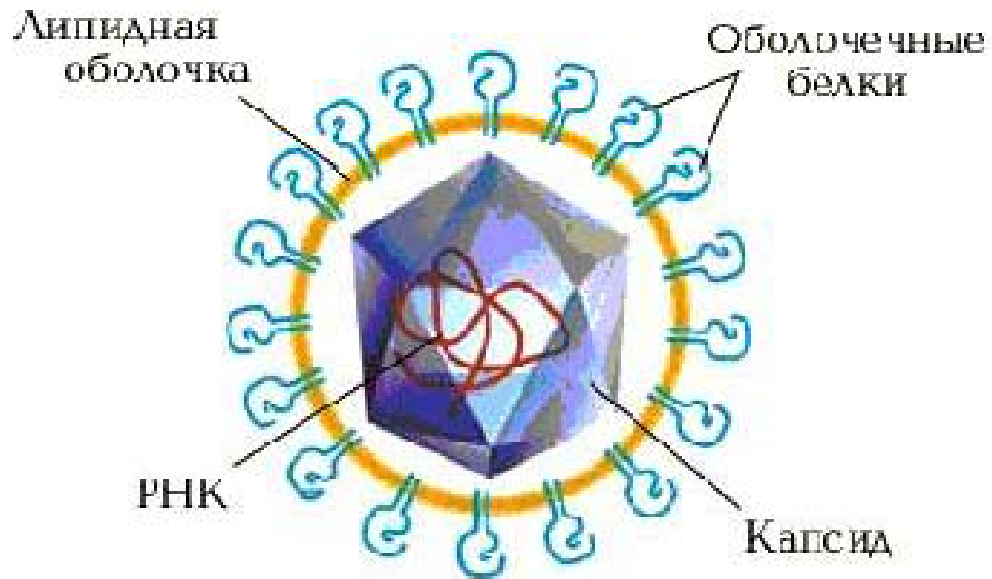
## (давайте разберемся!)



**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?

# Молекулярные машины



# Три наностратегии



**Физик: измерить и смоделировать**



**Химик: увидеть и понять**



**Биолог: найти в справочнике**



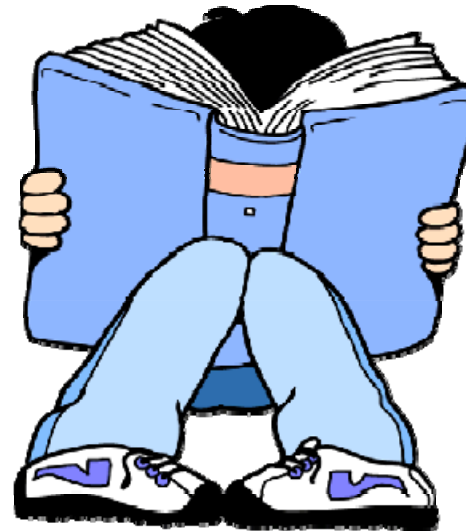
# Три подхода к «нано»



**Физик: квантование  
- туннелирование**



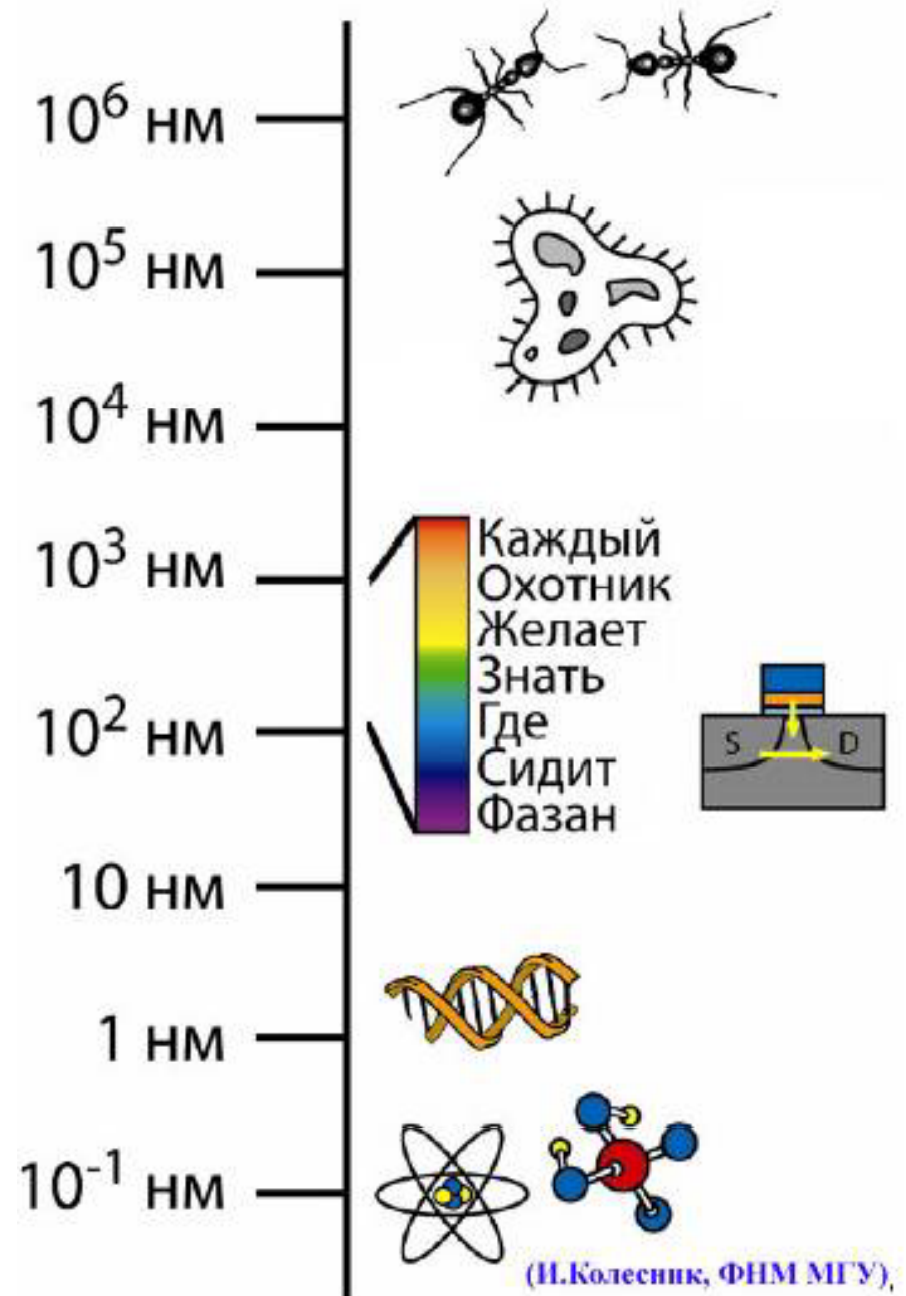
**Химик: слабые взаимодействия  
и «оборванные» связи на поверхности**



**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

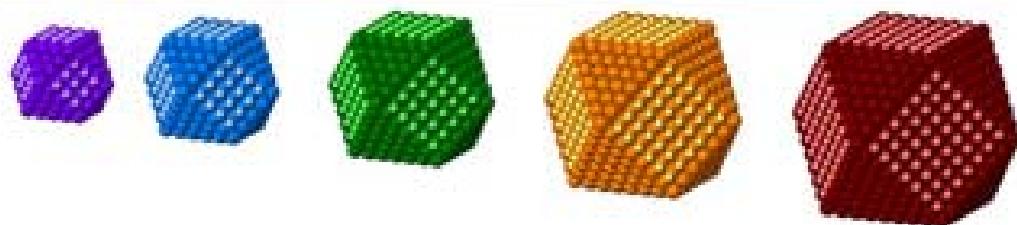
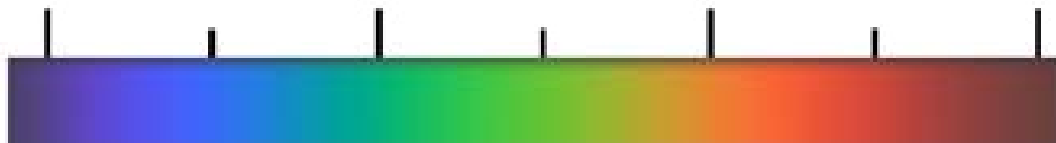
Обычное освещение

УФ

Photo by Roman Vasiliev

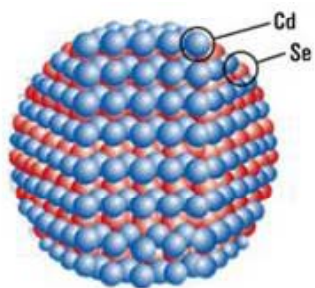
13/03/2006

400 нм      500 нм      600 нм      700 нм

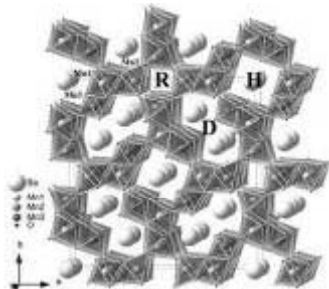
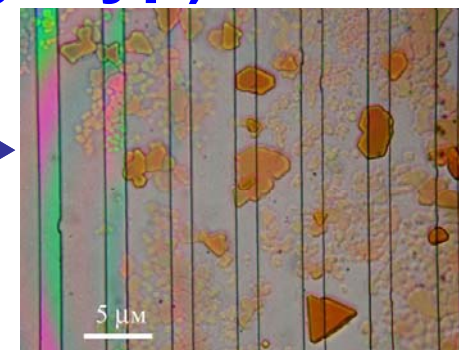
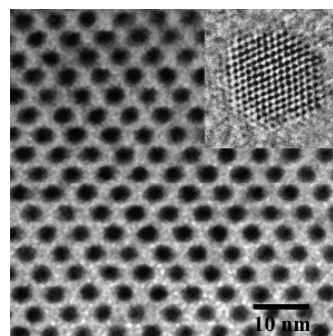
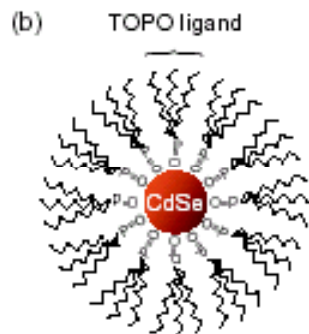




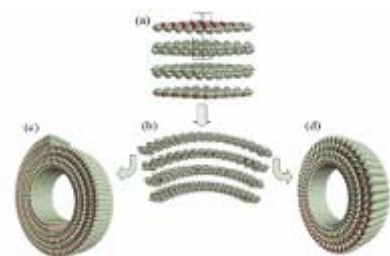
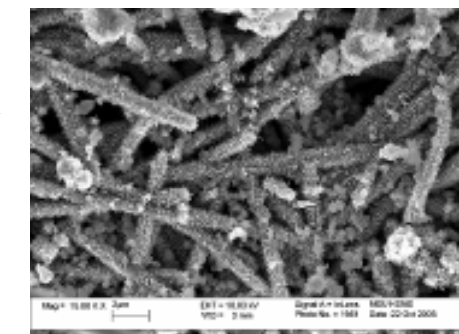
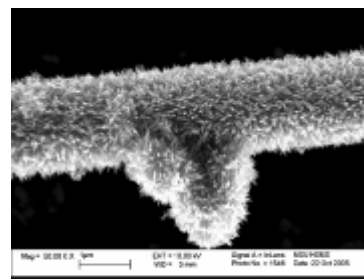
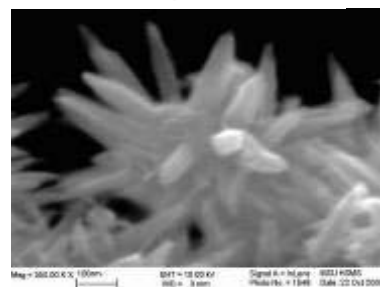
# Эволюция наносистем на пути создания наноматериалов (иерархия структур)



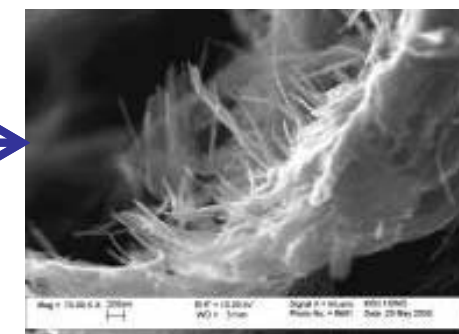
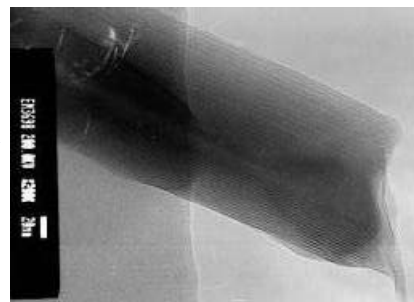
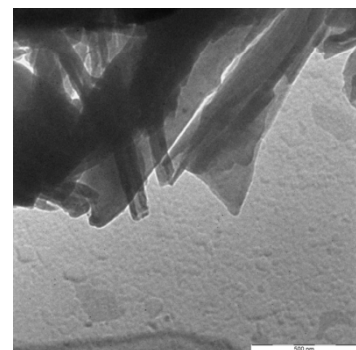
**Квантовые точки**



**Каркасные манганиты**



**Нанотрубки VO<sub>x</sub>**

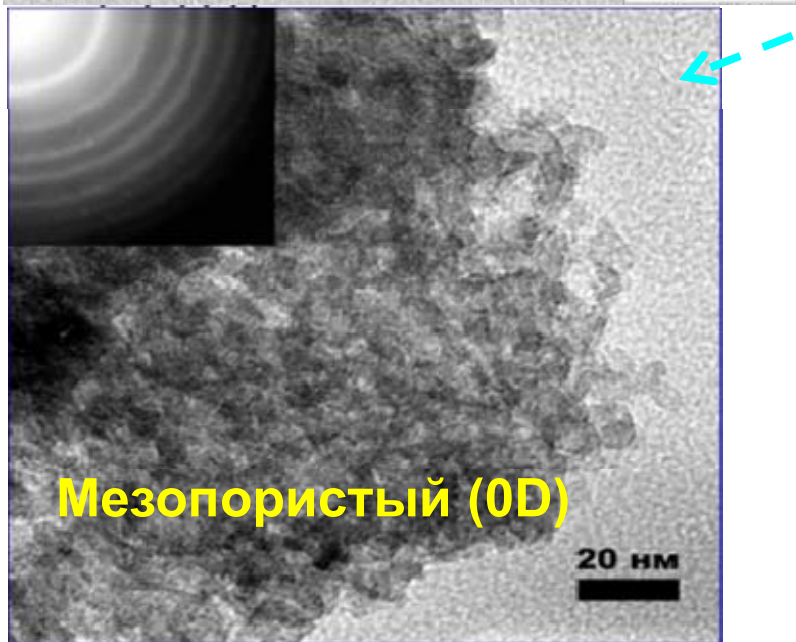
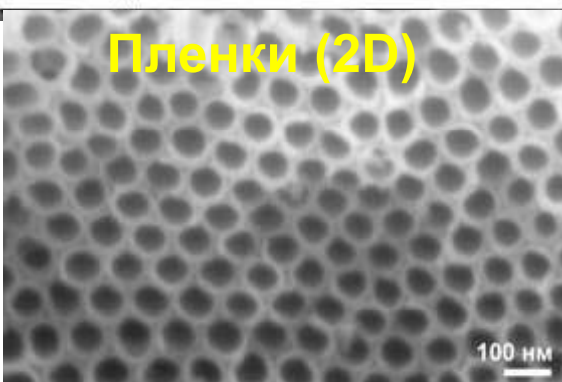
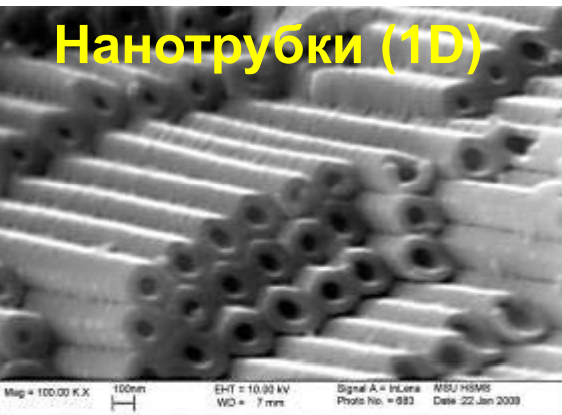
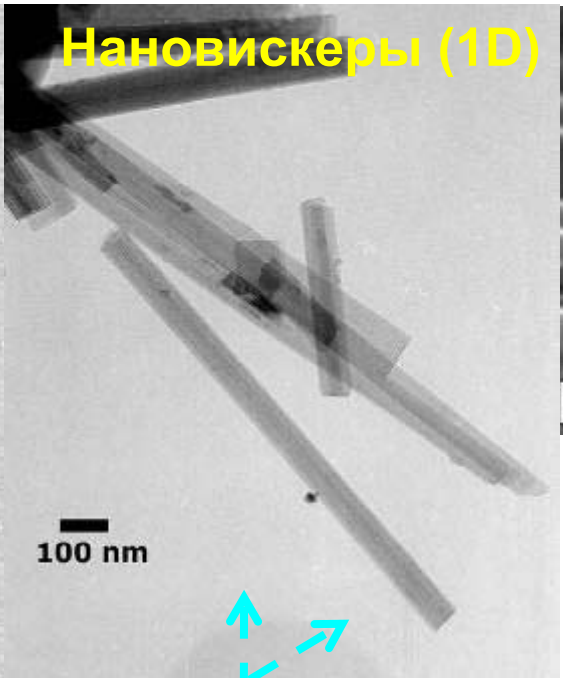
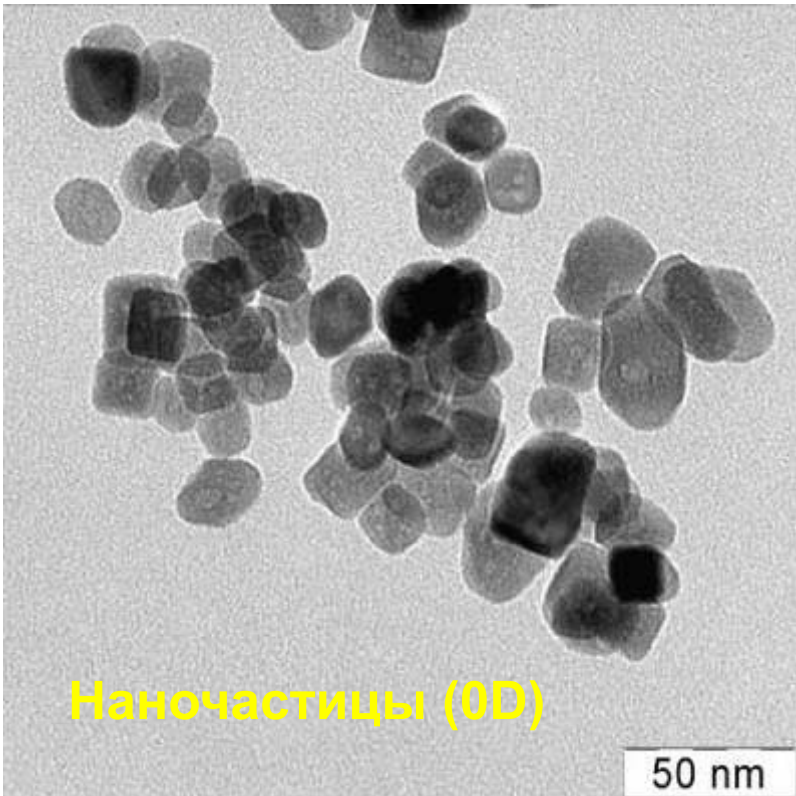


**АТОМЫ, МОЛЕКУЛЫ**

**БЛОКИ**

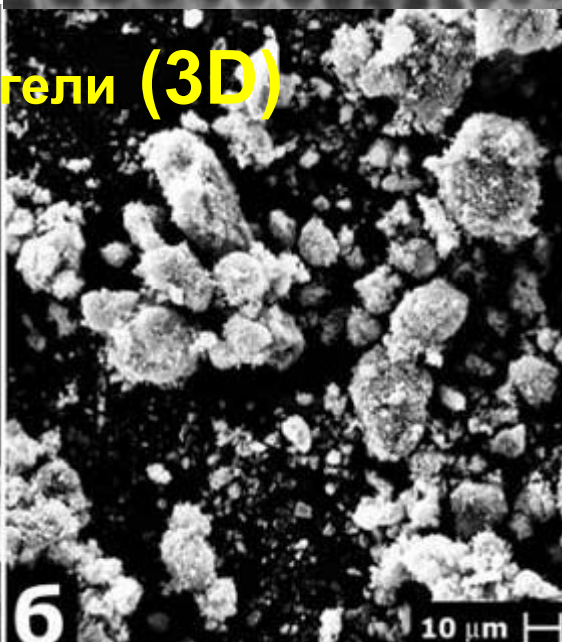
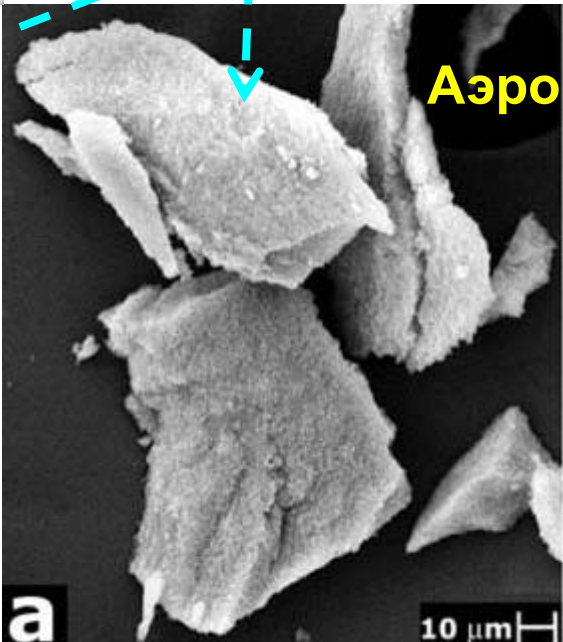
**НАНОСТРУКТУРА**

**АССОЦИАТЫ**



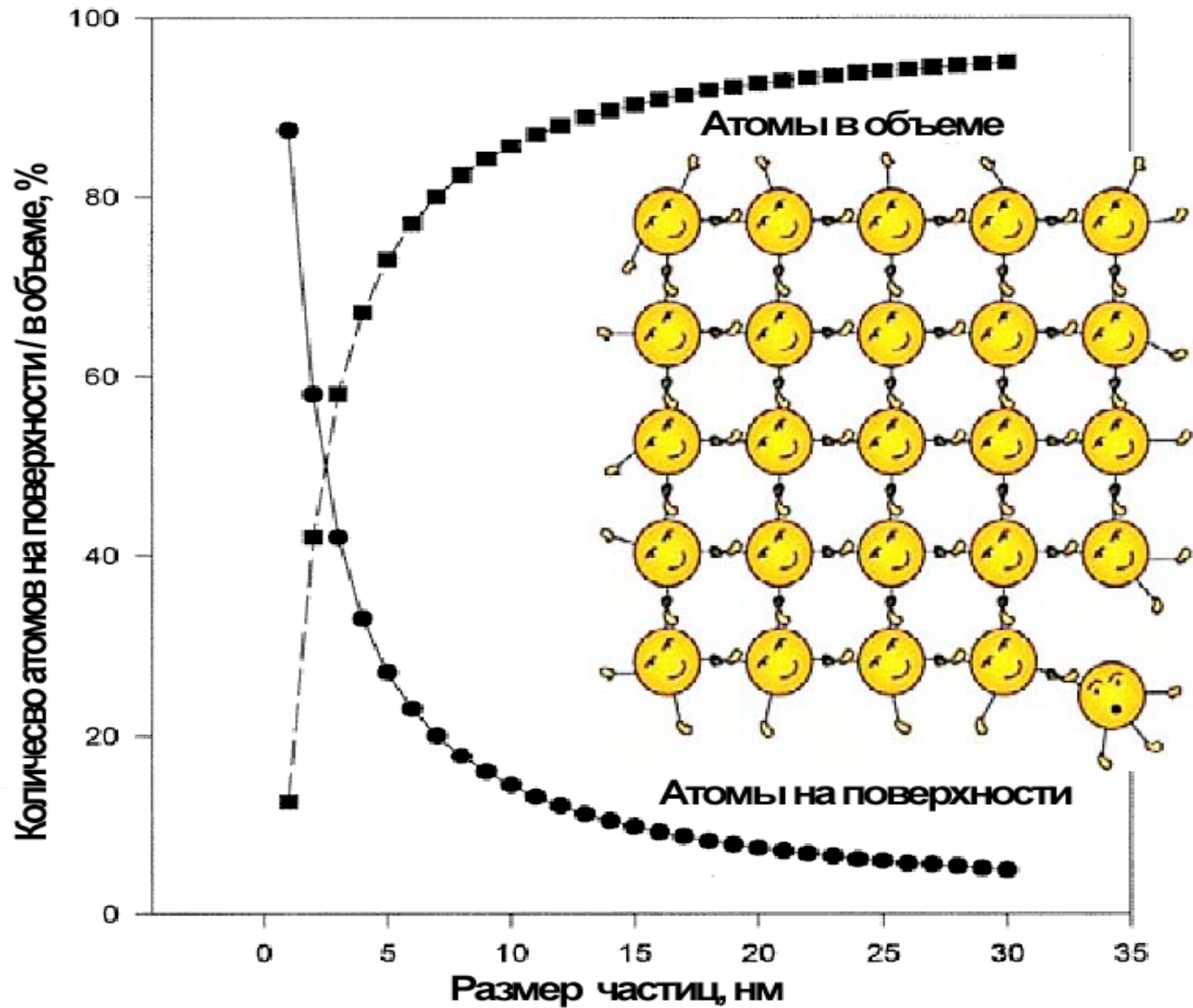
$\text{TiO}_2$

Four dashed blue arrows point from the central  $\text{TiO}_2$  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»

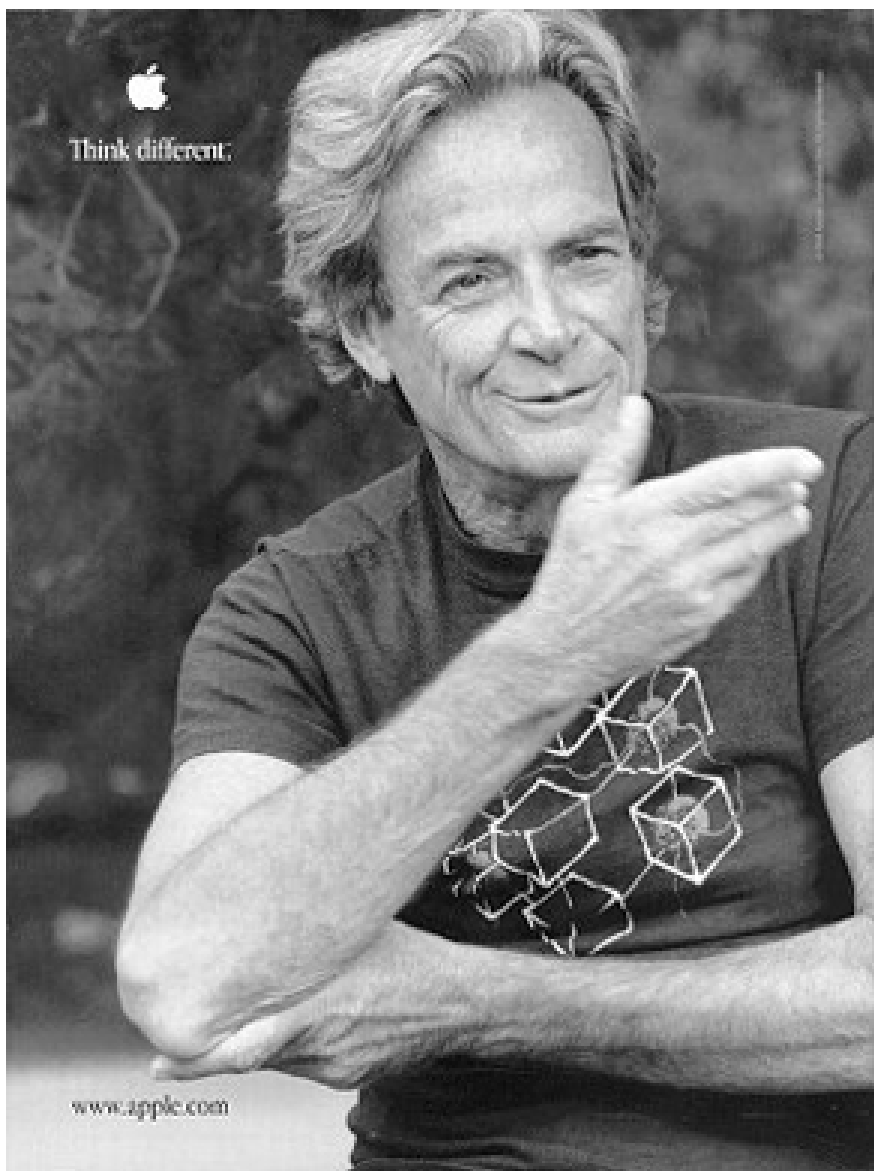
**2001 г.** – Национальная нанотехнологическая инициатива (500 млн. долларов)

**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»**

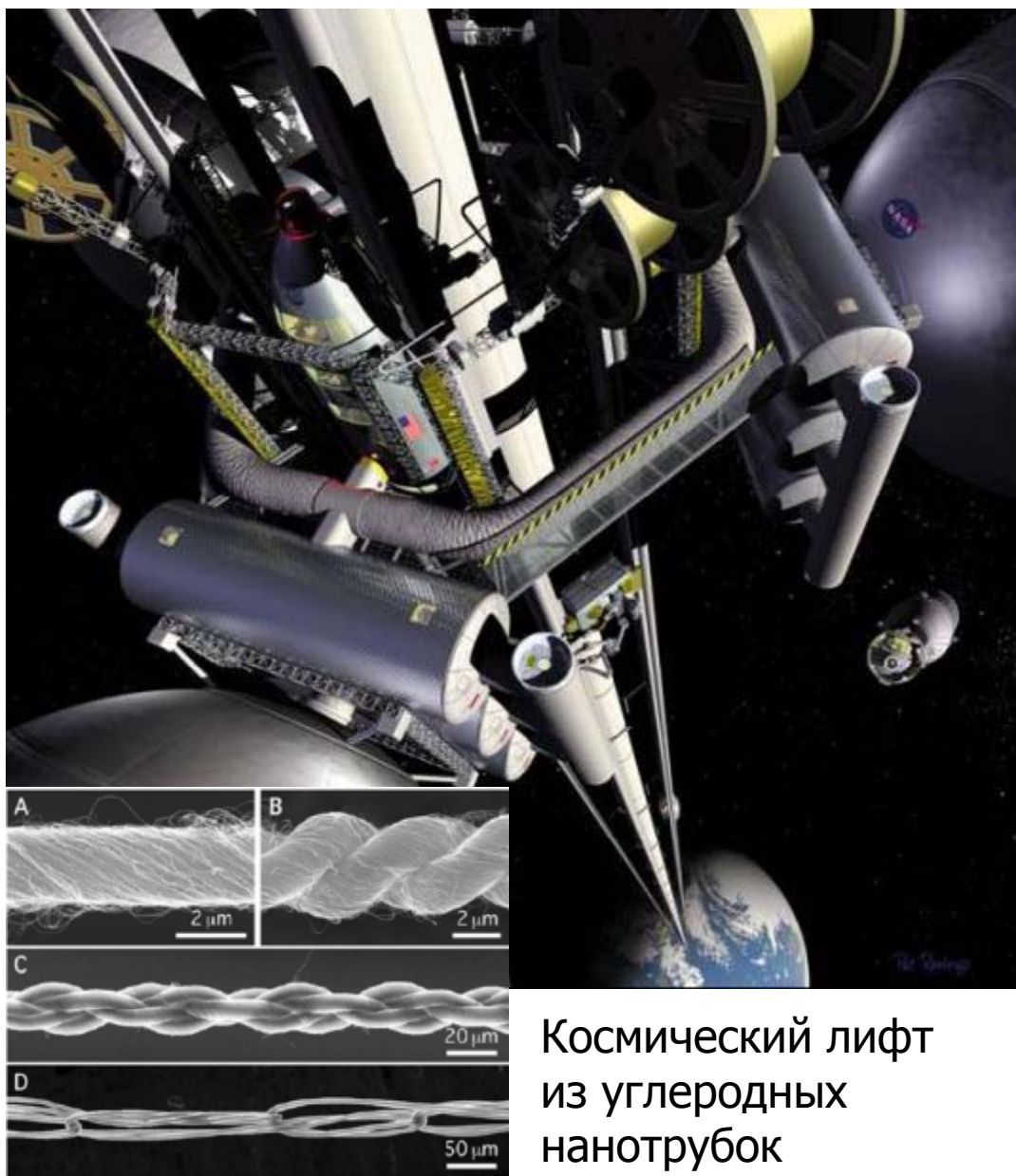
**Два подхода к созданию наноматериалов: «снизу-вверх» и «сверху-вниз»**

**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»**).

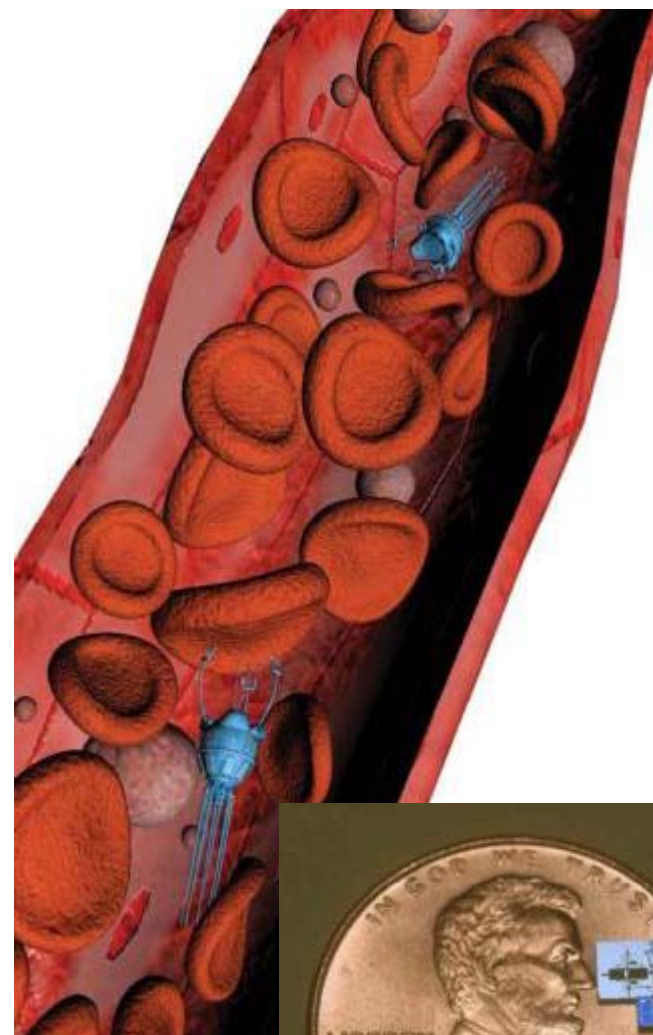
**Ричард Фейнман (Richard Feynman)**



# Футуристическое будущее



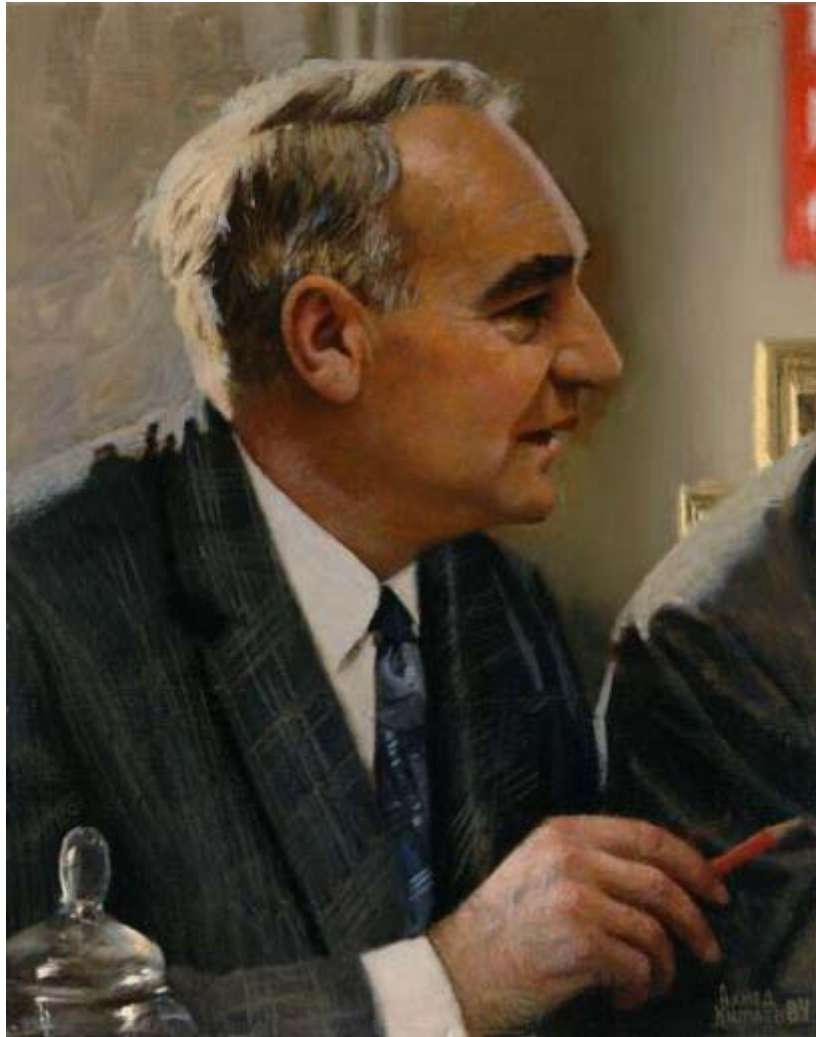
Космический лифт  
из углеродных  
нанотрубок



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*

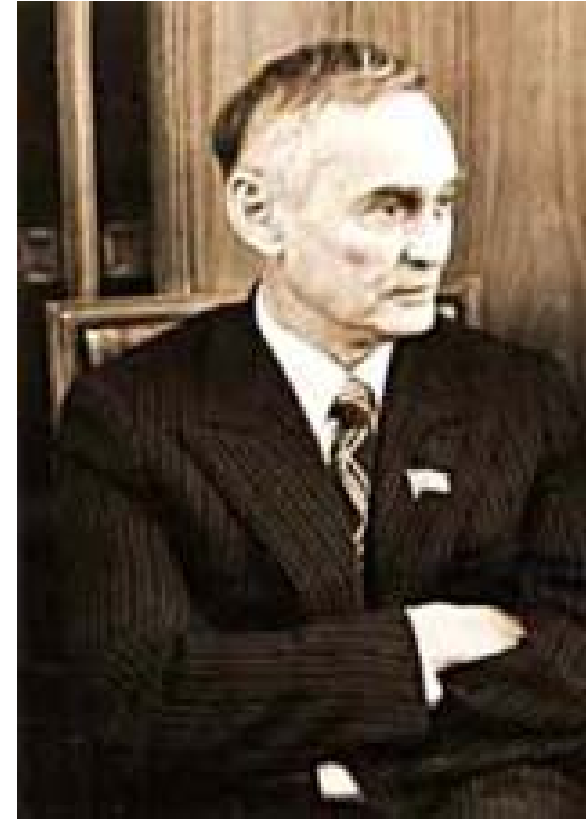
*pulse of a purge gas*

*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

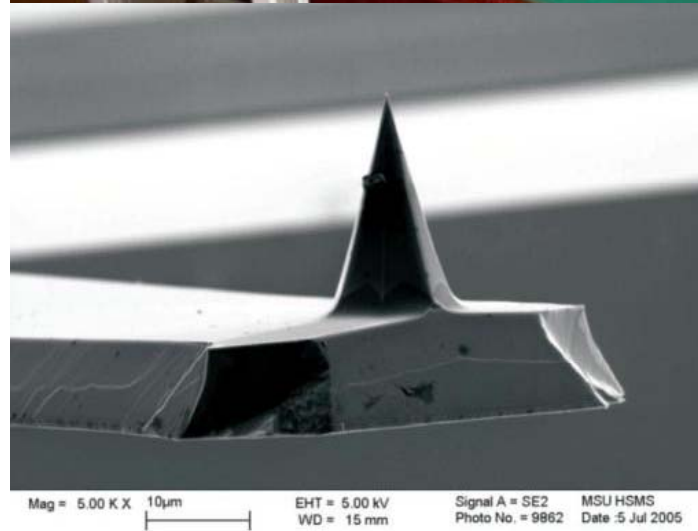
1981 создание первого СТМ, получение атомарного разрешения (ИВМ, Цюрих) - 1986 (Нобелевская премия)



атомы на подложке



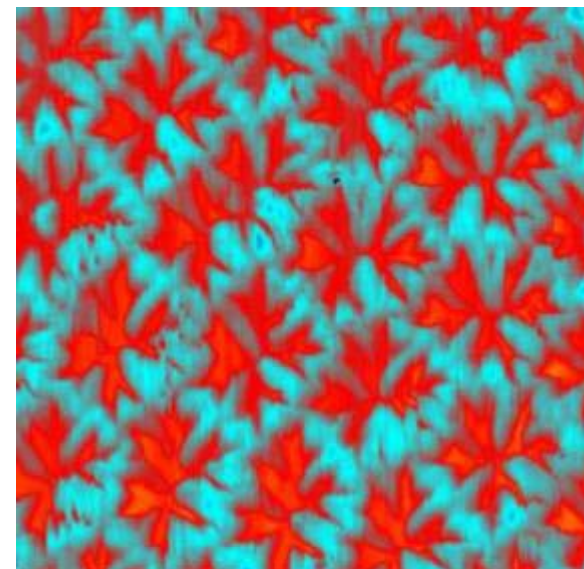
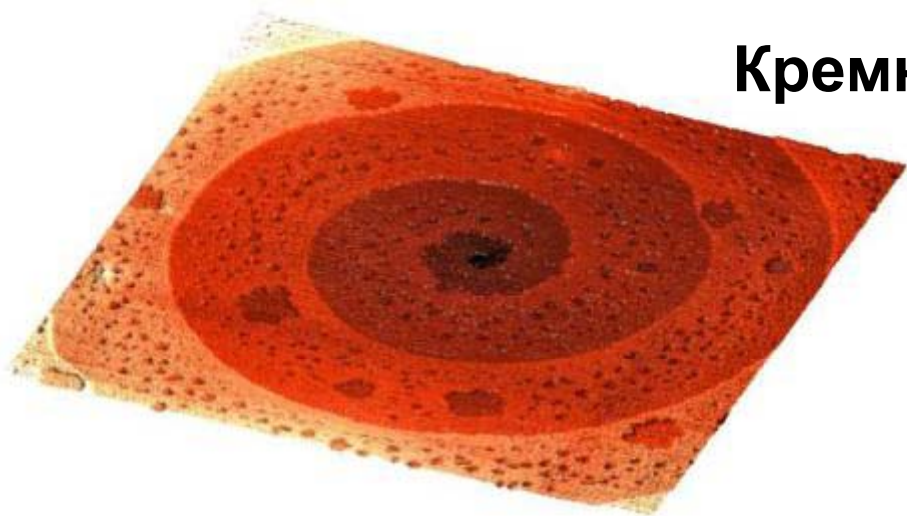
решетка графит



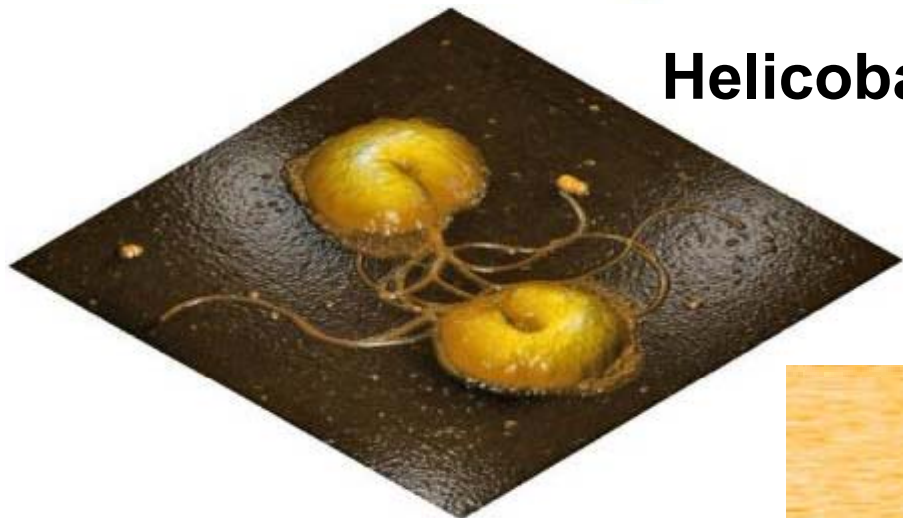
Mag = 5.00 K X 10µm EHT = 5.00 kV Signal A = SE2 MSU HSMS  
WD = 15 mm Photo No. = 9962 Date : 5 Jul 2005



**Кремний**

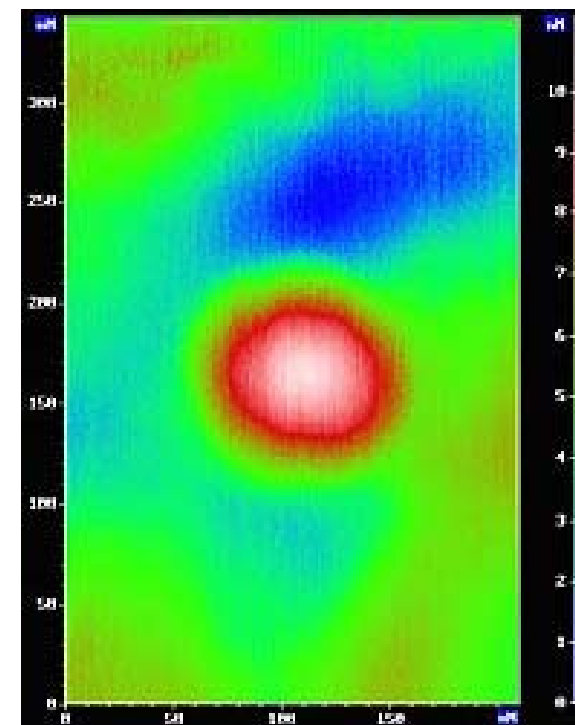
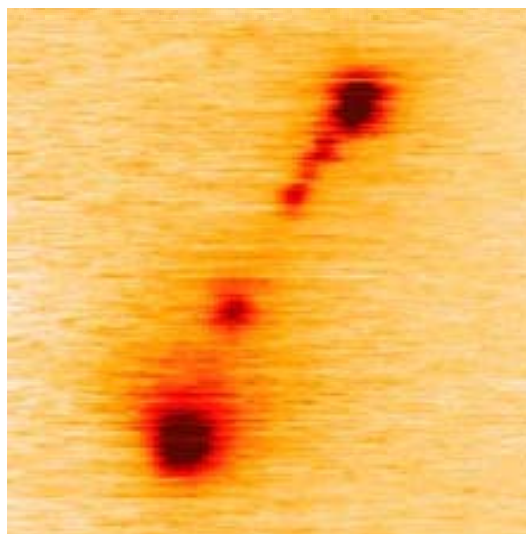


**Helicobacter pylori**



**Магнитная пленка  
наночастица**

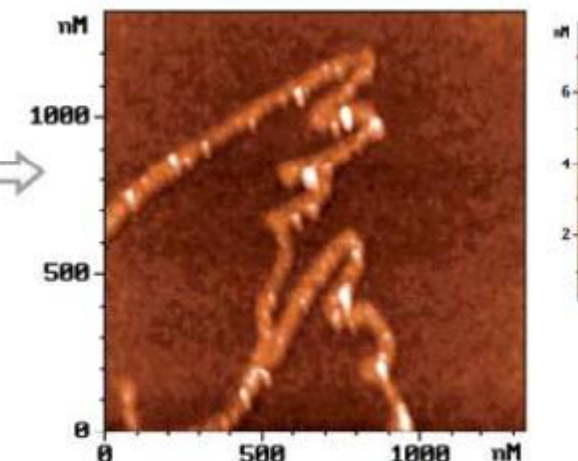
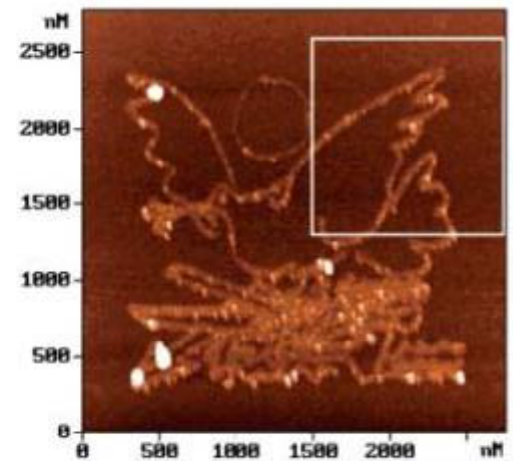
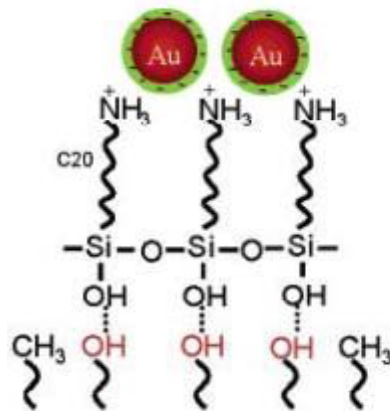
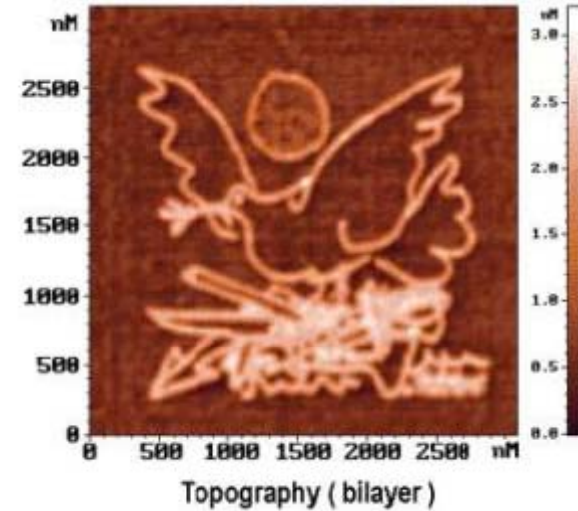
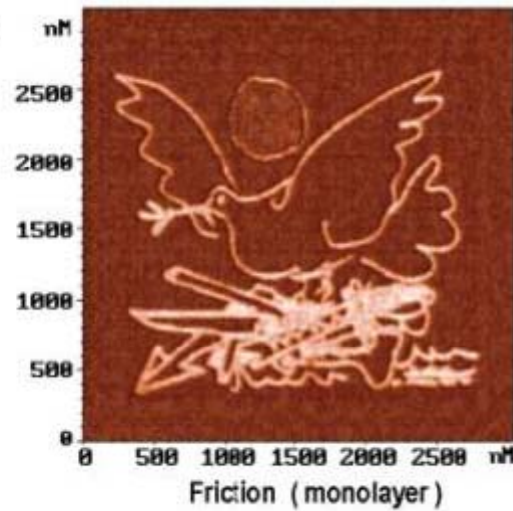
**Проводимость  
ОУНТ**





# Нанолитография

World Without Weapons  
P. Picasso, 1962



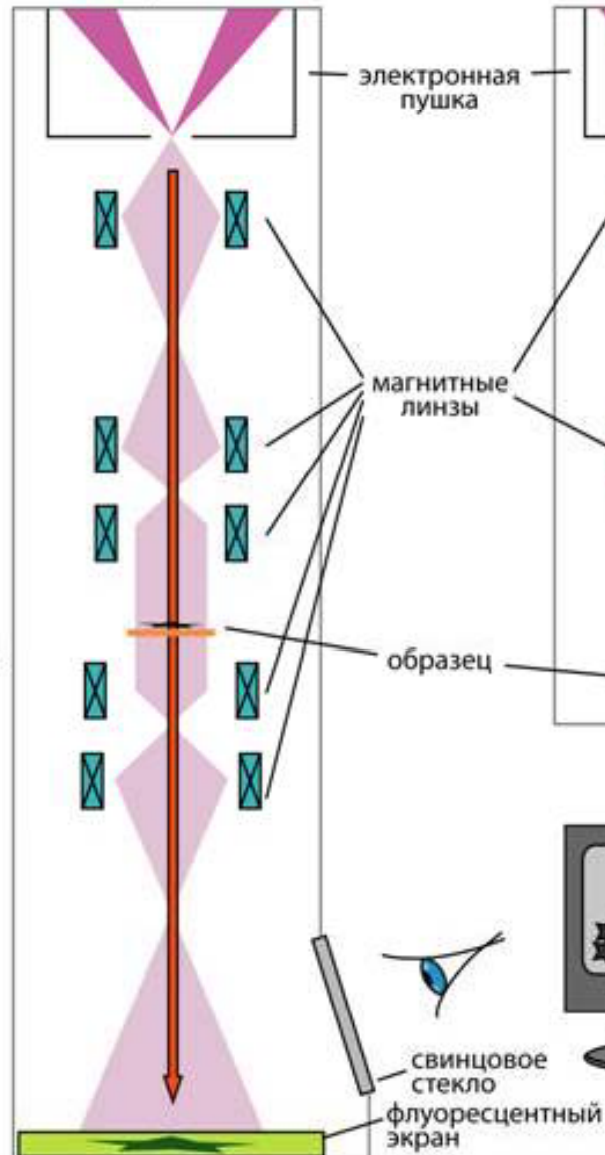
J. Sagiv and R. Maoz, Weizmann Institute, 2004

# Оптические схемы

Оптический микроскоп



Просвечивающий электронный микроскоп



Растровый электронный микроскоп



ОМ – до  $1000^{\times}$  +

поляризация

РЭМ – до  $100\,000^{\times}$

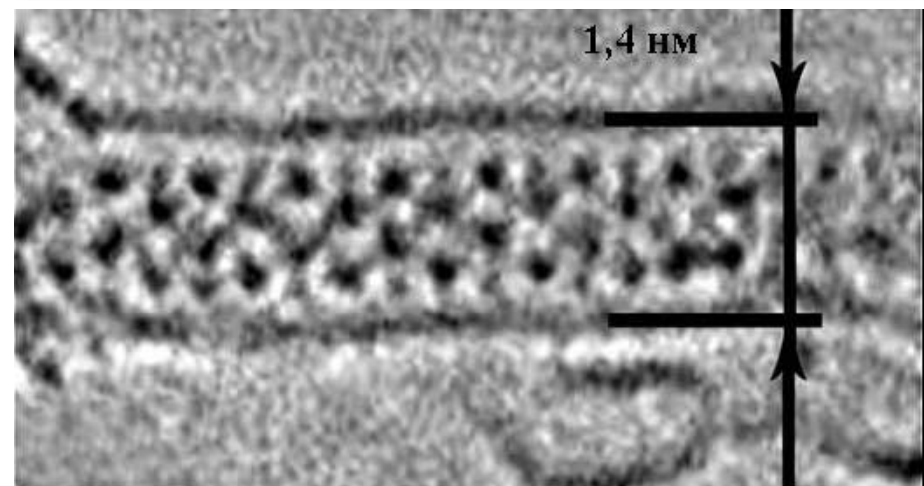
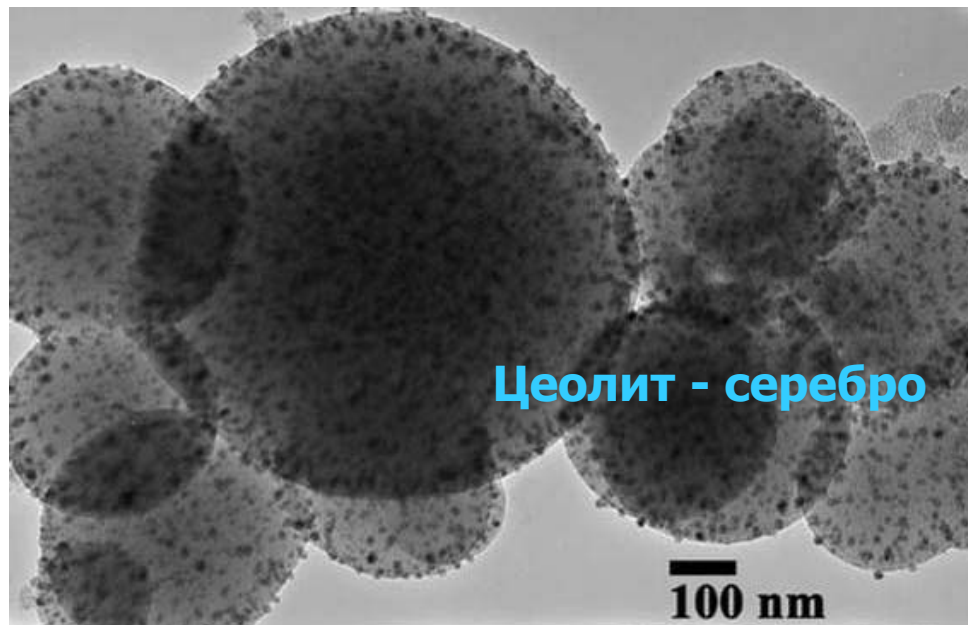
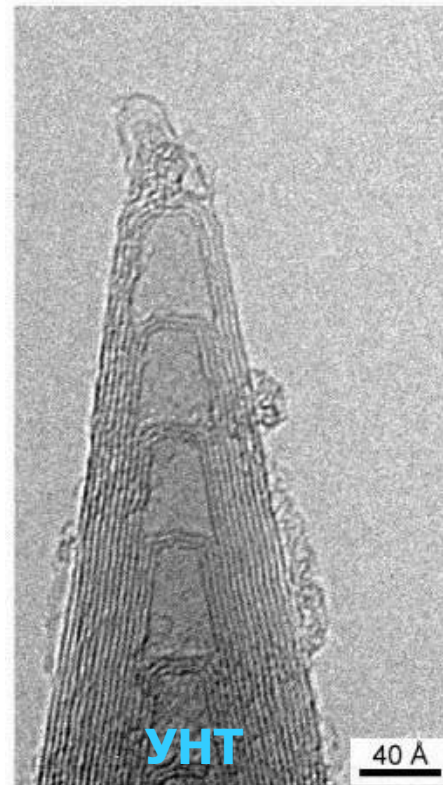
состав

ПЭМ – до  $10\,000\,000^{\times}$

кристаллическая

решетка и состав

# Просвечивающая ЭМ

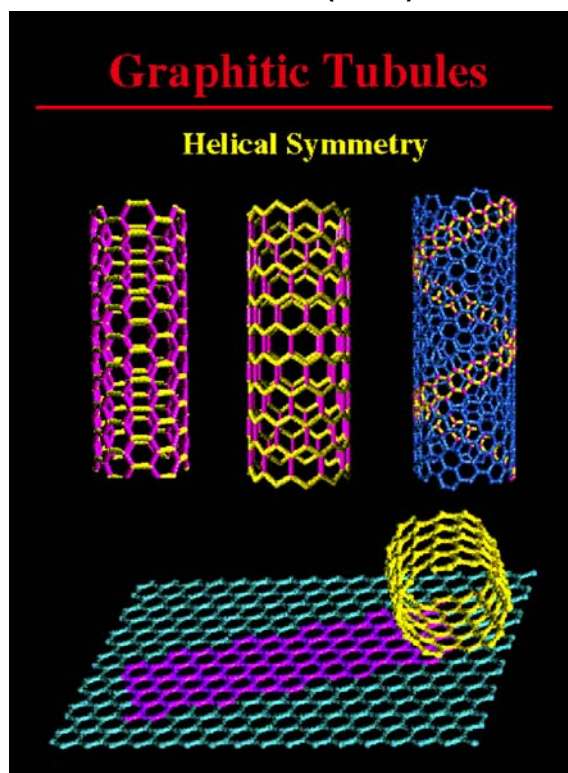




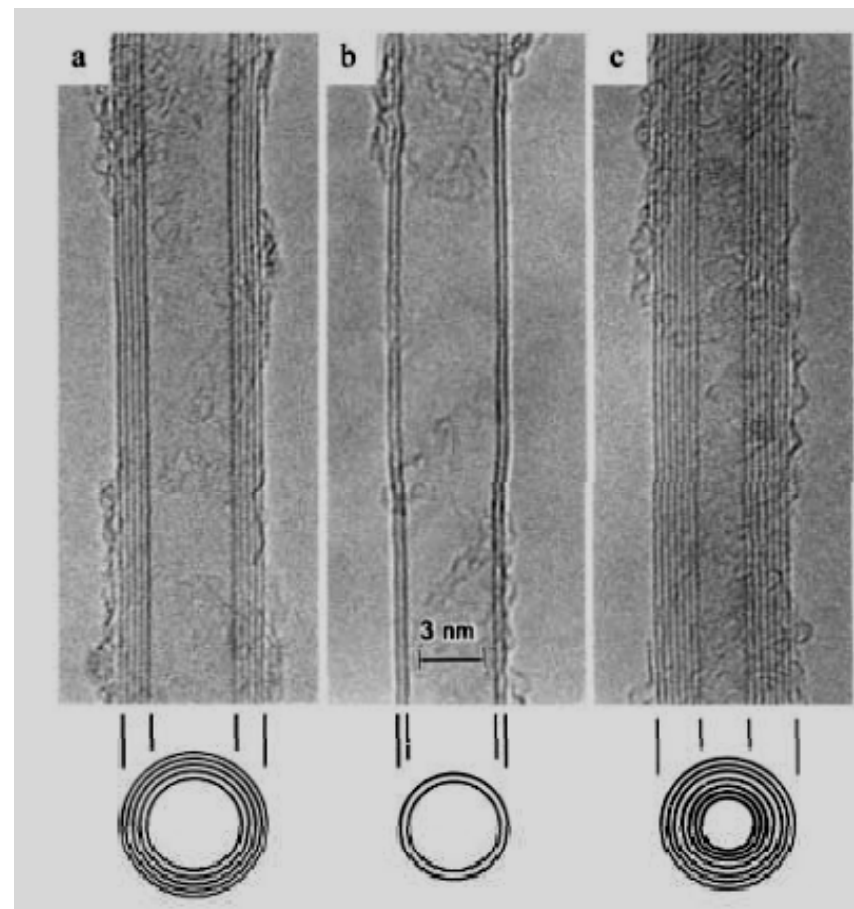
# Первые РЭМ наблюдения углеродных нанотрубок



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

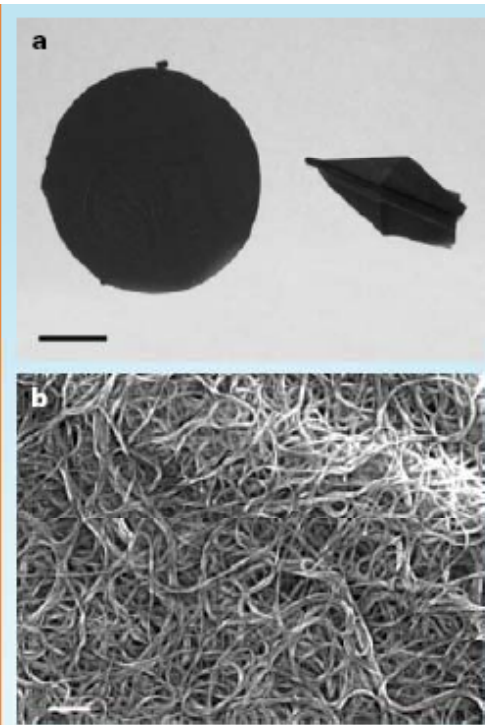
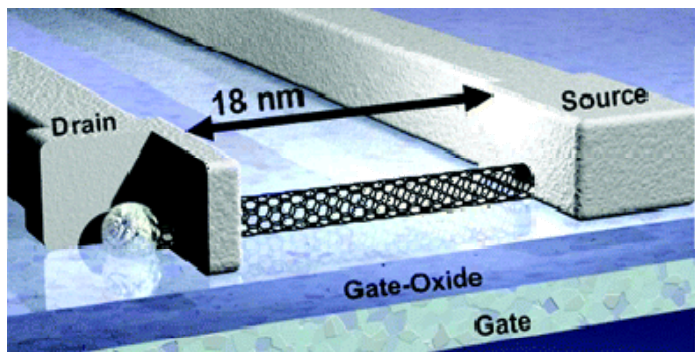


получены СНТ < 10 нм,  
метод CVD (Oberlin, M.  
Endo, T. Koyama. J. Cryst.  
Growth 32, 335 (1976)).

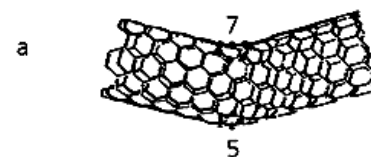


ТЕМ наблюдение J.Iijima (**Nature, 1991**) коаксиальных  
многостенных нанотруб (катод осадок в угл  
дуге) различными внутренними и внутренними  
диаметрами и числом оболочек с различной  
хиральностью

# Применение УНТ



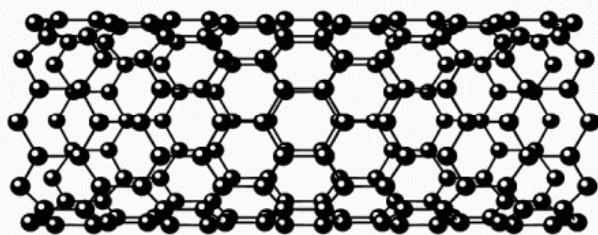
УНТ - дисплеи



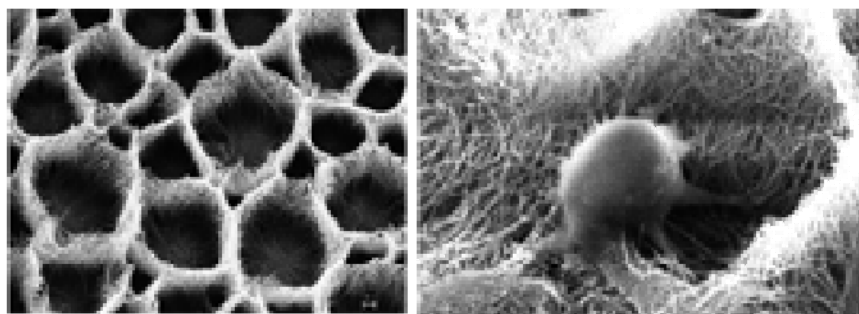
Нанодиоды



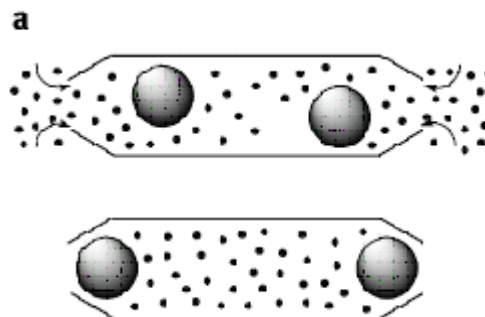
Нанотермометр (Ga-УНТ)



«Бумага» из УНТ



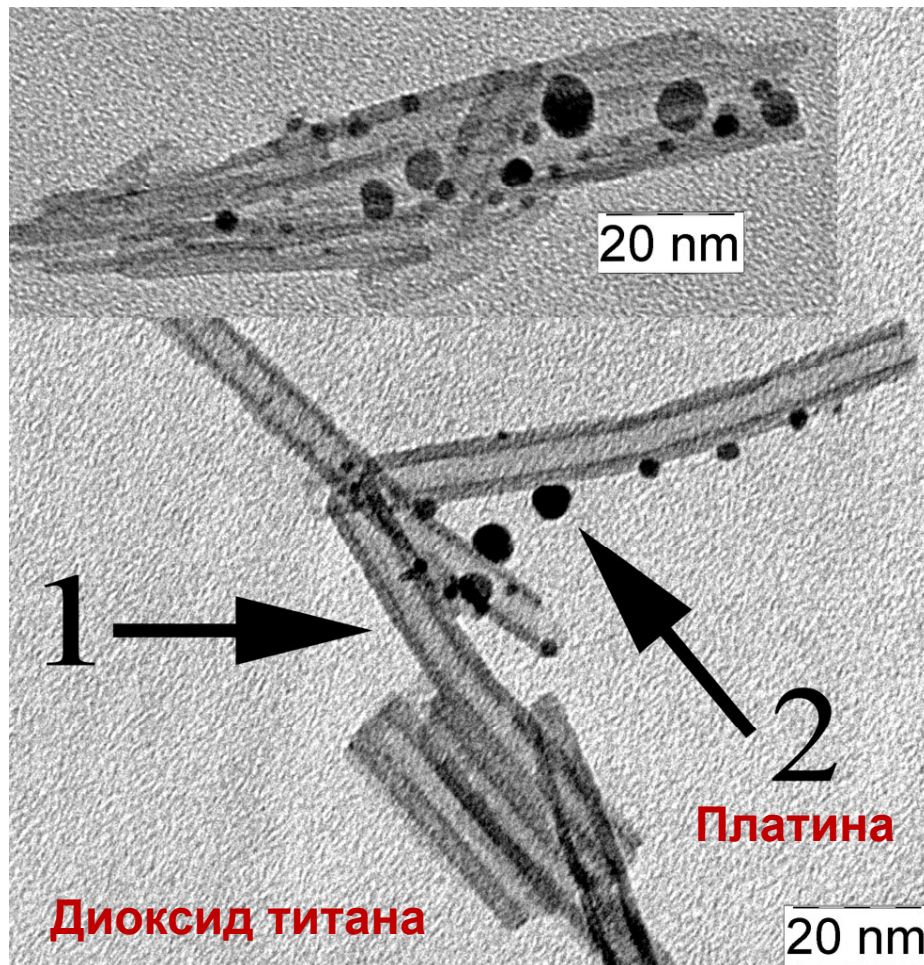
Биосовместимые подложки



Хранение водорода

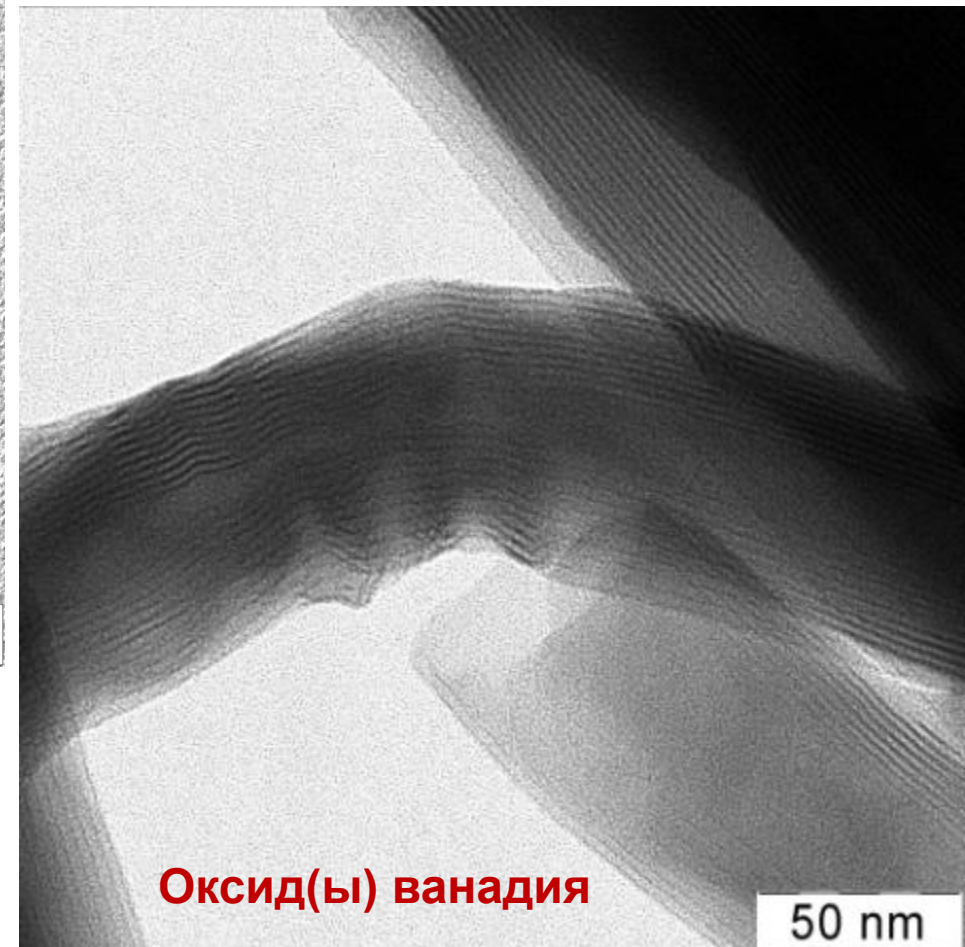


# Неуглеродные нанотрубки



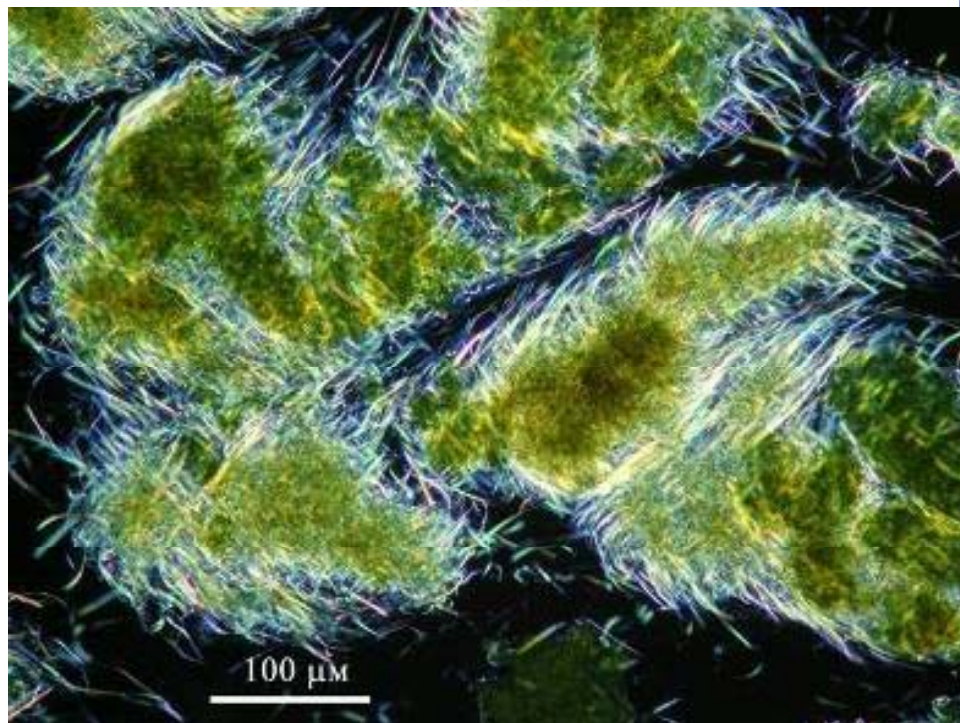
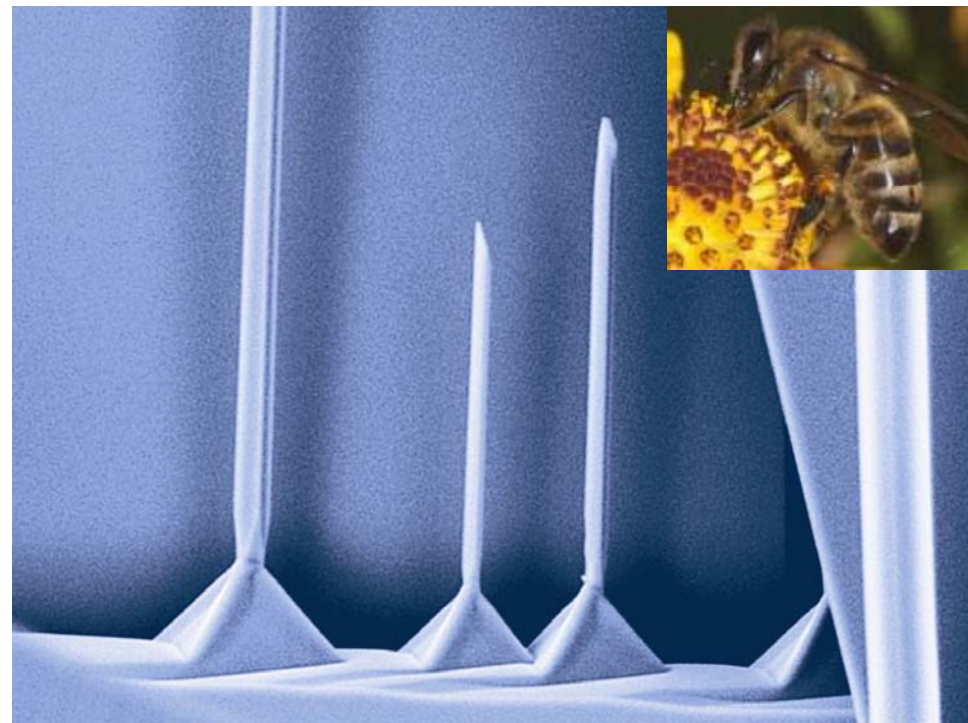
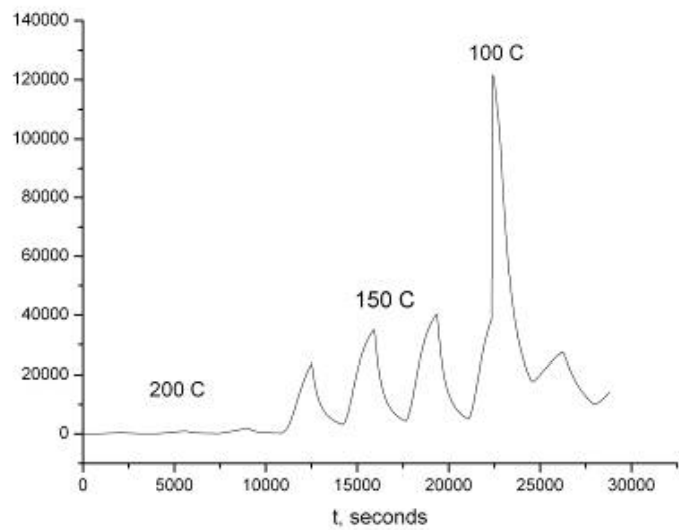
Катализ, дожиг топлива

Литий-ионные аккумуляторы, гибкие катоды



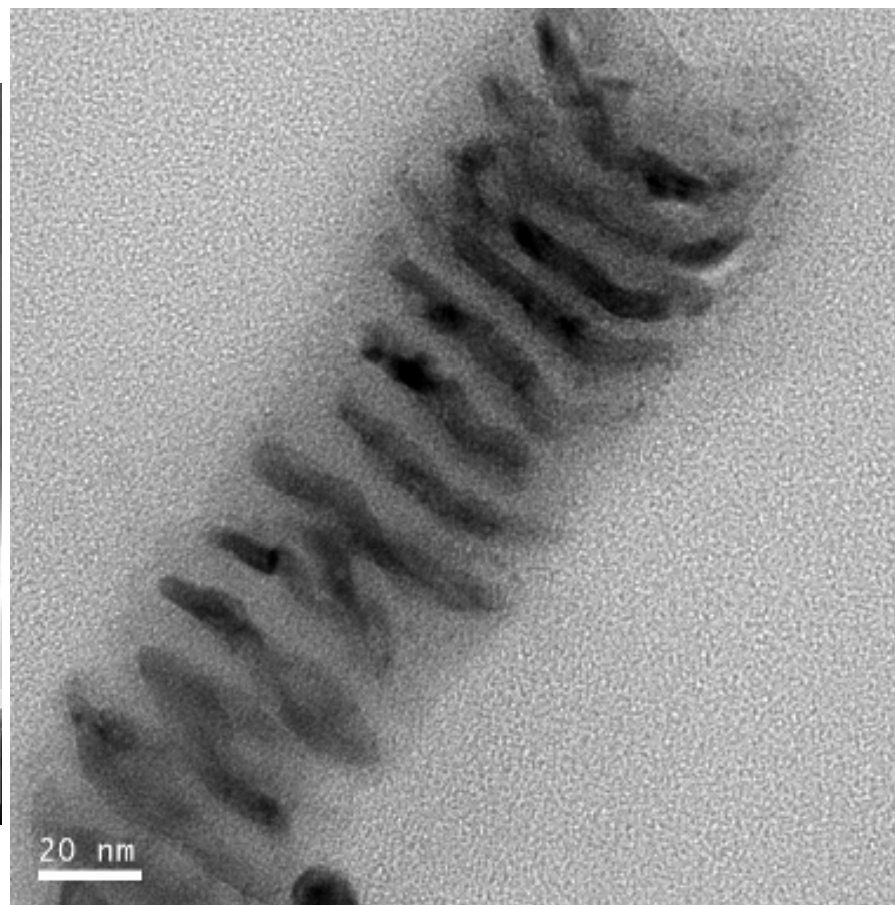
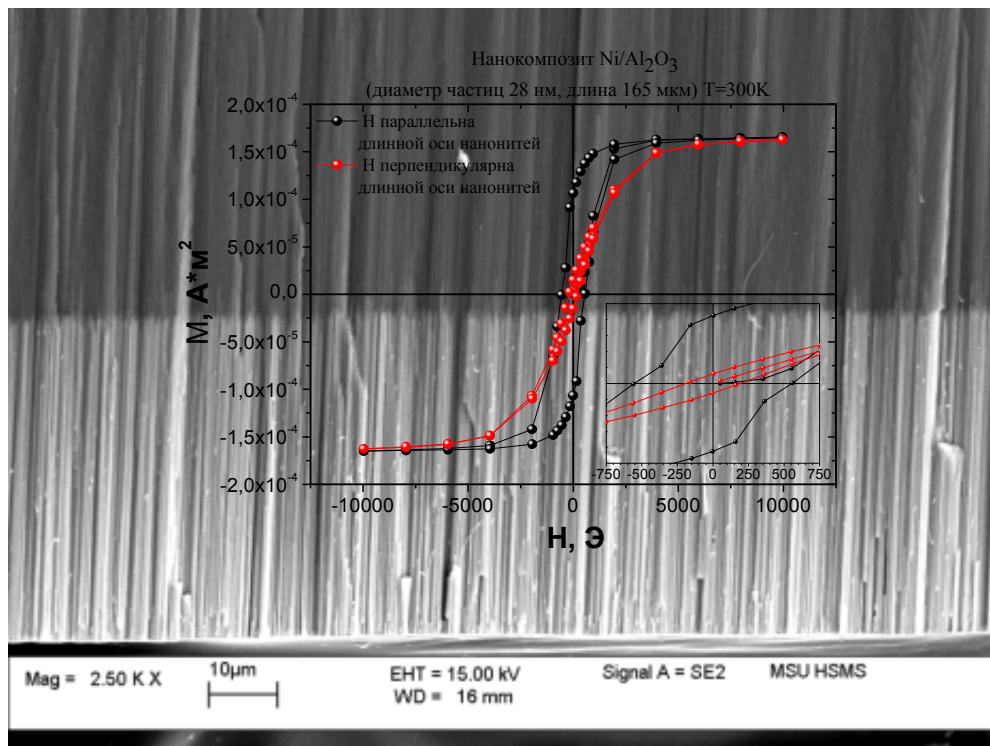
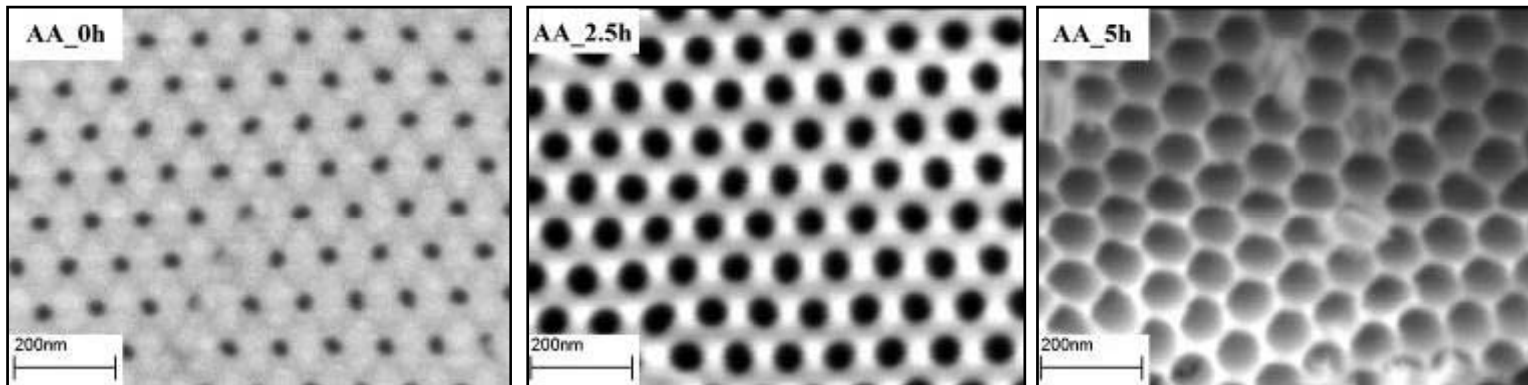


# Вискеры



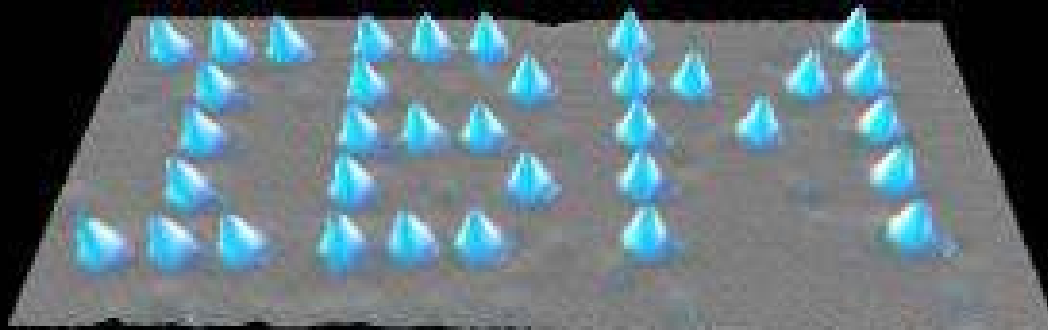


# Керамические мембраны и наноконкомпозиты



# Нужно ли механическое оперирование отдельными нанообъектами?

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



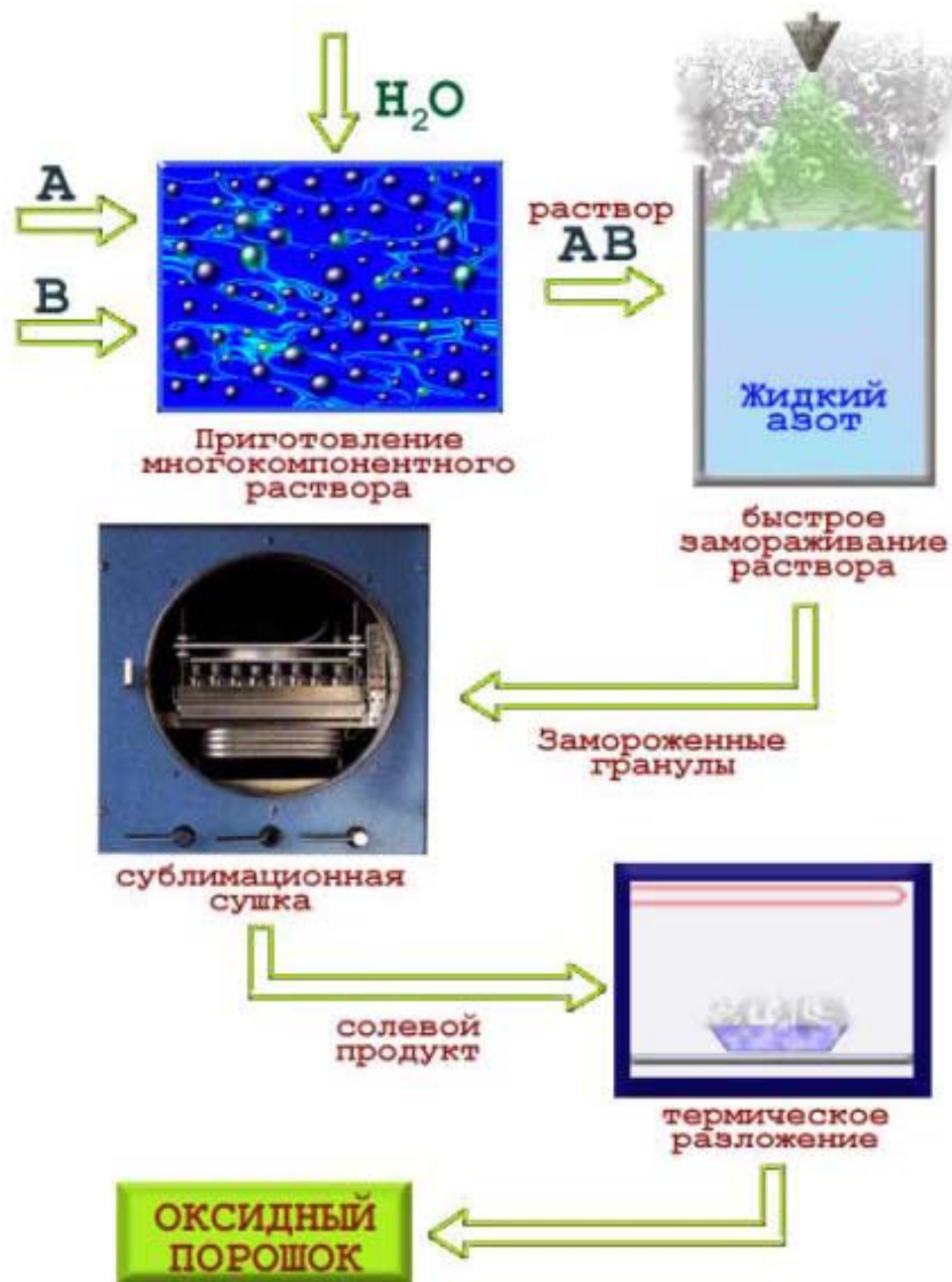
Поатомная сборка:  
АСМ+220В+много  
лет +\$

Сканирующая зондовая микроскопия

**Искусственная сборка на молекулярном уровне  
практически невозможна**

**Лучший вариант: самосборка и самоорганизация!**

# СХЕМА КРИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ



# Сублимационная сушка





# Аэрогели

Диоксид титана

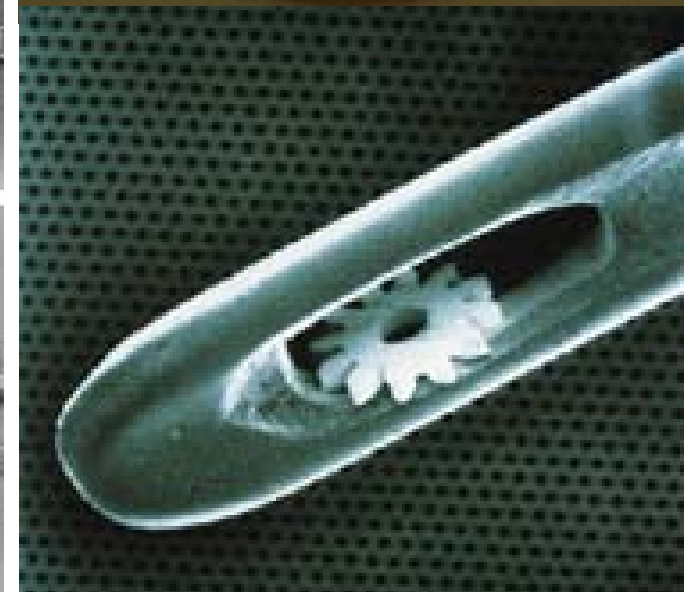
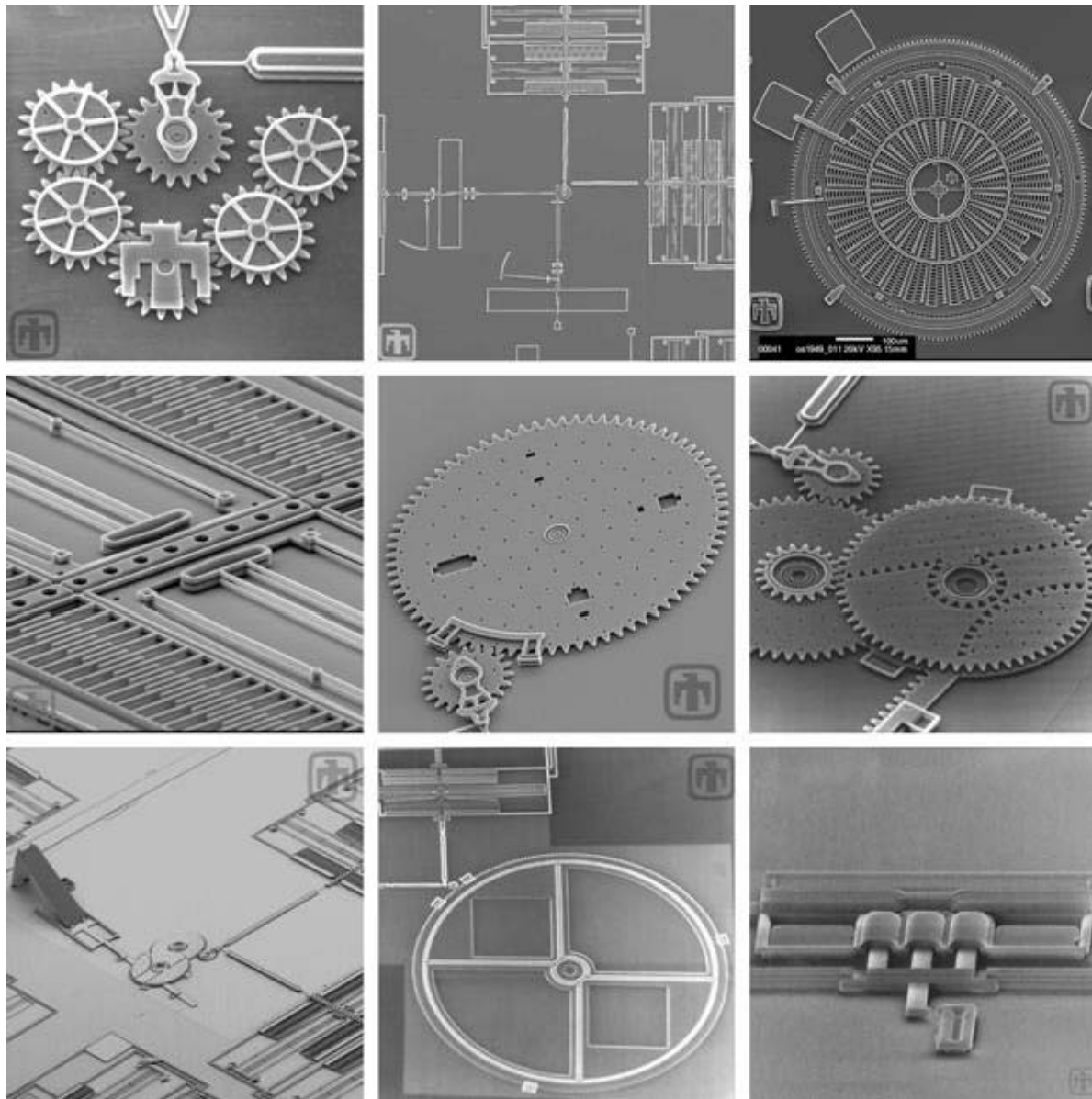


- малая плотность
- высокая пористость
- эффект «лотоса»

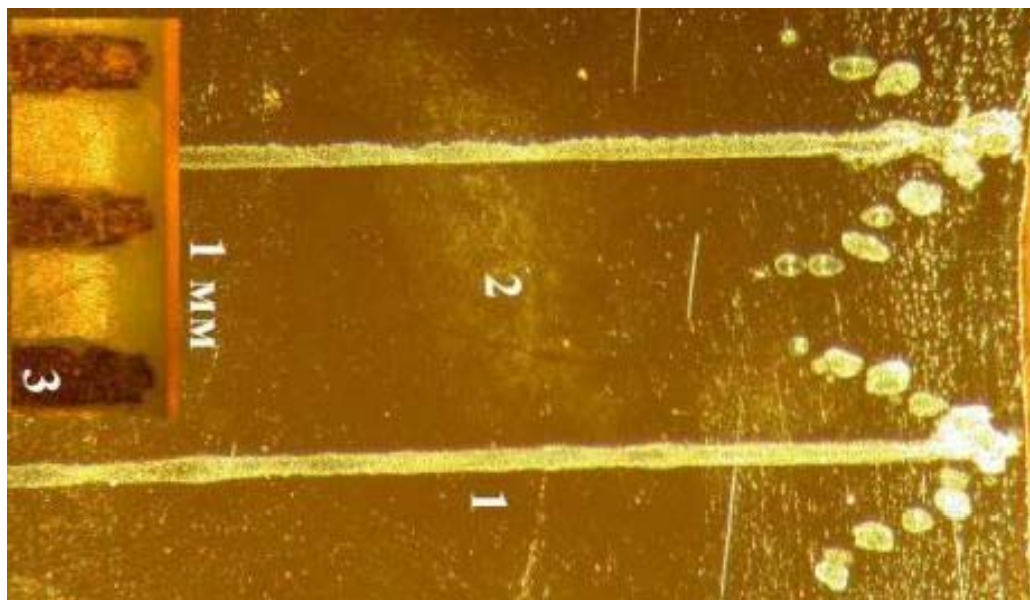
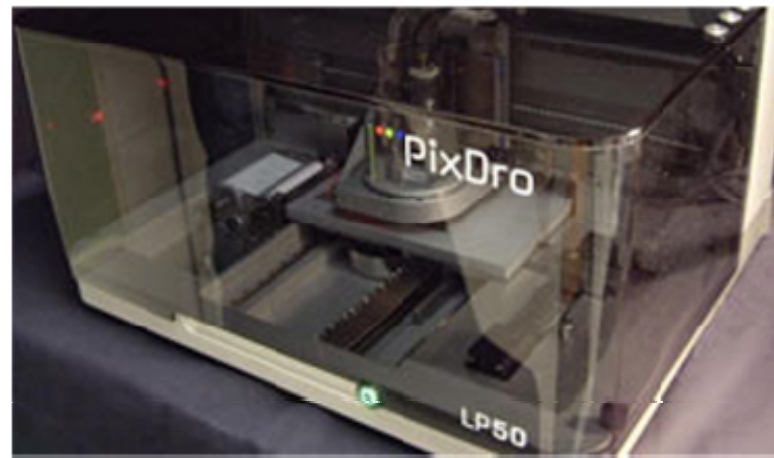
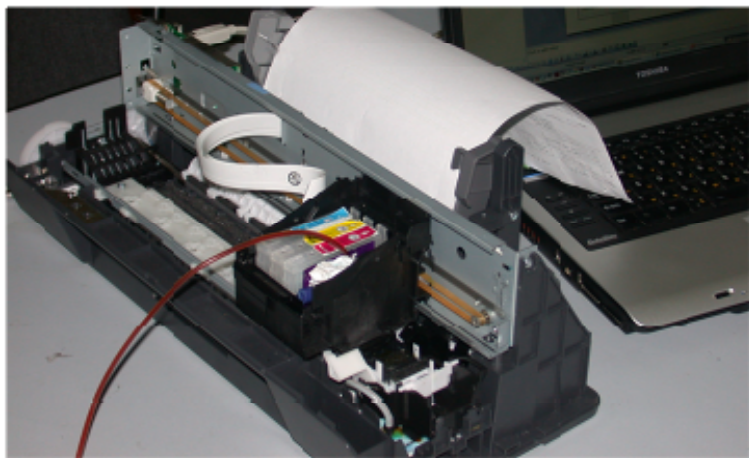




# Микрозажимы, микроманипуляторы



# Микрочечать



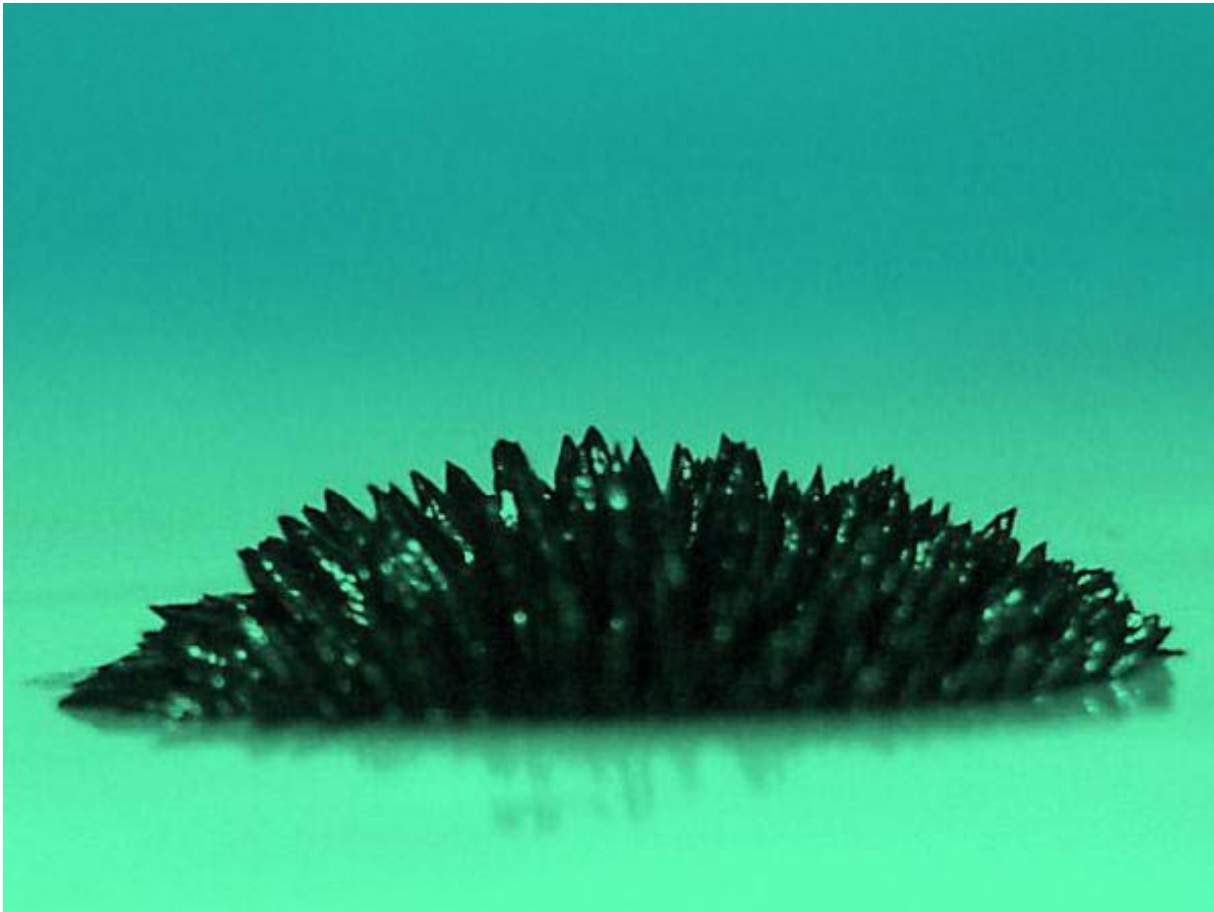


# Что ожидает молодежь?





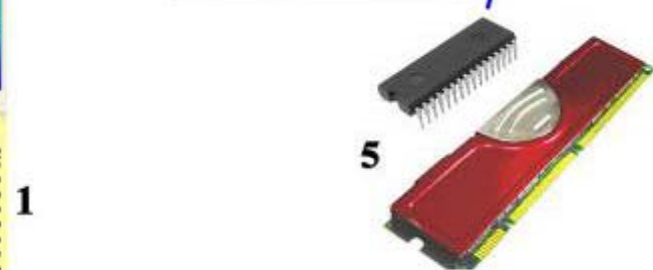
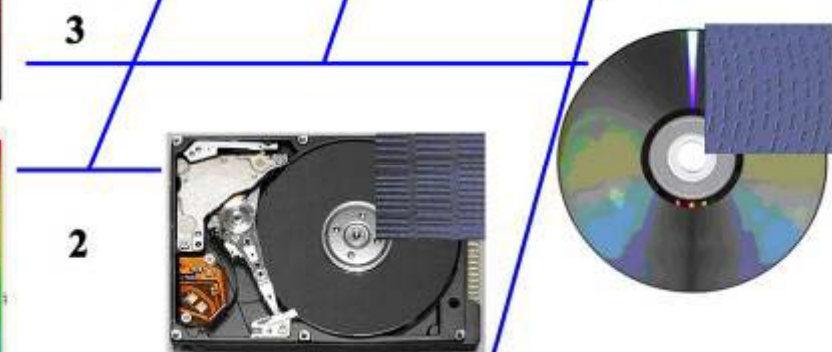
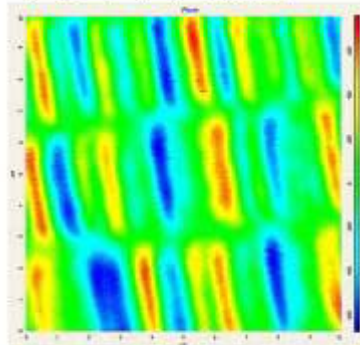
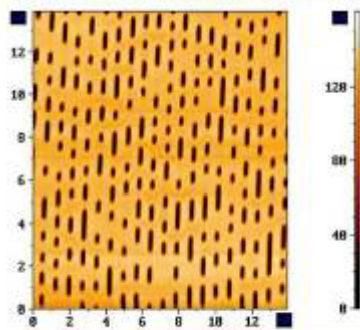
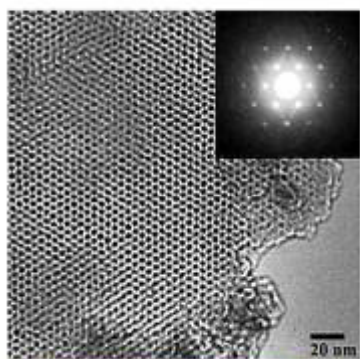
# «Умные» жидкости



**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

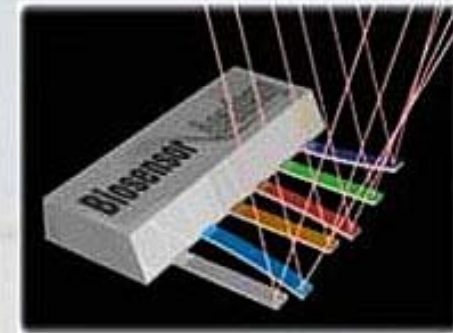
**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

## 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



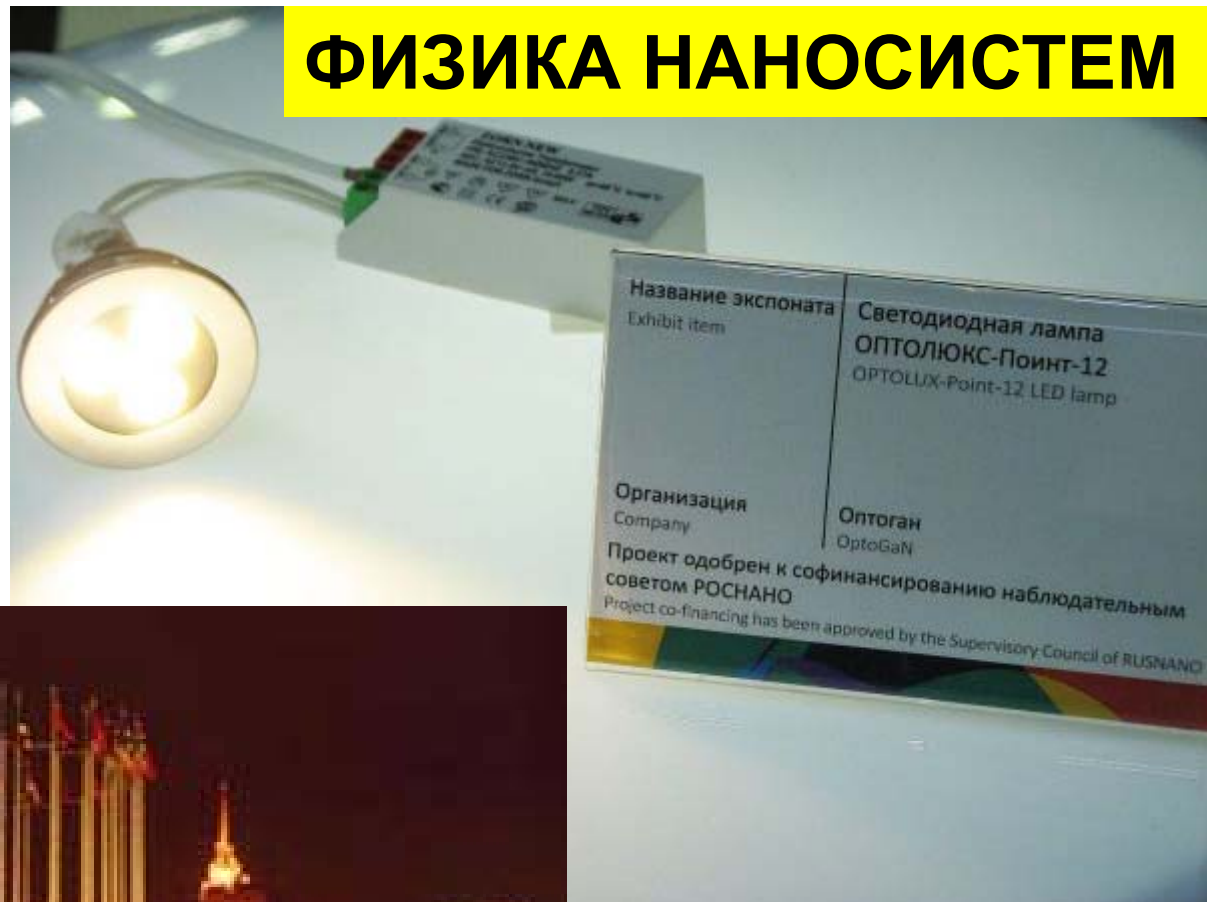
**НАНОИНЖЕНЕРИЯ**

Бауманский ГТУ

# Светодиоды

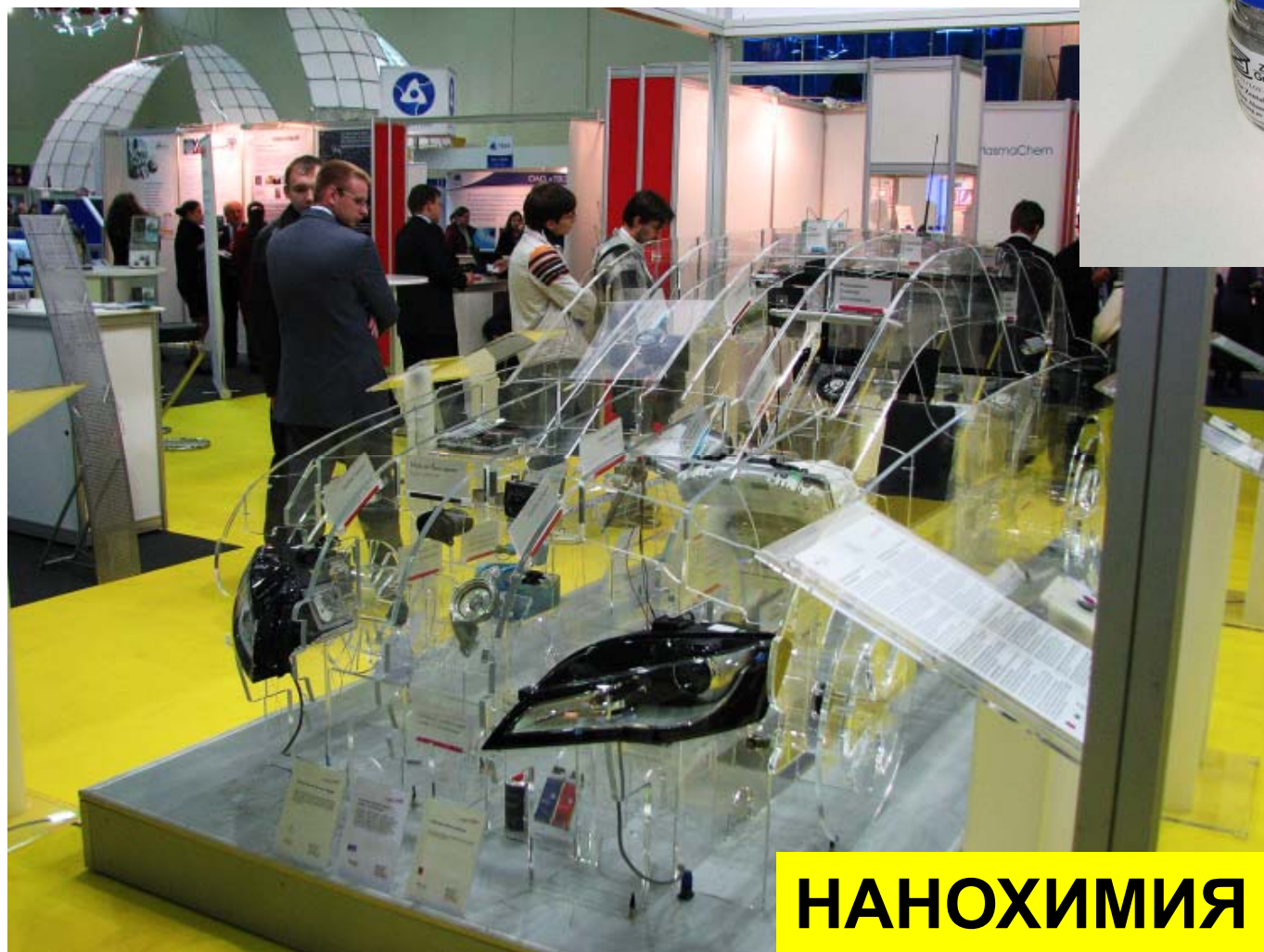
- миниатюрность
- значительное время эксплуатации (10000 ч.)
- малое потребление энергии
- высокий квантовый выход
- не требуют водяного охлаждения
- излучение в любой области (видимого) спектра

## ФИЗИКА НАНОСИСТЕМ



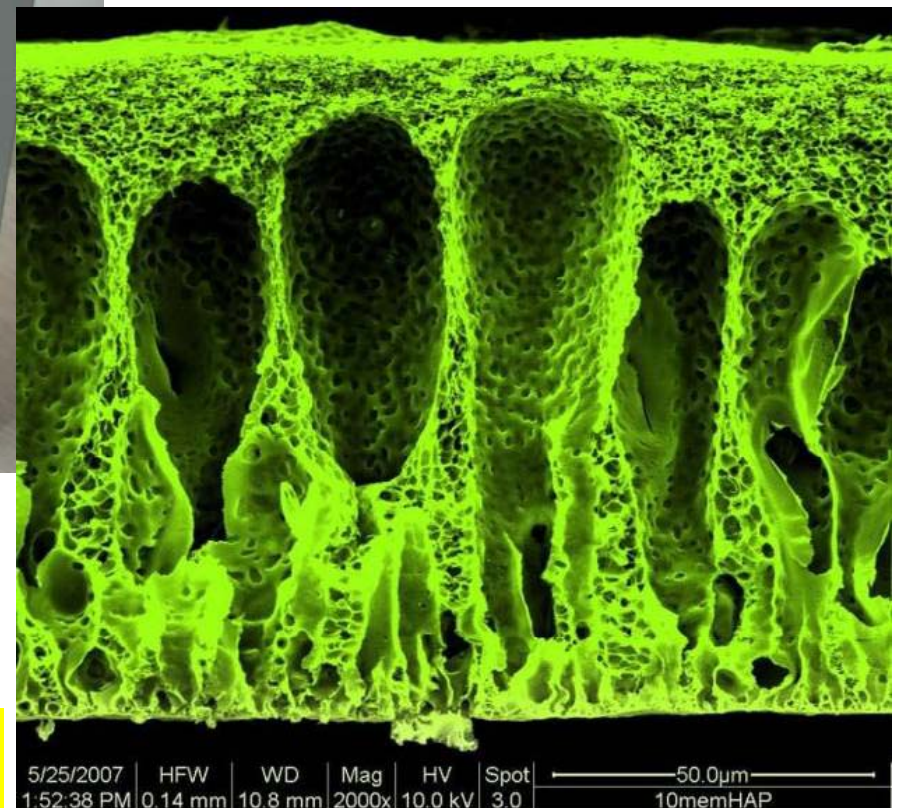
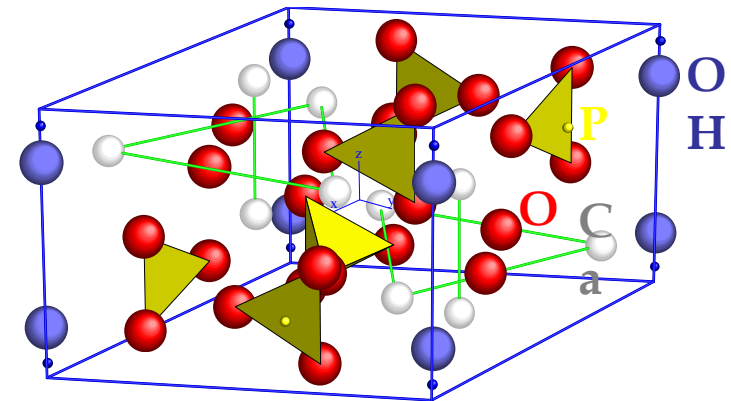
*Фонтан, Москва  
(площадь Киевского  
вокзала) - 2000 гг.*

# Транспорт («стеклянный автомобиль»)



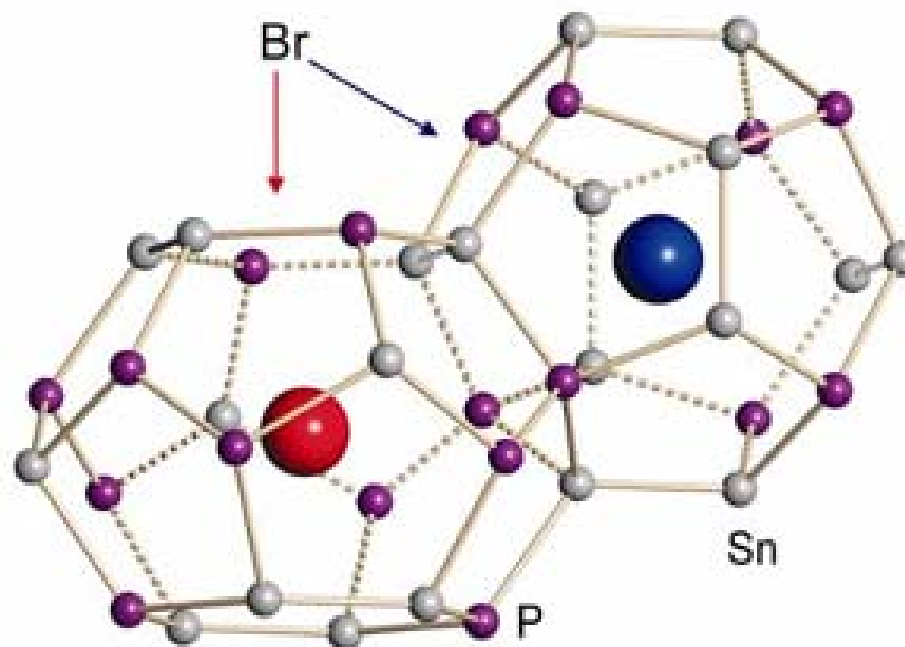
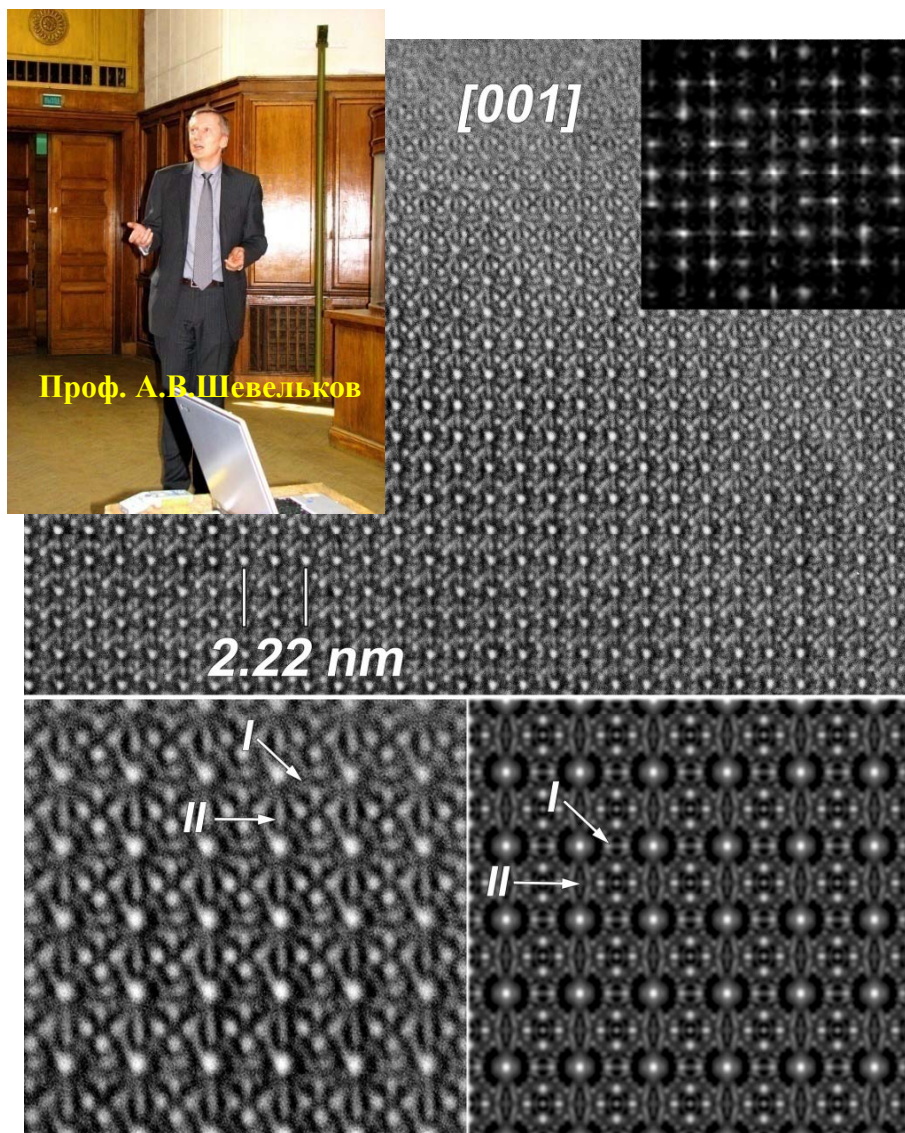


# Биоматериалы



**МЕХАНИКА НАНОСИСТЕМ**

# Термоэлектрические материалы



Холодильники без фреона о компрессора – бесшумные и безопасные



# Наноматериалы для истребителя пятого поколения (ВИАМ)



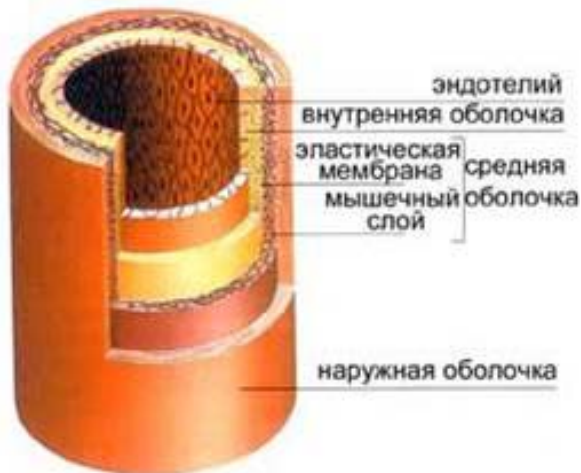
**ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**



# «Нанобио»

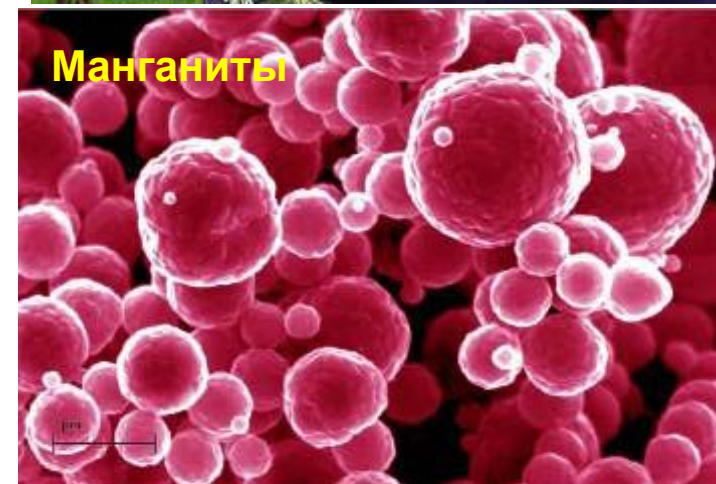
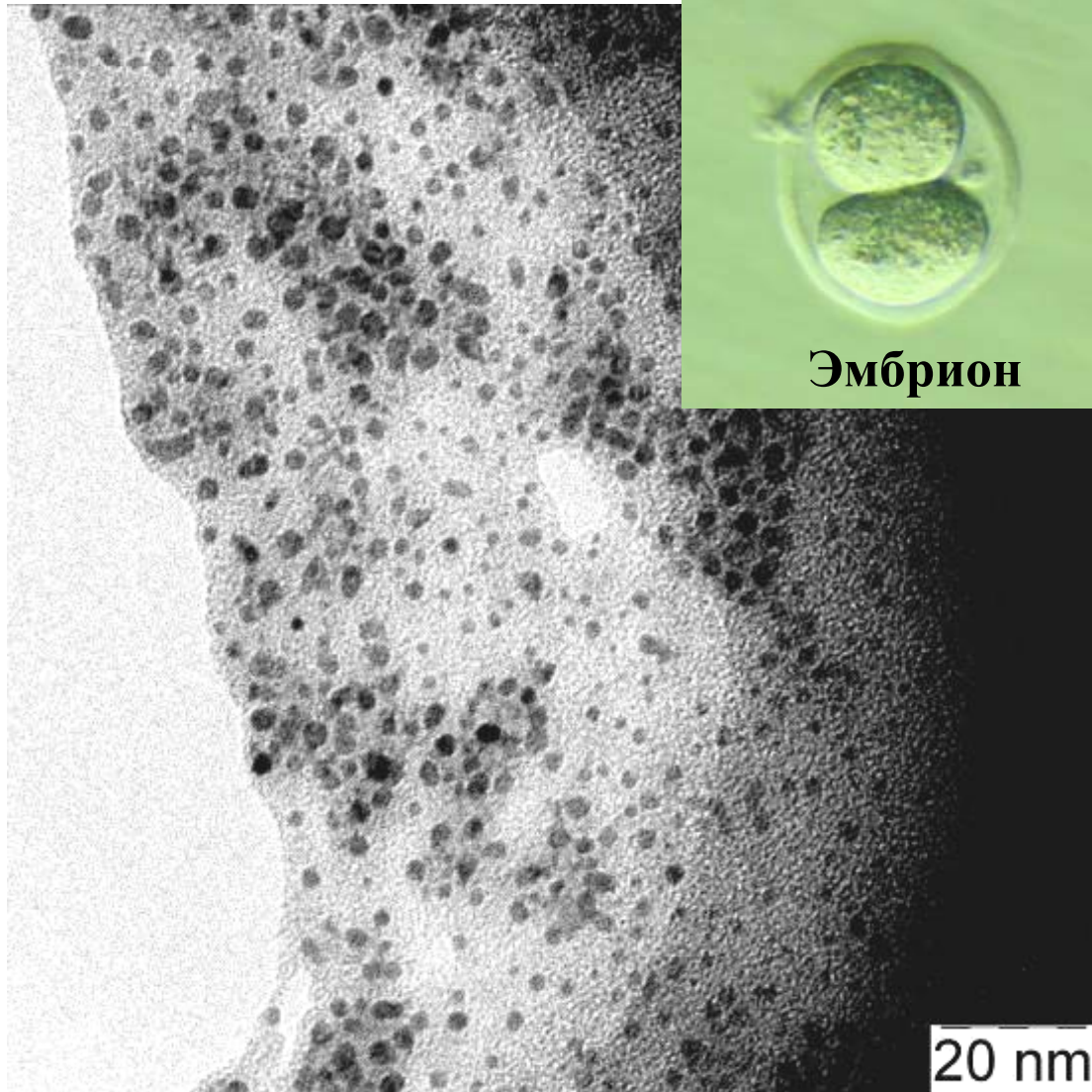


- Малый размер
  - ⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки
- Развитая поверхность
  - ⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в
  - ⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными
  - ⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности
- Необычные для свойства – магнитные и оптические



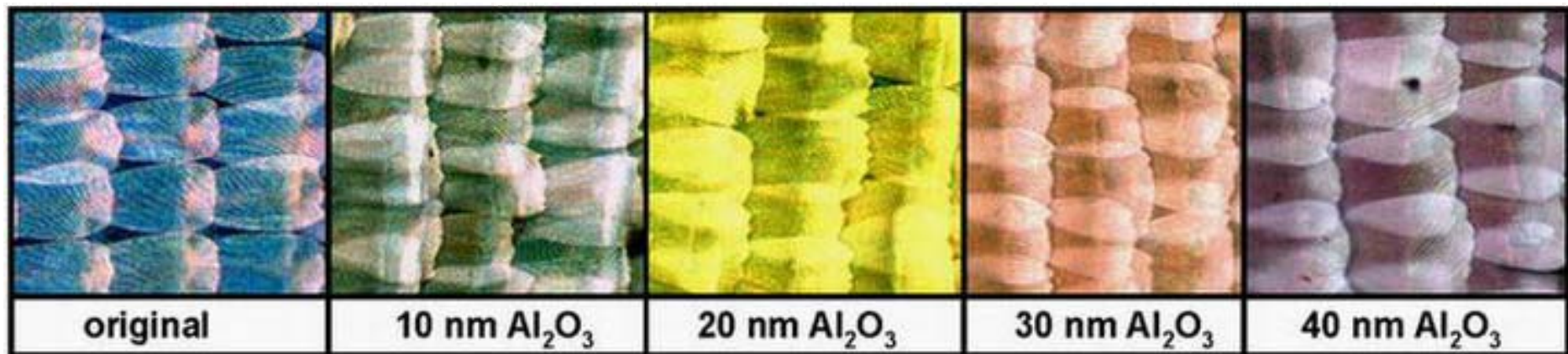
**Создание новых биосовместимых наноматериалов с нетоксичной защитной оболочкой для медицинской диагностики, программируемой доставки лекарств и лечения онкологических заболеваний.**

**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)**



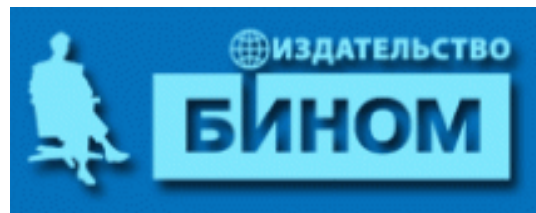
# Контакты

- Гудилин Евгений Алексеевич  
чл.-корр. РАН, профессор хим. ф-та МГУ  
[goodilin@inorg.chem.msu.ru](mailto: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