

# ЧТО ТАКОЕ «НАНО»?

Е.А.Гудилин

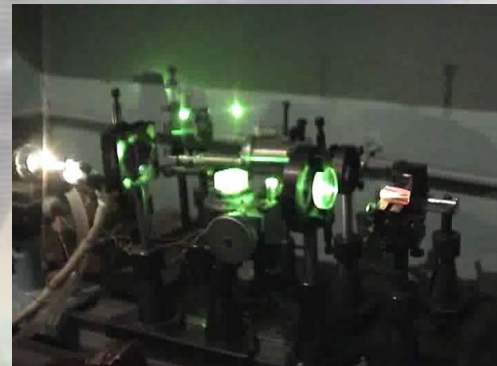
ФНМ, химический факультет,  
НОЦ по нанотехнологиям МГУ

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

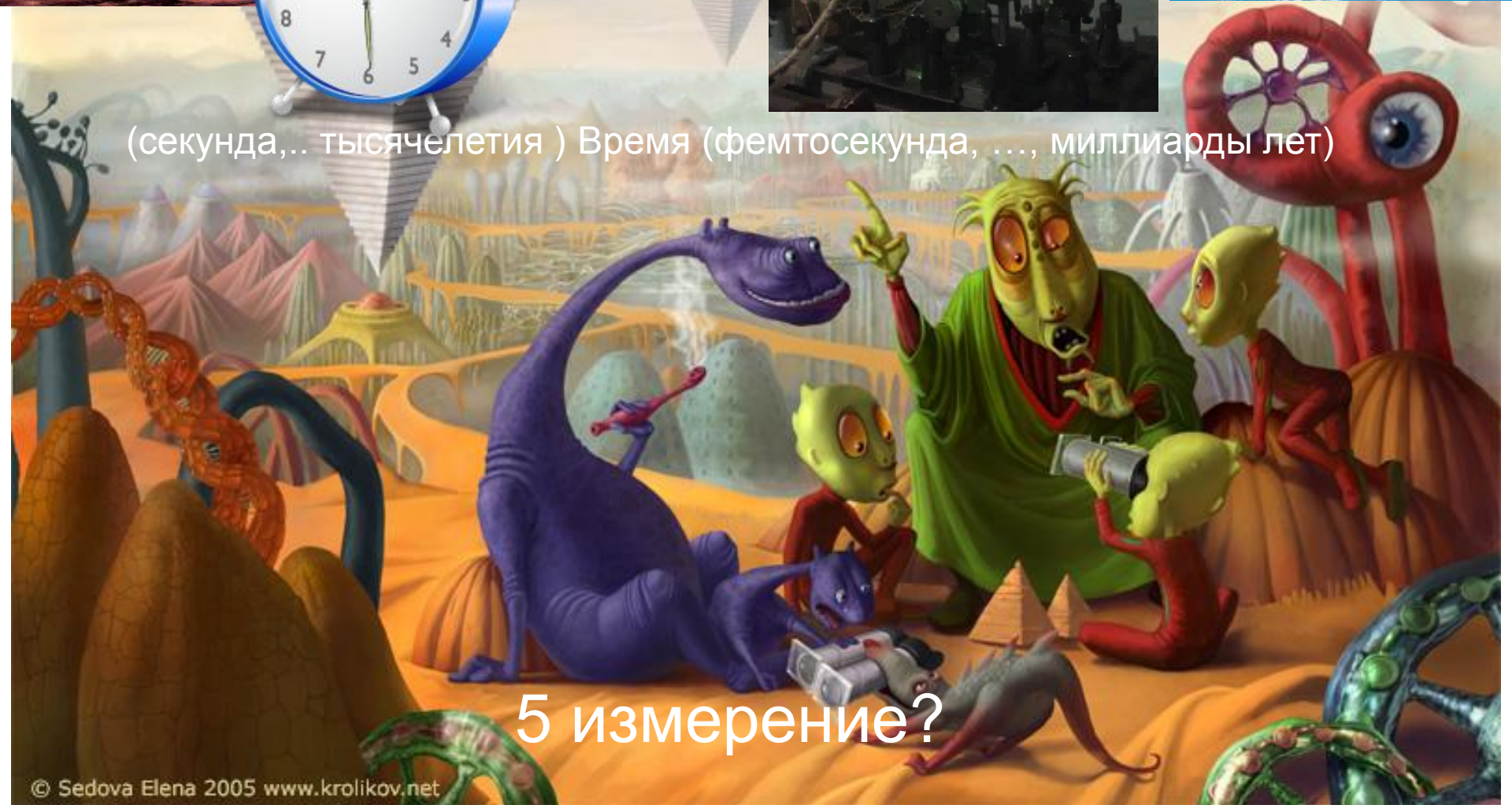
[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)



(x, y) Пространство (z)



(секунда, ... тысячелетия) Время (фемтосекунда, ..., миллиарды лет)



5 измерение?

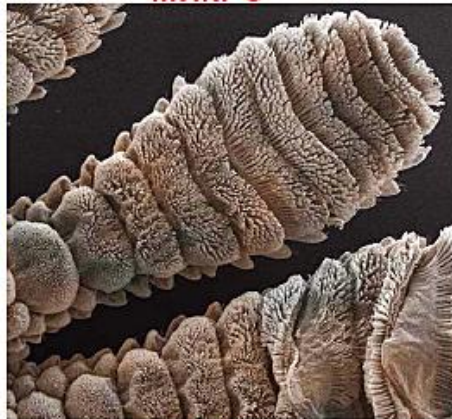
**МАКРО**



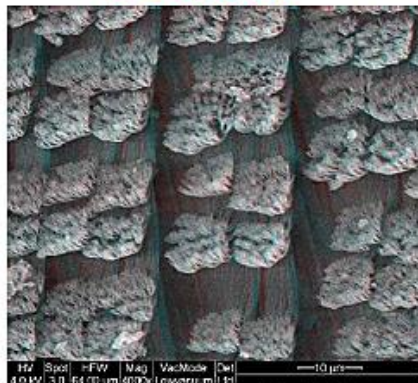
**МЕЗО**



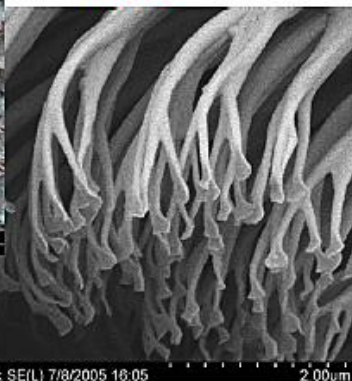
**МИКРО**



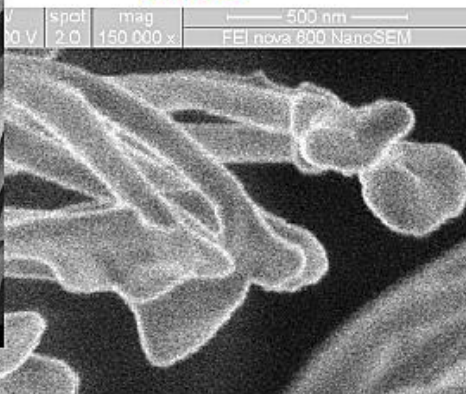
**СУБ-МИКРО**



**НАНО**



**НАНО**



# «Пятое измерение»

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев  
1834–1907

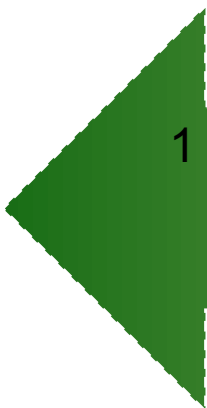
Символ элемента: **Rb**  
Порядковый номер: **37**  
Название элемента: **Рубидий**  
Относительная атомная масса: **85,468**

Распределение электронов по слоям:  
 s-элементы (розовый)  
 p-элементы (желтый)  
 d-элементы (синий)  
 f-элементы (зеленый)

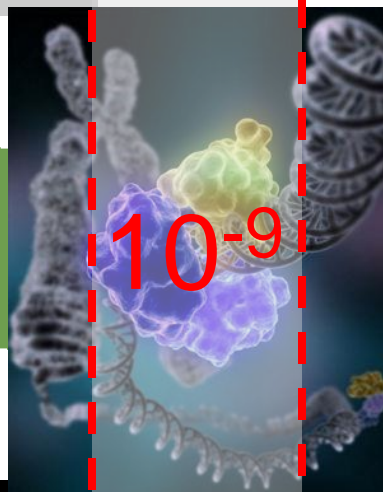
ЛАНТАНОИДЫ

АКТИНОИДЫ

ОКСИДЫ:  
 Высшие: R<sub>2</sub>O, RO, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, RO<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, RO<sub>3</sub>, R<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, RO<sub>4</sub>  
 Низшие: RH<sub>4</sub>, RH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>R, HR

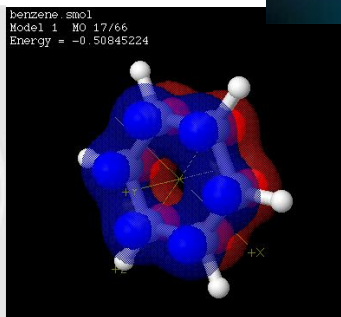
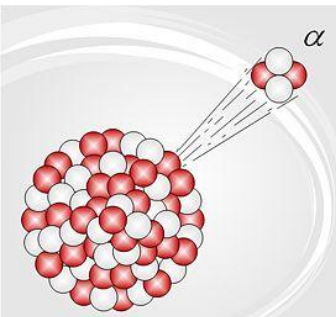


1 Ангстрем  
10<sup>-10</sup>м

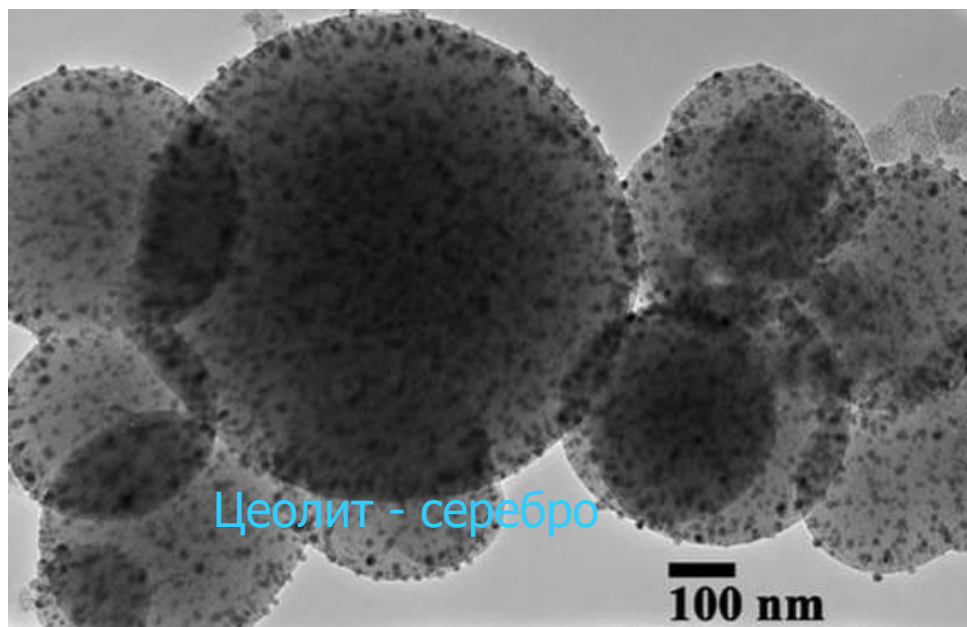
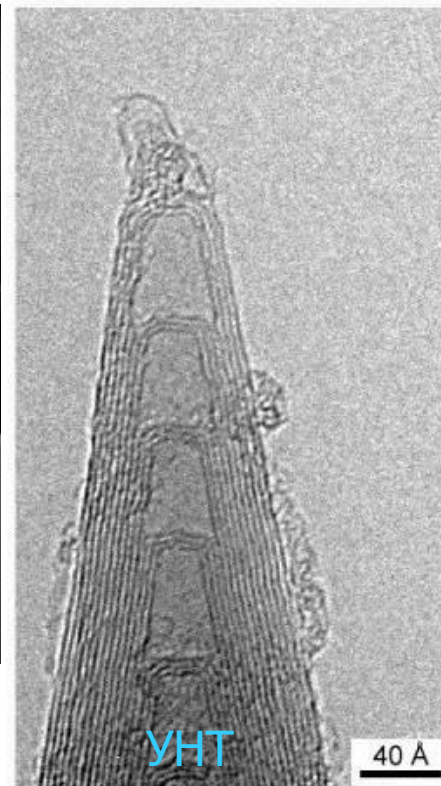


1 мкм  
10<sup>-6</sup>м

1 мм  
10<sup>-3</sup>м



# Просвечивающая ЭМ

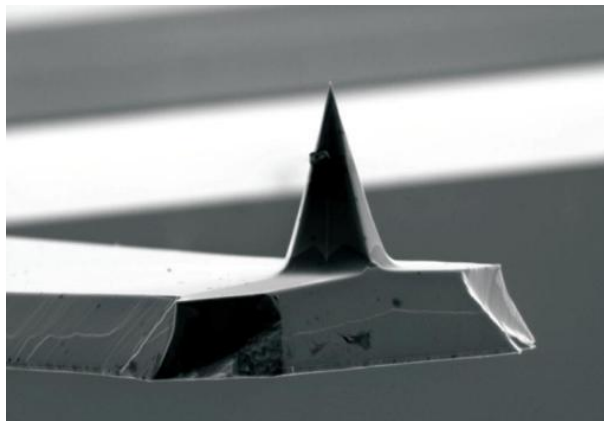
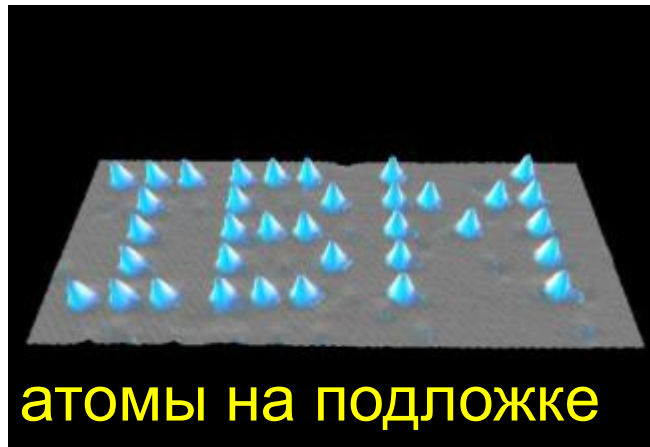


# СТМ



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

Gerd Binnig    Heinrich Rohrer

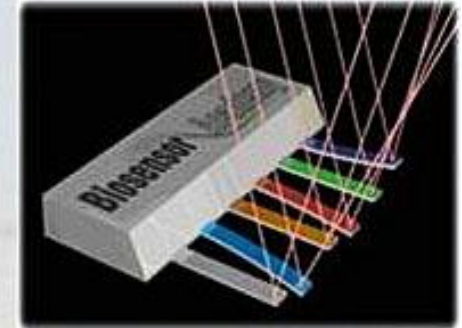


Mag = 5.00 K.X    10µm    EHT = 5.00 kV    Signal A = SE2    MSU HSMS  
WD = 15 mm    Photo No. = 9862    Date : 5 Jul 2005

## 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



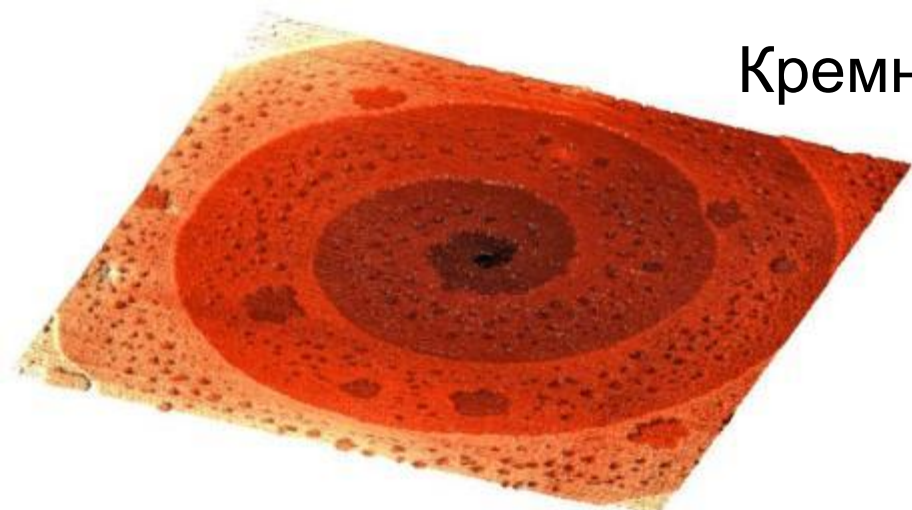
### Применение:

- Сверхточное взвешивание частиц в среде (точность  $10^{-13}$  г)
- Изучение свойств монослойных пленок
- Сверхчувствительный анализатор веществ в среде (в биологии, медицине, криминалистике)

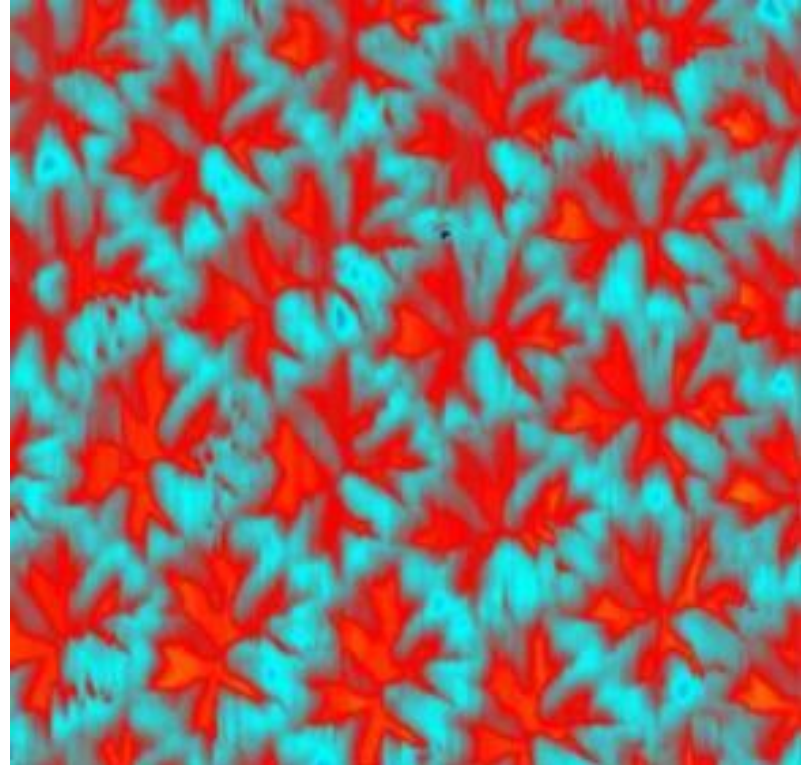
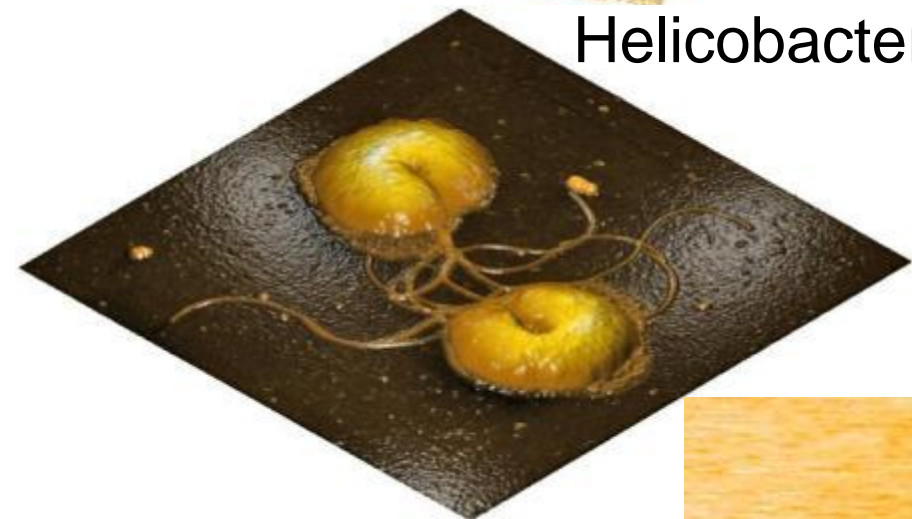
## НАНОБИОТЕХ



Кремний

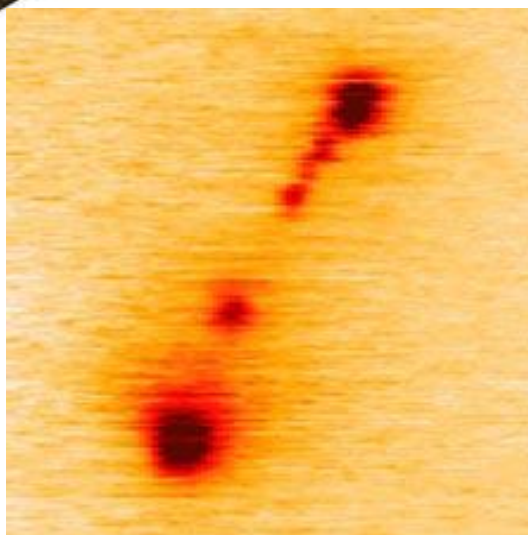


*Helicobacter pylori*



Магнитная пленка

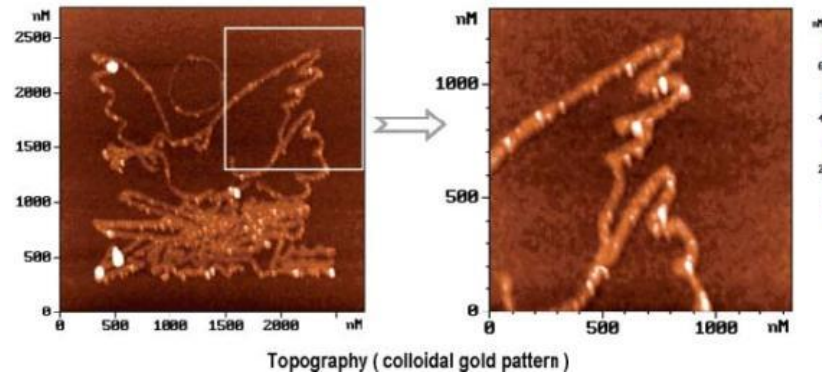
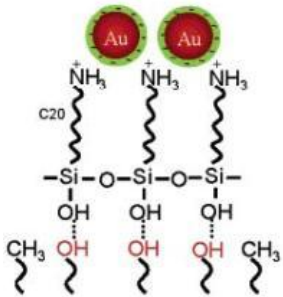
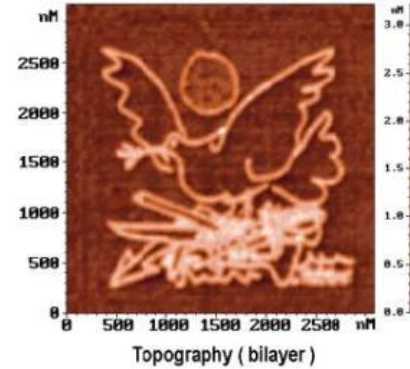
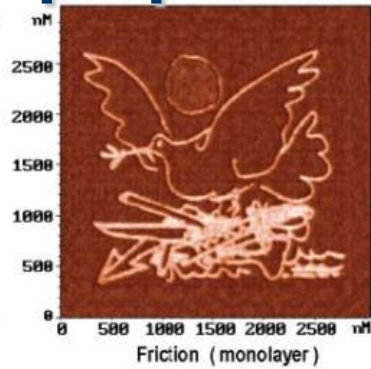
Проводимость  
ОУНТ





# Нанолитография

World Without Weapons  
P. Picasso, 1962



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

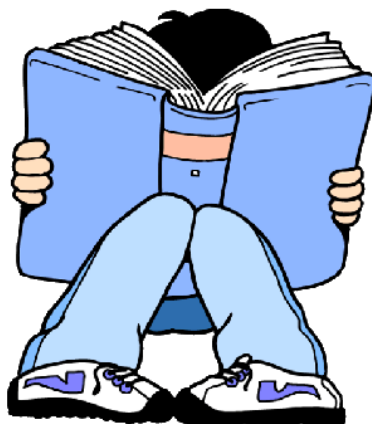
# Три наностратегии



Физик: измерить и смоделировать



Химик: увидеть и понять



Биолог: найти в справочнике

# Что такое НАНО?

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



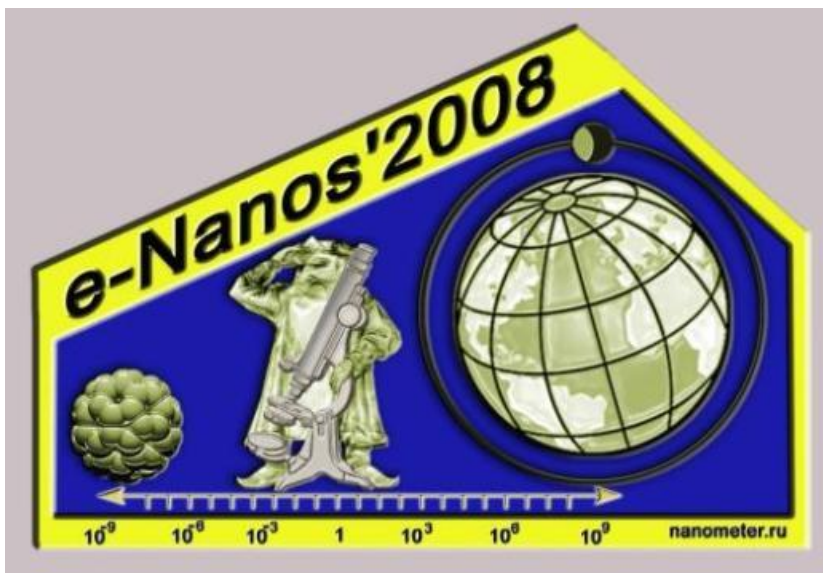
# Насколько мал нанометр?



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 Землей? (Ответ: отношение размера гнома к размеру молекулы фуллерена примерно равно отношению размера Луны к размеру гнома)



# Мыльные пузыри



0.01 мл = 3.6 м

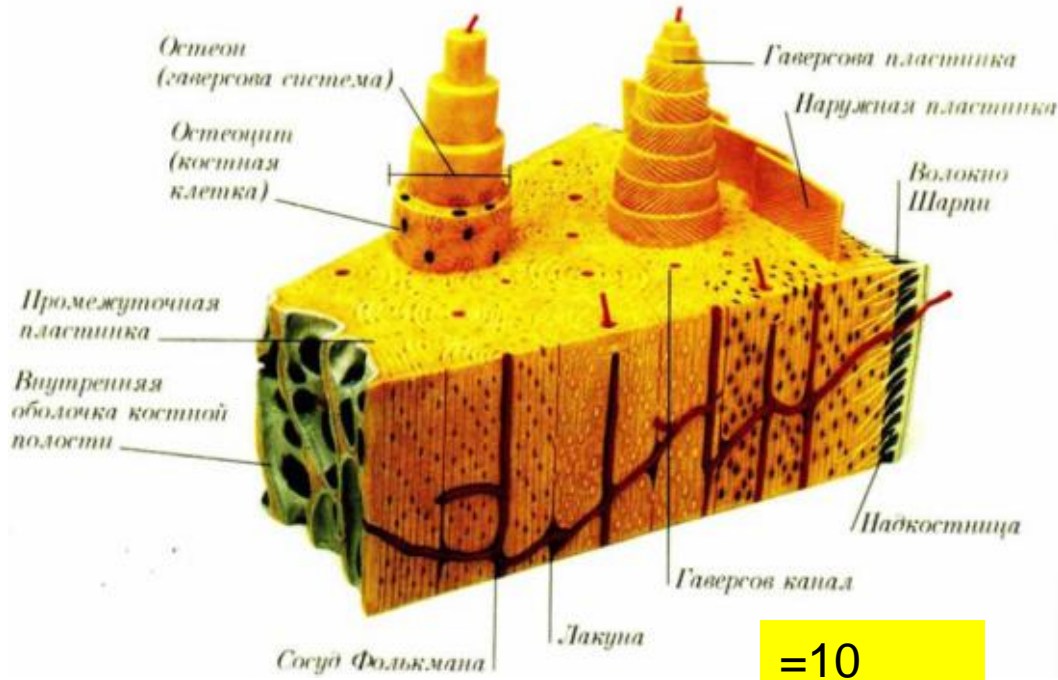
(при стенке  
молекулярной  
толщины из 1  
капли раствора  
получается  
пузырь диаметром  
3.6 м.)

# Флэшка

64 Гб = 25 нм



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



=10



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



# Космический лифт и нанороботы (давайте разберемся!)

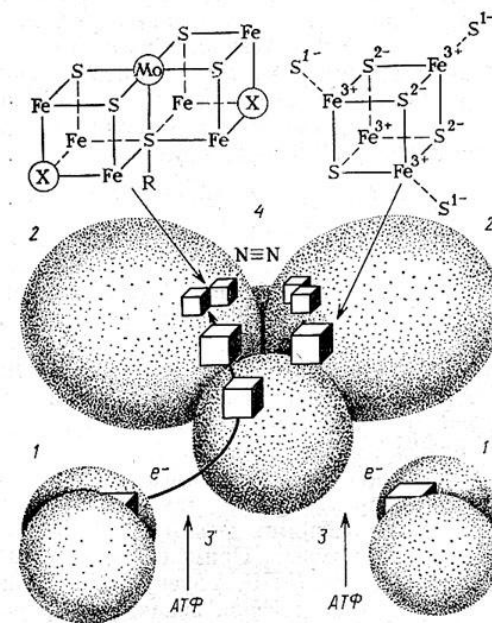
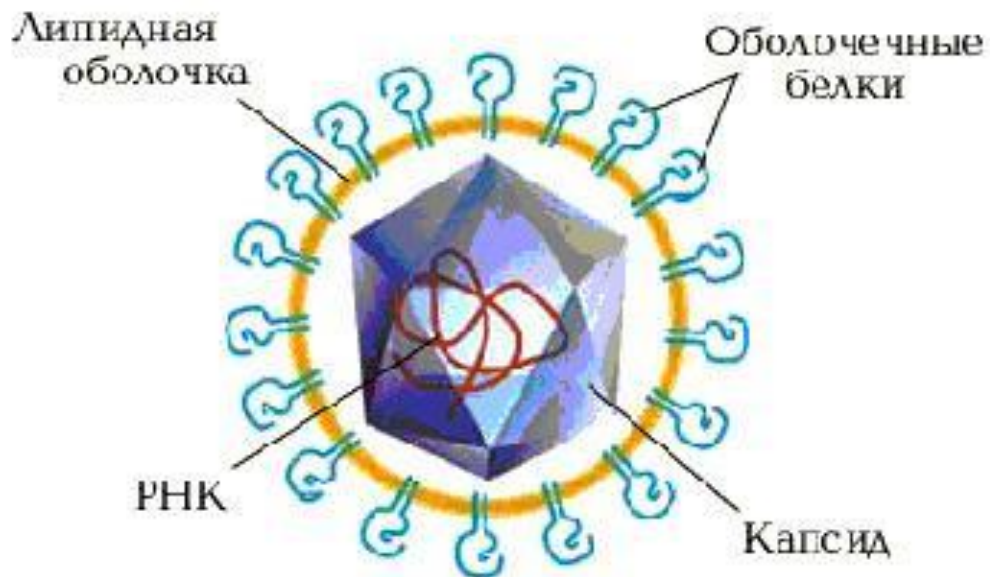


Для того, чтобы сделать трос для «космического лифта» планируется использовать одностенные углеродные нанотрубки, которые являются легким и чрезвычайно прочным материалом. Представьте, что один наноробот массой 0.01 миллиграмма сшивает две одинаковые одностенные углеродные нанотрубки длиной 1 микрон 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?

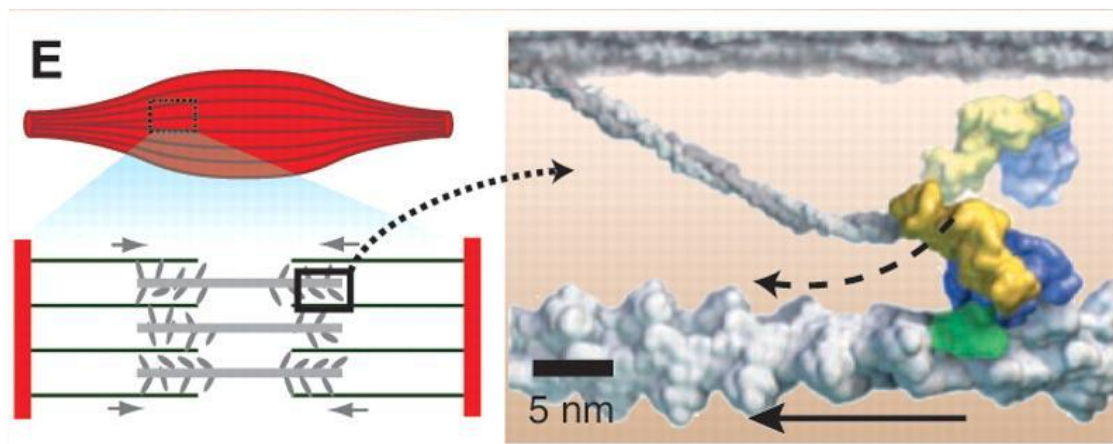
Ответ: диаметр троса 1 см,  
10 триллионов тонн нанороботов,  
40 триллионов лет

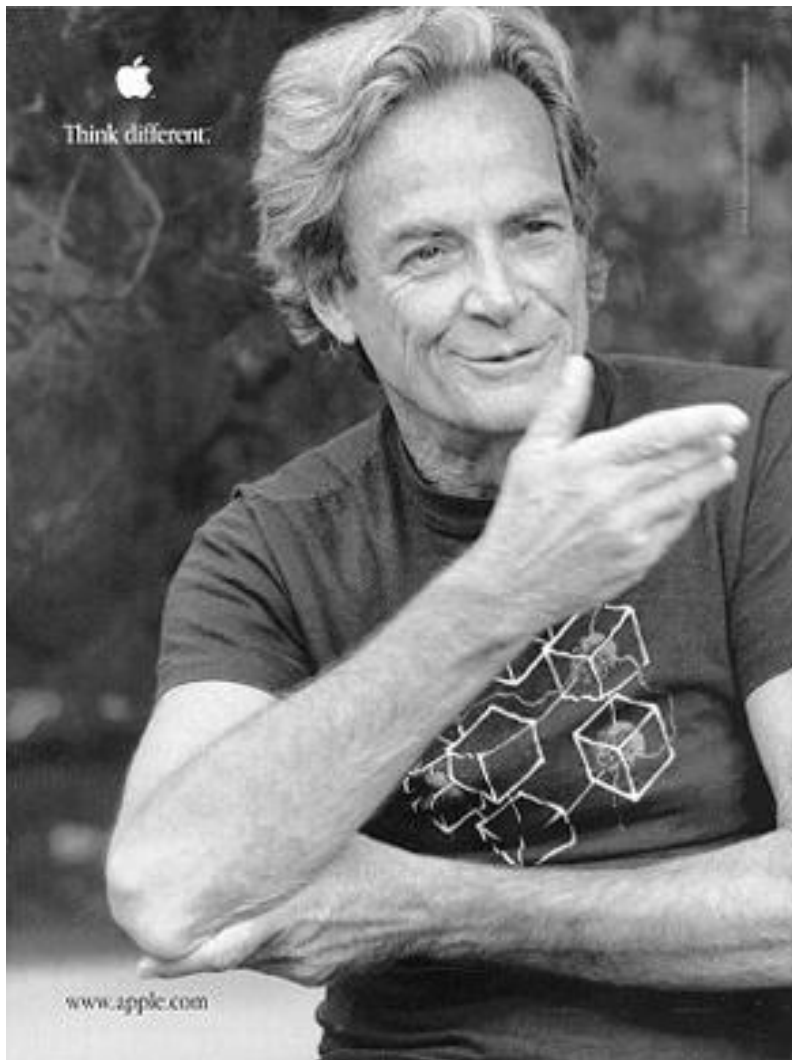


# Молекулярные машины



Модель фермента нитрогеназы:  
 1 — Fe-белок; 2 — MoFe-белок; 3 — АТФазный центр; 4 — субстрат-связывающий центр. Вверху — предполагаемая структура Fe<sub>4</sub>S<sub>4</sub>-кластеров и MoFe-кофактора.





(Richard Feynman)

**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»**).

Термин «нанотехнология»: Норио Танигучи, 1974 г.

Книга «Машины созидания: наступление нанотехнологической эпохи» (нанороботы, «серая слизь» Grey Goo): Э.Дрекслер, 1986 г.

Нобелевская премия за созданный в 1981 г. первый туннельный микроскоп: Г.Биннинг, Х.Роеер (лаборатории IBM, Цюрих), 1986 г.

Углеродные нанотрубки: С.Ииджима (Nature), 1991 г.

Нобелевская премия по химии (фуллерены): Р. Смолли, Р. Керл, Х.Крото, 1996 г.

*... Все это - существенно рафинированная краткая история нанотехнологий, пришедшая к нам с Запада.*

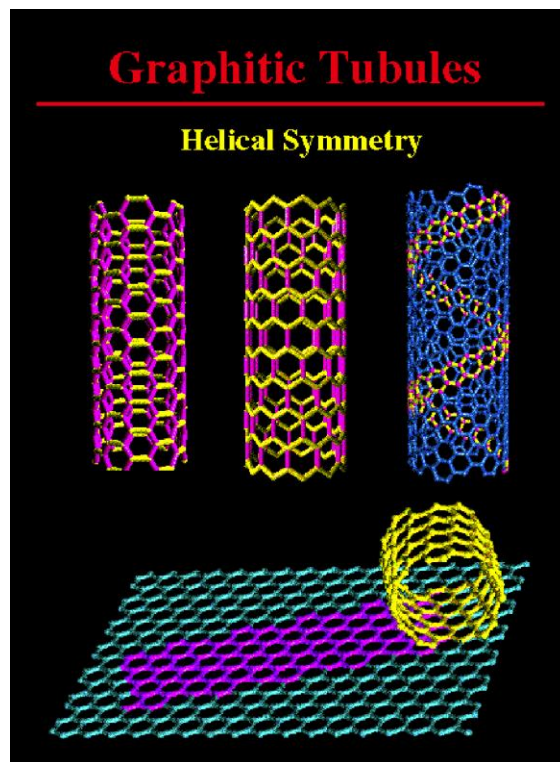
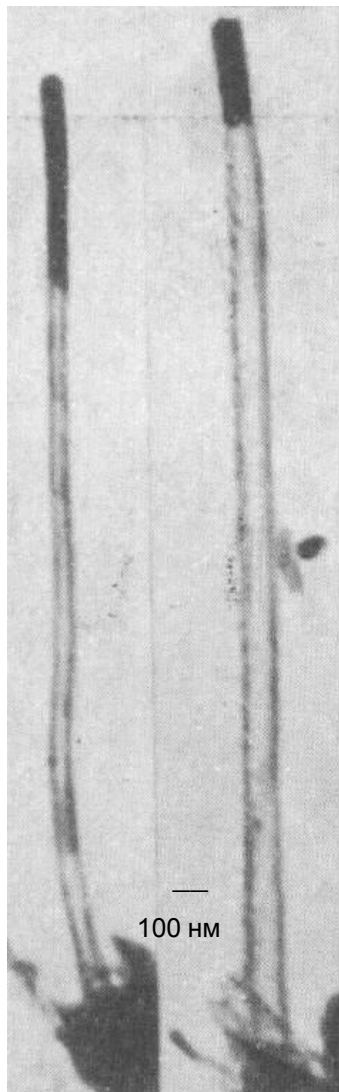
Первоначально возможность существования структуры, состоящей из 60 углеродных атомов (C<sub>60</sub>-фуллерена), была обоснована теоретически в СССР (Д.А. Бочвар, Е.Н.Гальперин, 1978 г.). В 1952 г. сотрудниками ИФХЭ РАН Л.В.Радушкевичем и В.М. Лукьяновичем была опубликована статья «О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте» (Журнал физической химии. 1952. Т.26, № 1. С. 88-95).

Таким образом, фуллерены были открыты на кончике пера примерно **за 20 лет**, а углеродные нанотрубки – символ нанотехнологий – были получены примерно **за 40 лет** до своего официального рождения (в России).

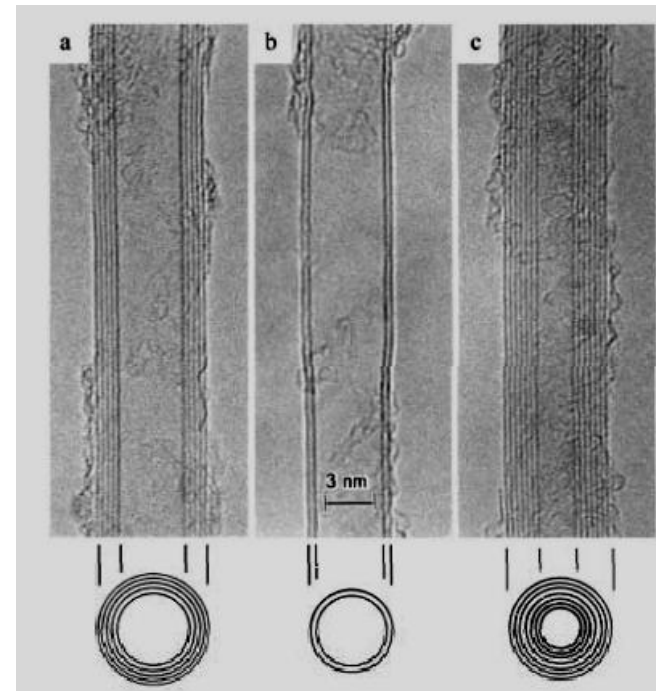
# Первые нанотрубки



Л.В.Радужкевич, 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)).



# Академик В.А.Каргин



...сыграл огромную роль в становлении  
науки о полимерах

# Академик П.А.Ребиндер



...физико-химия дисперсных систем и  
поверхностных явлений

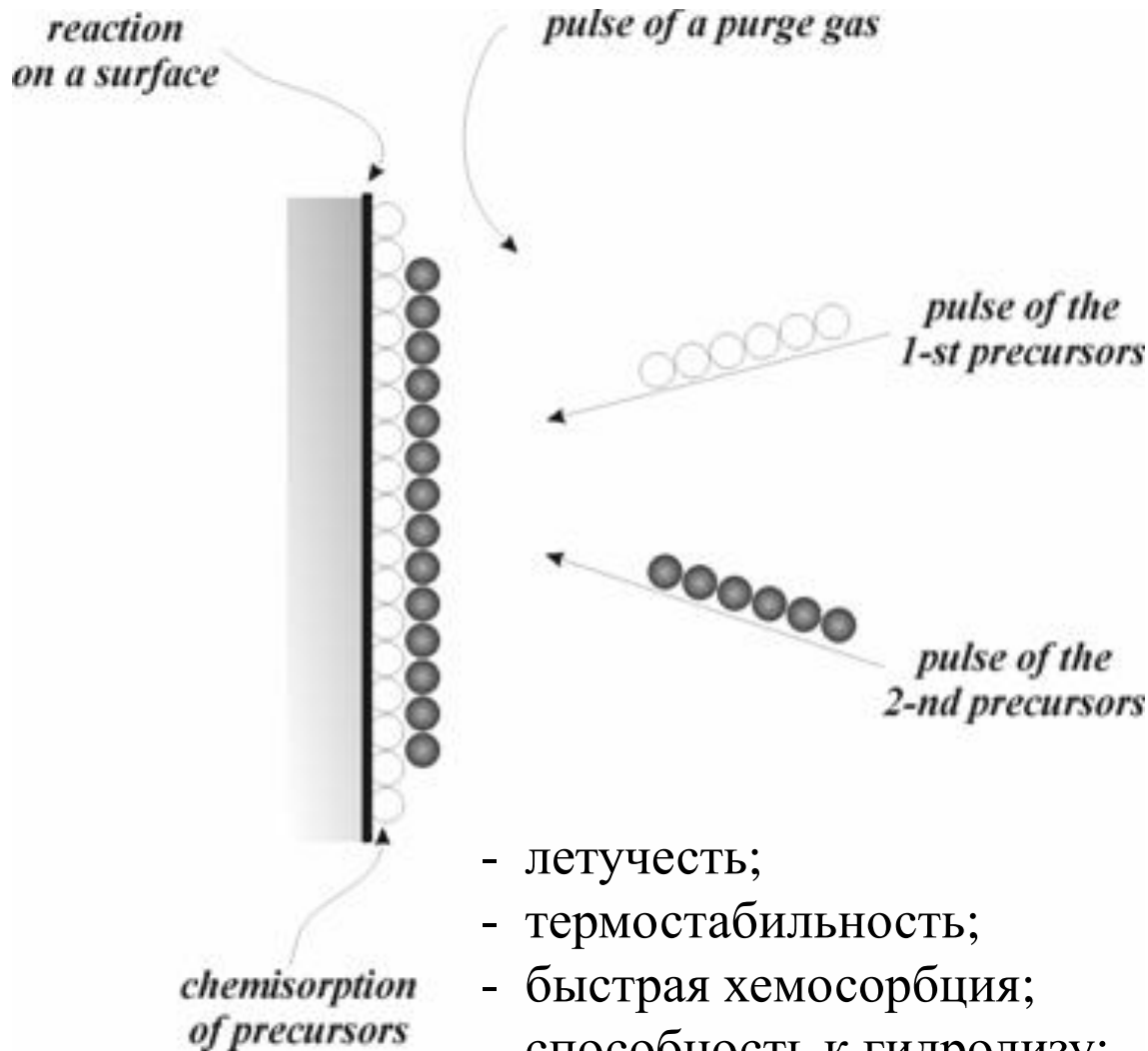
# Академик И.В.Тананаев



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



# Послойная сборка



Член-корреспондент РАН  
В.Б.Алесковский

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

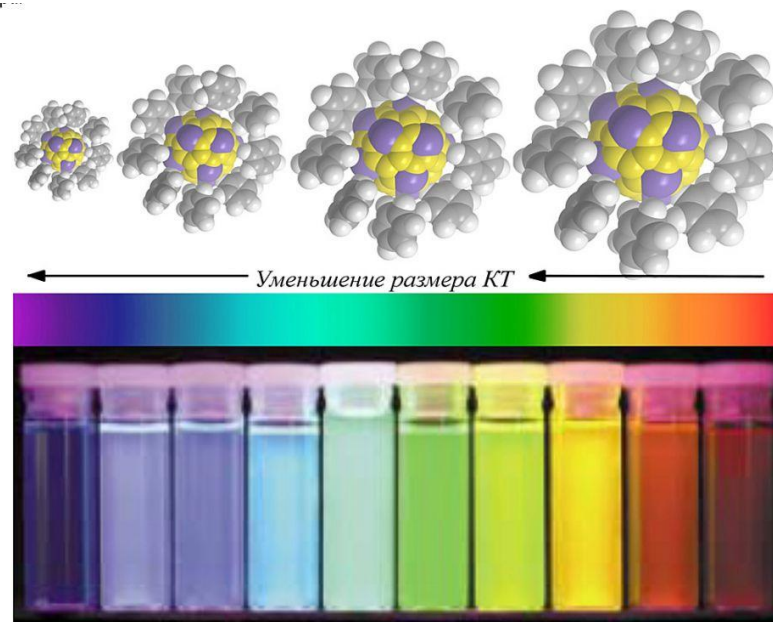
# И.Д.Морохов



...атомный проект СССР, ультрадисперсные  
металлические сплавы

# Академик Ж.И.Алферов

«ИСКУССТВЕННЫЙ АТОМ»

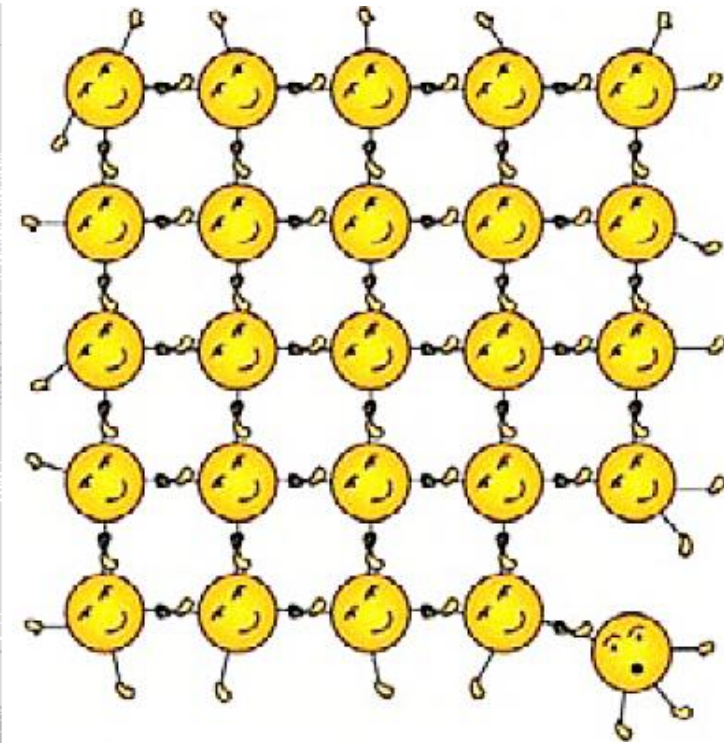
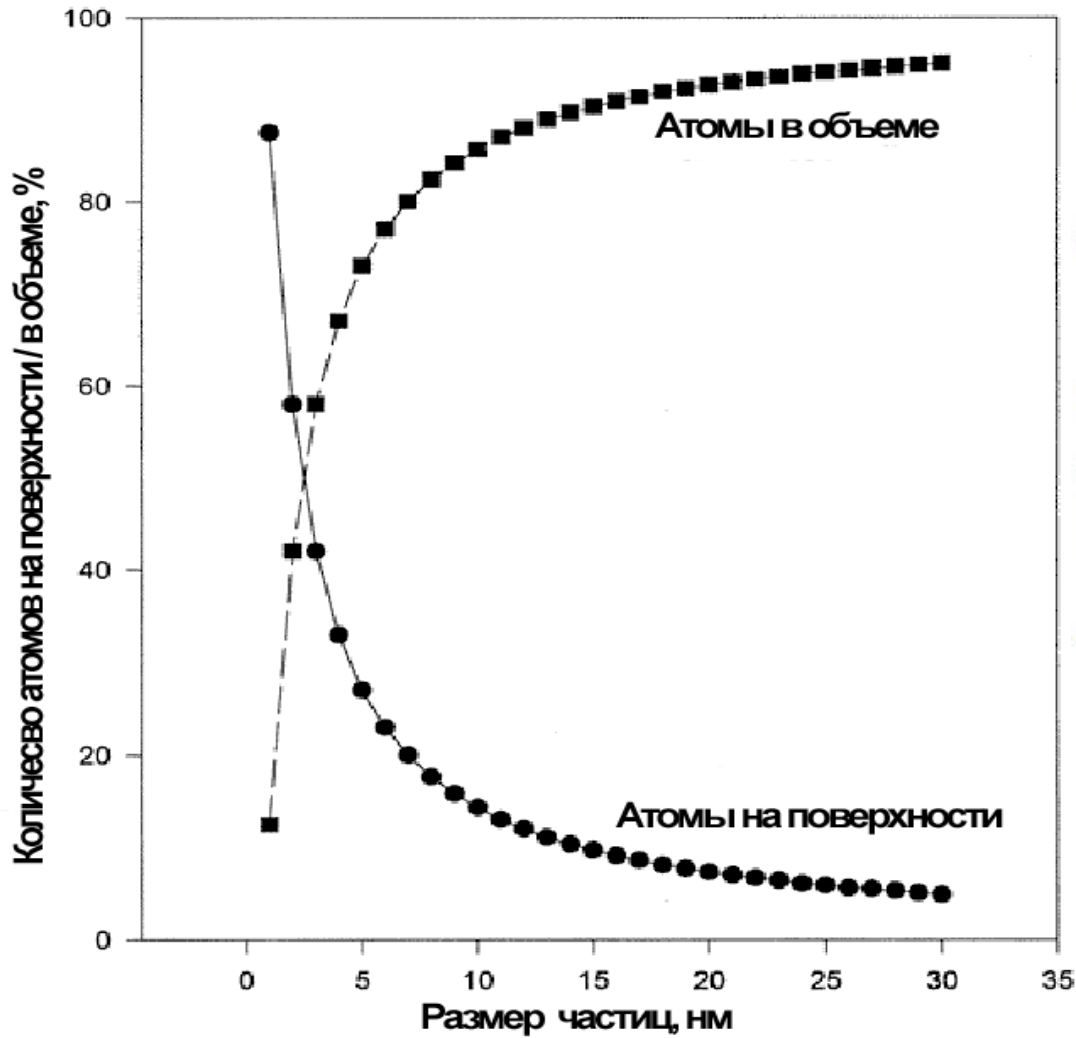


Изменение цвета (полосы испускания) коллоидного раствора частиц CdSe в оболочке ZnSe в зависимости от размера квантовых точек.

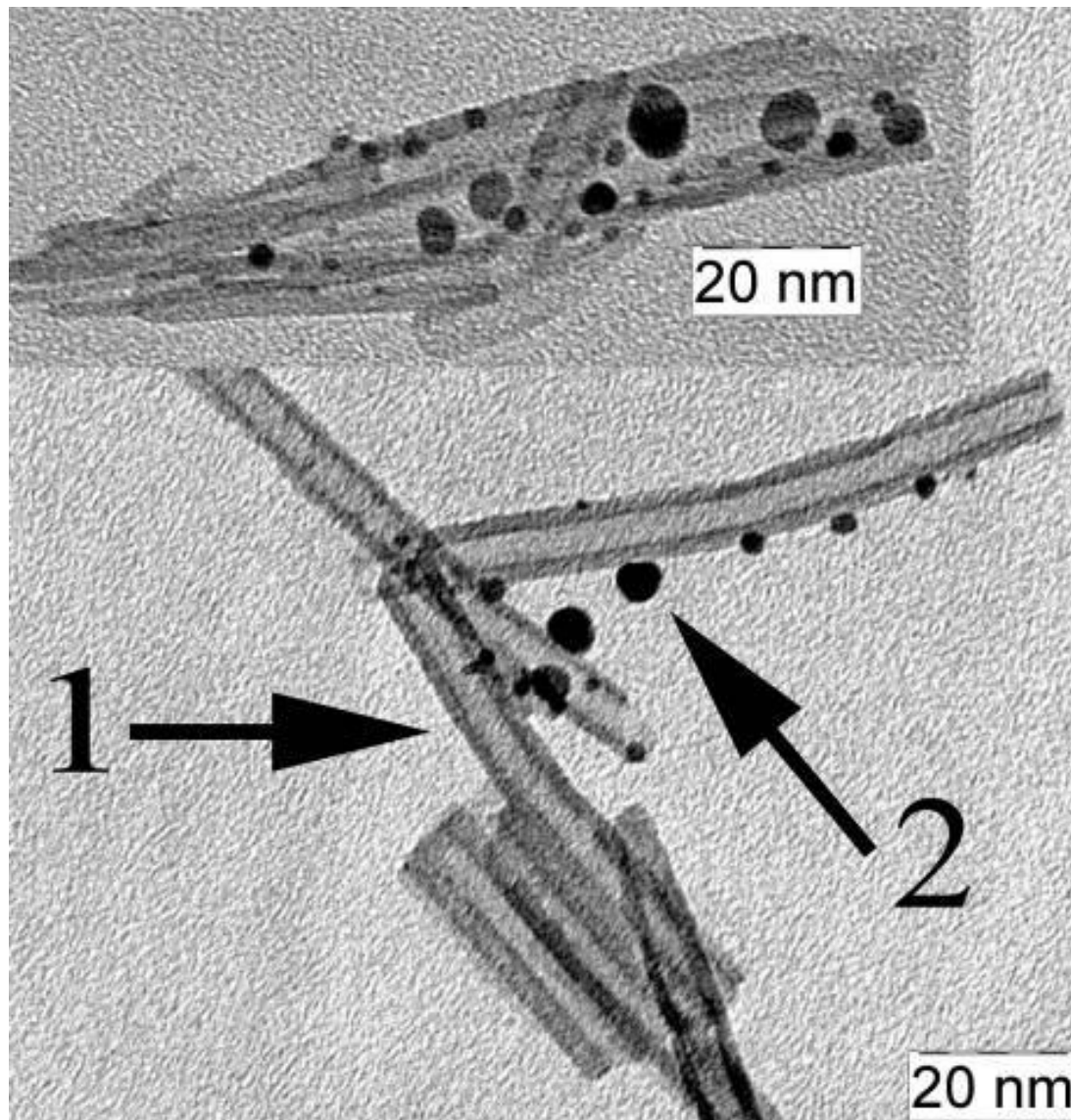
## Возможные причины «нанобума»

- 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. (новыми по сравнению с объемным телом) свойствами:
  - Высокая реакционная способность
  - Квантовые и туннельные эффекты
  - Слабые дальнедействующие связи, самоорганизация
  - Специфическое взаимодействие с живыми системами, биомиметика
- Открыт путь к миниатюризации технических устройств и огромной экономии ресурсов

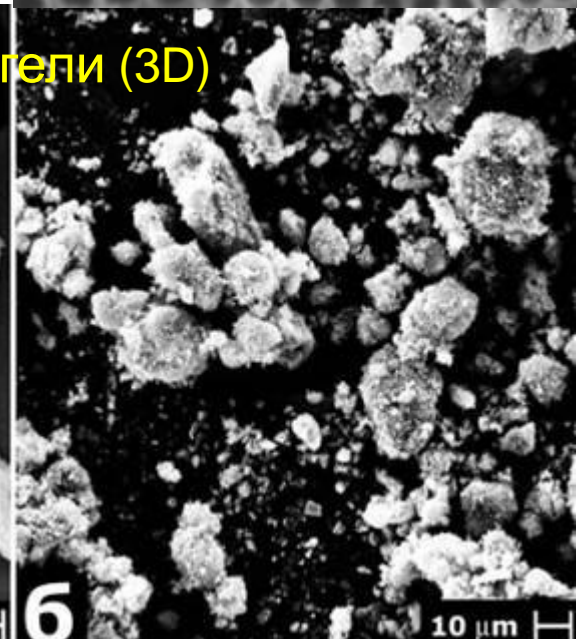
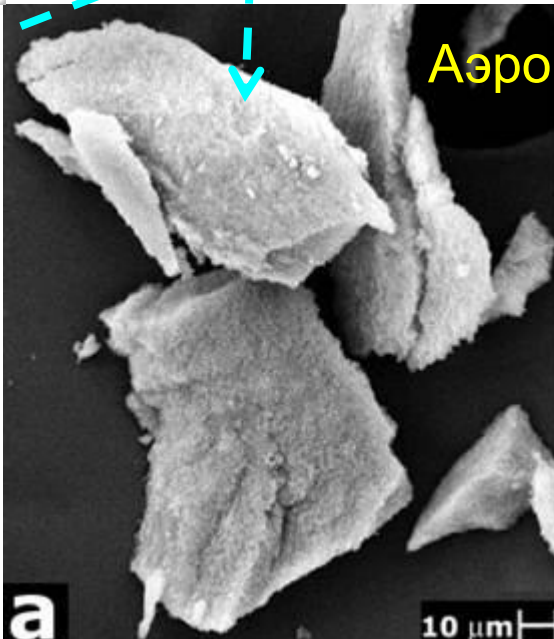
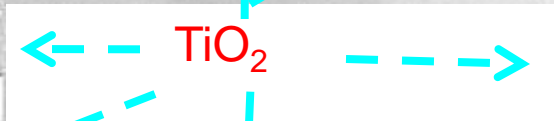
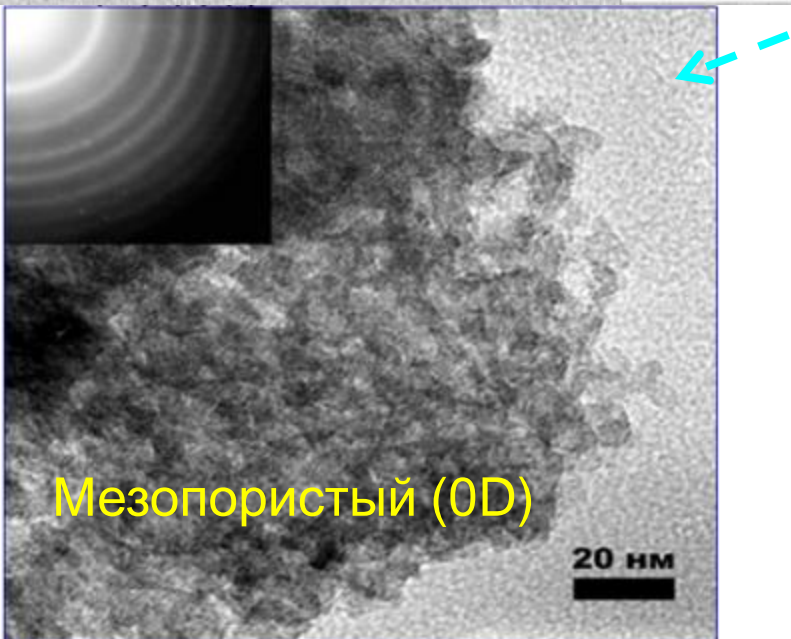
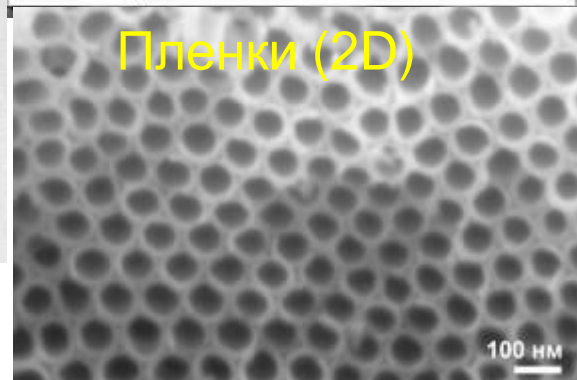
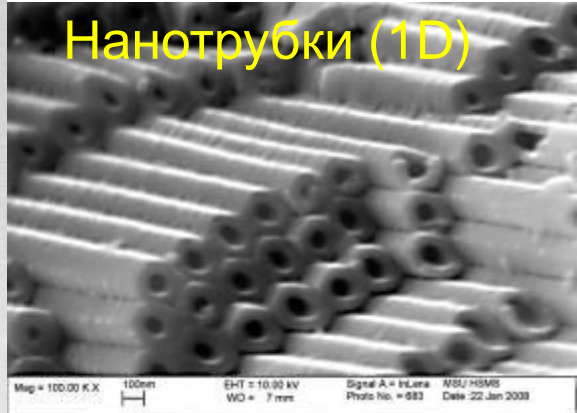
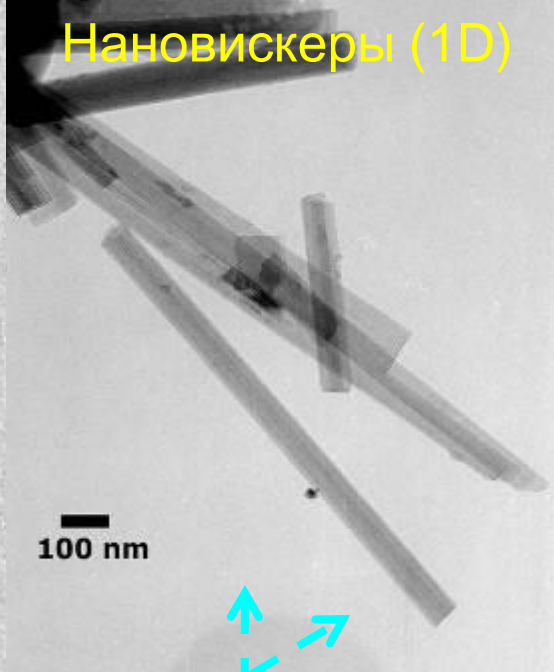
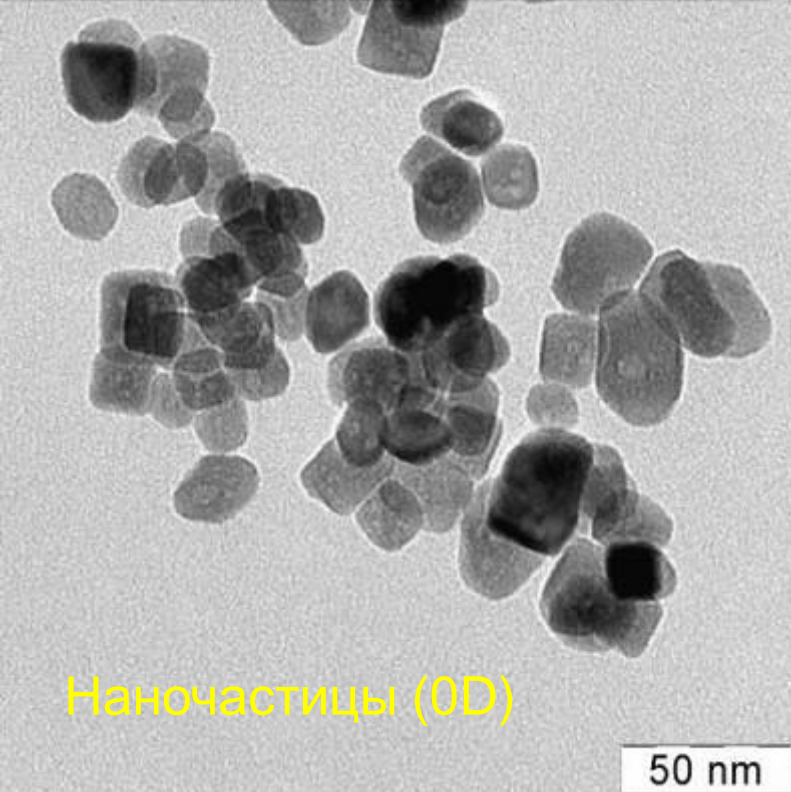
# Вклад поверхности

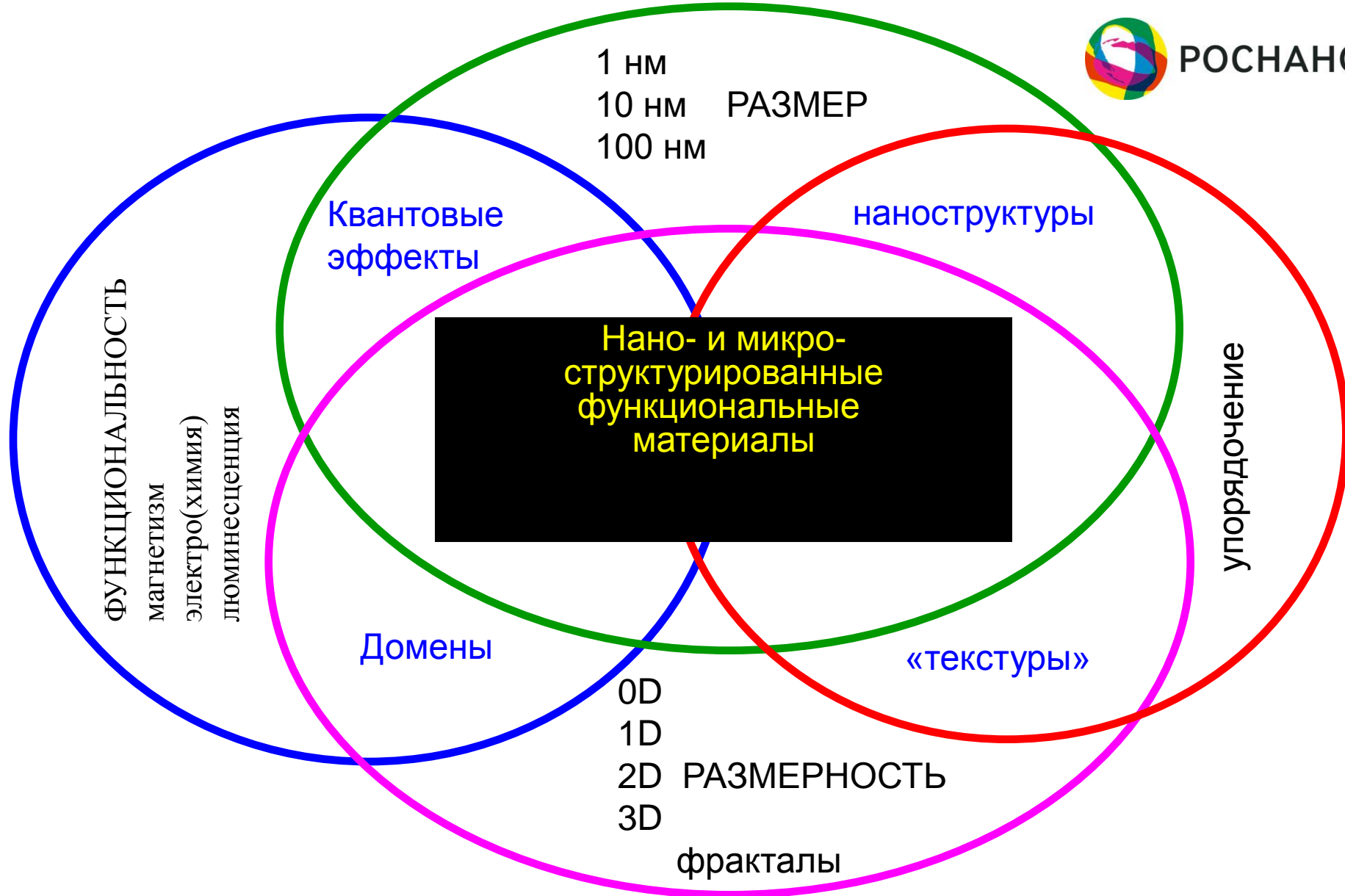


# Нанотрубки диоксида титана



- 1- нанотрубка
- 2 – наночастицы платины



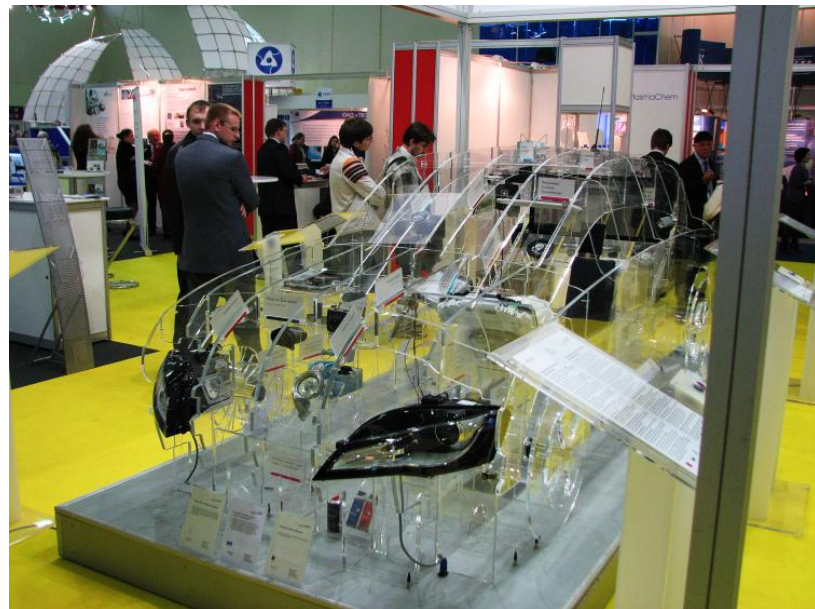


«Наноуровень» структуры (1 - 100 нм) существует всегда,  
и если он предопределяет свойства материала, то  
говорят о наноматериале.





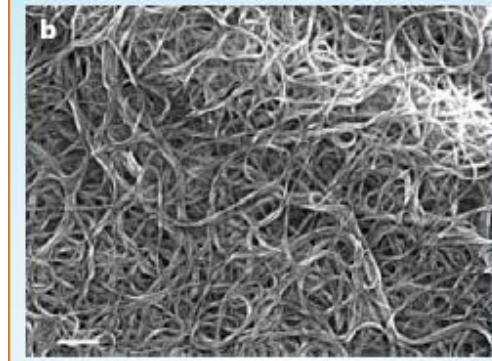
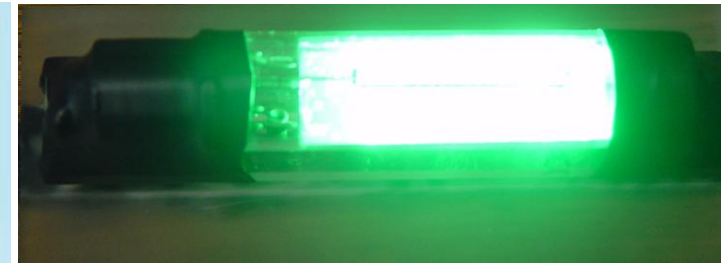
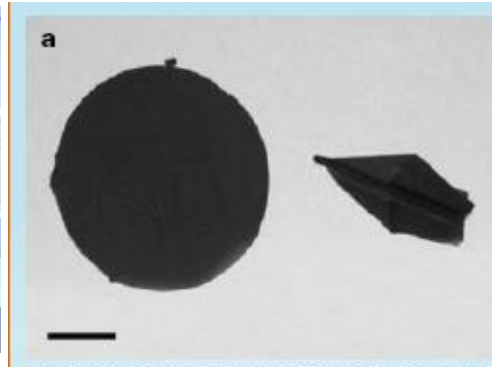
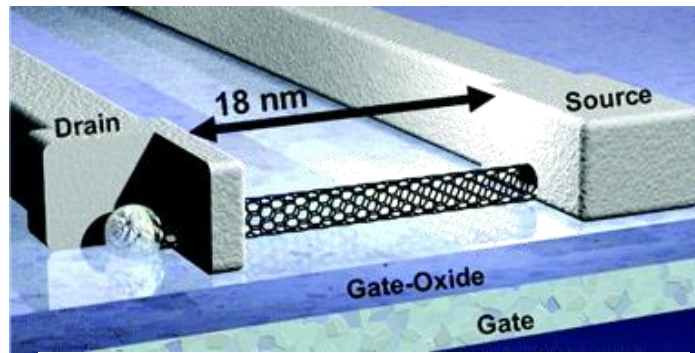
# Изобретаем (заново) велосипед



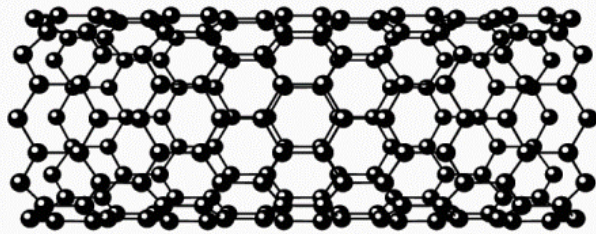
(ВИАМ, академик Е.Н.Каблов)



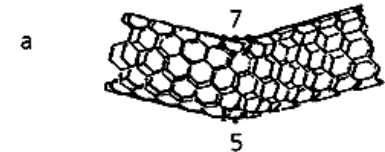
# Применение УНТ



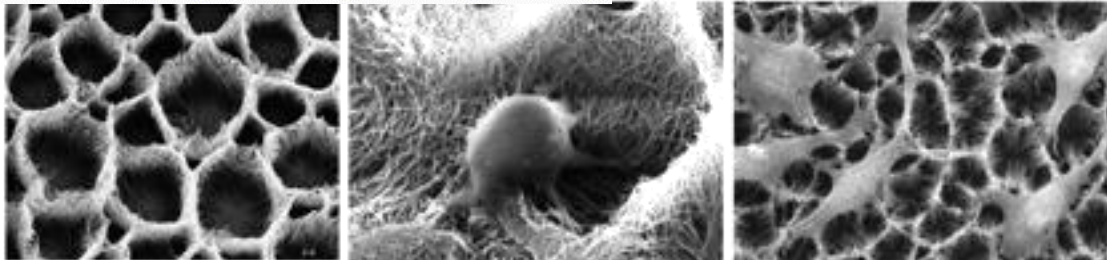
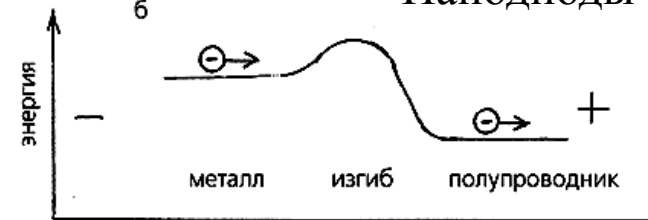
«Бумага» из УНТ



УНТ - дисплеи

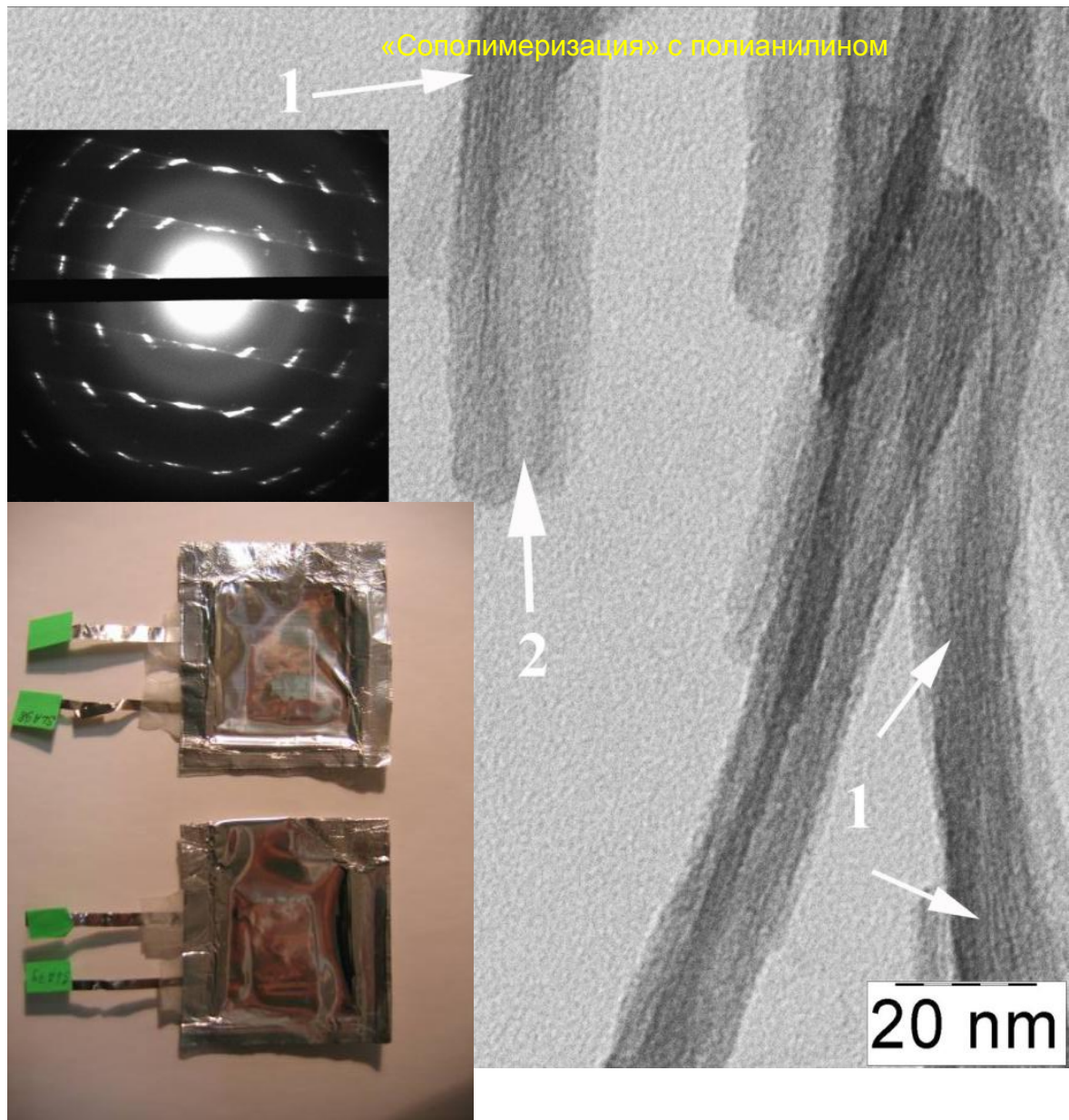


Нанодиоды



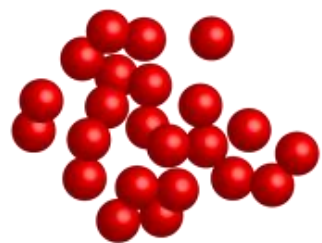
Биосовместимые подложки

# Нанотрубулены и нановискеры VO<sub>x</sub>

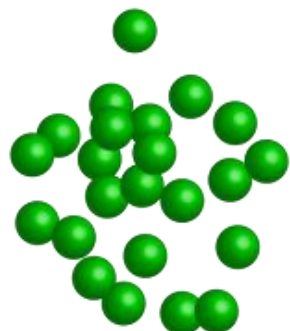


=5

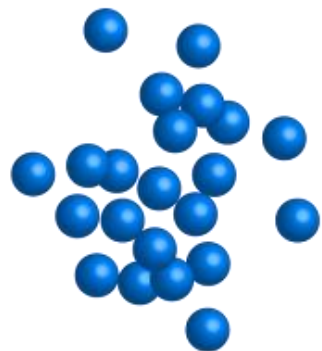




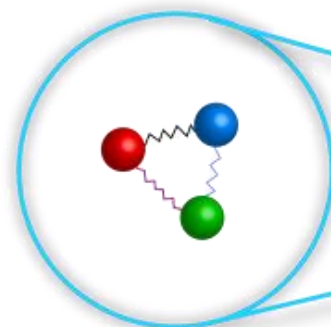
проводники



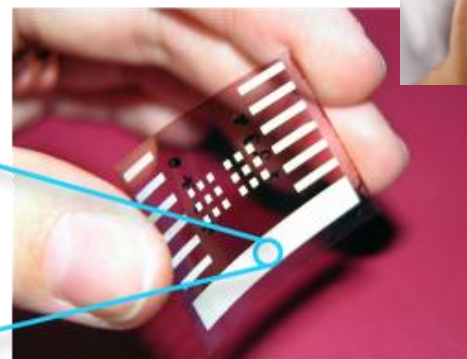
сенсоры



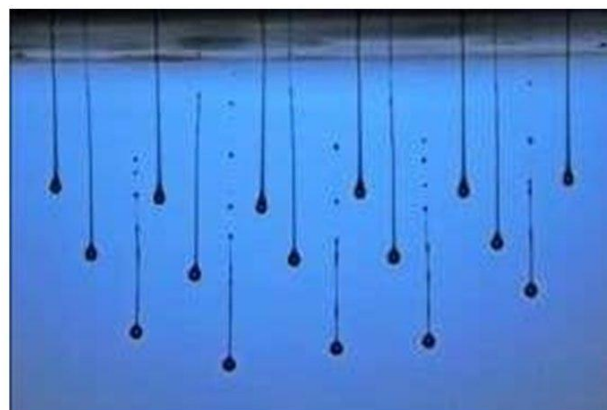
люминесцентные материалы



**полифункциональные  
нанокомпози́ты**



**интегральное  
устройство**



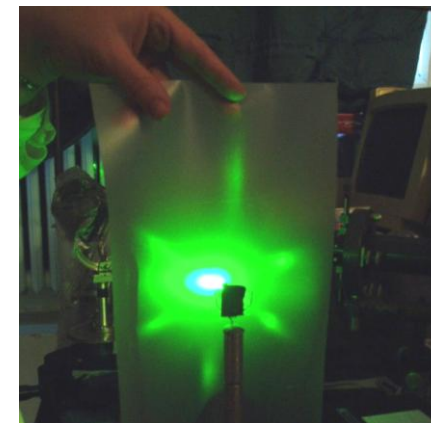
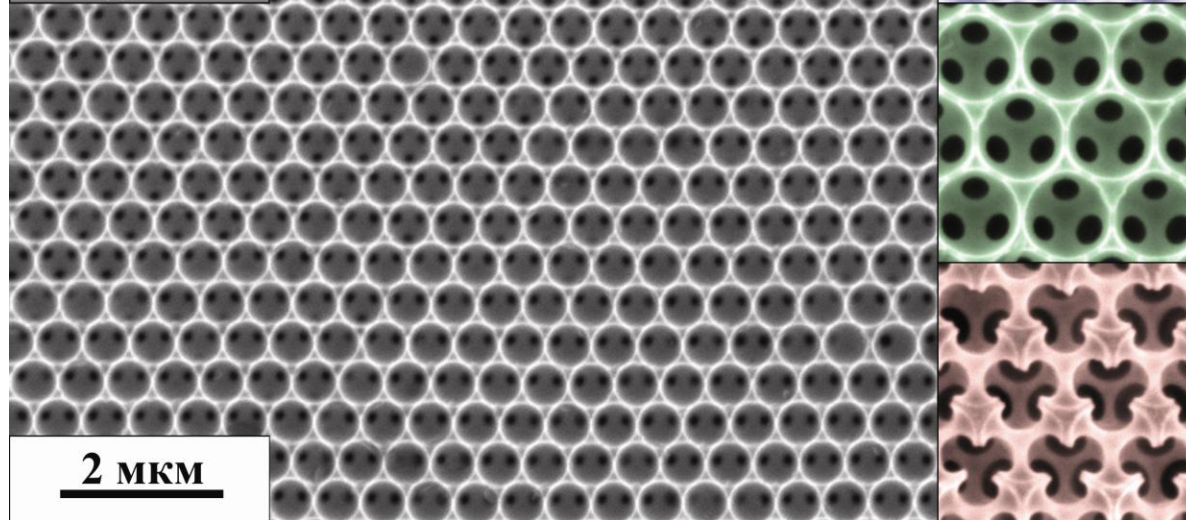
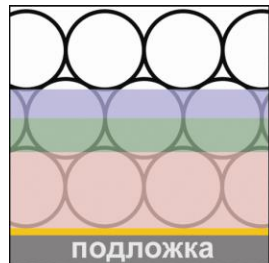
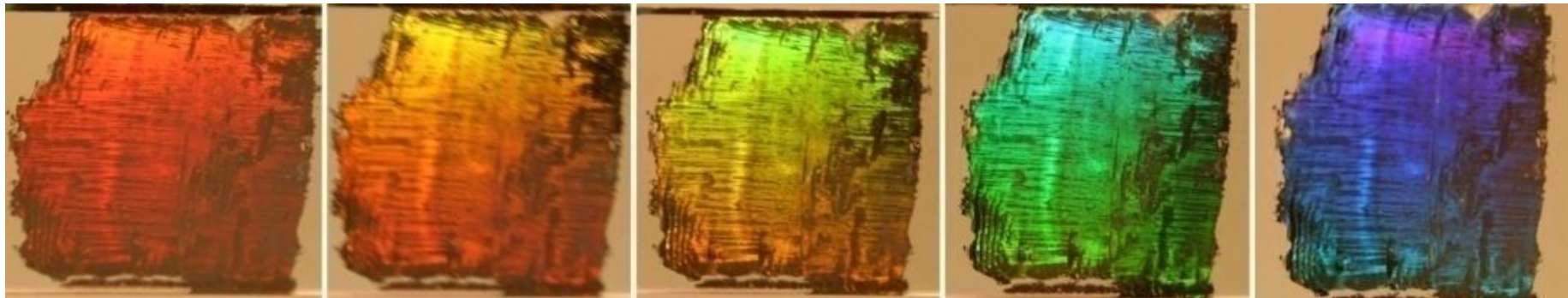
# Светодиоды

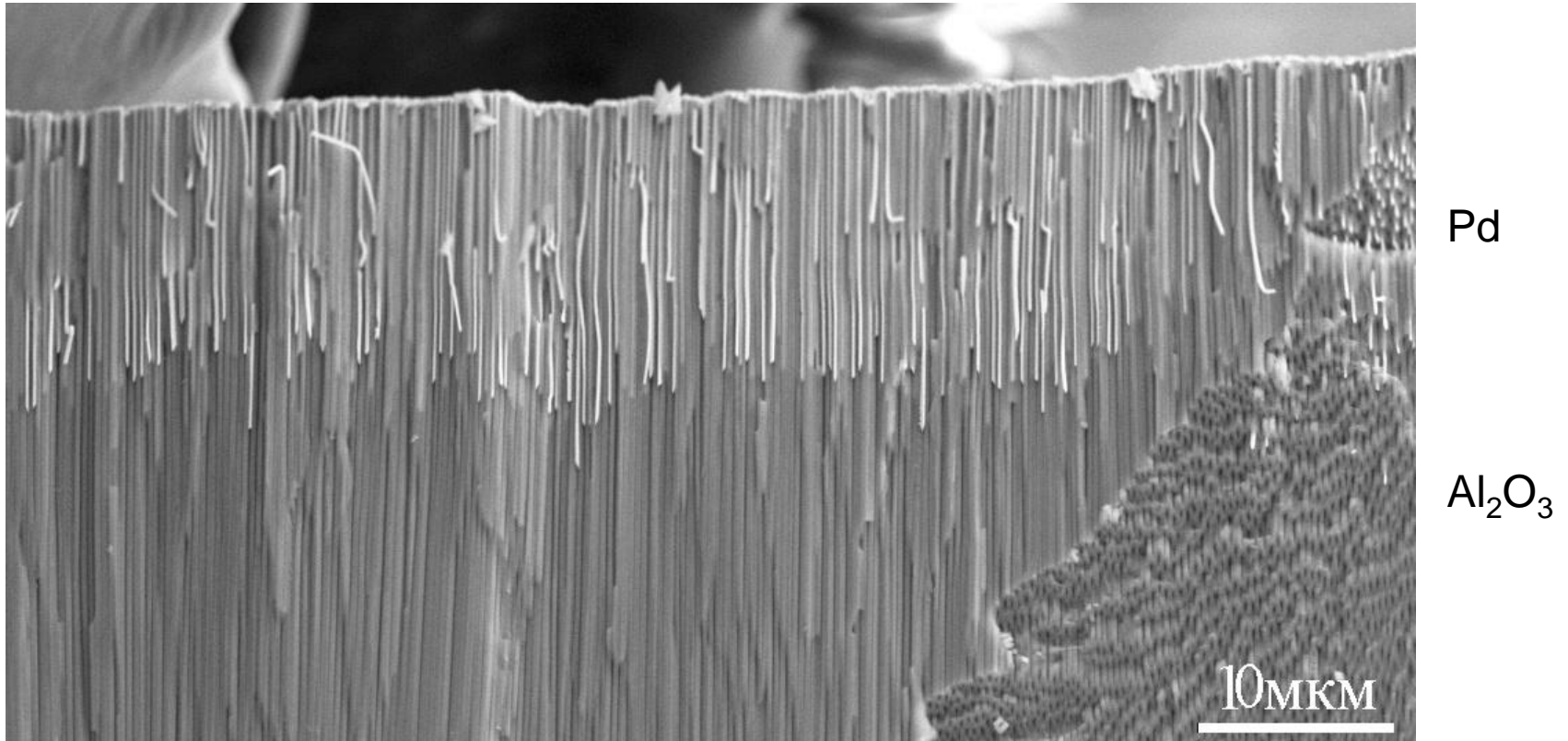
- миниатюрность
- значительное время эксплуатации (10000 ч.)
- малое потребление энергии
- высокий квантовый выход
- не требуют водяного охлаждения
- излучение в любой области (видимого) спектра



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

# Фотонные кристаллы



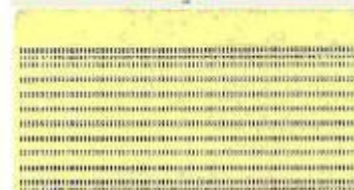
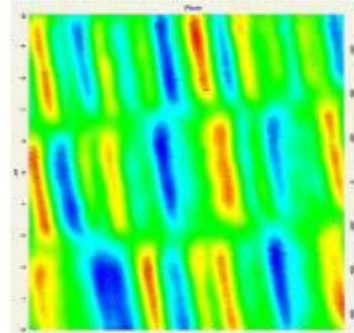
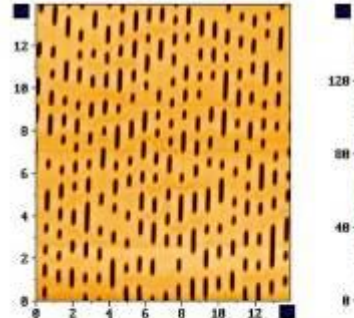
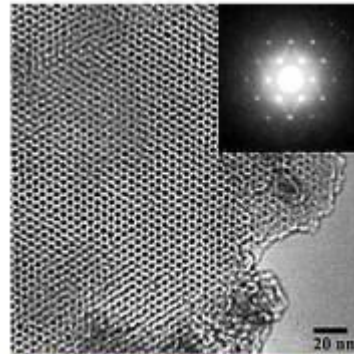
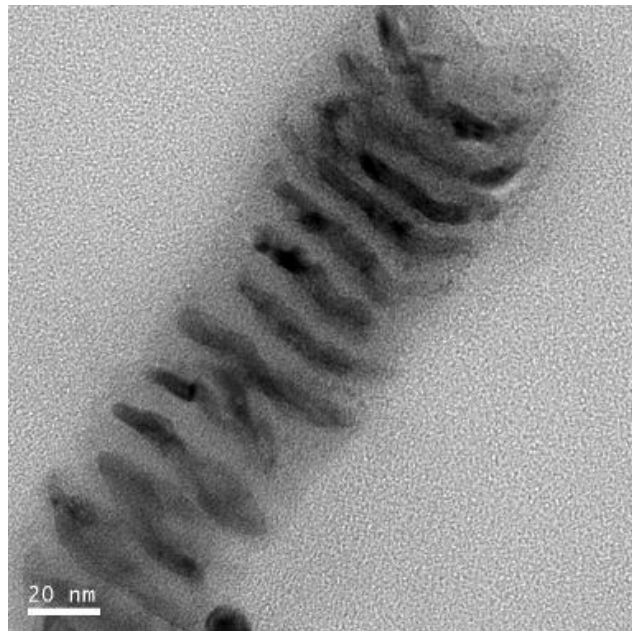


Мембраны Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:  
очистка водорода, катализ

# Информационные технологии и наноэлектроника

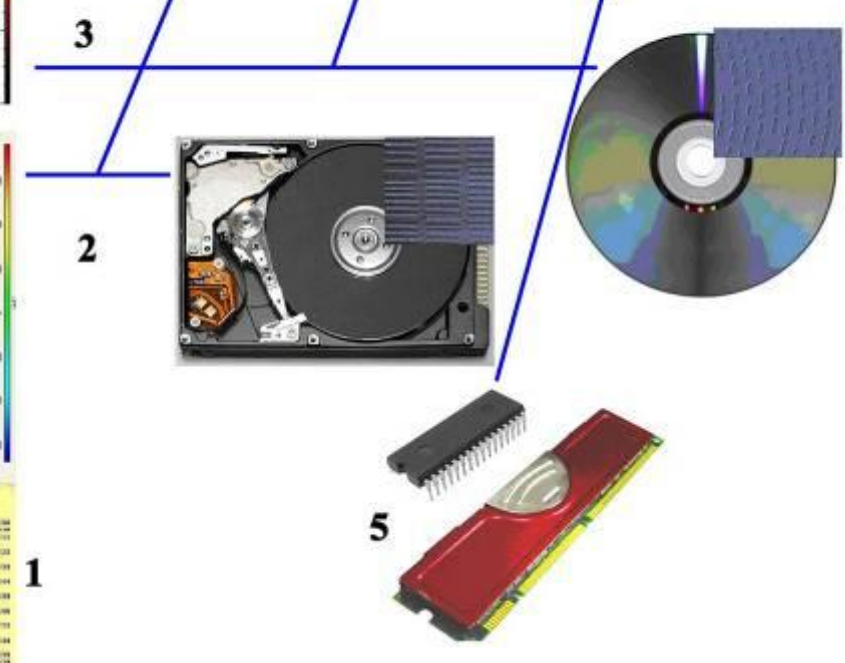
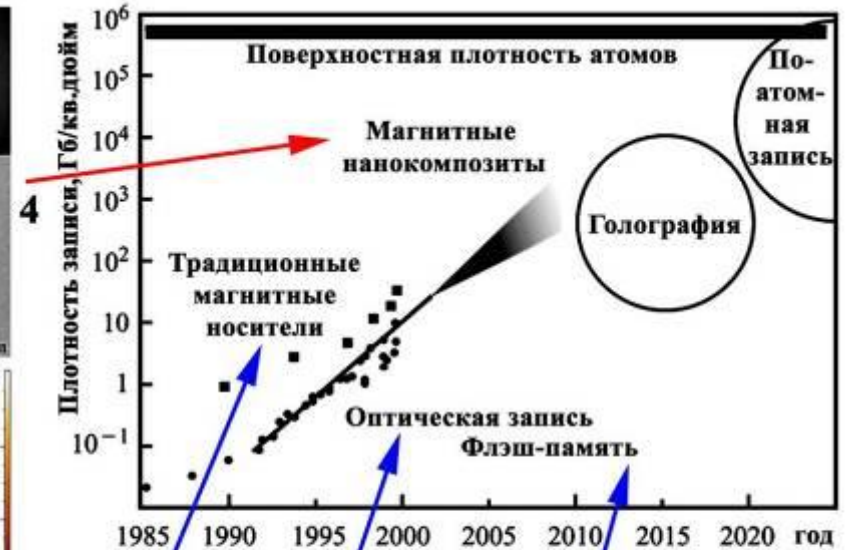
Нанопроволока Fe в мезопористом SiO<sub>2</sub>

Сверхвысокая плотность записи информации (1-10 Тбит/кв.дюйм)



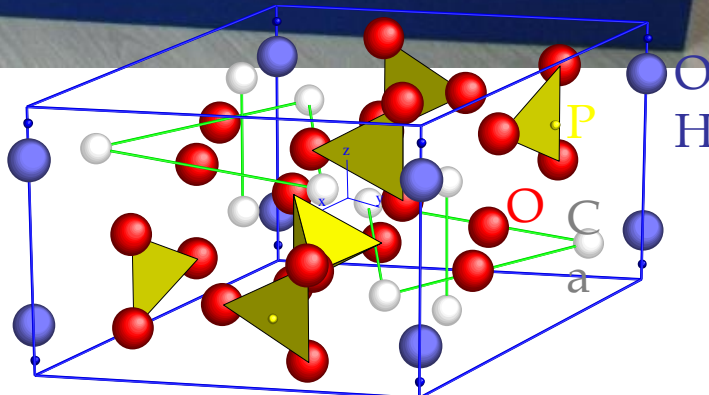
Композитная магнитная нанопроволока

(электроосаждение в порах анодированного алюминия)

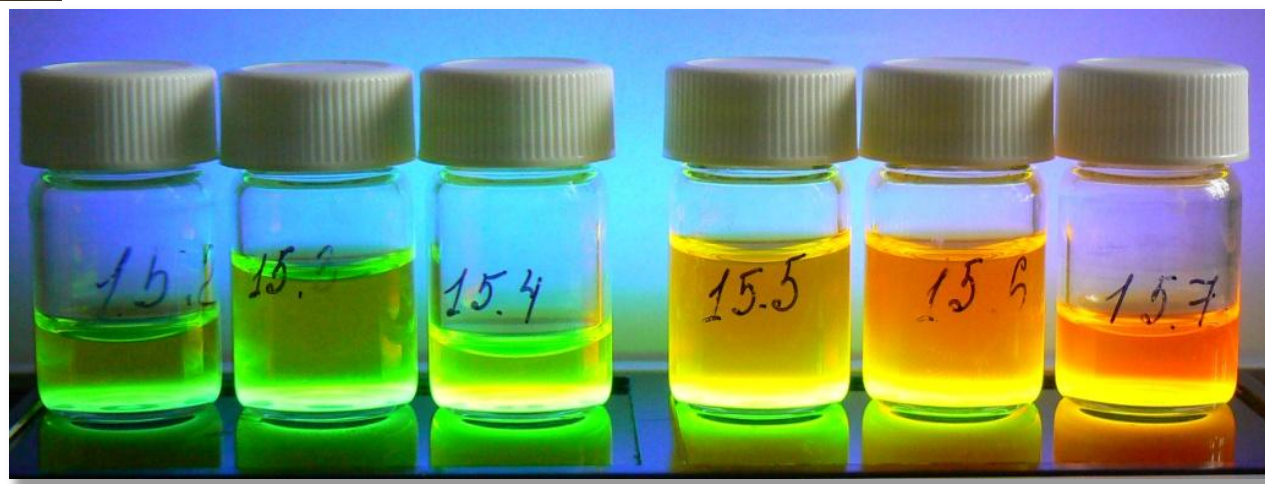
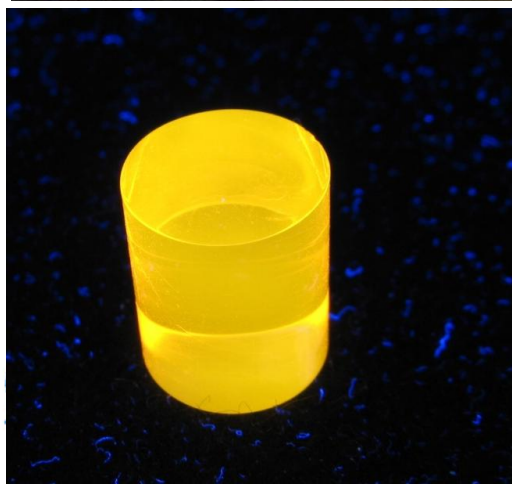
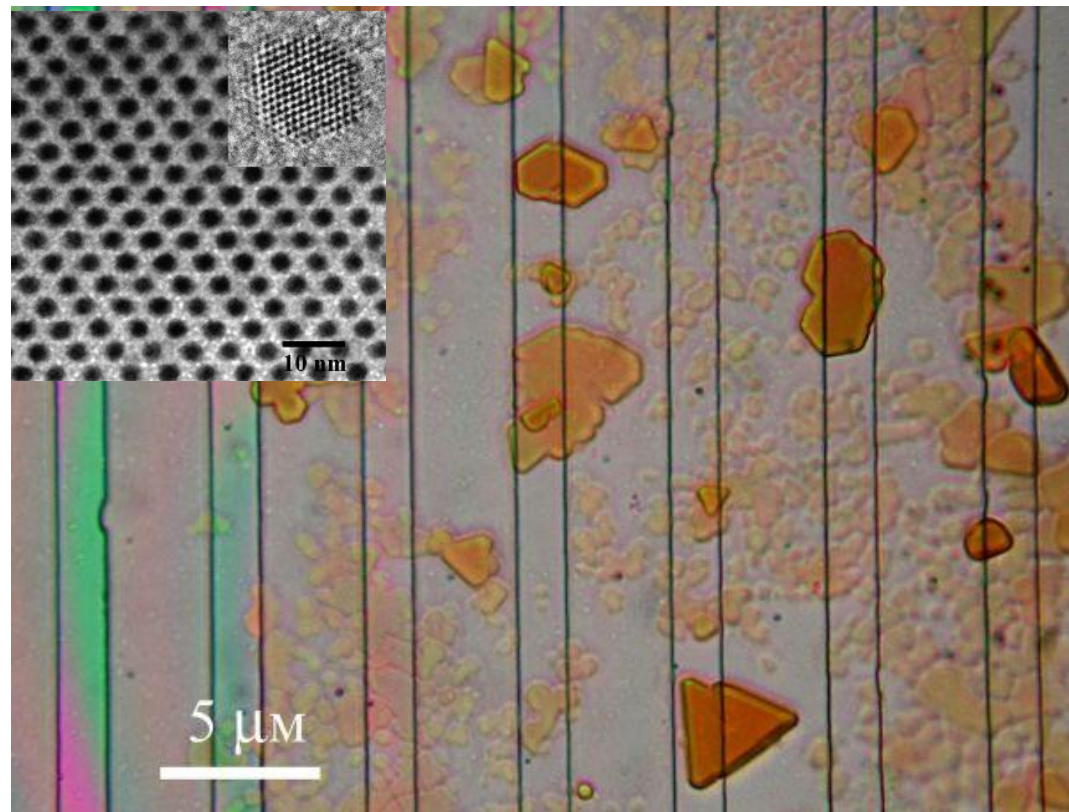




# Наномедицина

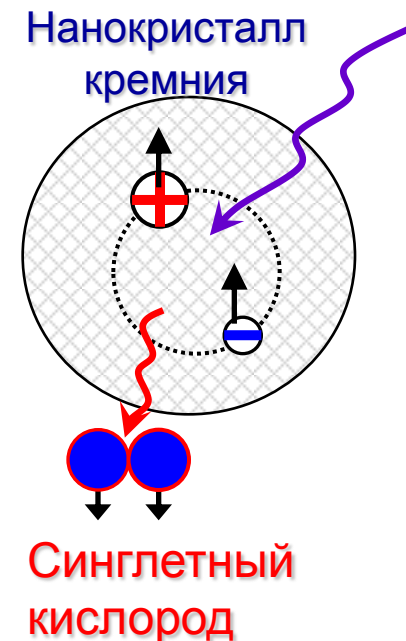


# Квантовые точки

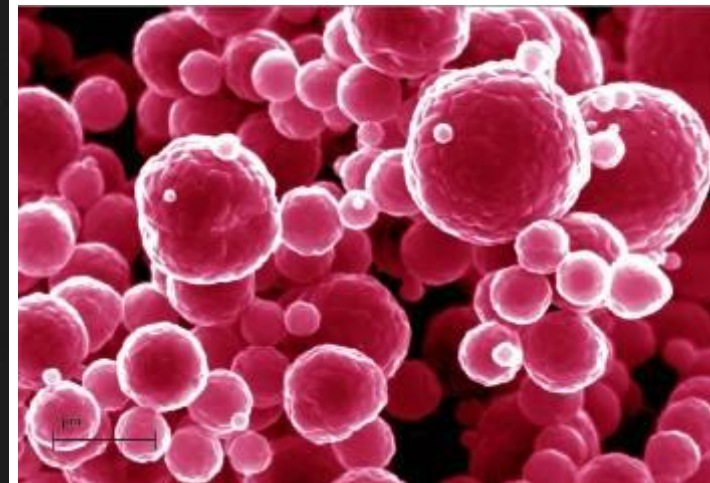
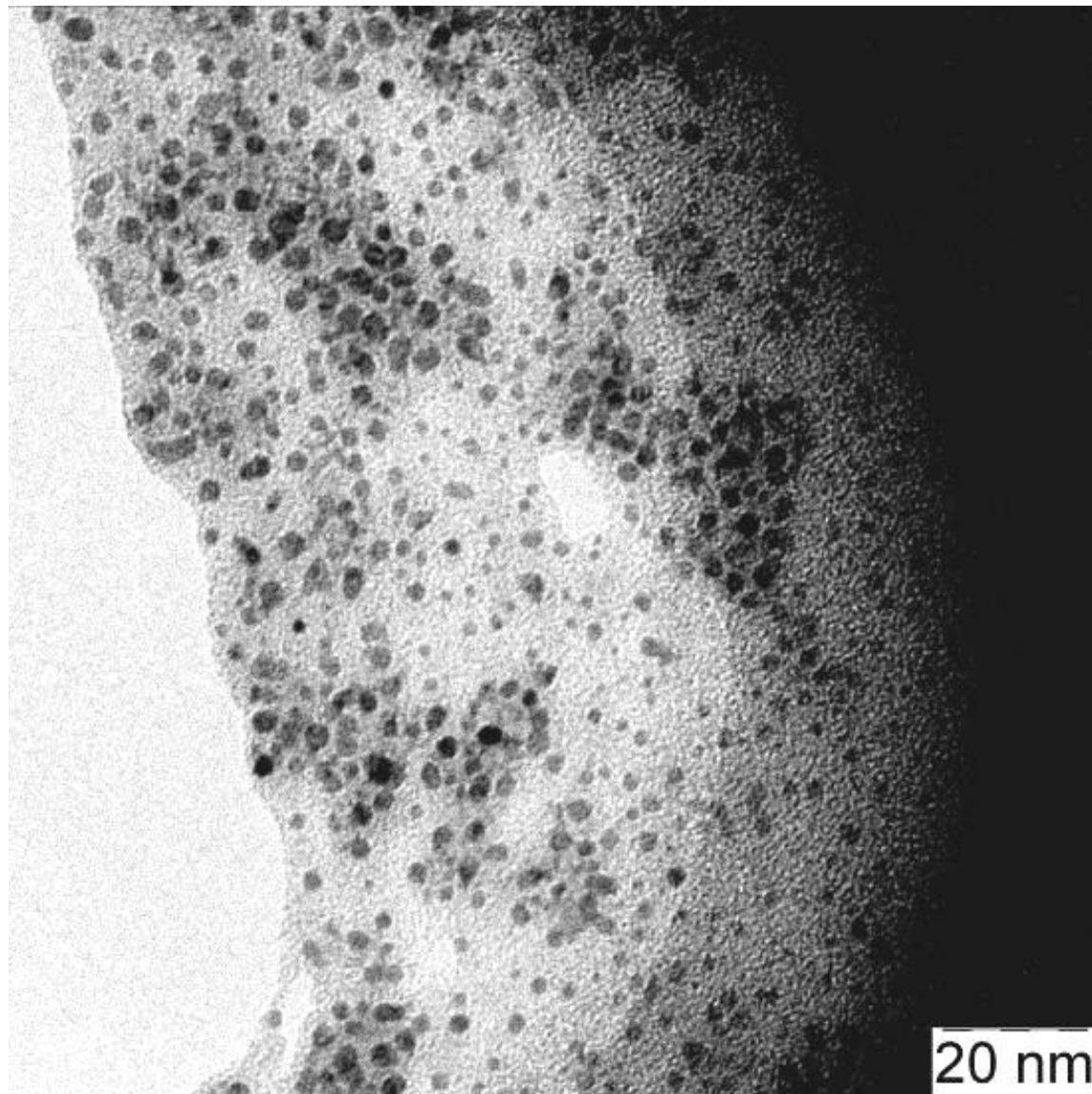


# Фотодинамическая терапия

Физфак МГУ и Московский Научно–Исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена

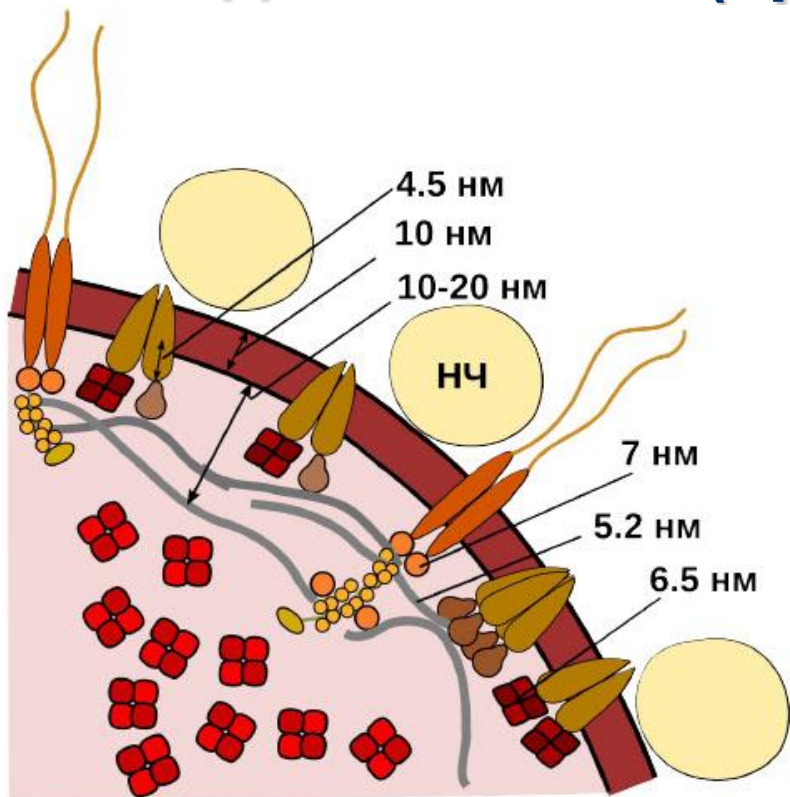


- 1) Препарат может проникать в клетки, но не приводит к заметному некрозу в темновых условиях.
- 2) Активность препарата коррелирует со степенью его проникновения в клетки и наличием освещения, что указывает на протекание внутриклеточных фотохимических реакций.

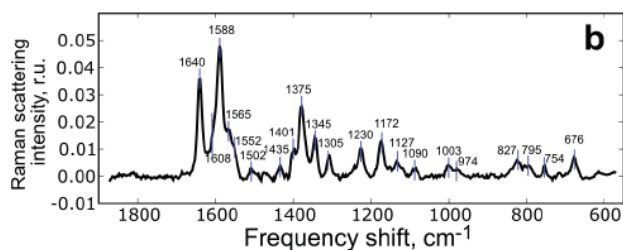
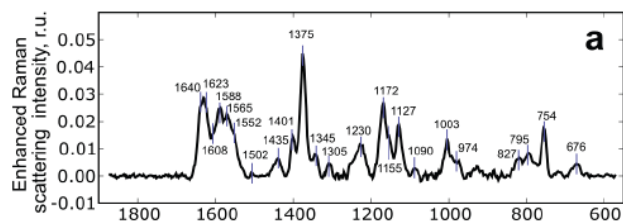
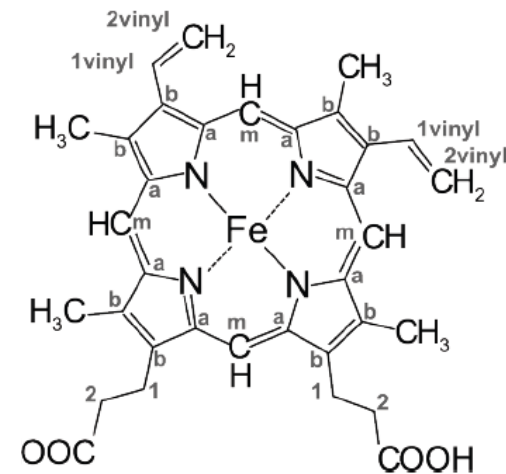


Магнитные наночастицы  
оксида железа (III) (пиролиз  
аэрозолей, стабилизация  
гуминовыми кислотами)

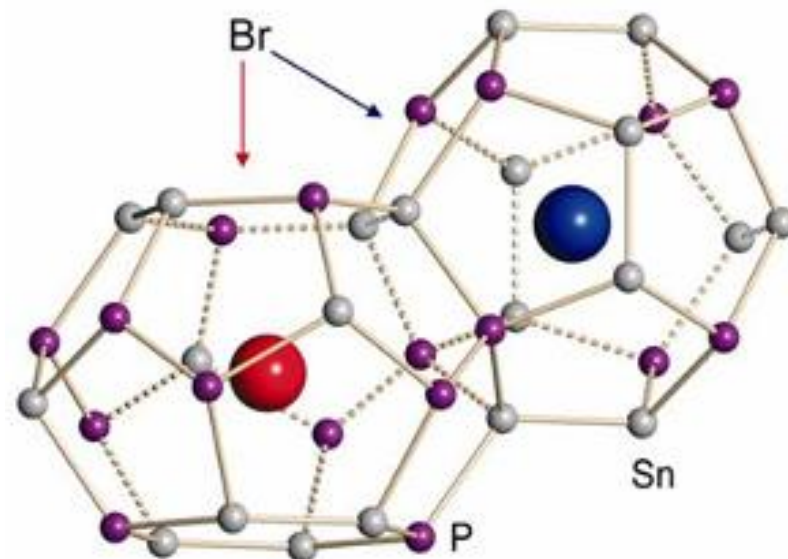
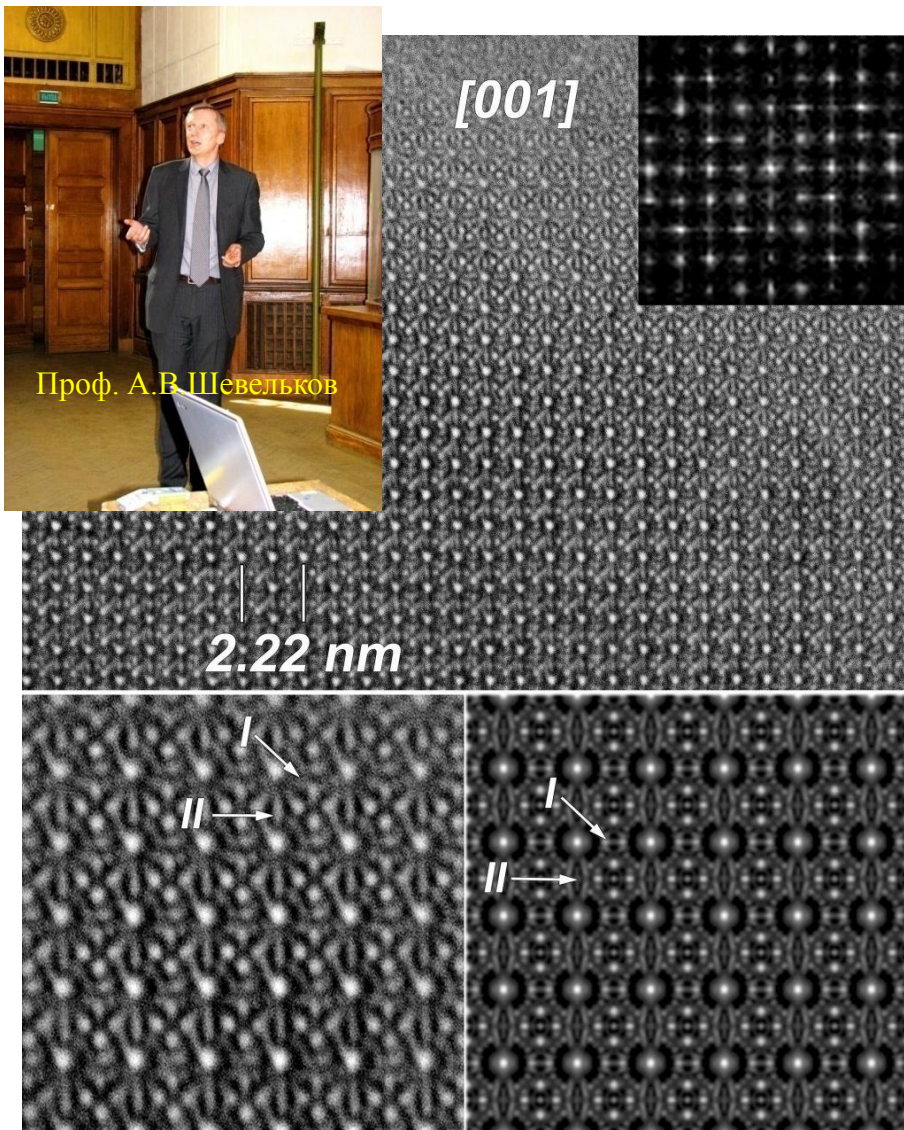
# Биодиагностика (эритроциты)



-  НЧ Наночастица
-  Гб<sub>MC</sub>
-  Нв<sub>ц</sub>
-  АЕ1 обменник (белок полосы 3)
-  Анкирин
-  Гликофорин с филоментами олигосахаридов
-  Белок полосы 4.1
-  Актин, тропомиозин и тропомодулин
-  Спектрин

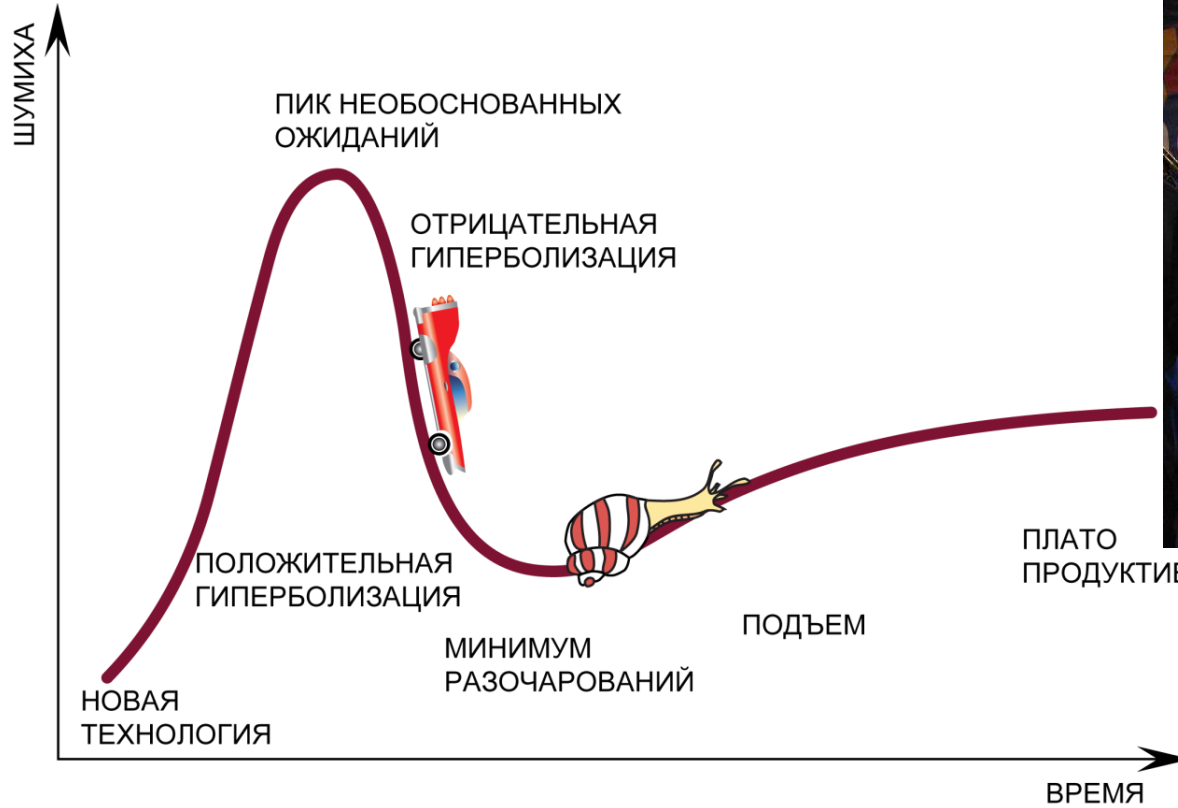


# Термоэлектрические материалы



Холодильники без фреона и компрессора – бесшумные и безопасные

# Нанотехнологии и общество



## Классическая олимпиада

Участники – Задания – Проверка - Победители

Интернет – олимпиада «Нанотехнологии – прорыв  
Будущее!» [WWW.NANOMETER.RU](http://WWW.NANOMETER.RU)

Интернет СМИ «Нанометр»

Клуб участников

Самоподготовка

Спектр заданий для всех категорий

Проверка – Апелляция

Очная Школа (лекции, экскурсии, очный

Тур, встречи, общение)



Победители и призеры – Торжественное  
закрытие, общественное обсуждение  
результатов, разработка учебно-  
методических материалов, популяризация -





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

где-то там Красная площадь

ВХОД  
в ГЗ  
МГУ

ЦКП физфака

гостиница

физфак

химфак

Ломоносовский пр-т

к метро

«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)