

# Новые функциональные материалы



Е.А.Гудилин, МГУ  
[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)  
[goodilin@yandex.ru](mailto:goodilin@yandex.ru)

Летняя школа учителей химии  
Москва  
2018 г.



# ГЕРБЕРТ УЭЛС

избранные  
научно-  
фантастические  
произведения

Менздат. 1959

“Кейворит”

Шар  
антигравитации



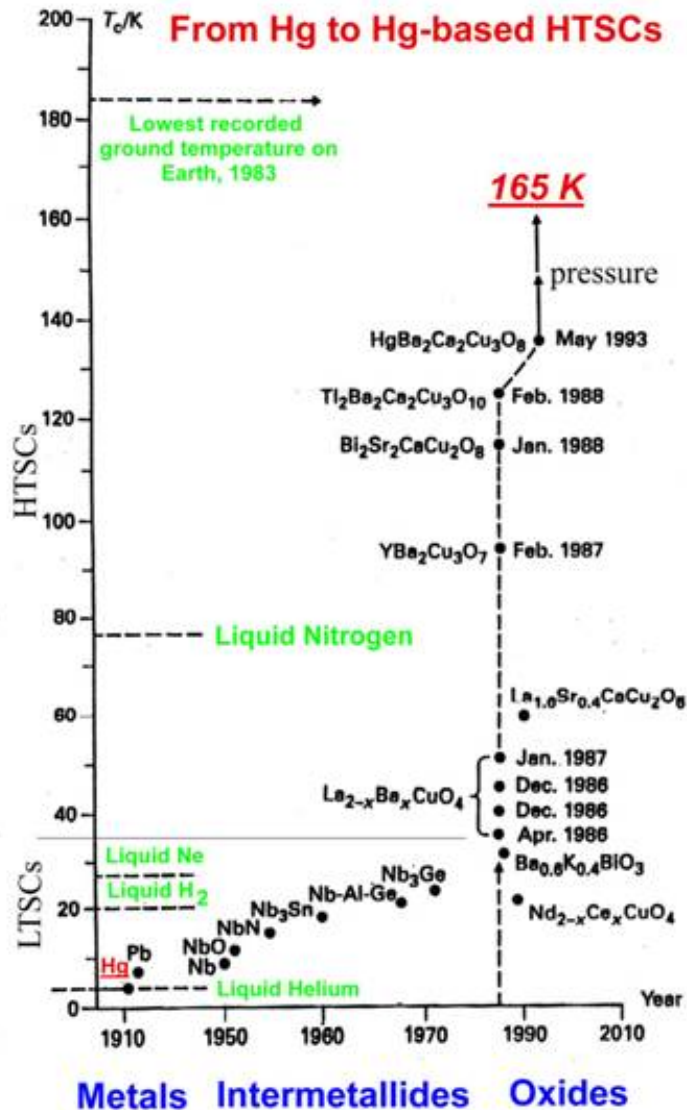
«Первые люди  
На Луне»

2





# Открытие ВТСП



Е.В.Антипов, С.Н.Путилин и др.:

Hg-ВТСП

$T_c \sim 4+130 \text{ K}$



J.G.Bednorz, K.A.Muller

Nobel Prize 1987

“химическая”

ЭВОЛЮЦИЯ



Kamerling Onnes:

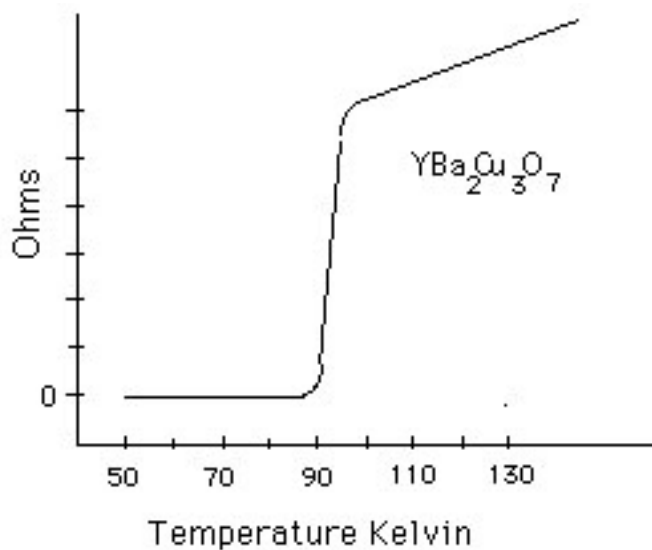
Жидкий He, “плохой металл” Hg

$T_c \sim 4 \text{ K}$

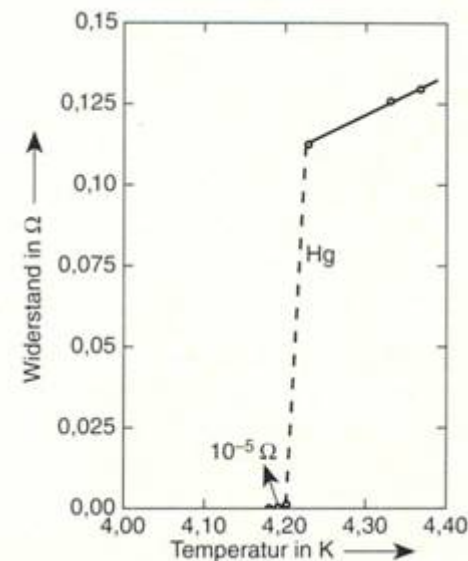


# Основные свойства

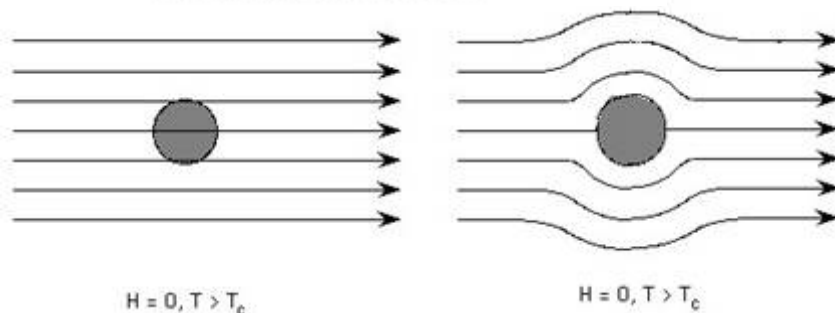
1.



Нет сопротивления  
ниже  $T_c$

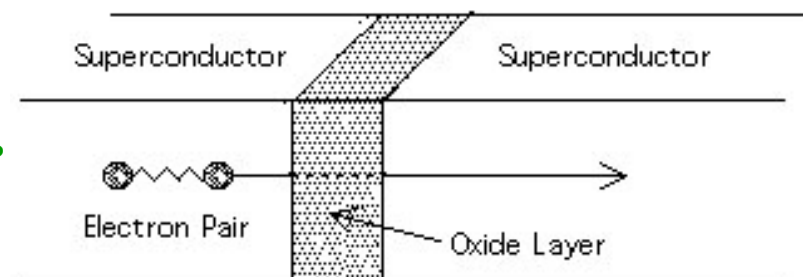


2.



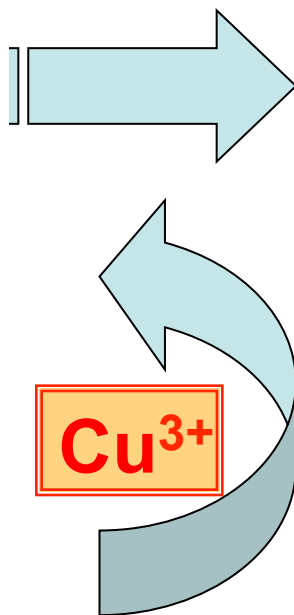
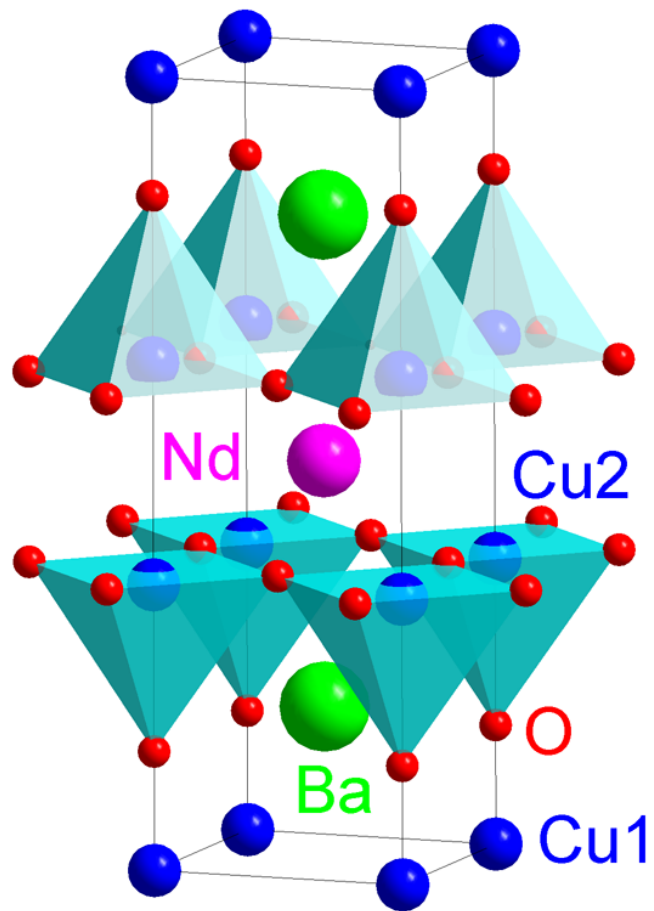
Идеальные диамагнетики  
(эффект Мейснера-  
Оксенфельда)

Эффект Джозефсона (туннелирование через диэлектрическую прослойку): сильная зависимость тока через джозефсоновский контакт от внешнего магнитного поля





# РЗЭ-бариевые купраты



Магнитная левитация (ISTEC)



# Материаловедческие миниреволюции



ФНМ

ЛНМ х/ф

ИОНХ РАН

- Реальная структура твердого тела – с 70х годов (В.А.Легасов, Н.Н.Олейников)
- Криохимическая технология – с 70х годов (К.Г.Хомяков, ..., О.А.Шляхтин)
- Магнетодиэлектрики (ферриты) – с 70х годов (С.Р.Ли, Е.А.Еремина, ..., ЛНМ)
- Синергетика воздействий – после 2005 года (В.К.Иванов, Б.Р.Чурагулов, ...)
- Процессы самоорганизации – после 2000 года (В.К.Иванов, ..., А.А.Елисеев)
- Образование материаловедов – после 90х годов (+ [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru), НОР)
- Аналитика материалов – всегда (ЦКП ФНМ МГУ)

**ВТСП (купраты)** – с 90х годов

*расплавные технологии (Н.Н.Олейников, П.Е.Казин)*

*тонкие пленки (А.Р.Кауль)*

**КМС (манганиты)** – с «нулевых» годов

*структура, свойства, фазовые диаграммы (О.А.Шляхтин)*

*тонкие пленки (А.Р.Кауль)*

**Фотоника** – с «нулевых» годов

*опаловые структуры (С.О.Климонский)*

*инвертированные опалы (К.С.Напольский)*

**Наноматериалы** – после 2005 года

*слоистые двойные гидроксиды (А.В.Лукашин)*

*мезопористые системы (А.А.Елисеев)*

*углеродные наноматериалы (А.А.Елисеев)*

*неорганические нанотрубки (А.В.Григорьева)*

*аэрогели, ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> (А.Н.Баранов, Б.Р.Чурагулов)*

**Биоматериалы** – после 2005 года

*биокерамика (В.И.Путляев)*

*диоксид церия (В.К.Иванов, ...)*

*медицинская диагностика (А.Е.Гольдт, А.А.Семенова, Н.А.Браже)*

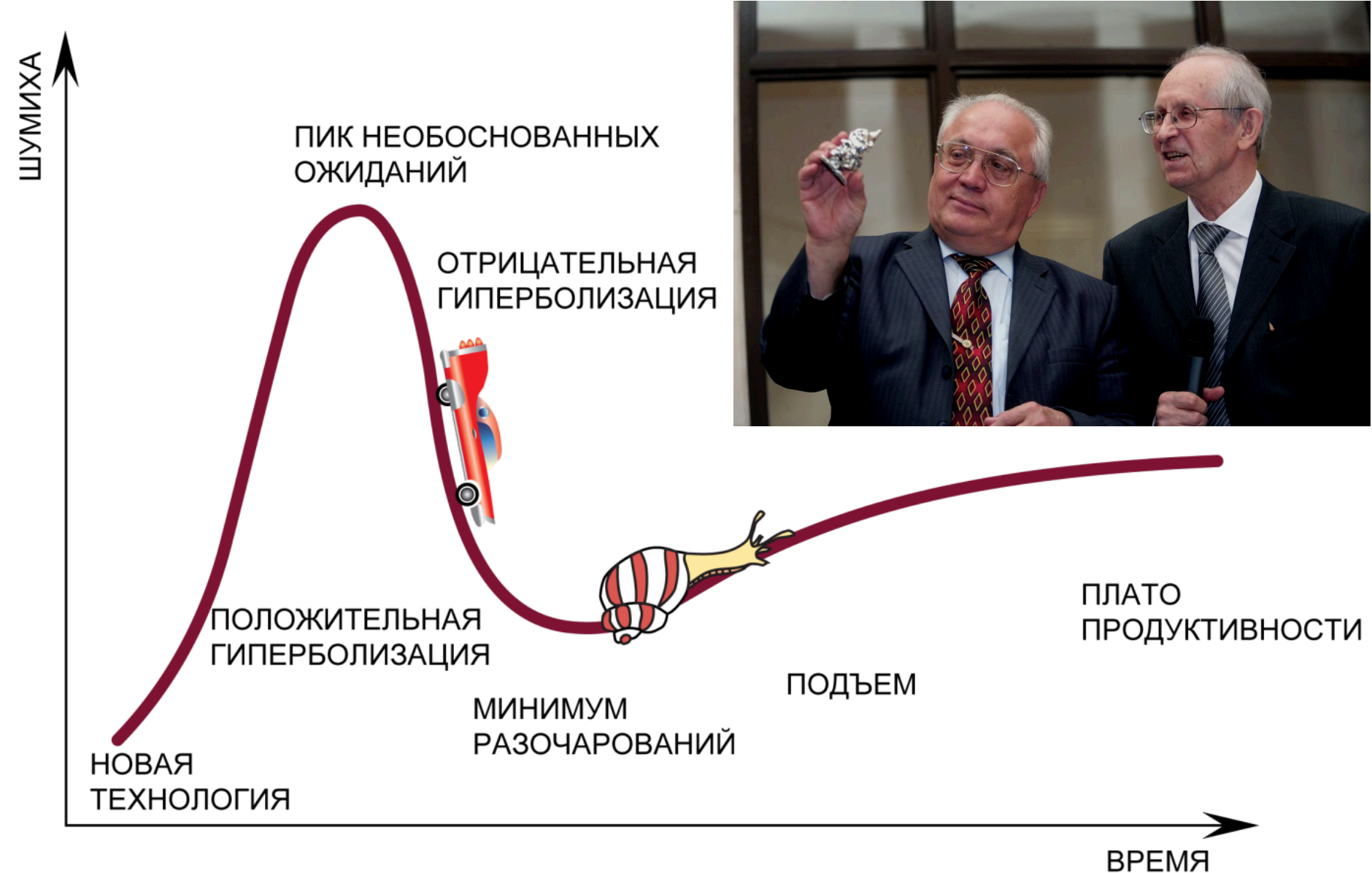
**Химические источники тока** – после 2010 года

*катодные материалы (О.А.Брылев, О.А.Шляхтин, Д.М.Иткус)*

*литий – воздушные аккумуляторы (Д.М.Иткус)*



# Материалы и общество

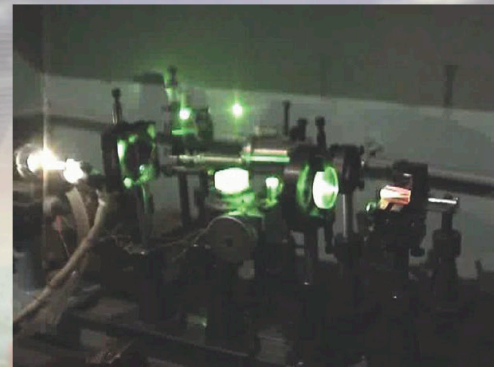




(x, y)

Пространство

(z)



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

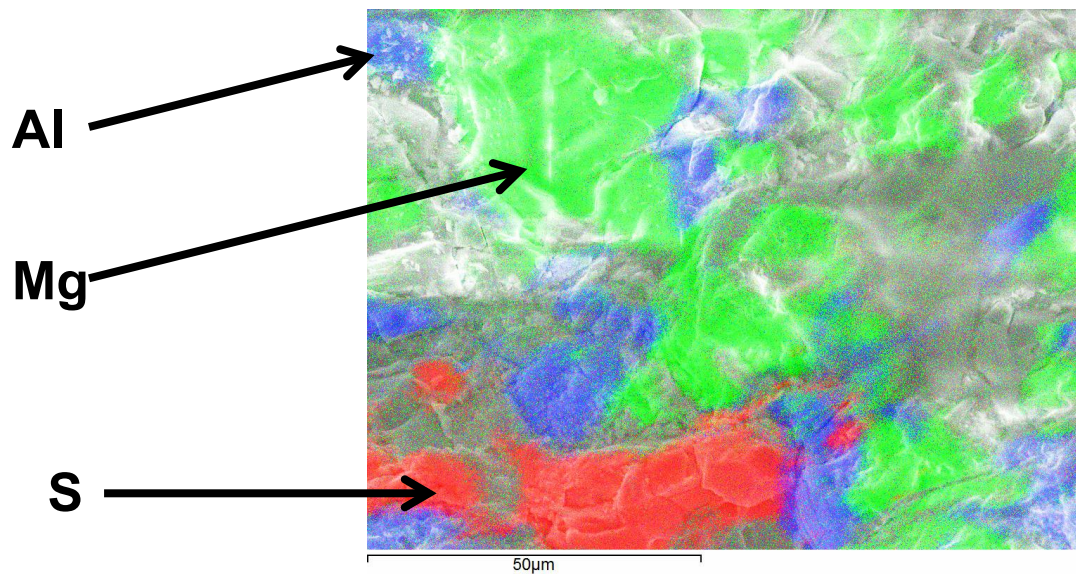


**5 измерение?**



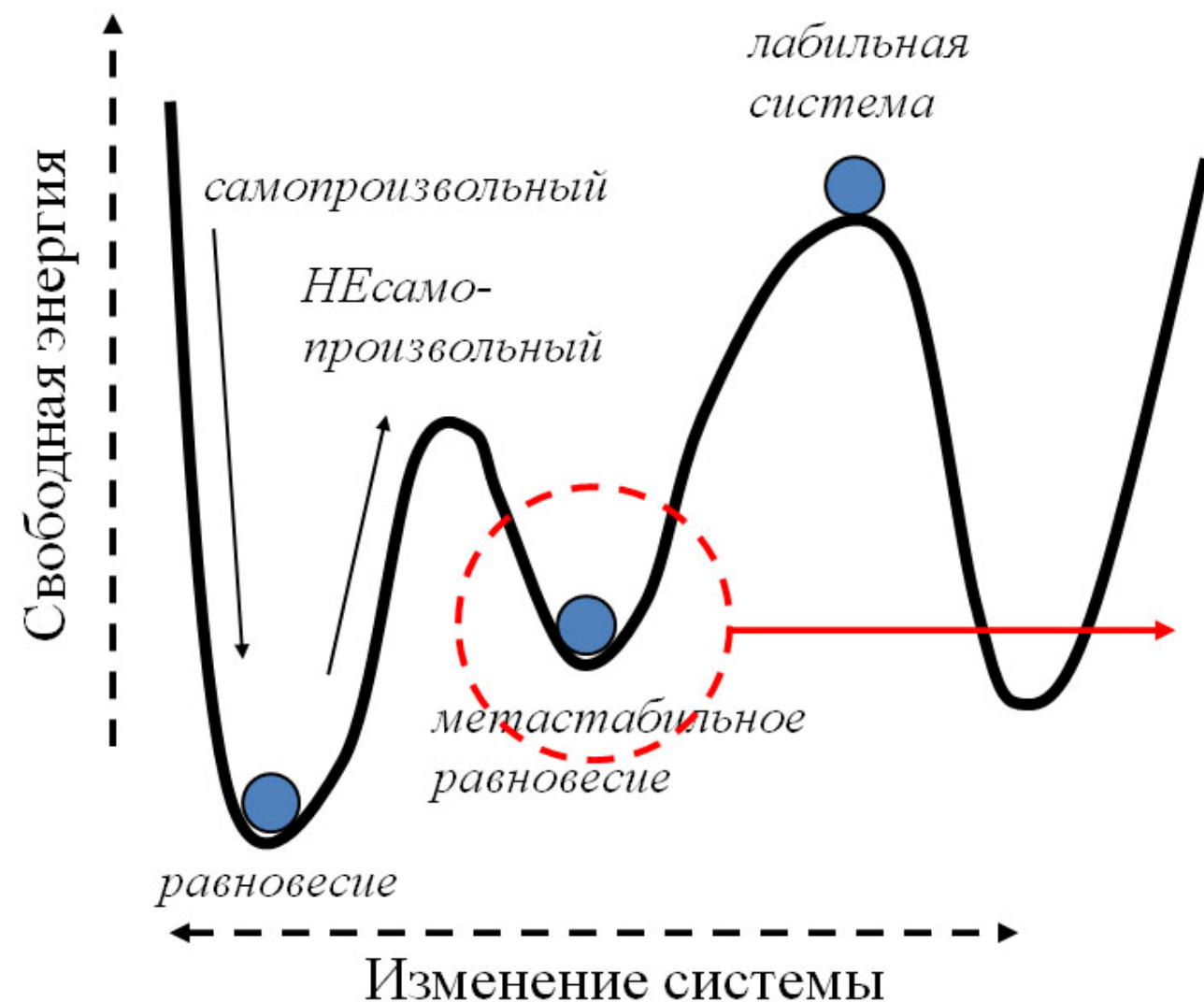
# Чебаркульский метеорит

- в его исследовании принимали участие сотрудники ФНМ





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

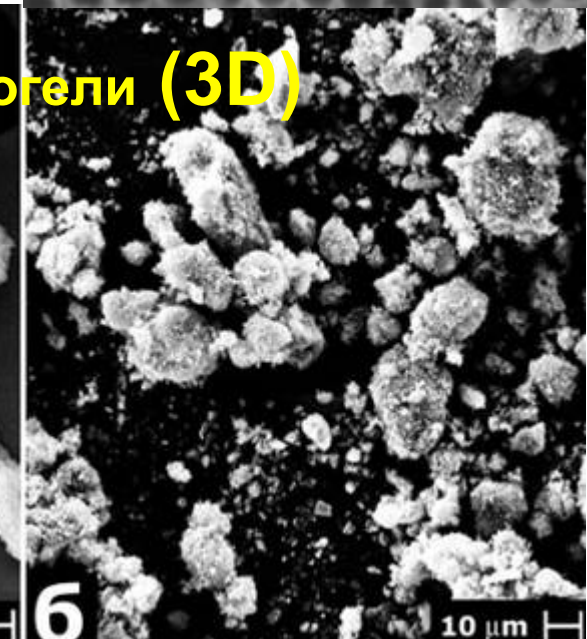
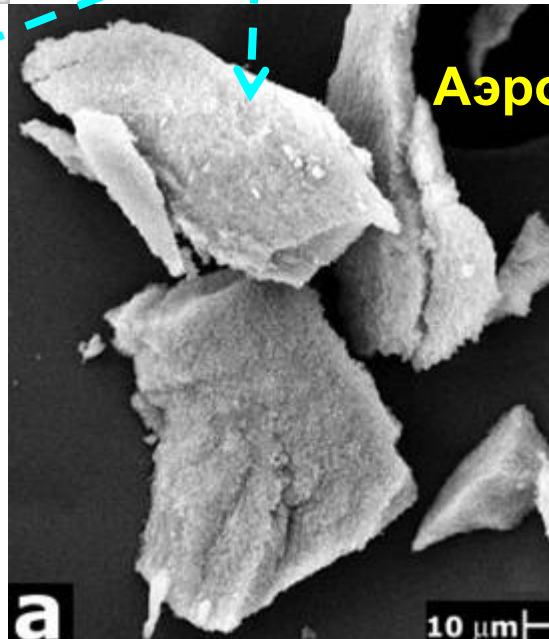
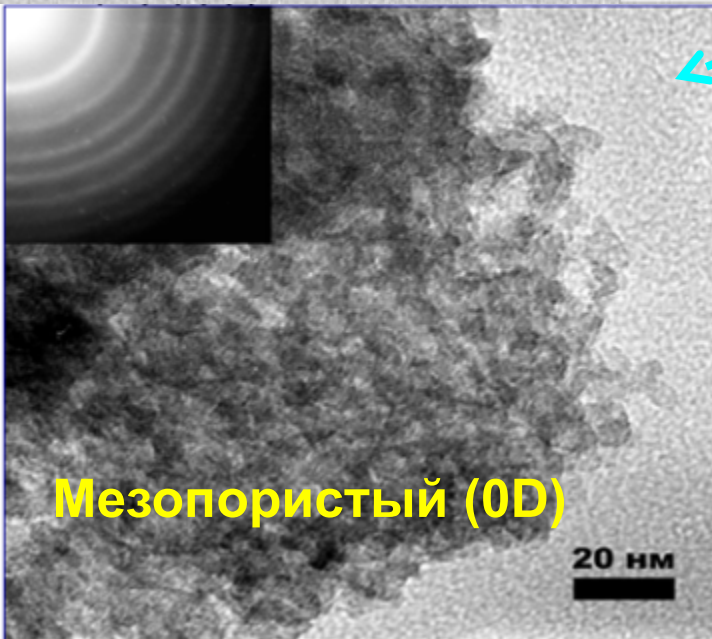
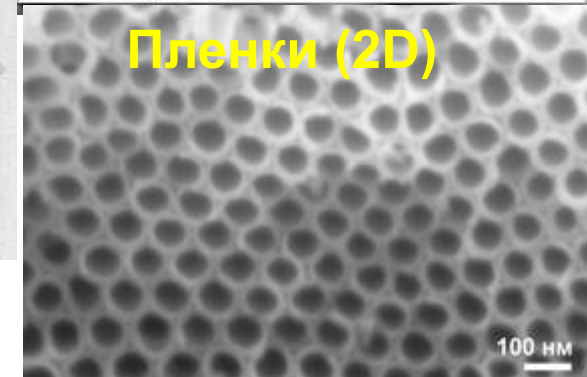
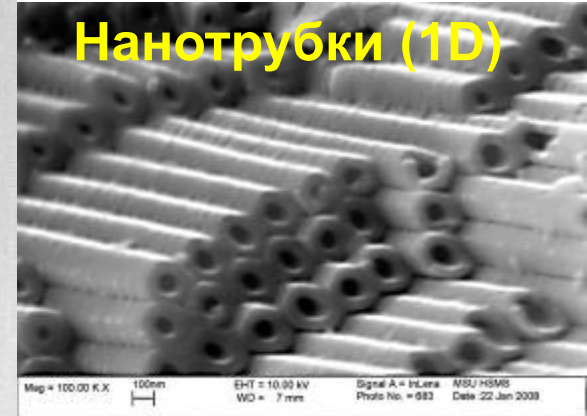
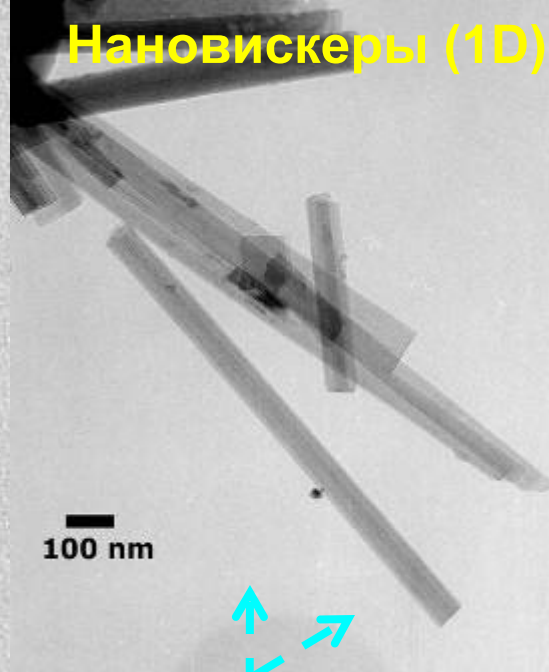
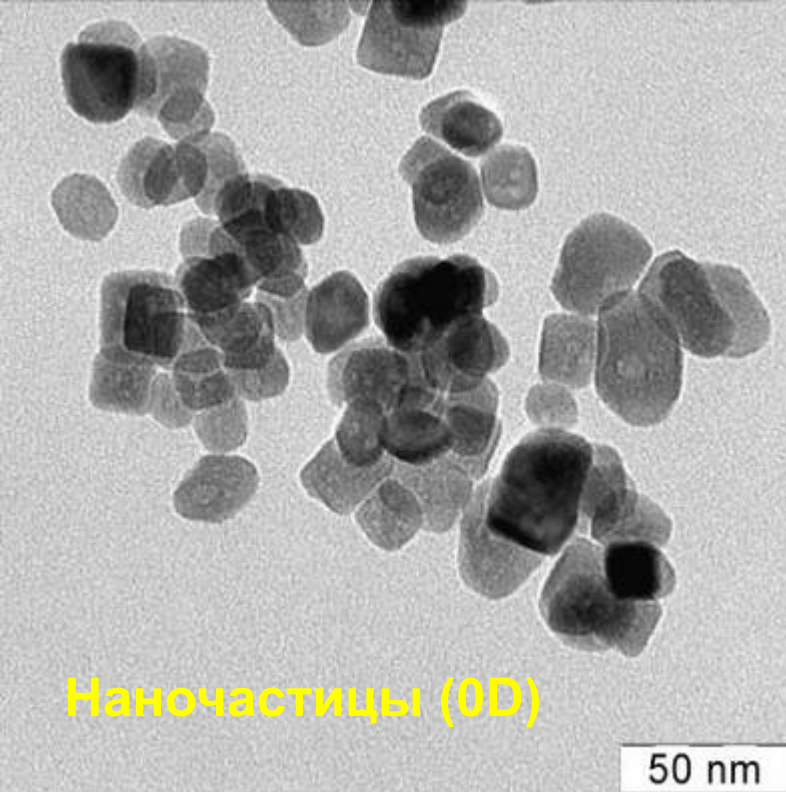


- Фактор времени
- Зависимость от пути перехода
- Дефекты, «состав-структура-свойства»

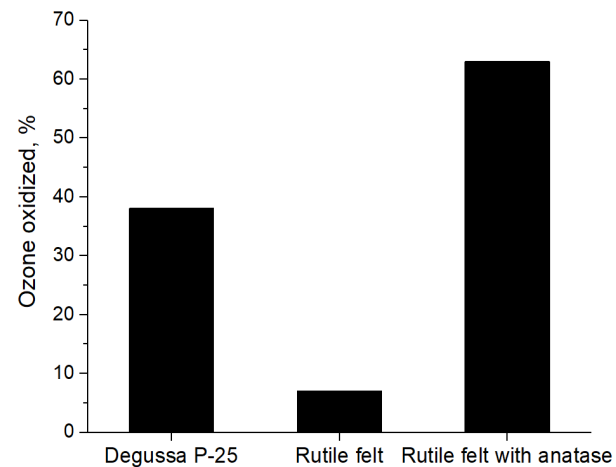
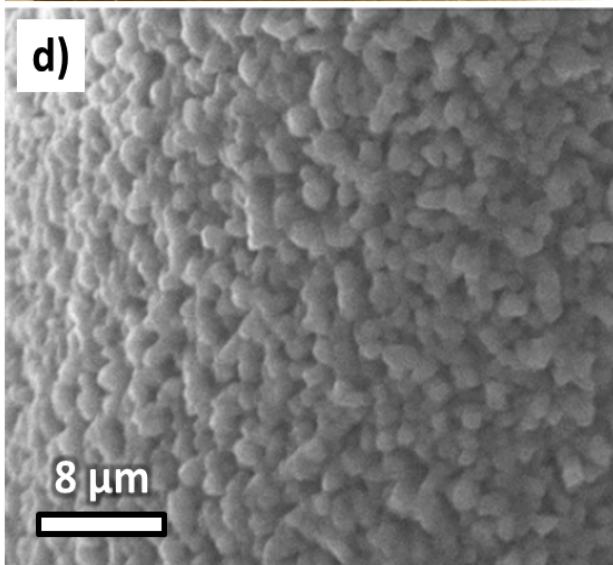
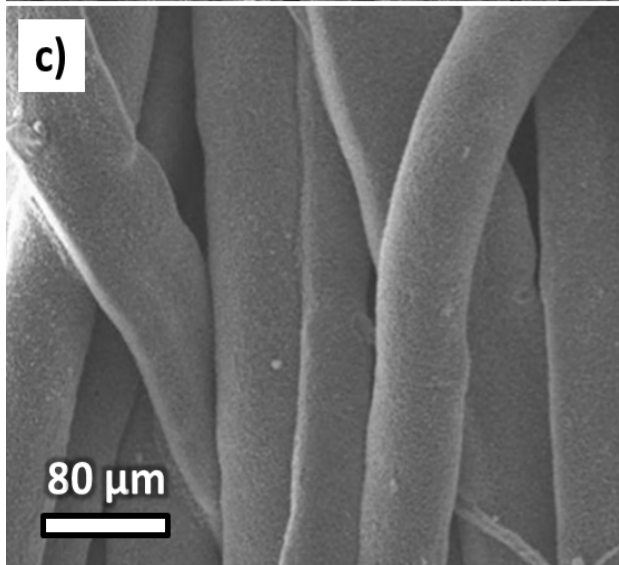
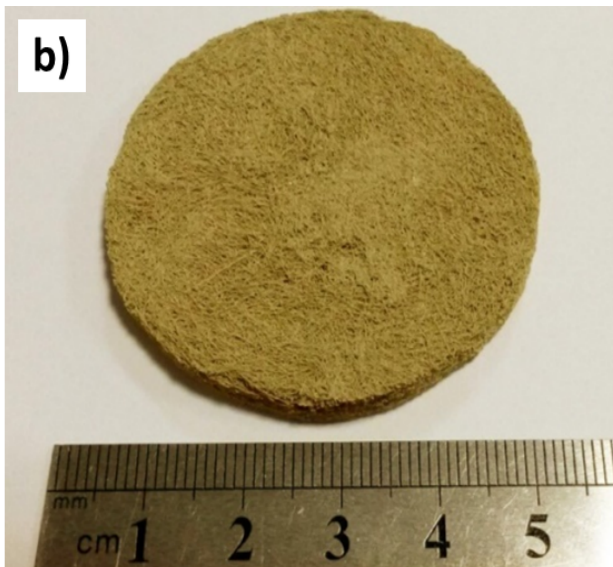
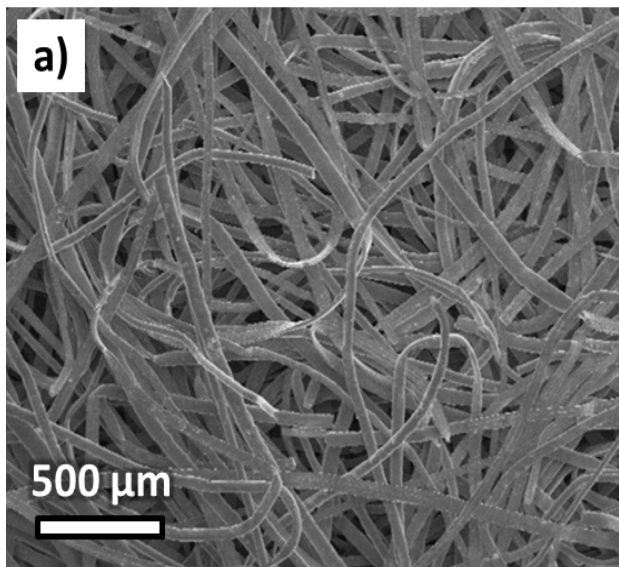


**Разные формы материалов**





# Окислительное конструирование





# Функциональные наноматериалы



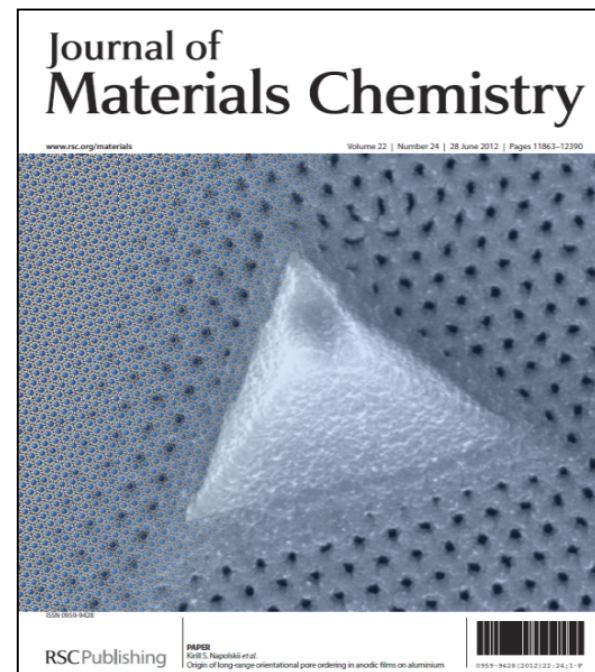
*Член – корр.,  
д.х.н. А.В.Лукашин*



*Доц., к.х.н.  
А.А.Елисеев*



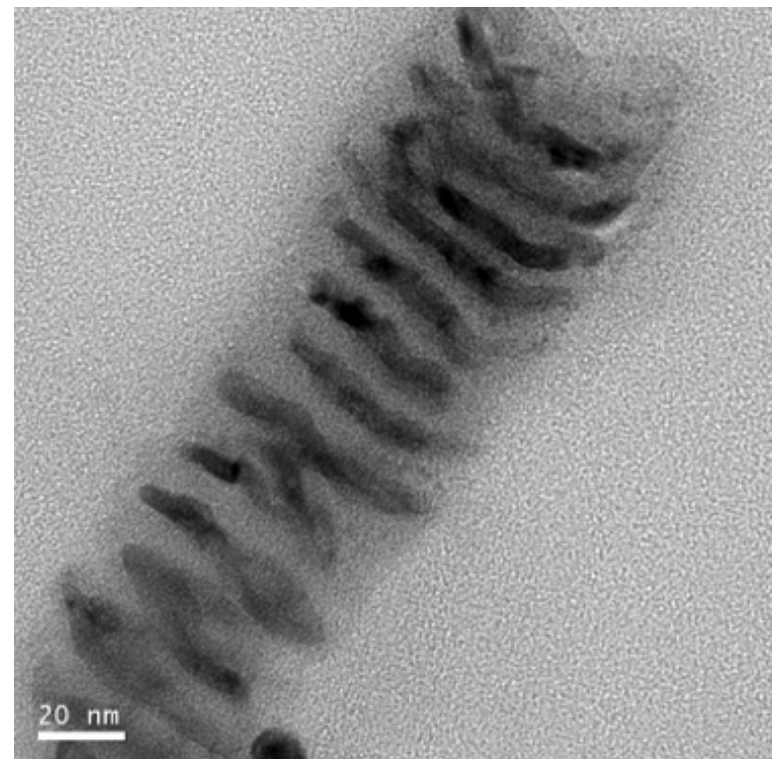
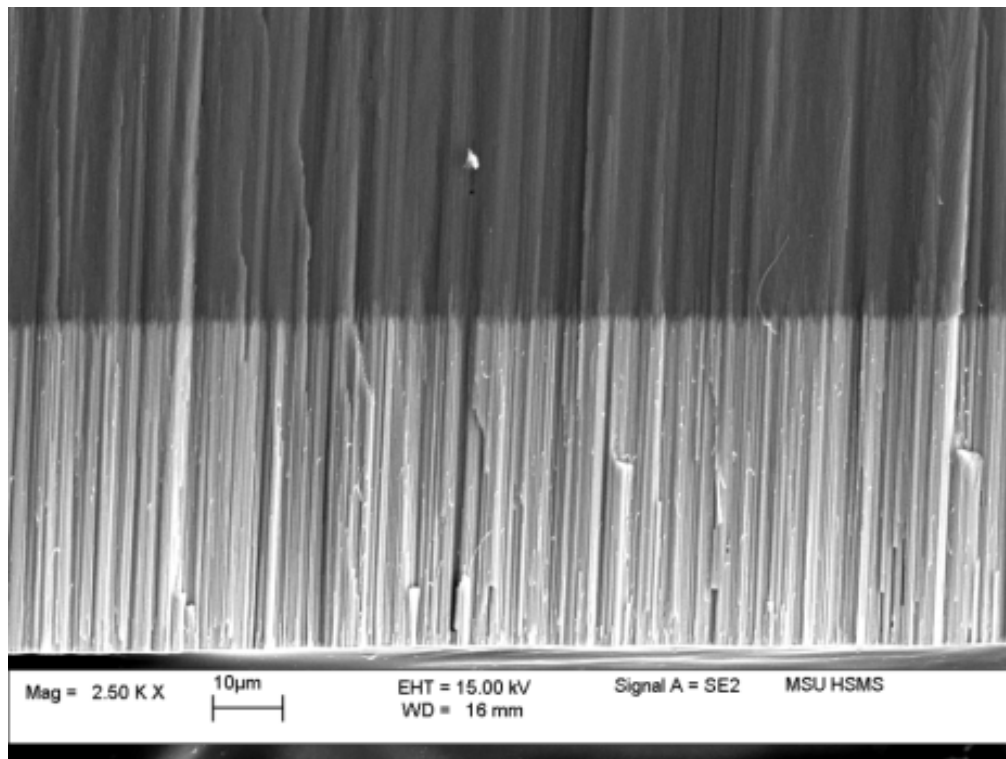
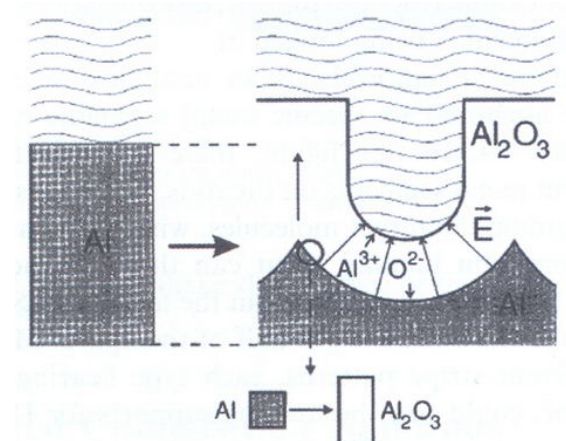
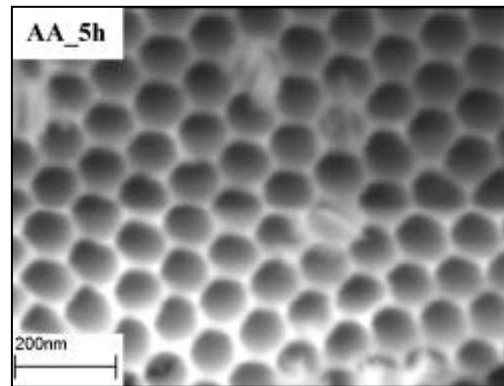
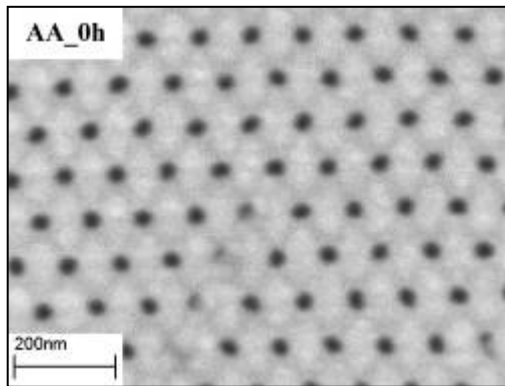
*В.н.с., к.х.н.  
К.С.Напольский*



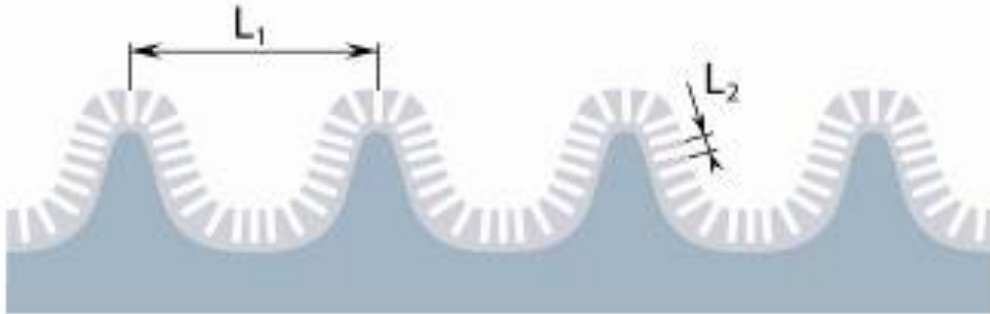
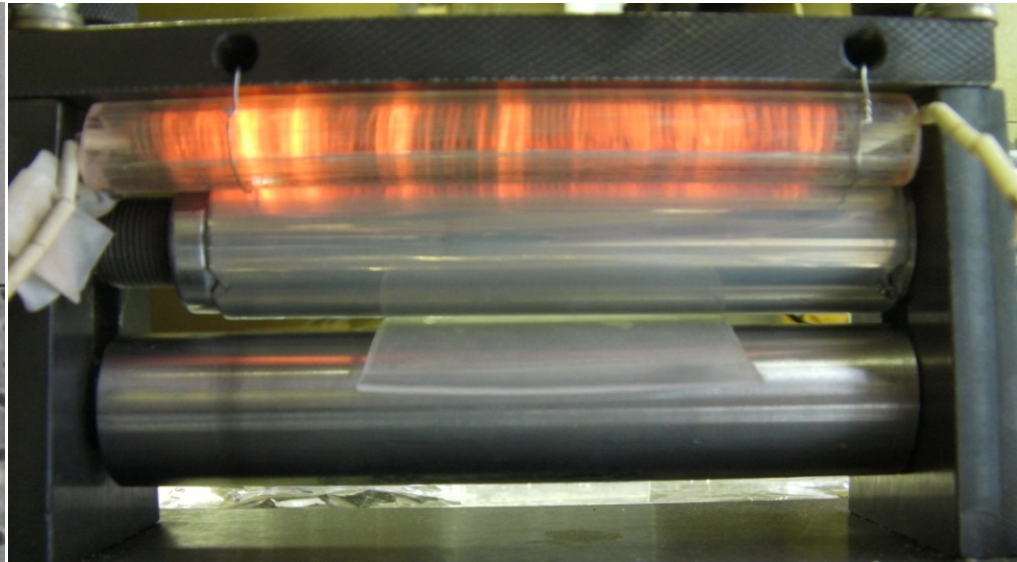
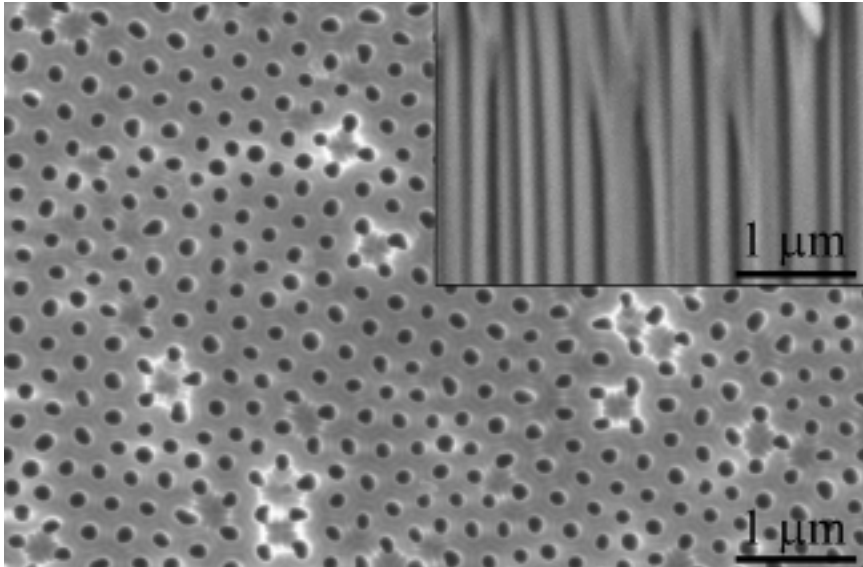
- разработка неорганических и гибридных мембран для фракционирования газообразных и жидких сред,
- получение одномерных наноструктур на основе нанонитей и углеродных нанотрубок для элементов наноэлектроники,
- разработка планарных газовых сенсоров,
- синтез высокоэффективных катализаторов,
- создание фотонных кристаллов,
- фундаментальные исследования процессов самоорганизации,
- развитие новых методов аттестации пространственно-упорядоченных наноматериалов.



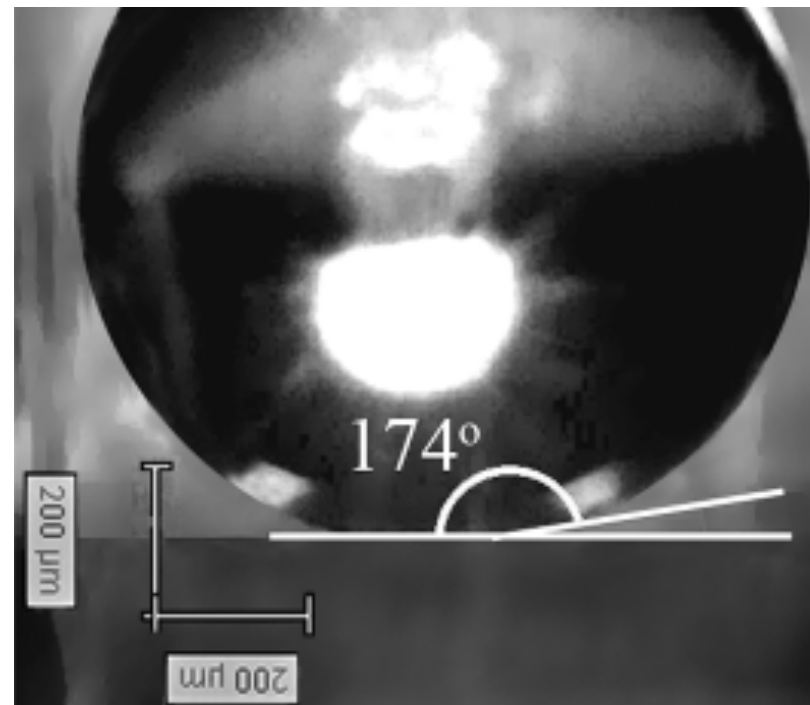
# Нанокompозиты



# Мембраны пористого оксида алюминия



Микрошероховатости  $L_1=5-10\ \mu\text{m}$   
Расстояние между порами  $L_2=300-500\ \text{nm}$ , диаметр пор  $100-250\ \text{nm}$   
+разделение нефтепродуктов  
+опреснение воды  
+термокаталитические сенсоры

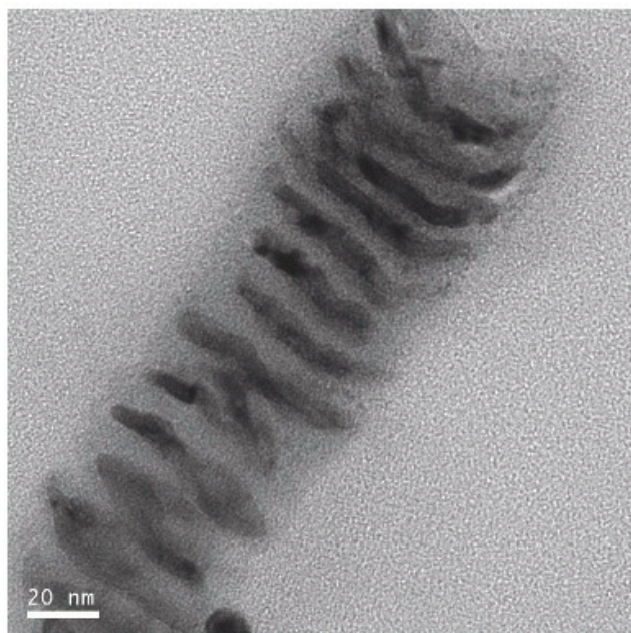




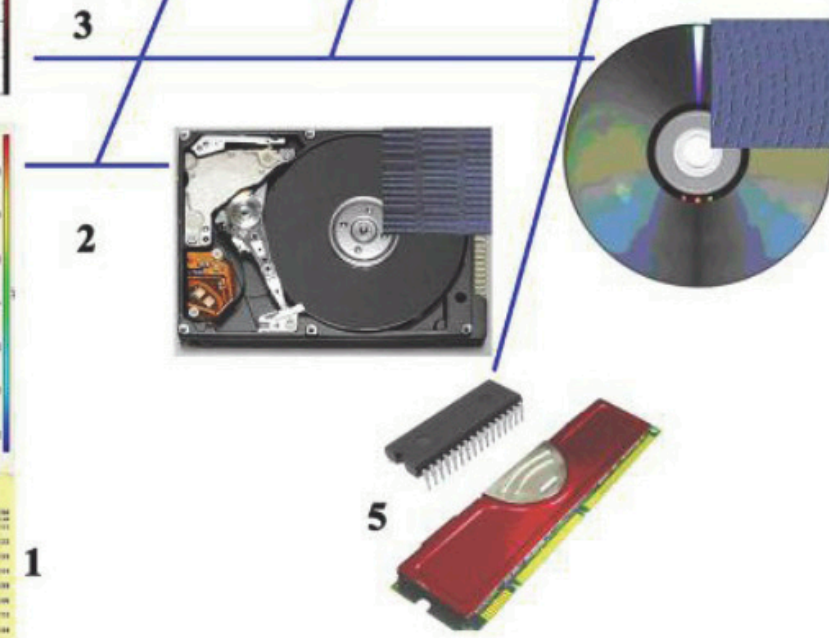
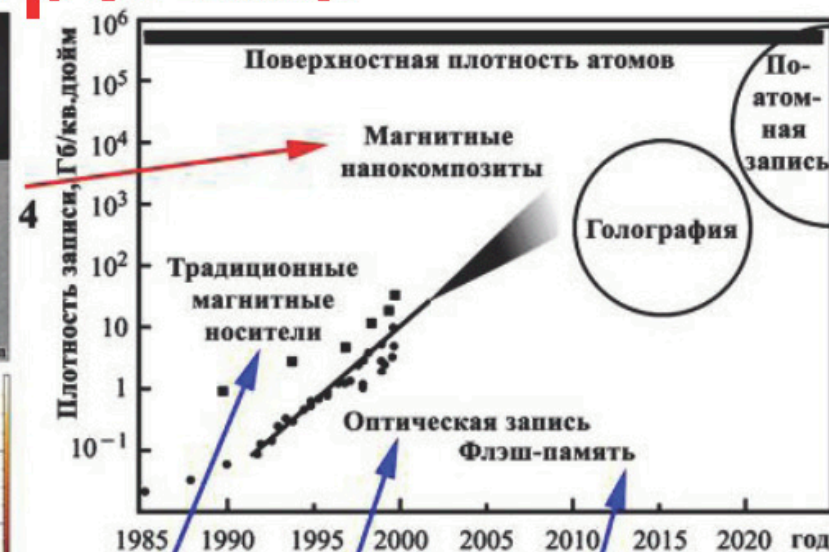
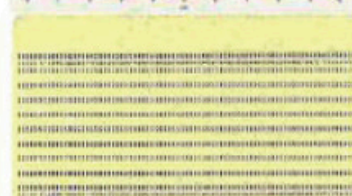
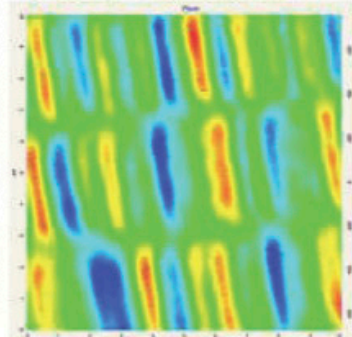
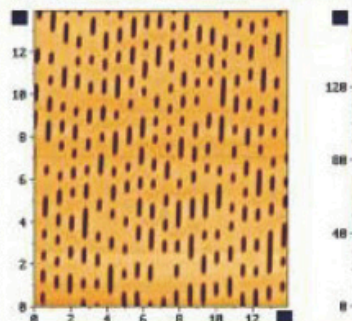
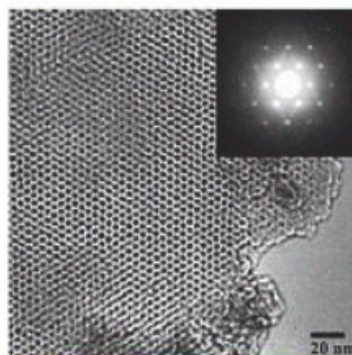
# Информационные технологии и наноэлектроника

Нанопроволока Fe в мезопористом  $\text{SiO}_2$

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



Композитная магнитная нанопроволока (электроосаждение в порах анодированного алюминия)





(импакт-фактор в 2016 г. – 38.9)

# Layered memristive and memcapacitive switches for printable electronics

Alexander A. Bessonov<sup>1\*</sup>, Marina N. Kirikova<sup>1</sup>, Dmitrii I. Petukhov<sup>1,2</sup>, Mark Allen<sup>3</sup>, Tapani Ryhänen<sup>3</sup> and Marc J. A. Bailey<sup>1</sup>

Впервые получены структуры со свойствами гибкого **мемристора** из материала на основе слоистого дисульфида молибдена и слоистого дисульфида вольфрама (**мемристор** — это особое устройство с эффектом памяти, способное хранить информацию о приложенном напряжении и протекающем через него токе, изменяя электрическое сопротивление).

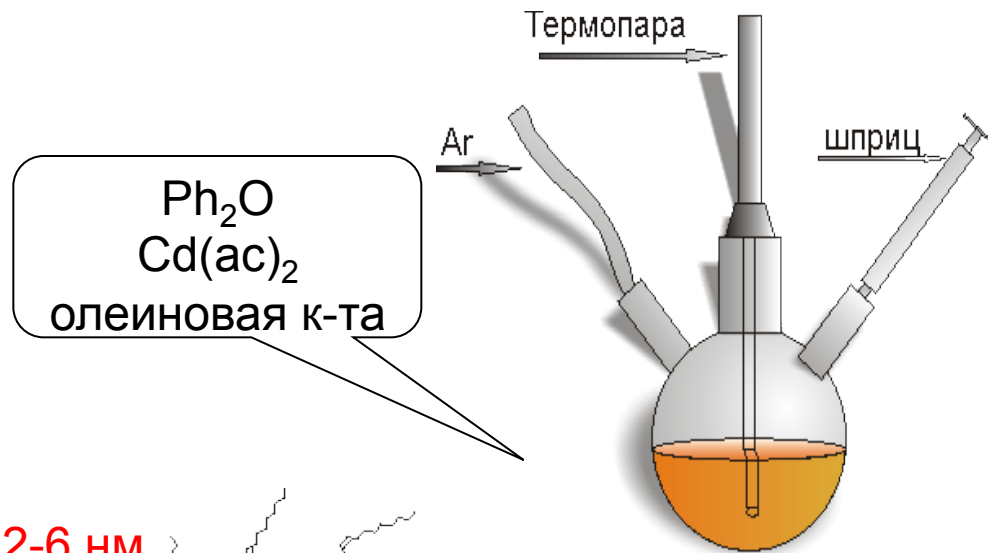




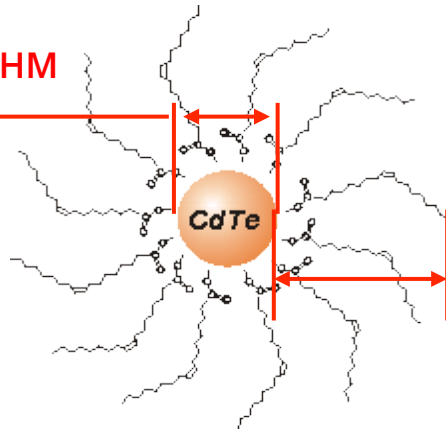
*Самосборка* – процесс образования упорядоченной надмолекулярной структуры или среды, в котором в практически неизменном виде принимают участие только компоненты (элементы) исходной структуры, аддитивно составляющие или «собирающие», как части целого, результирующую сложную структуру.

*Самоорганизация* может быть использована как механизм создания сложных «шаблонов», процессов и структур на более высоком иерархическом уровне организации, чем тот, что наблюдался в исходной системе, за счет многочисленных и многовариантных взаимодействий компонент на низких уровнях, на которых существуют свои, локальные, законы взаимодействия, отличные от коллективных законов поведения самой упорядочивающейся системы. Для процессов самоорганизации характерны различные по масштабу энергии взаимодействия, а также существование ограничений степеней свободы системы на нескольких различных уровнях ее организации.

# Химический синтез квантовых точек

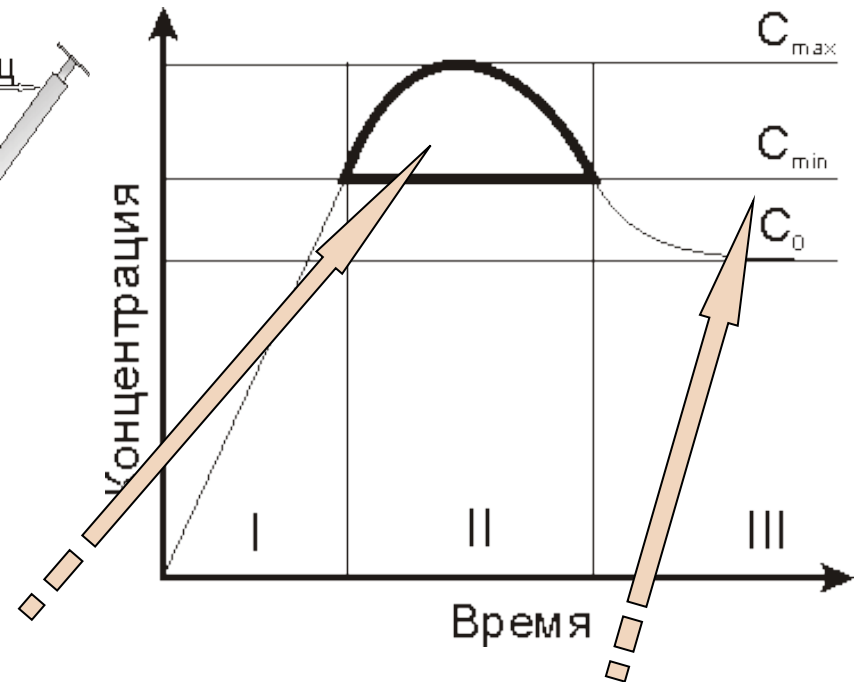


2-6 нм



2 нм

Синтез наночастиц CdTe проводился в режиме пересыщения (II)

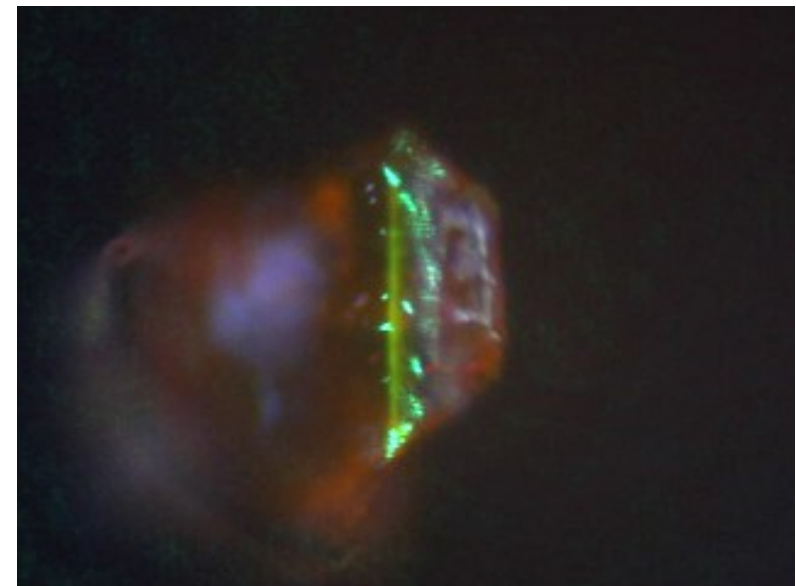
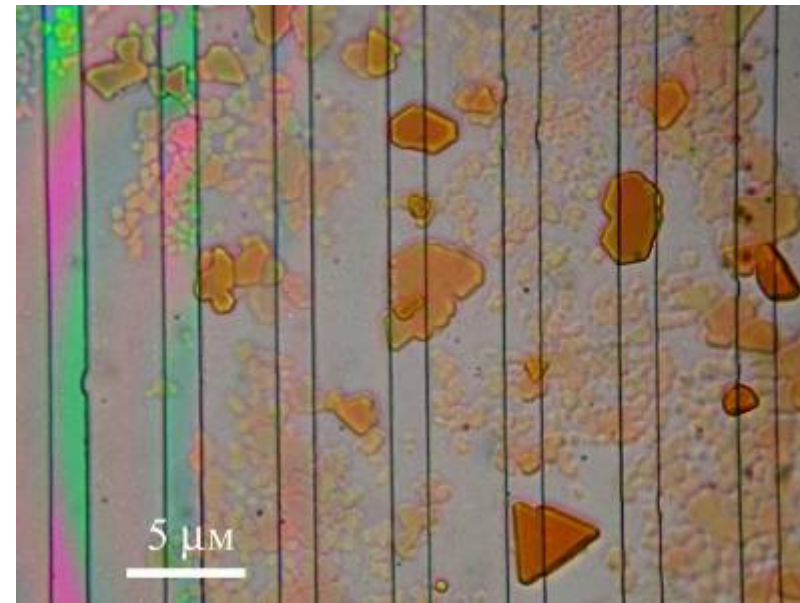
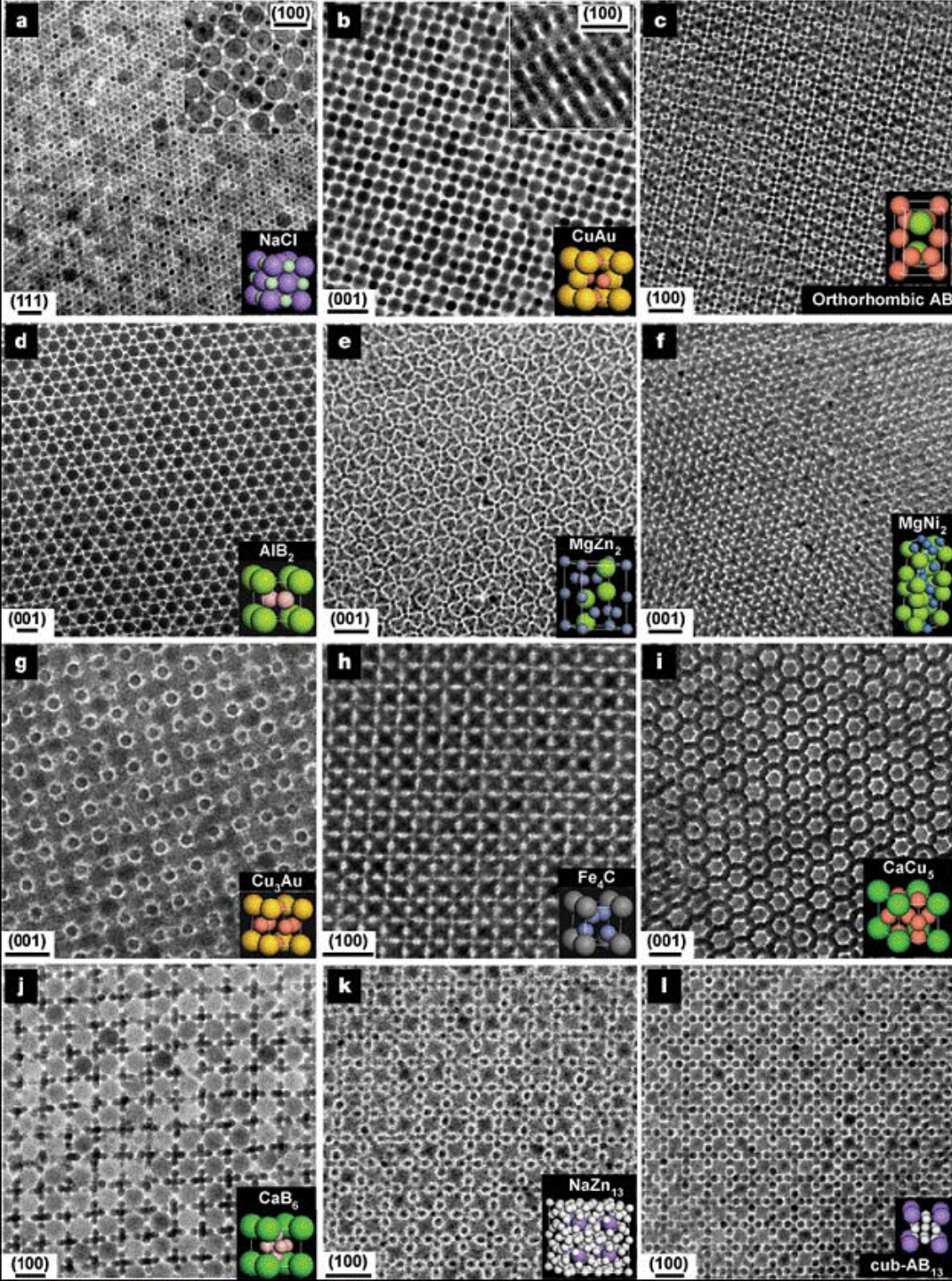


Синтез гетероструктур ядро-оболочка проводился в режиме III методом наращивания на ядре CdTe слоя CdSe.

- мин. время
- макс. пересыщение
- > монодисперсная система



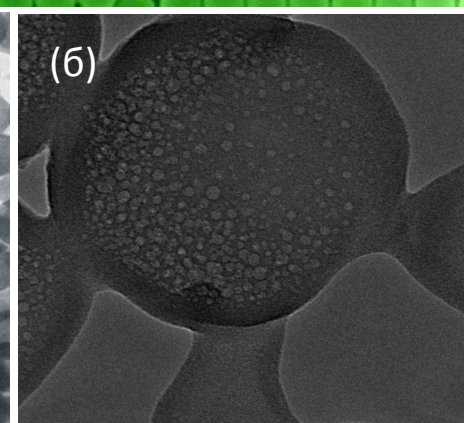
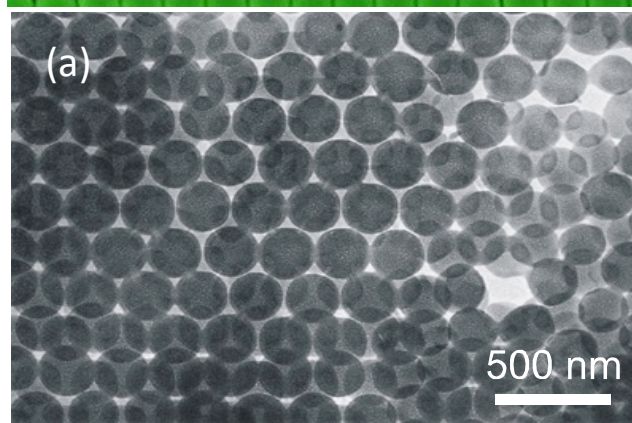
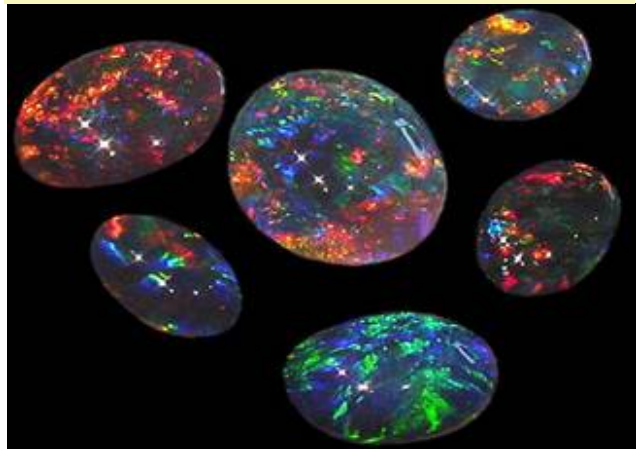
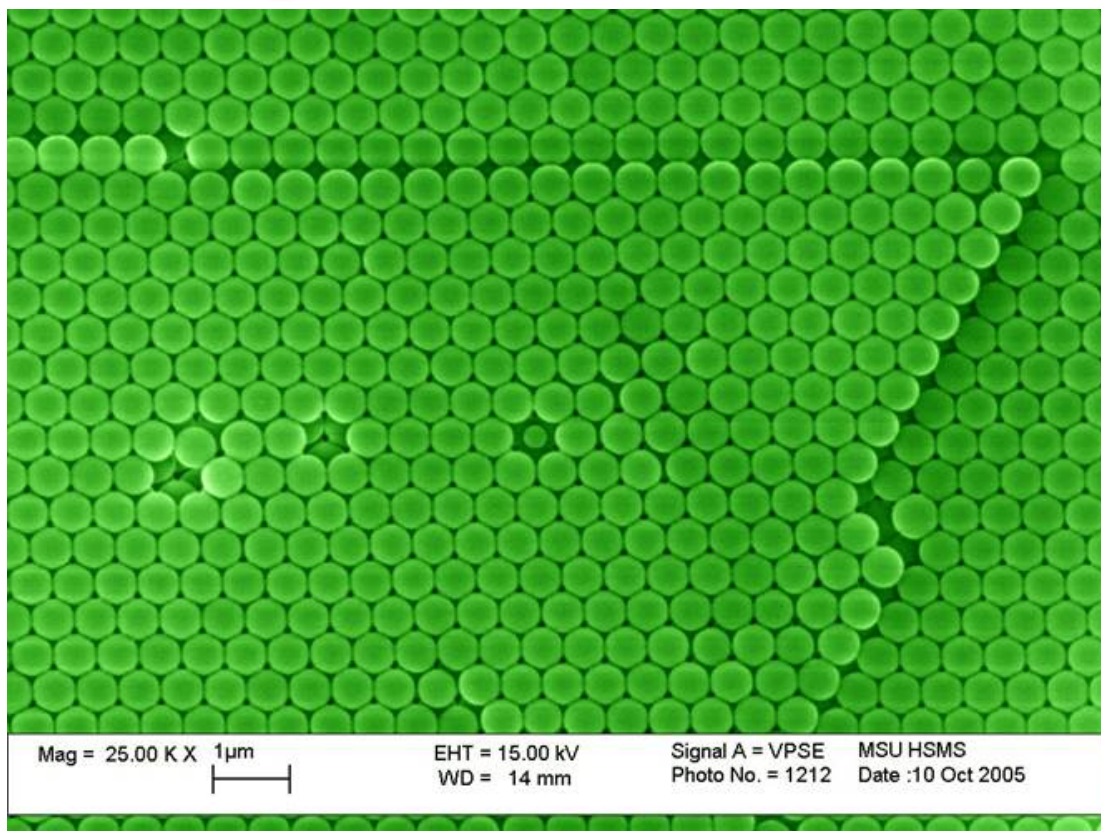
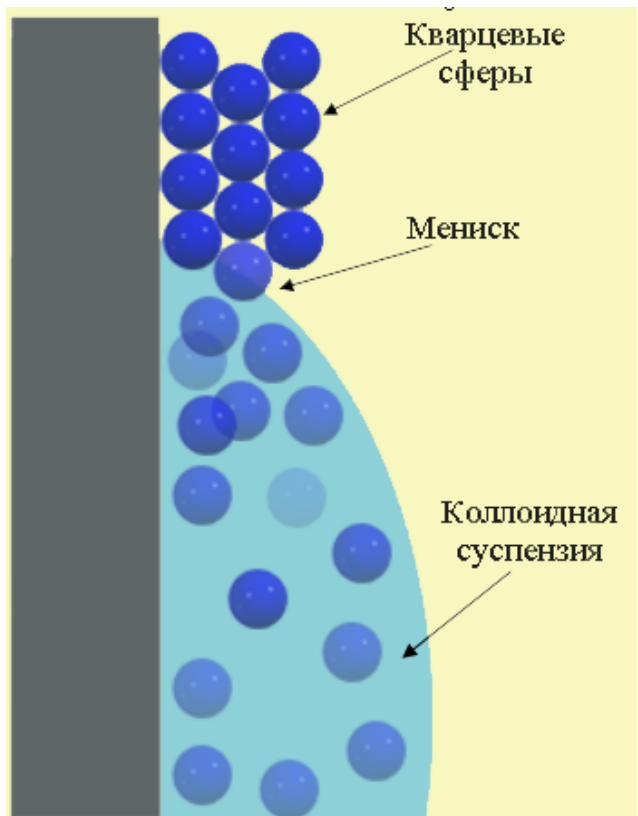
## Самосборка наноструктур



Коллоидный кристалл из  
квантовых точек (ФНМ МГУ)

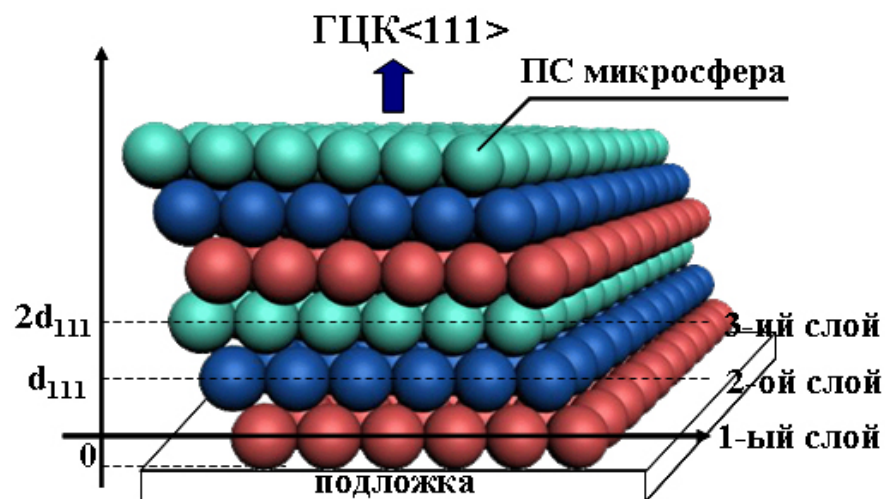
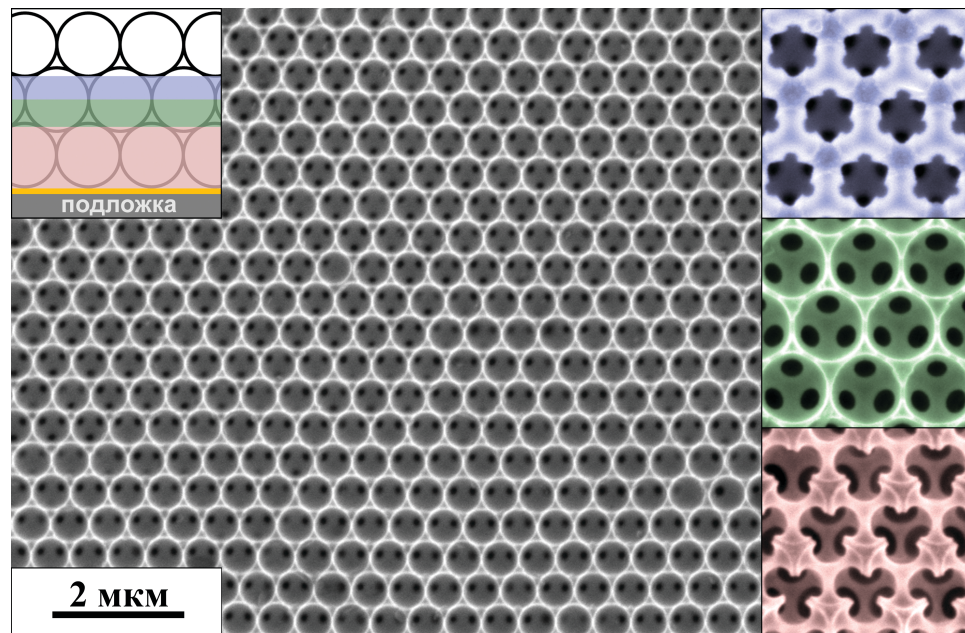
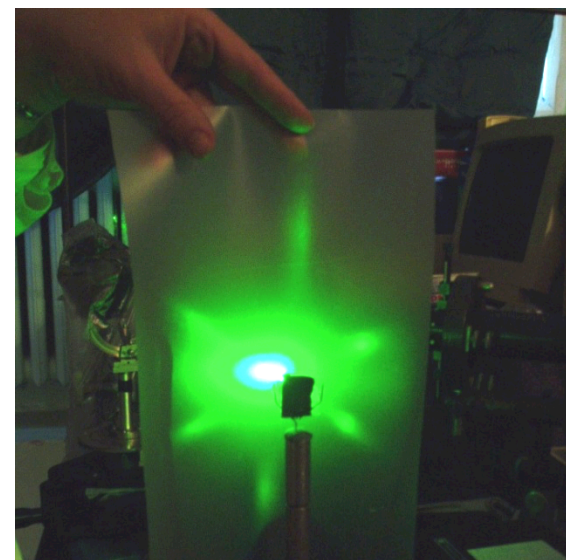
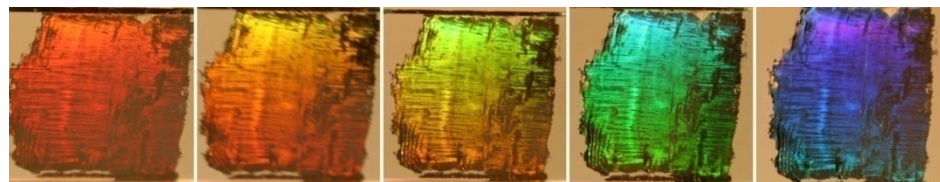
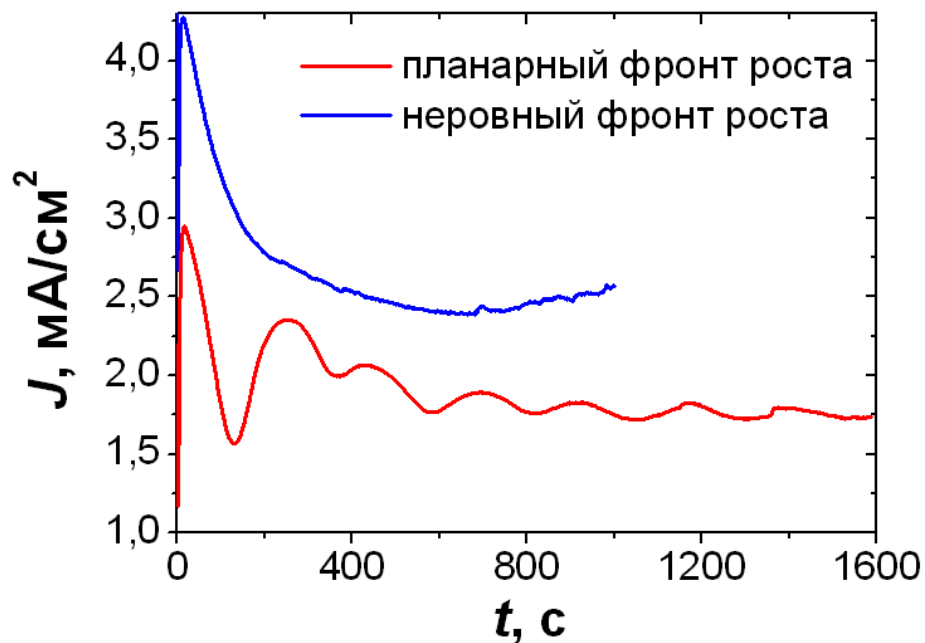


# Фотонный кристалл



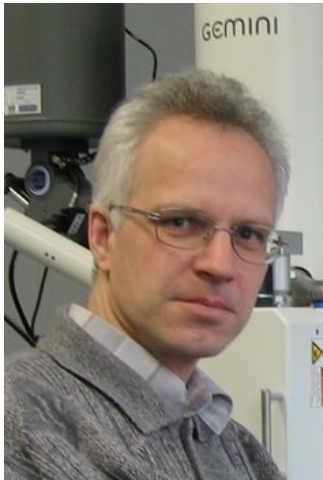


# Фотоника

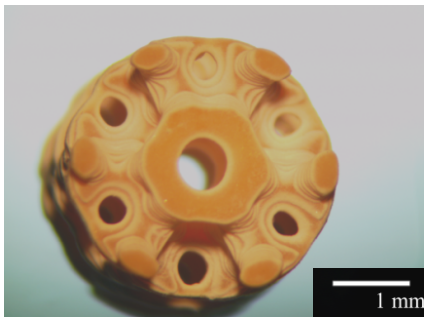




# Биоматериалы

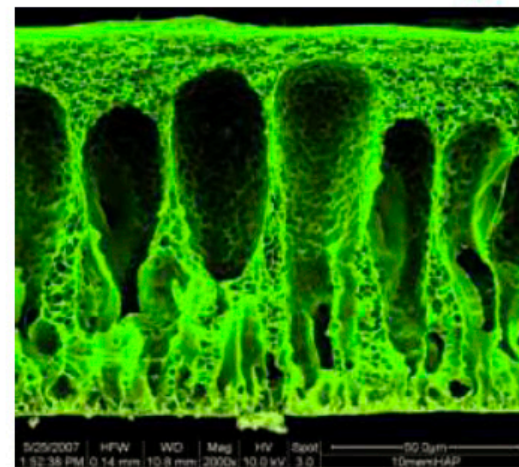
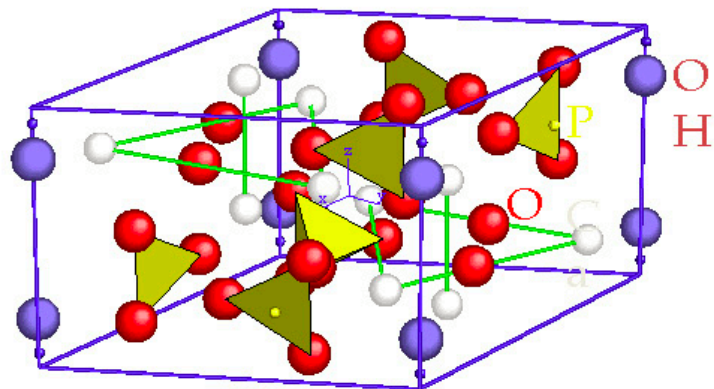
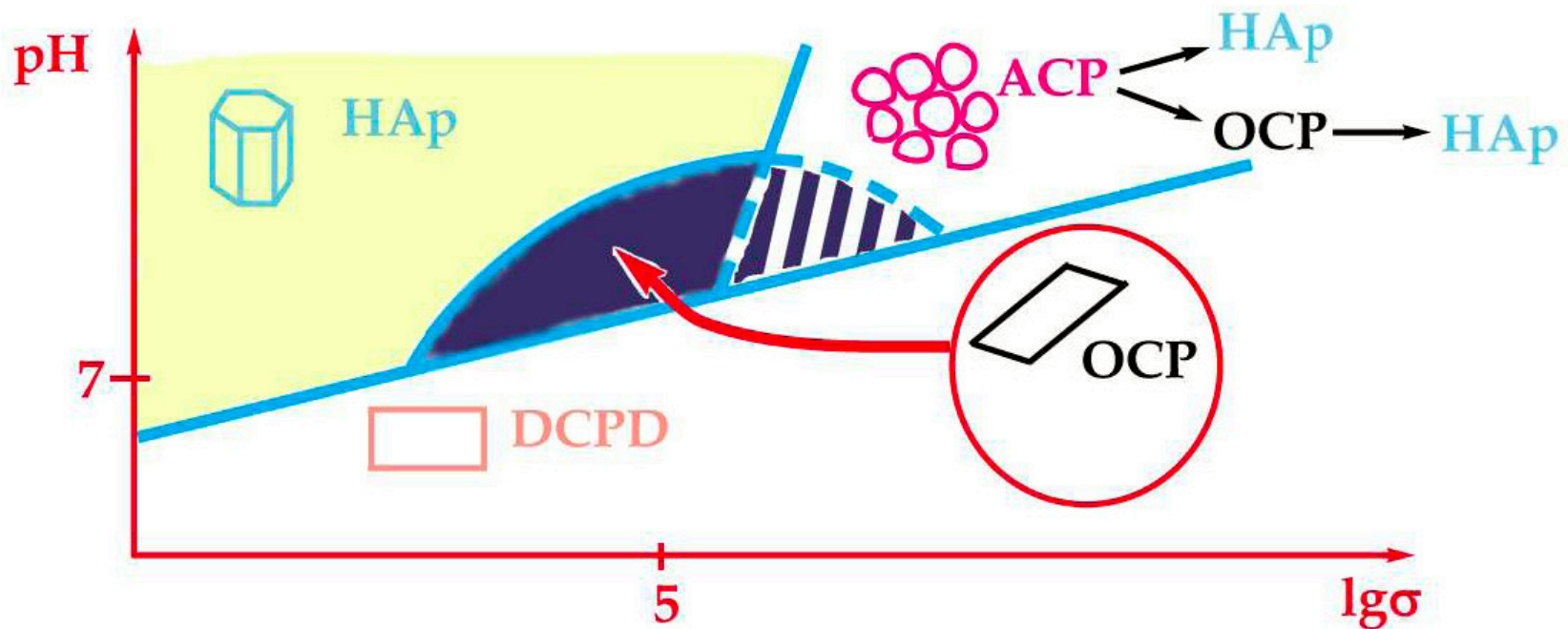


Доц., к.х.н.  
В.И.Путляев и др.



- **Биоматериалы:** неорганическая химия оксидов и фосфатов ( $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , полифосфаты кальция),
- материаловедение керамики, цемента, стекла, композитов для биомедицинских применений,
- разработка новых методов синтеза и модифицирования неорганических порошковых материалов, высокотехнологичного дизайна и механики компактных неорганических композиционных материалов биомедицинского применения,
- оценка медико-биологических свойств аллопластических биоматериалов,
- формирование остеокондуктивной биокерамики на основе смешанных ортофосфатов типа  $\text{Ca}_{3-x}\text{M}_{2x}(\text{PO}_4)_2$  ( $\text{M}=\text{Na}, \text{K}$ ) с ренанитоподобной структурой методами 3D-печати
- Модификация **армирующих наполнителей в композитах строительного назначения:** формирование контактной зоны неорганических композиционных конструкционных материалов с использованием направленной модификации приповерхностного слоя армирующей фазы (базальтовые, кварцевые, асбестовые, волластонитовые и др. волокна),
- Исследование материалов методами **электронной микроскопии:** исследование как материалов, полученных в рамках собственных проектов группы, так и материалов ЛНМ, кафедр МГУ, ФНМ, сторонних подразделений и организаций, методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии (Libra 200 (Carl Zeiss) и JEM-2000FXII (JEOL), растрового электронного микроскопа LEO Supra 50VP).

# ГАП: влияние условий синтеза



# 3D-печать остеокондуктивной биокерамики





# «Нанобио»



## ➤ Малый размер

⇒ могут проникать в капилляры, ткани и клетки

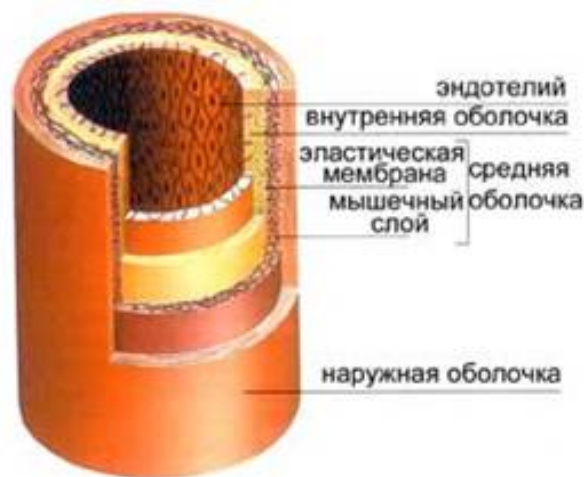
## ➤ Развитая поверхность

⇒ «контейнеры» для биологически активных в-в

⇒ частицы неорганических материалов можно сделать нетоксичными

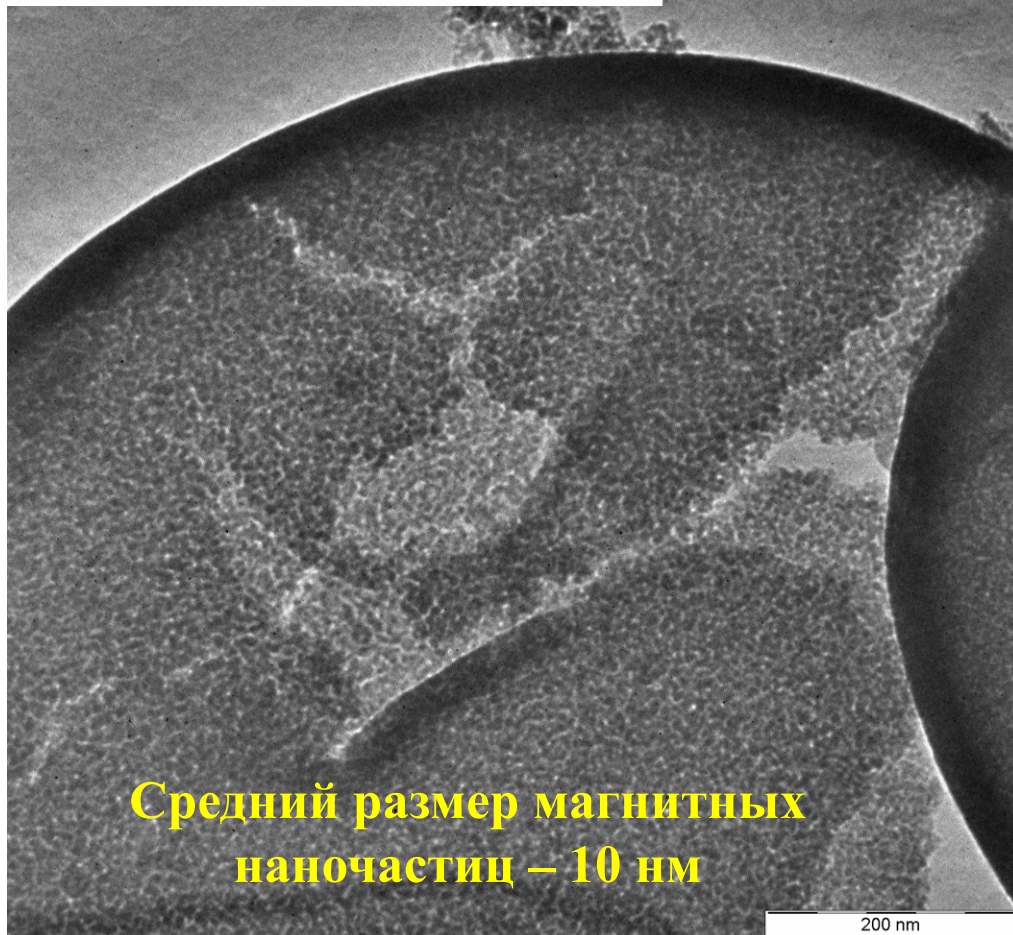
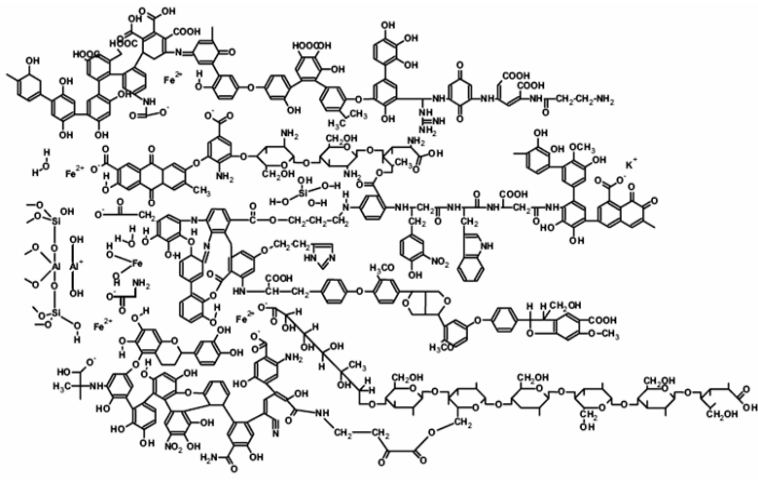
⇒ свойства частиц зависят от состояния поверхности

## ➤ Необычные для свойства – магнитные и оптические



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

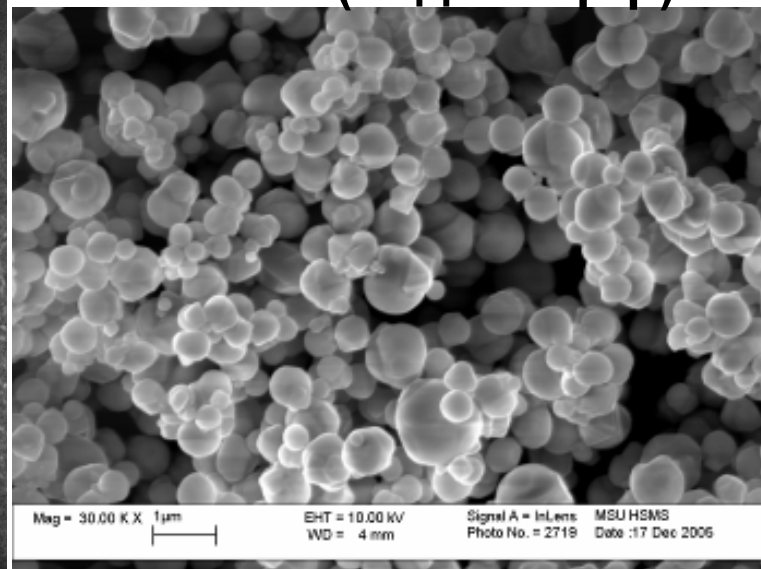
# SPION / NaCl



**Средний размер магнитных  
наночастиц – 10 нм**

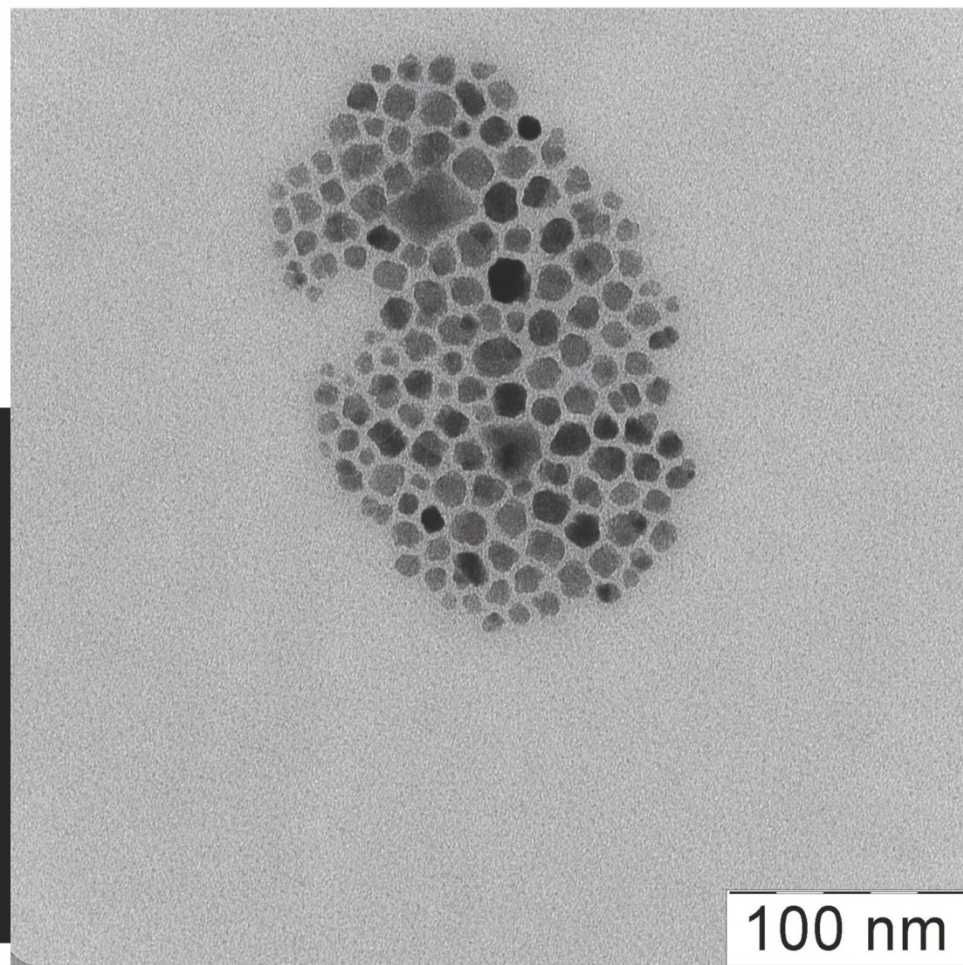
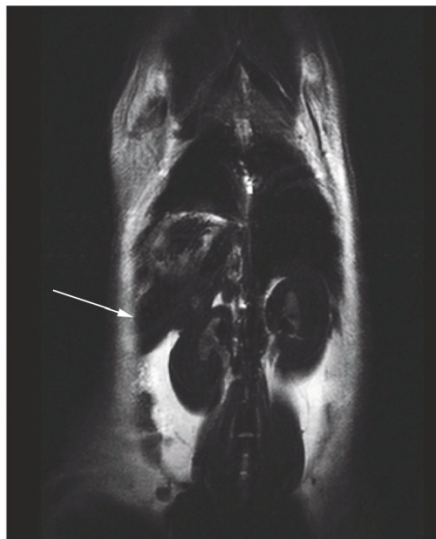
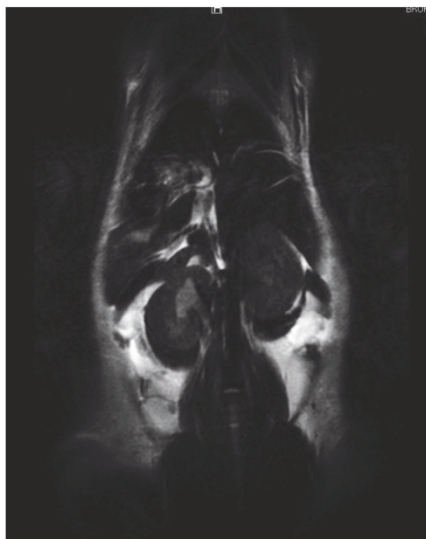
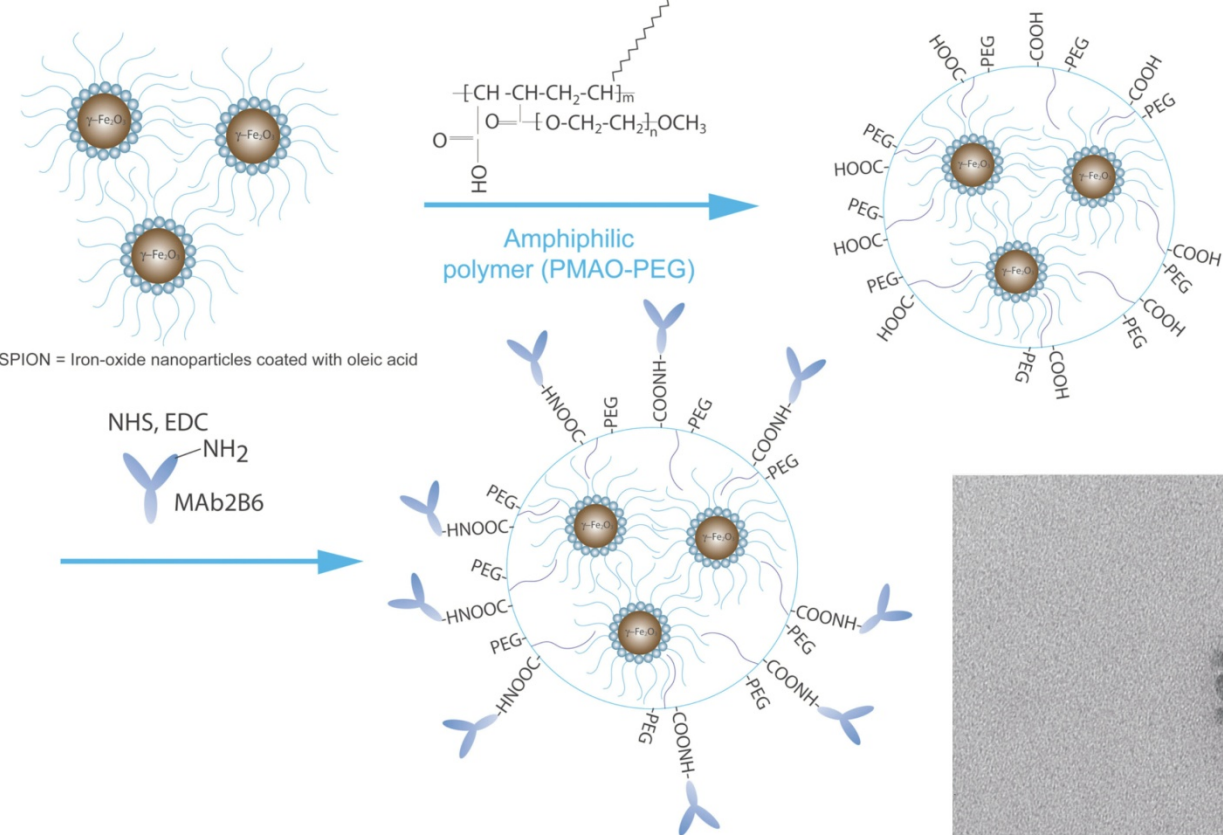


**3-10 часов (водный р-р)**

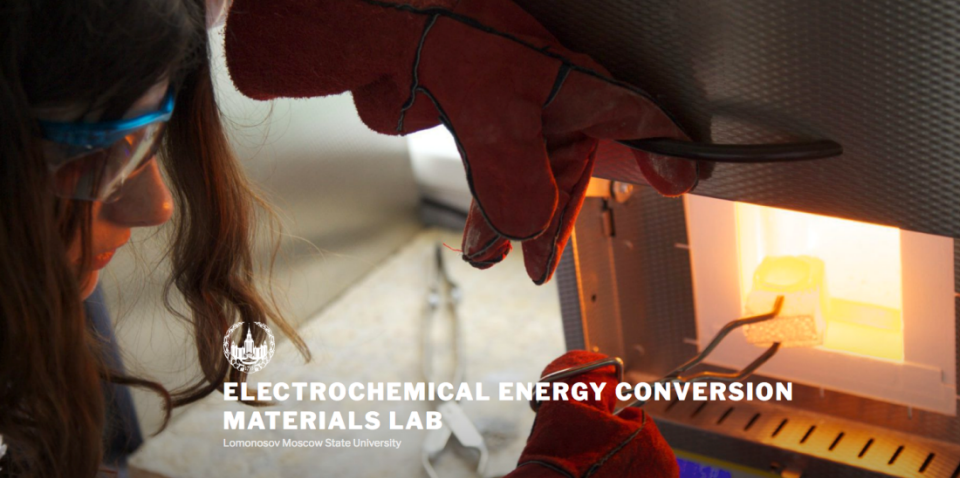


**Субмикронные микросферы  
NaCl :  $\gamma$  -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$**

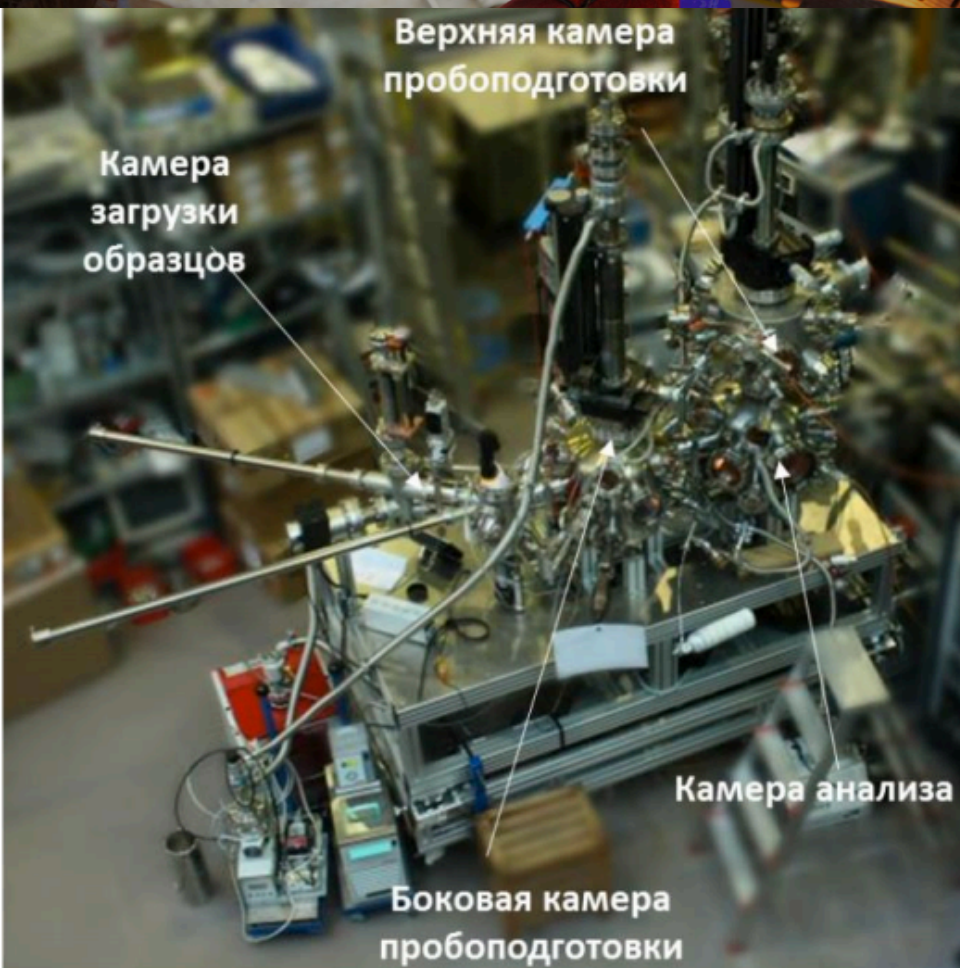








**ELECTROCHEMICAL ENERGY CONVERSION  
MATERIALS LAB**  
Lomonosov Moscow State University



# Лаборатория Электрохимических Материалов

## Staff & PostDocs



**Dr. Daniil Itkis**  
senior research scientist  
d.itkis@fmlab.ru



**Dr. Elmar Kataev**  
junior research scientist  
e.kataev@fmlab.ru



**Dr. Lada Yashina**  
leading research scientist  
yashina@inorg.chem.msu.ru



**Dr. Olesya Kapitanova**  
junior research scientist  
o.kapitanova@fmlab.ru

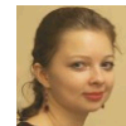


**Dr. Victor Krivchenko**  
senior research scientist  
victi81@mail.ru

## PhD students



**Alina Belova**  
a.belova@fmlab.ru  
**Research:** Advanced in situ tools for electrochemical interfaces, Oxygen redox in aprotic media



**Anna Kozmenkova**  
a.kozmenkova@fmlab.ru  
**Research:** Lithium-ion battery materials, Oxygen redox in aprotic media



**Artem Sergeev**  
a.sergeev@fmlab.ru  
**Research:** Oxygen redox in aprotic media



**Tatiana Zakharchenko**  
t.zakharchenko@fmlab.ru  
**Research:** Oxygen redox in aprotic media



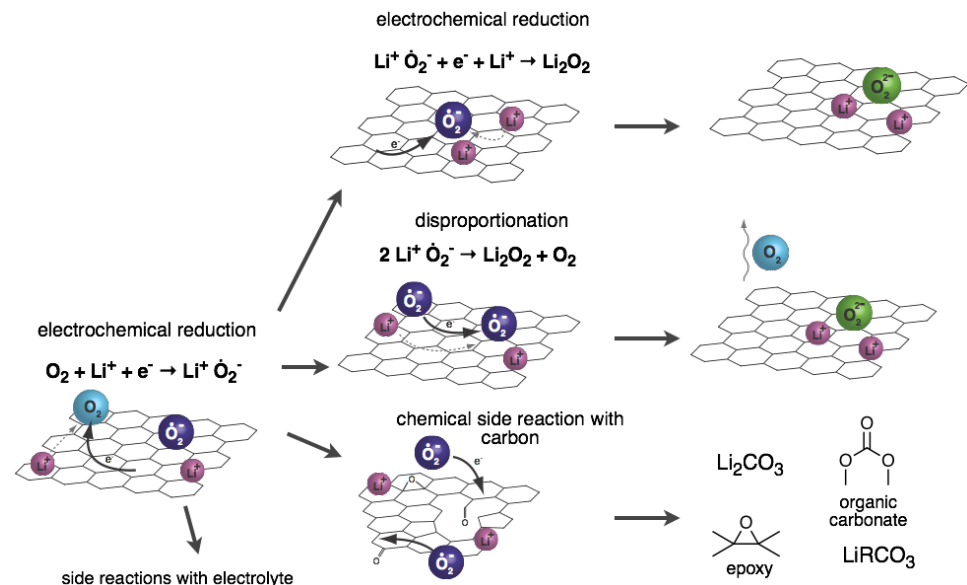
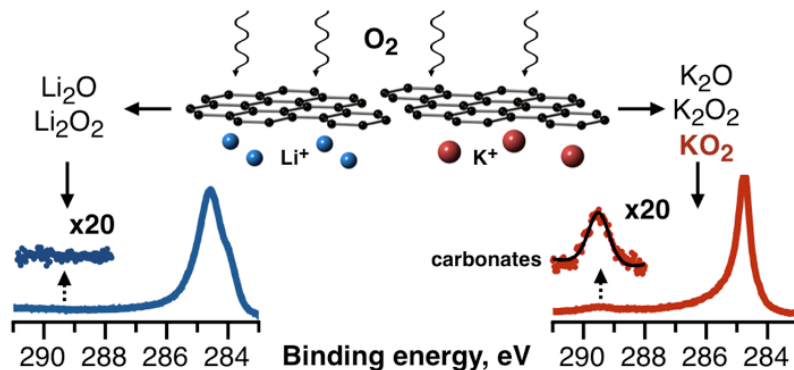
**Victor Vizgalov**  
vvizgalov@fmlab.ru  
**Research:** Solid lithium-ion conductors

# Электрохимическая энергетика

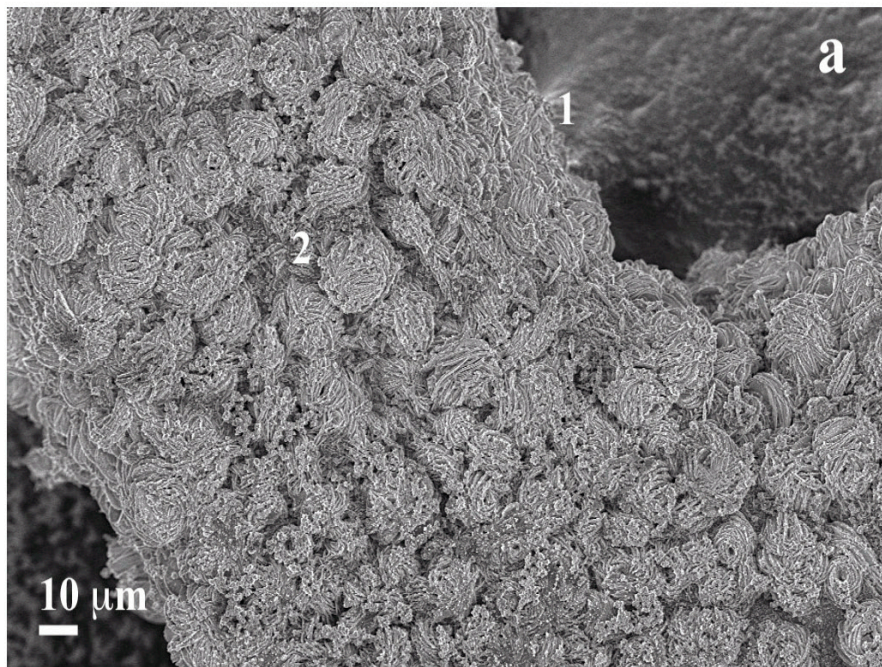


С.Н.С., К.Х.Н.  
Д.М.Иткус и др.

- проблемы создания перезаряжаемых литий-воздушных аккумуляторов,
- разработка высокочемких электродных материалов для интеркаляции лития,
- разработка новых твердых литий-проводящих электролитов,
- развитие методов инструментального анализа материалов и механизмов процессов в электрохимических источниках тока (в том числе in situ) при использовании современных подходов в электрохимии, электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, синхротронного излучения,
- многомасштабное компьютерное моделирование процессов в электрохимических источниках тока.



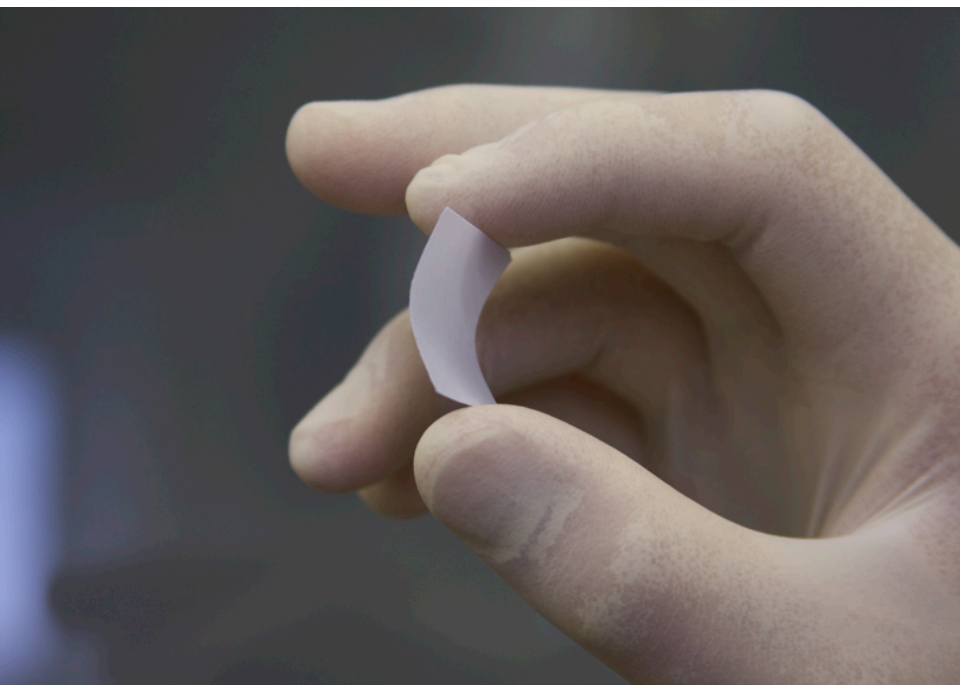
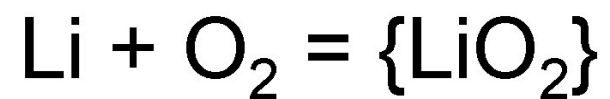




Горение на воздухе  
 $4\text{Li} + \text{O}_2 = 2 \text{Li}_2\text{O}$

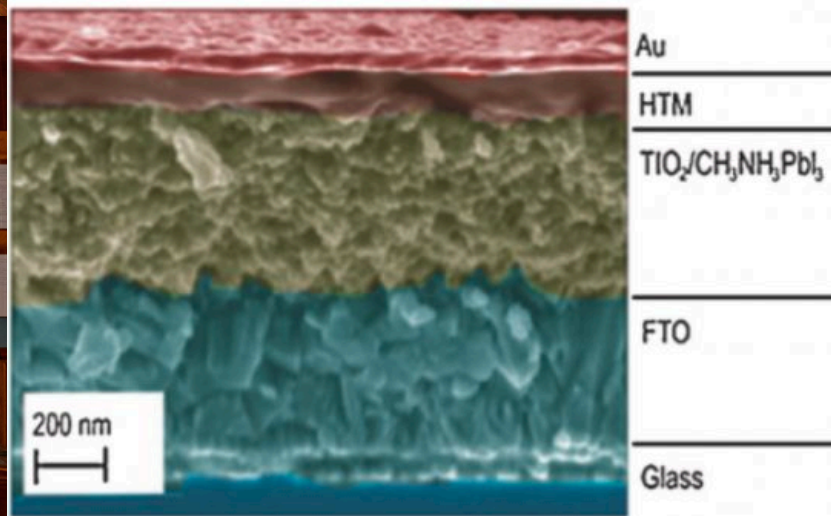
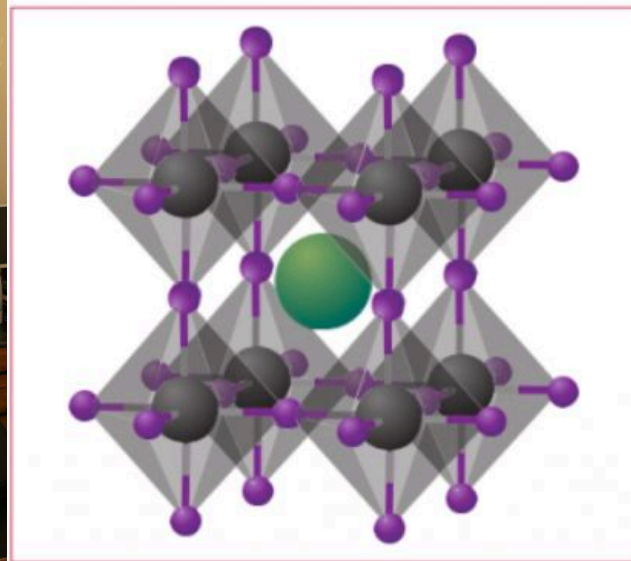


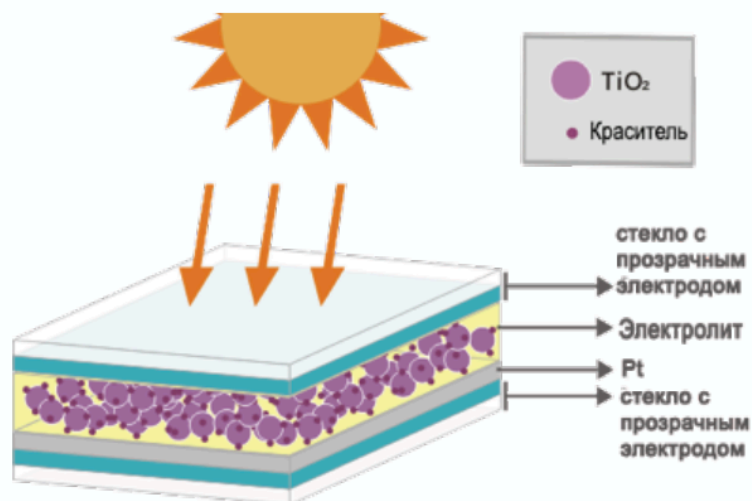
Литий – воздушный  
 аккумулятор:





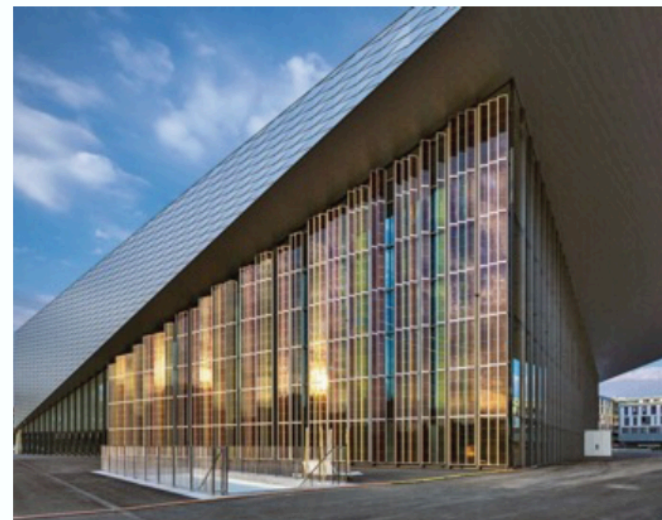
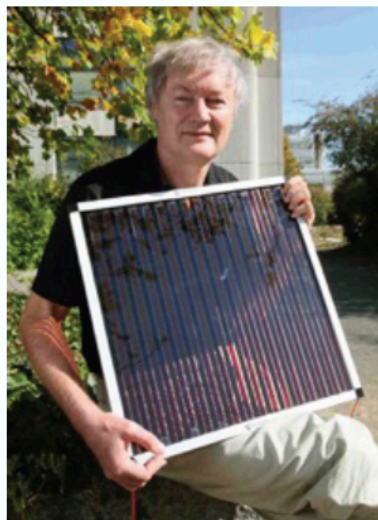
# Молодежная лаборатория Новых Материалов для Солнечной Энергетики



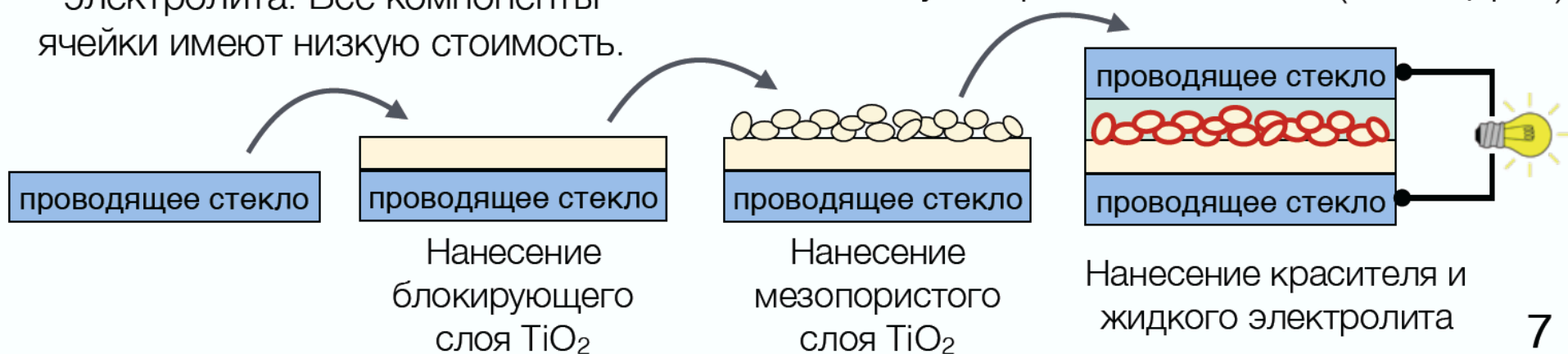


Ячейки Гретцеля состоят из электрон-проводящего материала ( $\text{TiO}_2$ ), органического красителя и дырочно-проводящего жидкого электролита. Все компоненты ячейки имеют низкую стоимость.

Михаэль Гретцель держит в руках панель из сенсibilизированных красителем ячеек



Ячейки Гретцеля установлены на всех окнах в университете Лозанны (Швейцария)



## История развития перовскитных ячеек

**1991 год**

Михаэль Гретцель создал  
сенситизированные красителем  
солнечные ячейки (ячейки Гретцеля)



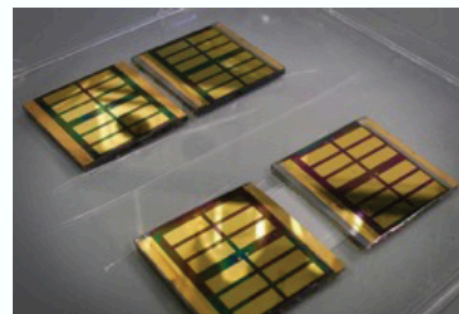
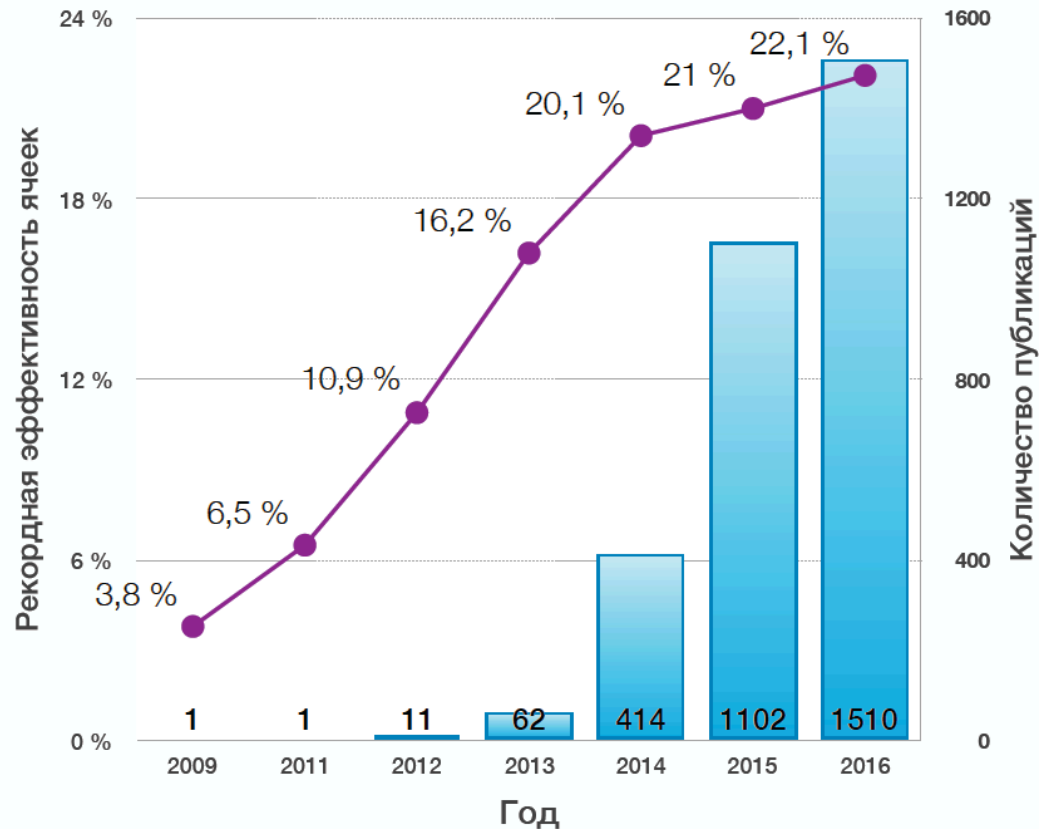
**2009 год**

Японский ученый Тсутому Миясака  
заменял органический краситель на  
перовскит в ячейке Гретцеля



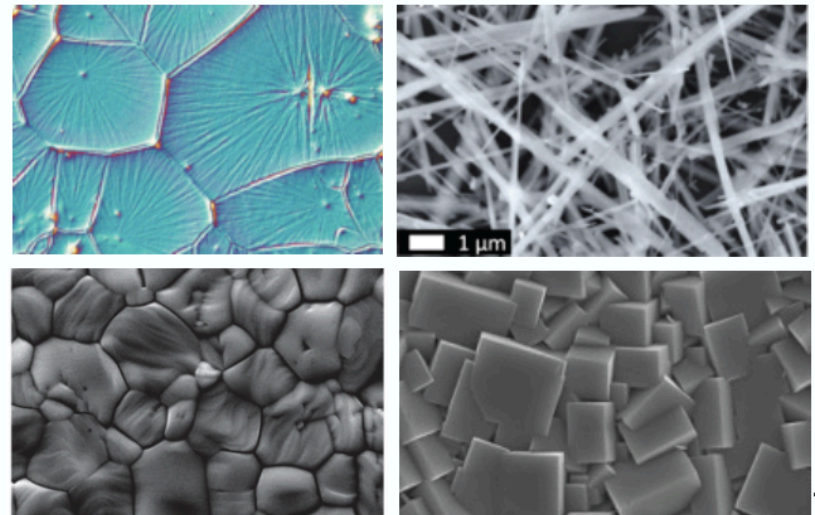
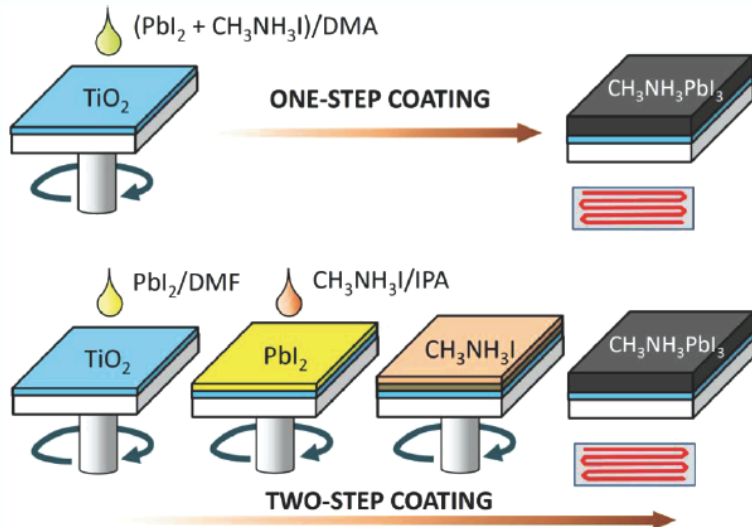
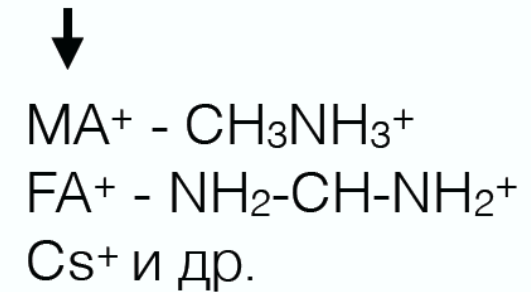
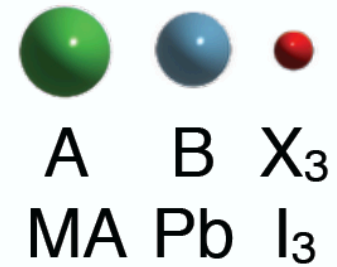
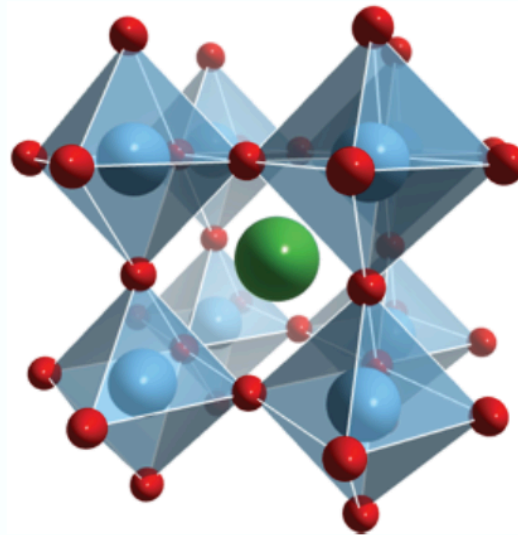
**2016 год**

Перовскитные солнечные ячейки  
с рекордной эффективностью 22,1%

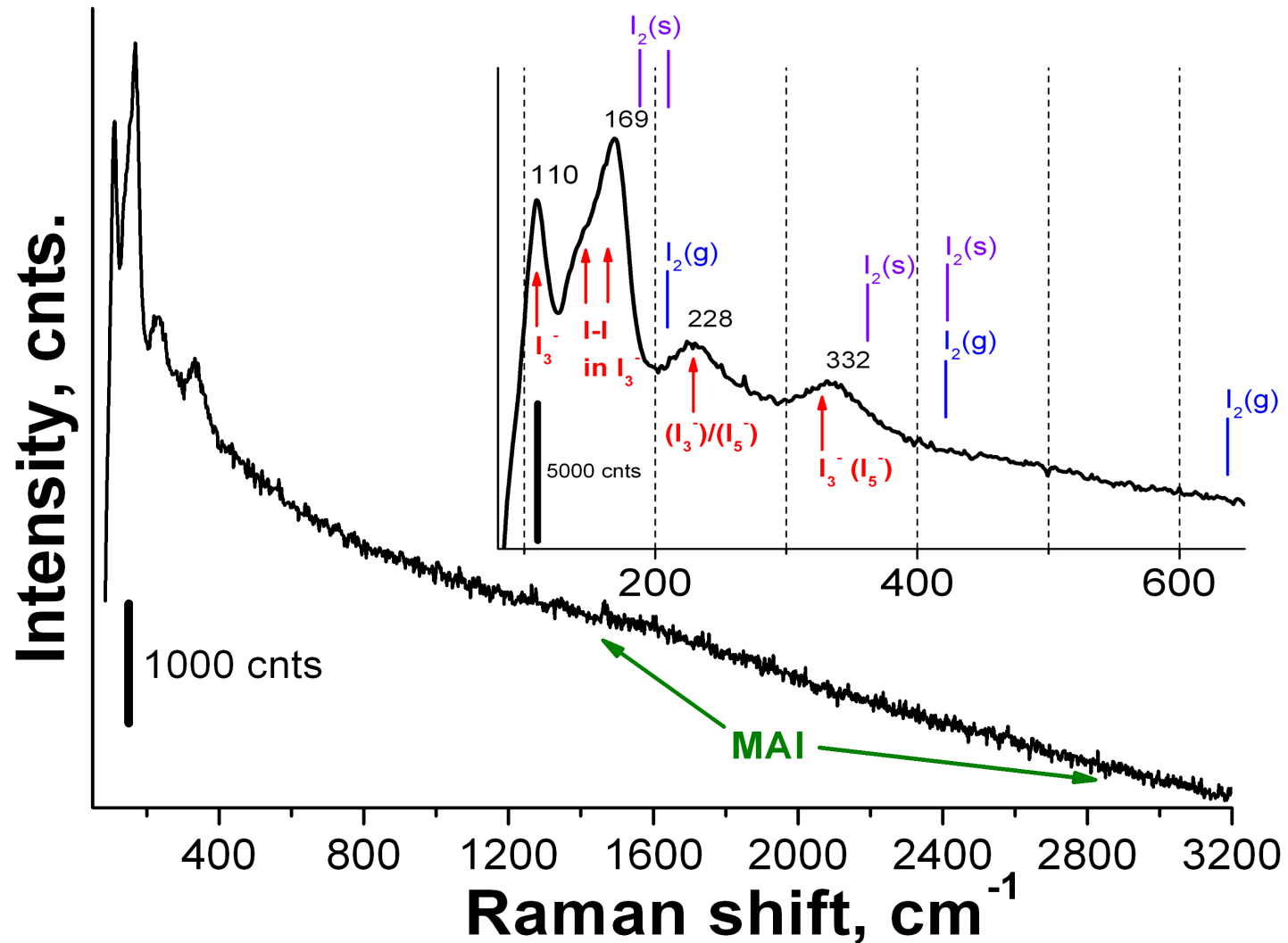




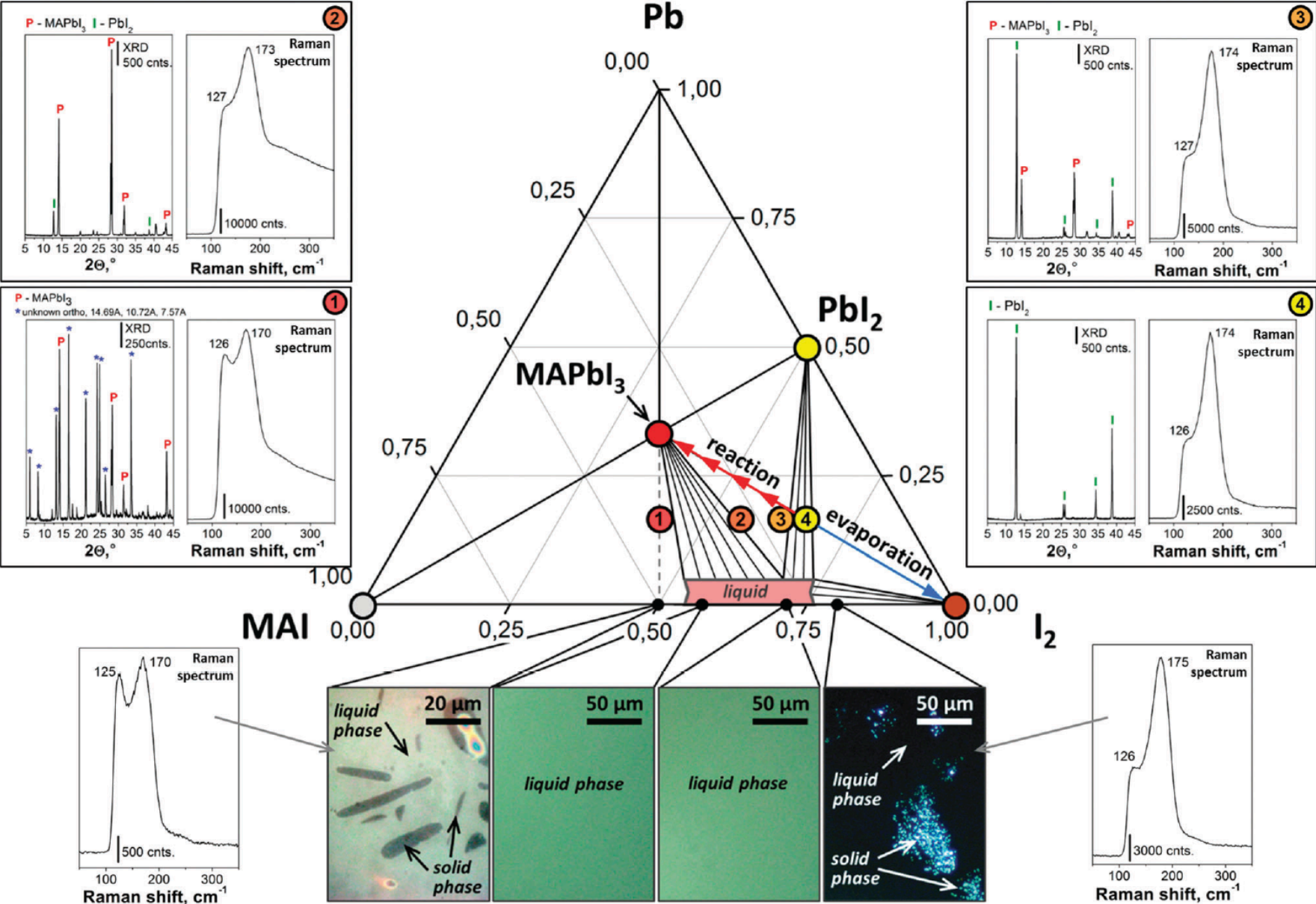
Перовскит - это соединение с общей формулой  $ABX_3$  и характерной кристаллической структурой



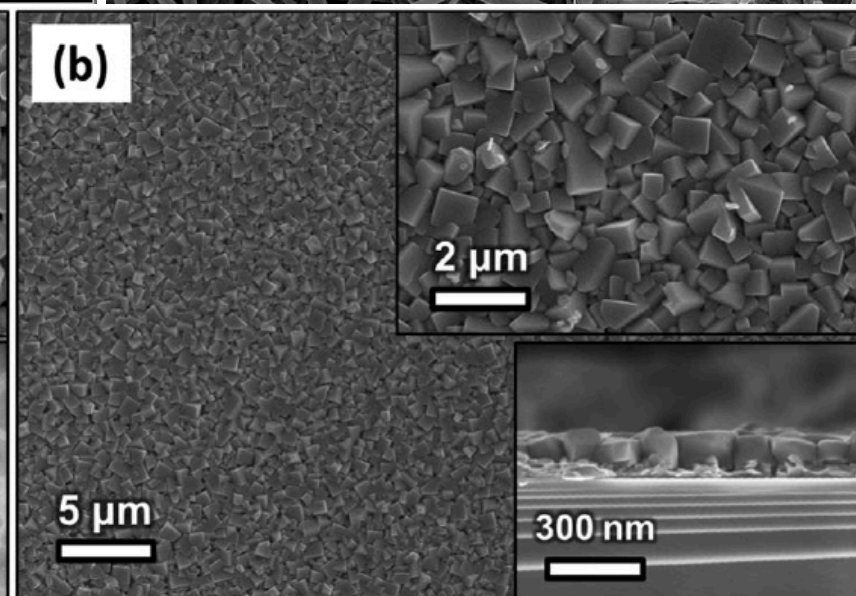
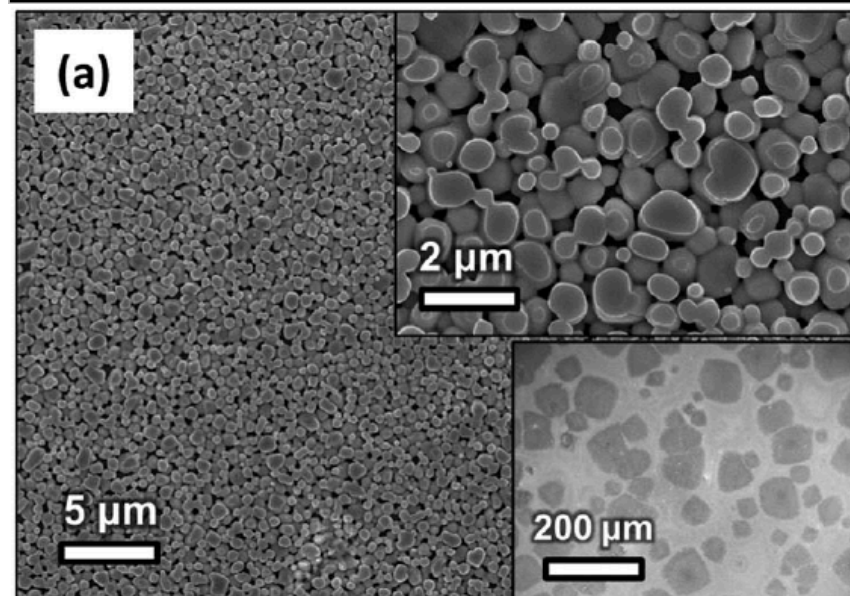
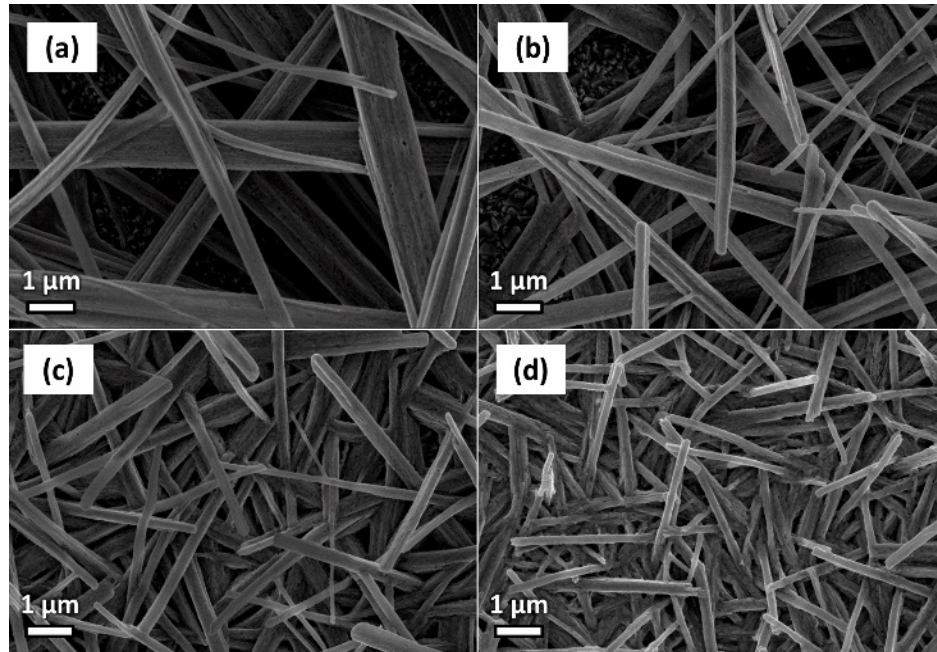
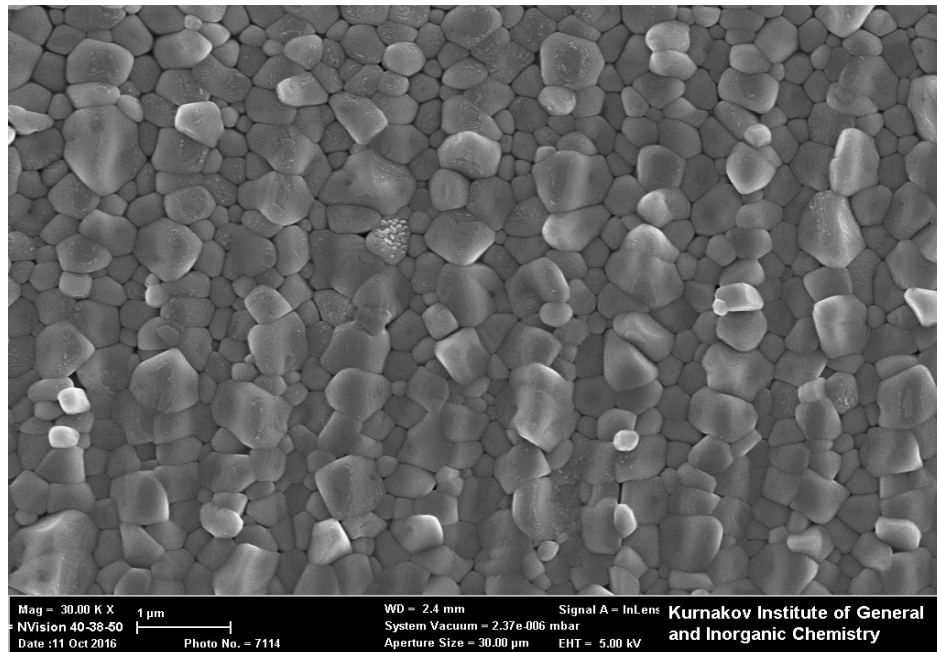
# Реакционные полиидодные расплавы







# Микроструктурные особенности



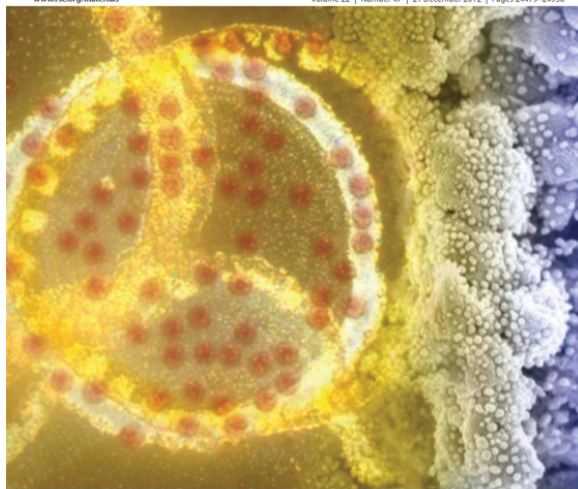


# Наночастицы благородных металлов

Journal of  
Materials Chemistry

www.rsc.org/materials

Volume 22 | Number 47 | 21 December 2012 | Pages 34479–34958



ESEM 2010 9428

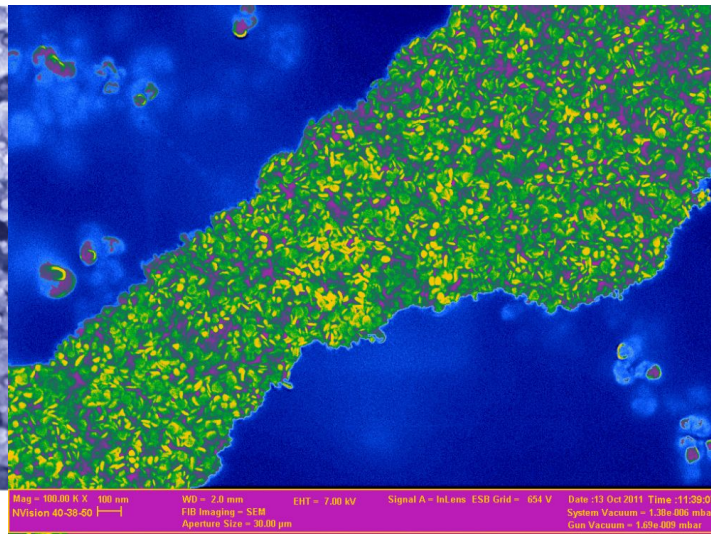
RSC Publishing

PAPER

Egner A. G. et al.  
Planar SERS nanostructures with stochastic silver ring morphology for biosensor chips



0950-9428(2012)22(47)1-6

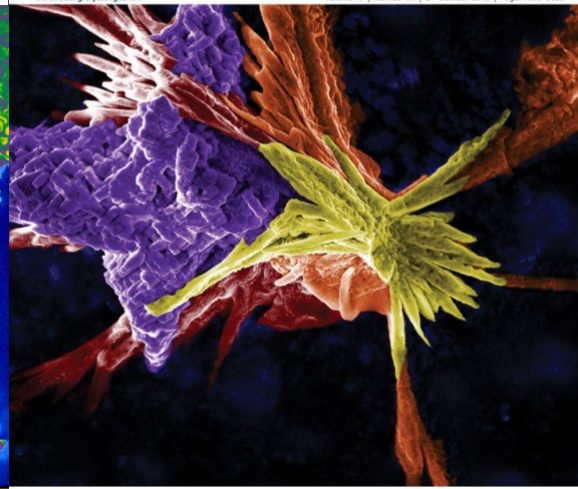


Mag = 100.00 K X 100 nm WD = 2.0 mm EHT = 7.00 kV Signal A = InLens ESD Grid = 654 V Date: 13 Oct 2011 Time: 11:58:07  
HVision 40-SB-60 FIB Imaging - SEM Specimen Vacuum = 1.30e-008 mbar  
Aperture Size = 30.00 µm Gun Vacuum = 1.69e-009 mbar

CrystEngComm

www.rsc.org/crystengcomm

Volume 15 | Number 39 | 21 October 2013 | Pages 7835–8050



RSC Publishing

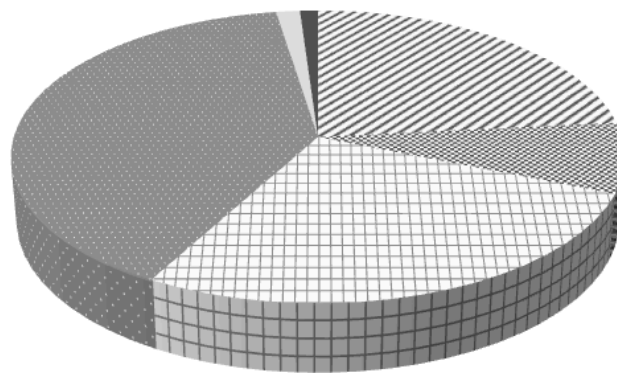
COVER ARTICLE

Semenov et al.  
Unusual silver nanostructures prepared by aerosol spray pyrolysis

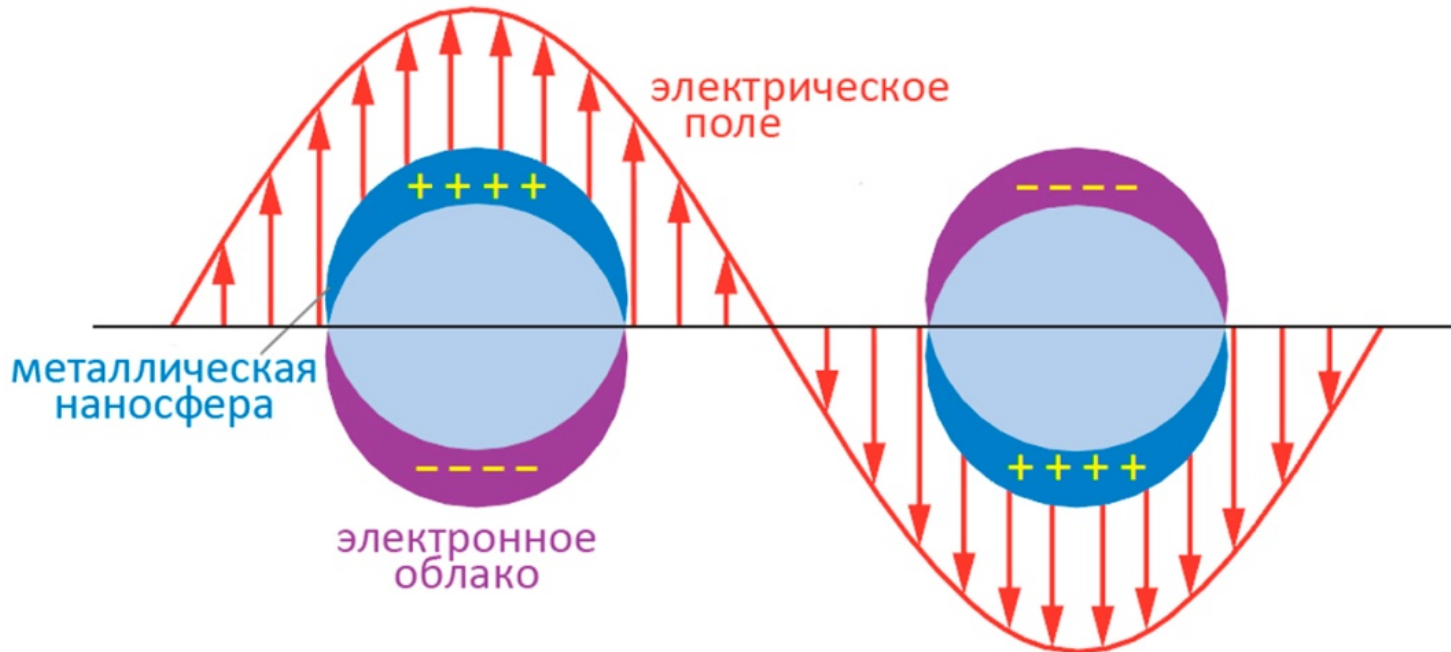
- десятки способов контролируемого восстановления
- легкость получения ультрадисперсных систем заданной концентрации и с контролируемой морфологией дисперсной фазы
- низкая токсичность и цитотоксичность наночастиц
- надежная модификация поверхности (тиолы, амины)
- широкий диапазон структурно – чувствительных свойств
- разработке активных элементов для современных методов спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния при определении нМ концентраций аналитов по «молекулярным отпечаткам пальцев»

# Плазмонный резонанс

IA																										VIIIA
H																	He									
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne					
Na	Mg	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII			IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr									
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe									
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn									



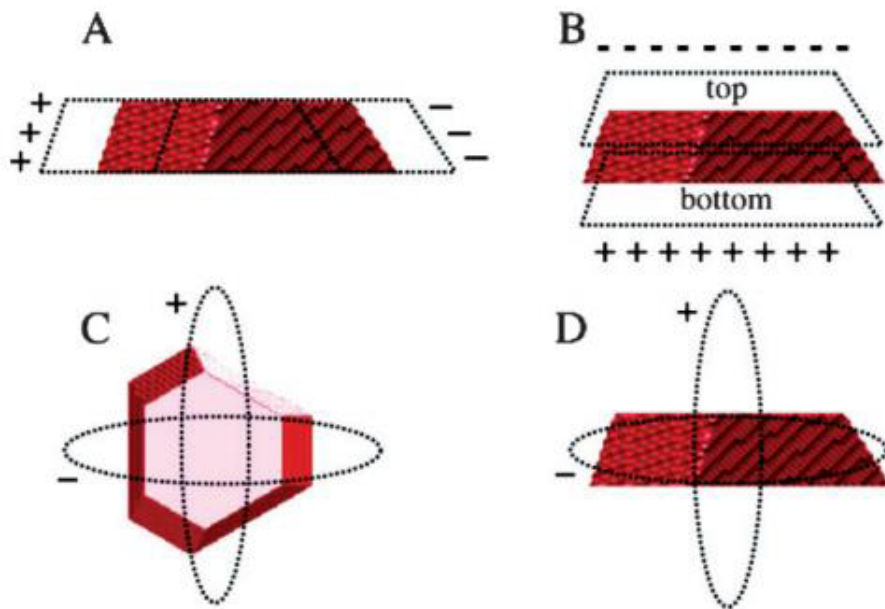
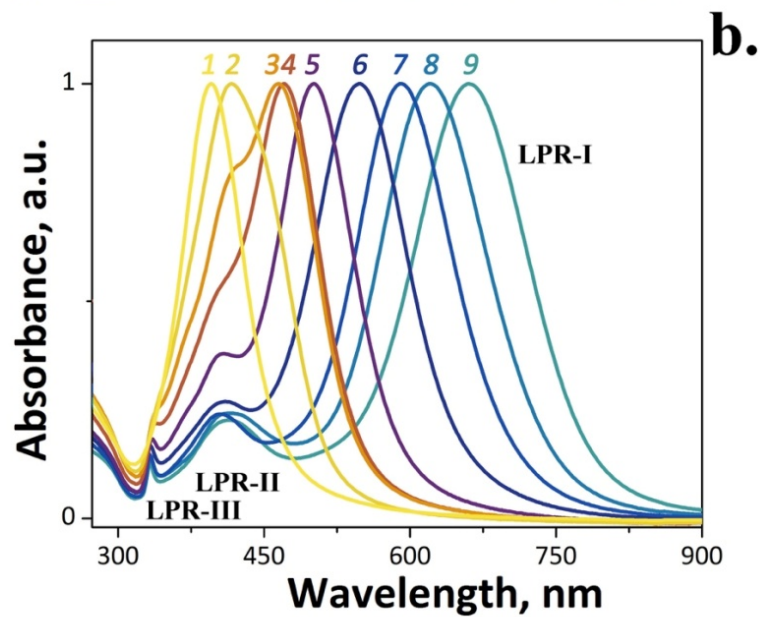
- Обнаружение фармацевтических препаратов
- Объекты пищевой индустрии
- Объекты окружающей среды
- Биохимическая диагностика
- Криминалистика
- Исследование поверхности





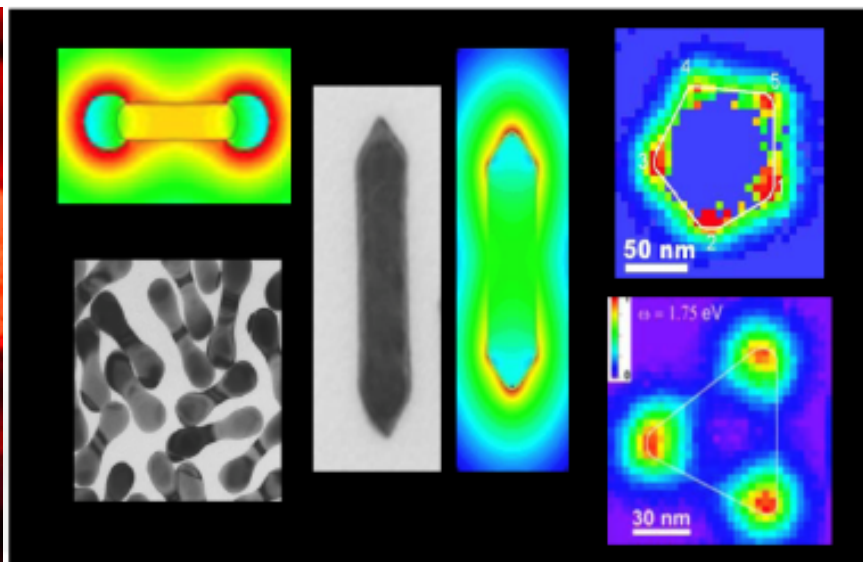


# Форма частиц

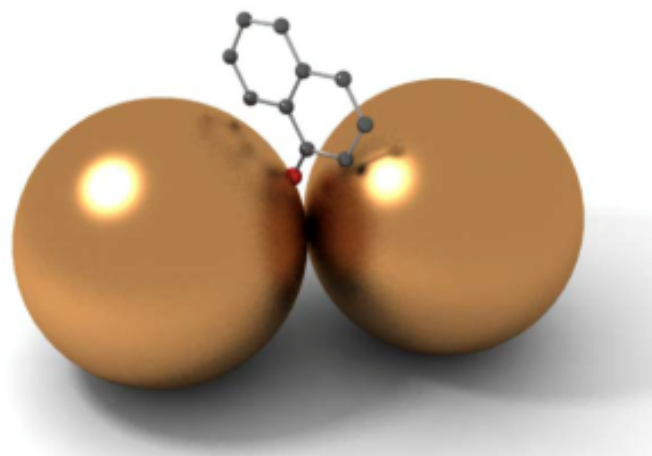


*анизотропия частиц*

# Горячие точки



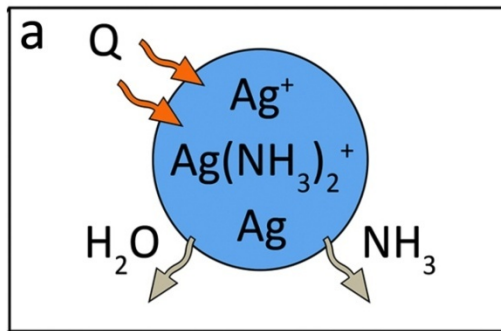
Hot spot



*агрегатная структура*



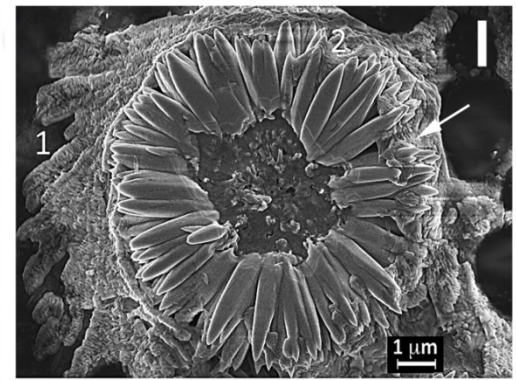
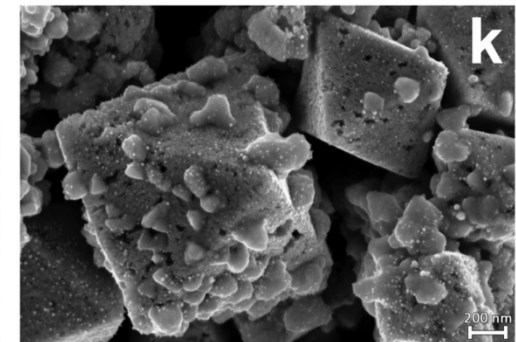
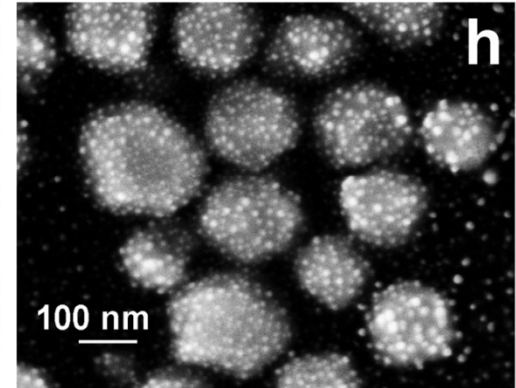
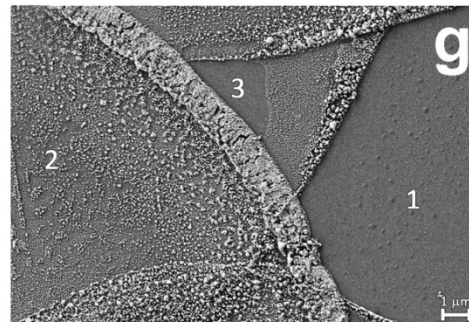
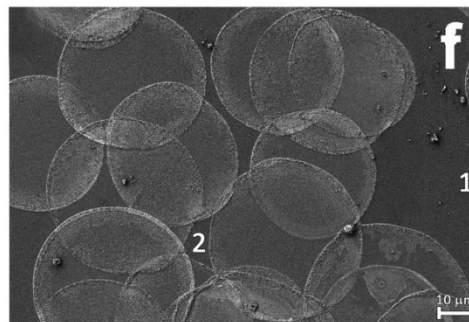
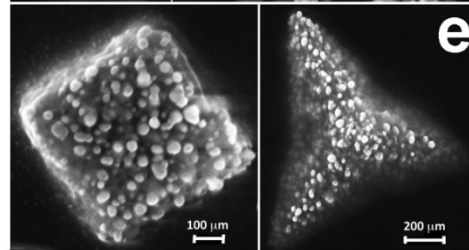
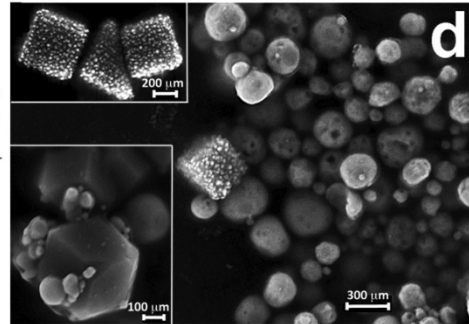
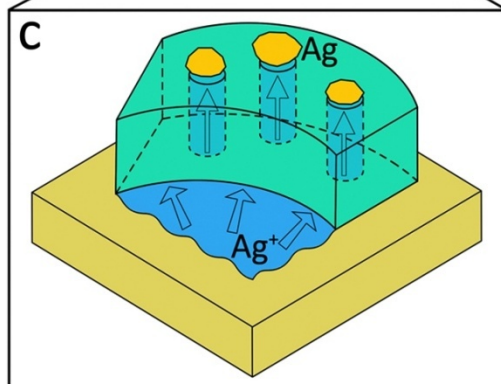
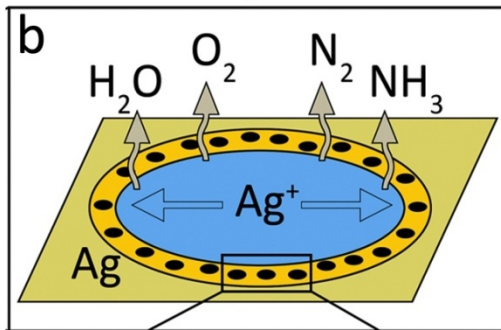
# USSR (UltraSonic Silver Rain)

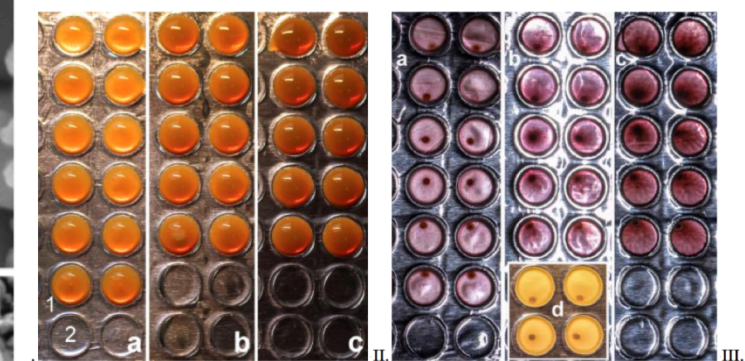
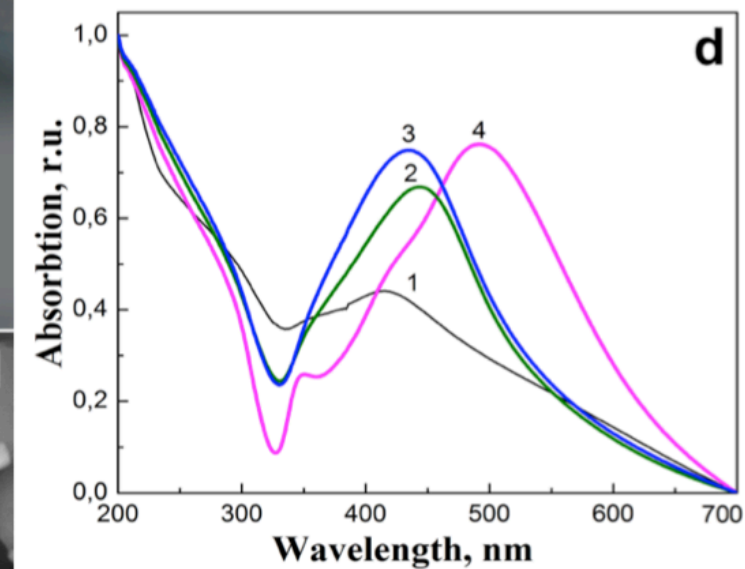
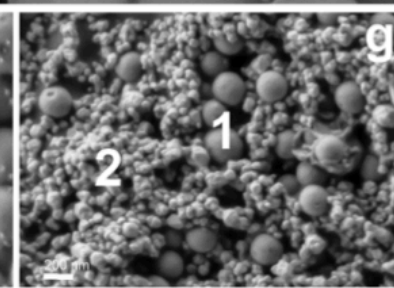
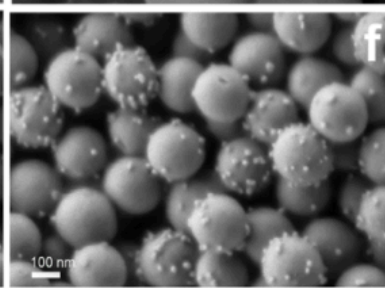
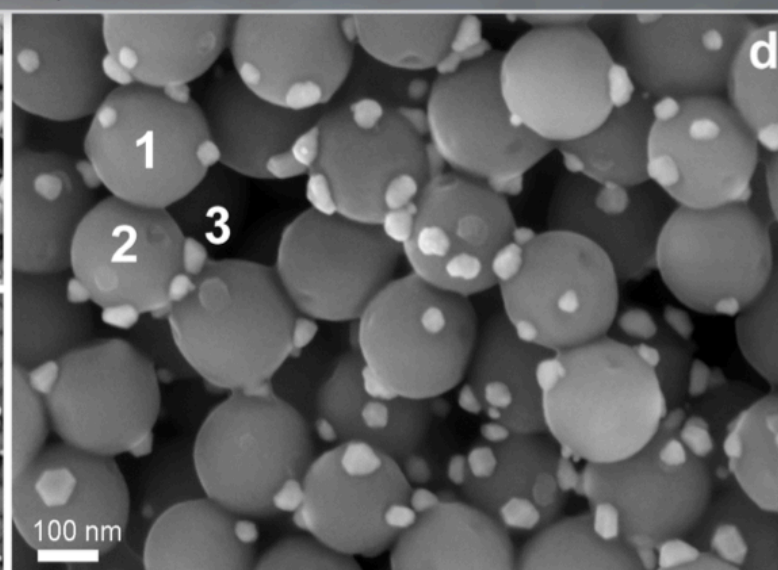
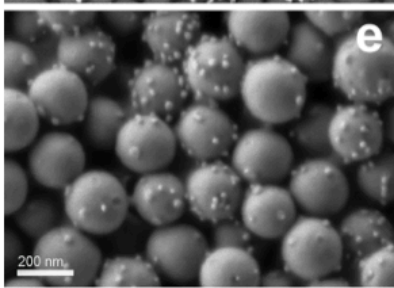
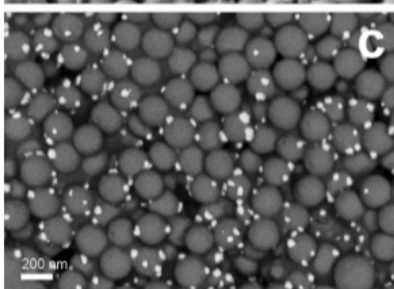
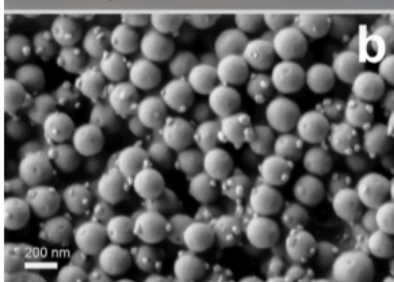
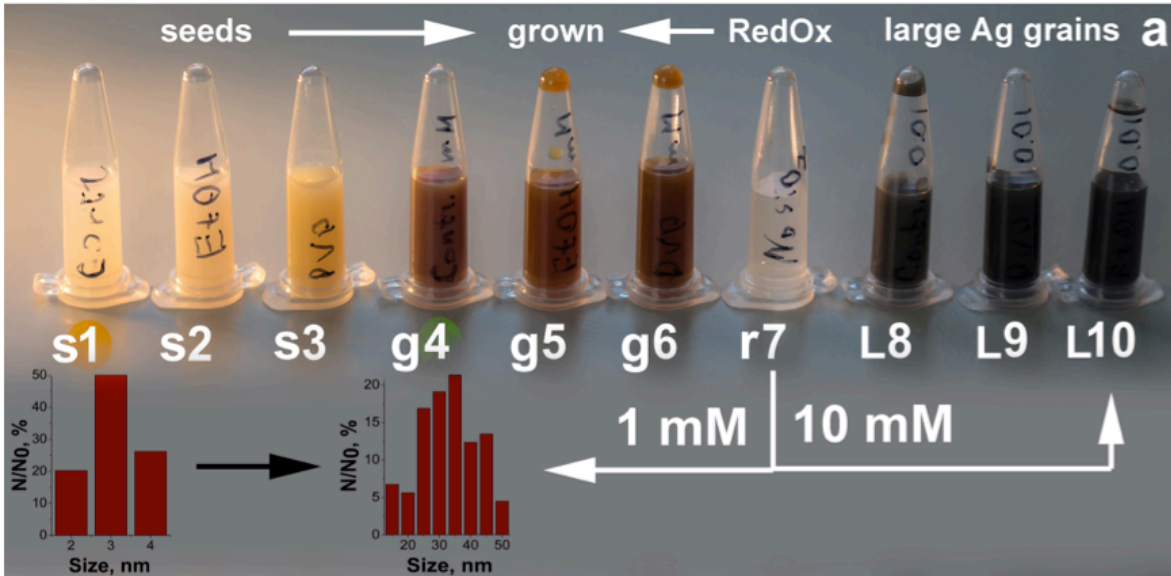


$1000^\circ C$

free drops

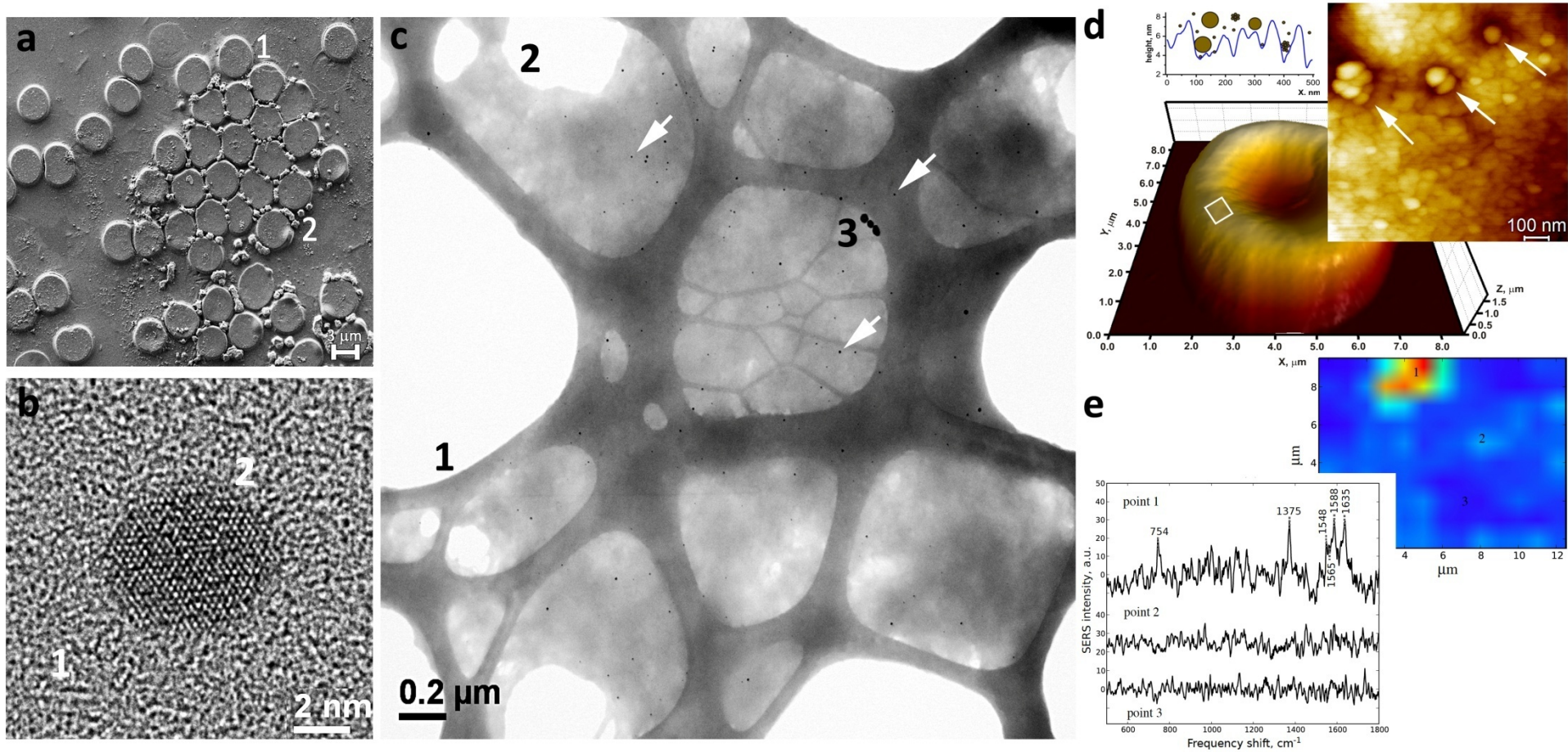
substrates  $\downarrow$   $250^\circ C$



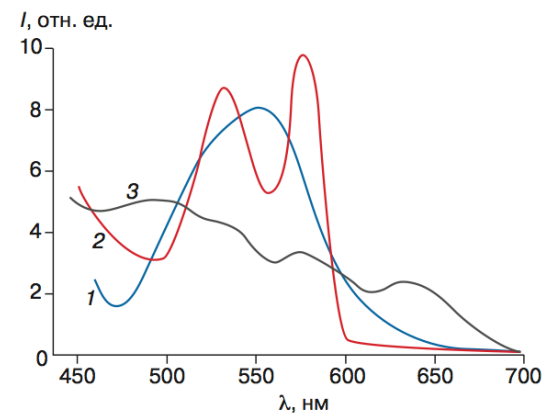
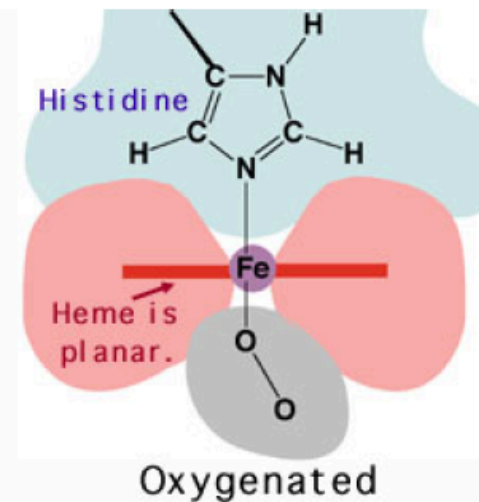
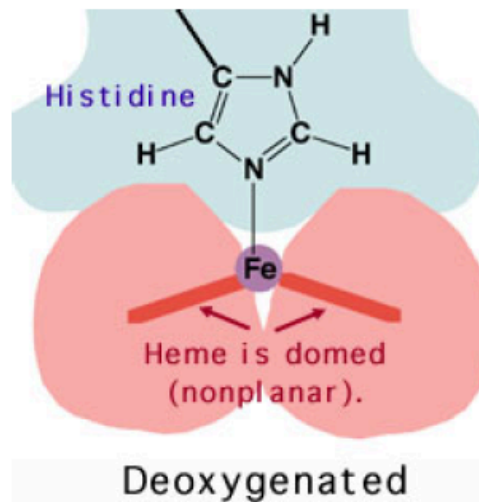
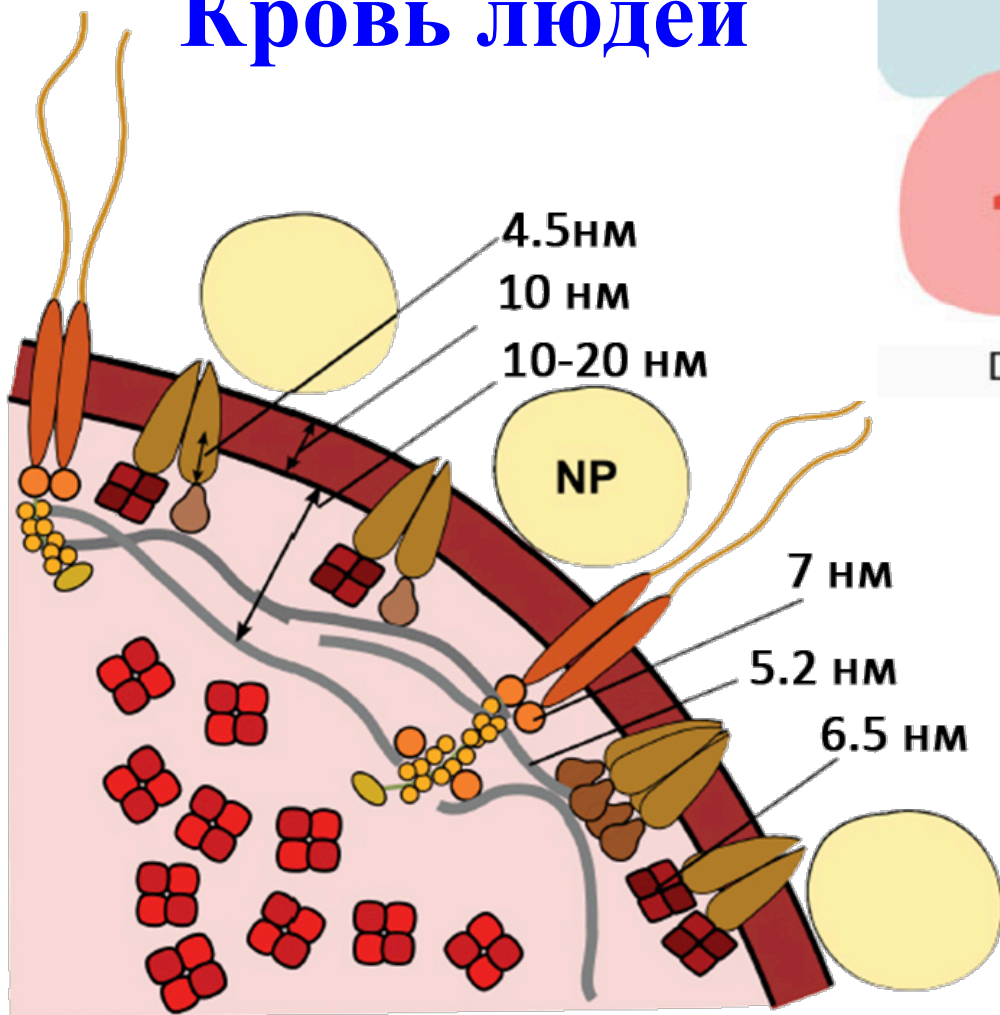




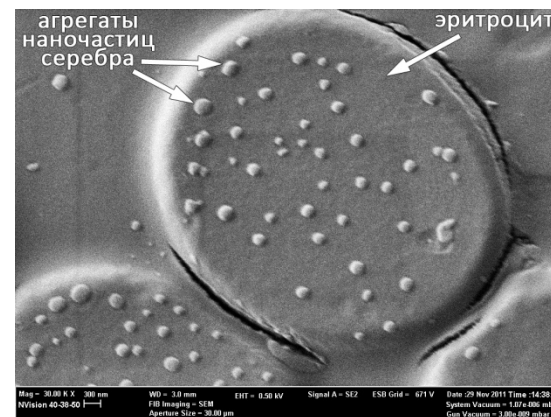
# Серебро и клеточная мембрана



# Кровь людей

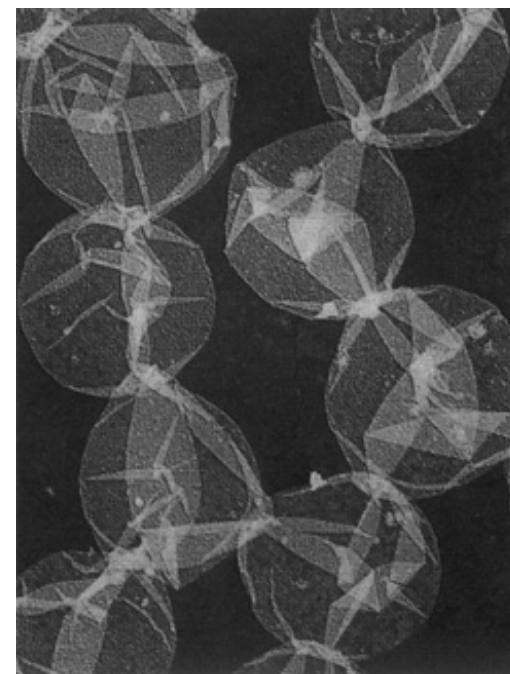
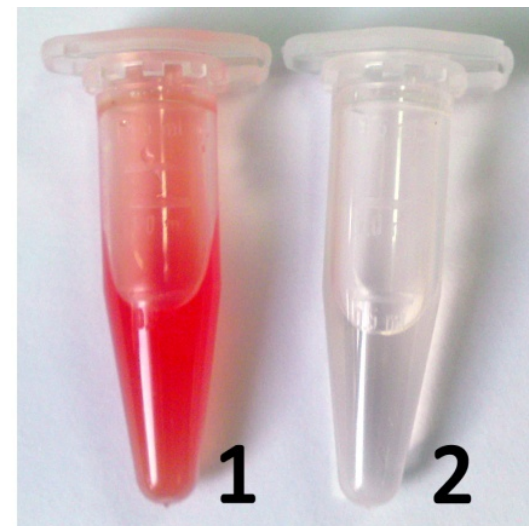
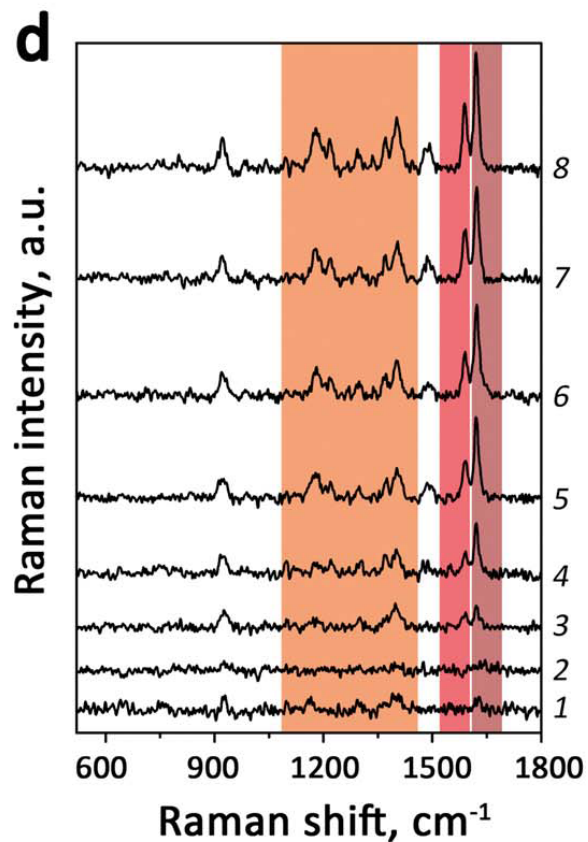
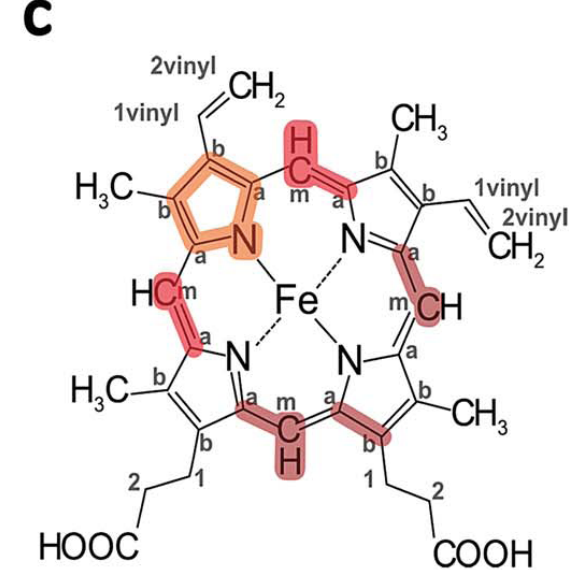
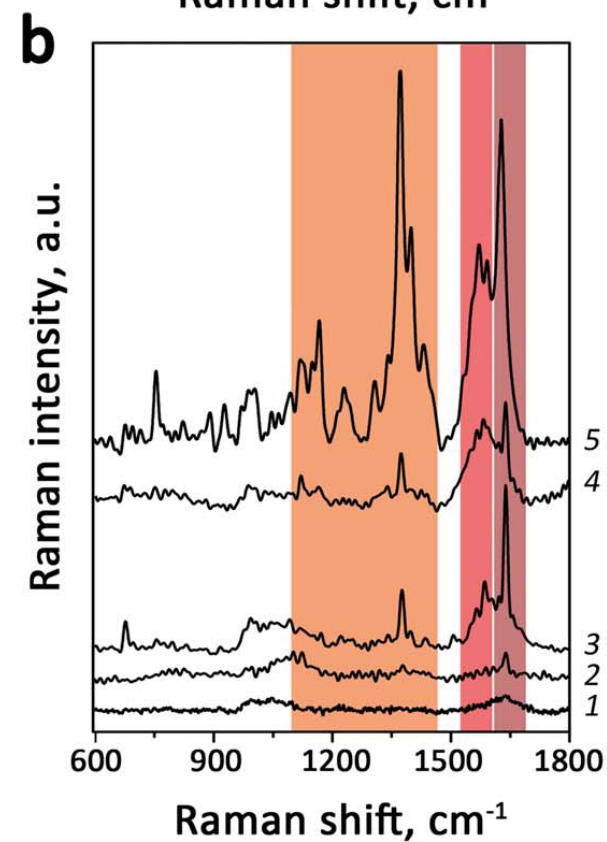
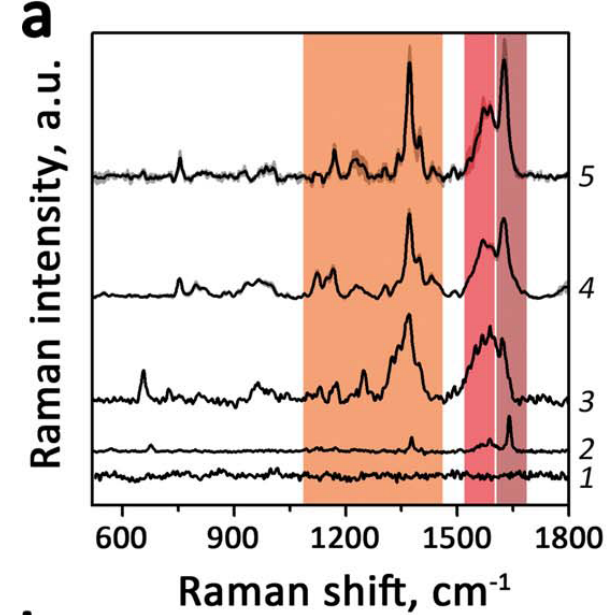


Спектры поглощения дезоксигемоглобина (1), оксигемоглобина (2) и ферригемоглобина (3)

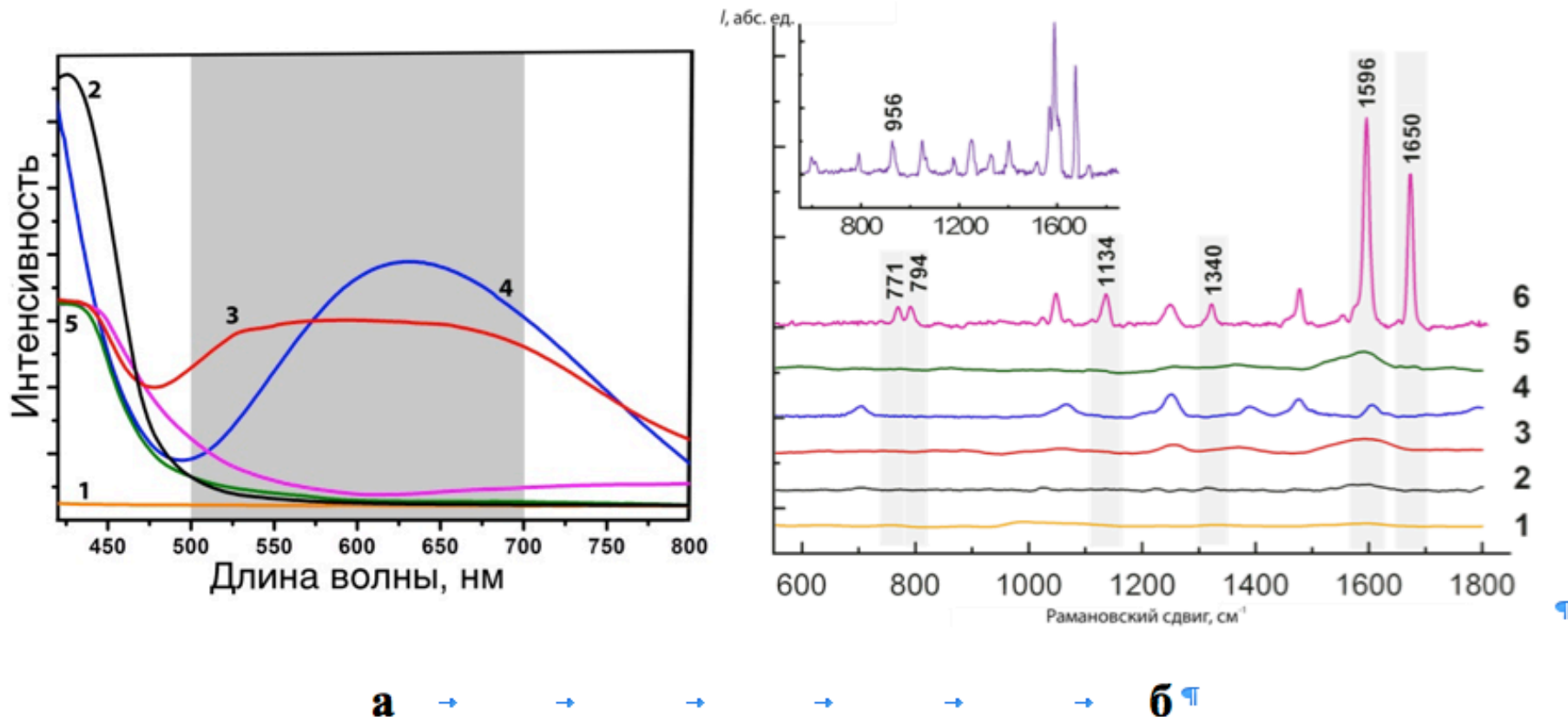


- NP Наночастица
- ГБ<sub>мс</sub> Гб<sub>цит</sub>
- Анкирин
- Гликофорин
- Спектрин
- АЕ1 обменник (белок полосы 3)
- Белок полосы 4.1
- Актин, тропомиозин, тропомодулин





# ГКР – анализ нефтепродуктов



Спектры поглощения растворов (а): 1 – ДБТ, 2 – ДДХ, 3 – ДБТ:ДДХ, 4 – 4,6-ДМДБТ:ДДХ, 5 – ДБТО:ДДХ; спектры КР и ГКР с наноструктурированной поверхностью серебра, полученной аэрозольным осаждением, различных аналитов с концентрацией  $1 \cdot 10^{-4}$  М в  $\text{CHCl}_3$  (б): 1 – КР-спектр ДБТ; 2 – спектр ДБТ на наноструктурированной подложке; 3 – КР-спектр ДДХ, 4 – ДДХ на ГКР-подложке; 5 – КР-спектр комплекса ДБТ:ДДХ (1:1); 6 – ГКР-спектр комплекса ДБТ:ДДХ (1:1). На вставке показан ГКР-спектр комплекса 4,6-ДМДБТ:ДДХ (1:1) (10 %; 633 нм; 10 с).



**Варьируемая полоса  
плазмонного резонанса  
позволяет получать сигнал от  
большого числа объектов**

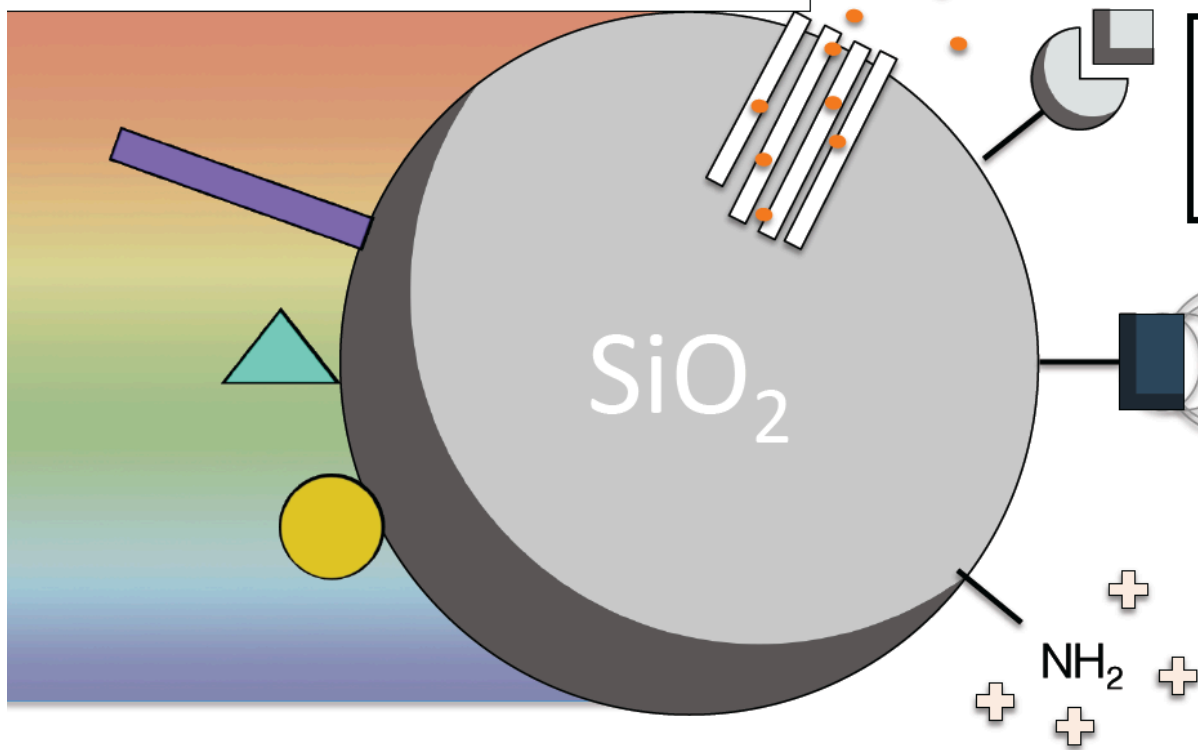
## Возможные функции

Пористость  
(газовые сенсоры)

Антиген-антитело  
(селективный захват  
аналитов из раствора)

Магнитные свойства  
(магнитная  
сепарация)

Заряд поверхности и  
наличие функциональных  
групп



# Нанотехнологии в будущей повседневной жизни

Краска с наночастицами,  
предотвращающими коррозию

Термо-хромное стекло,  
регулирующее поток света

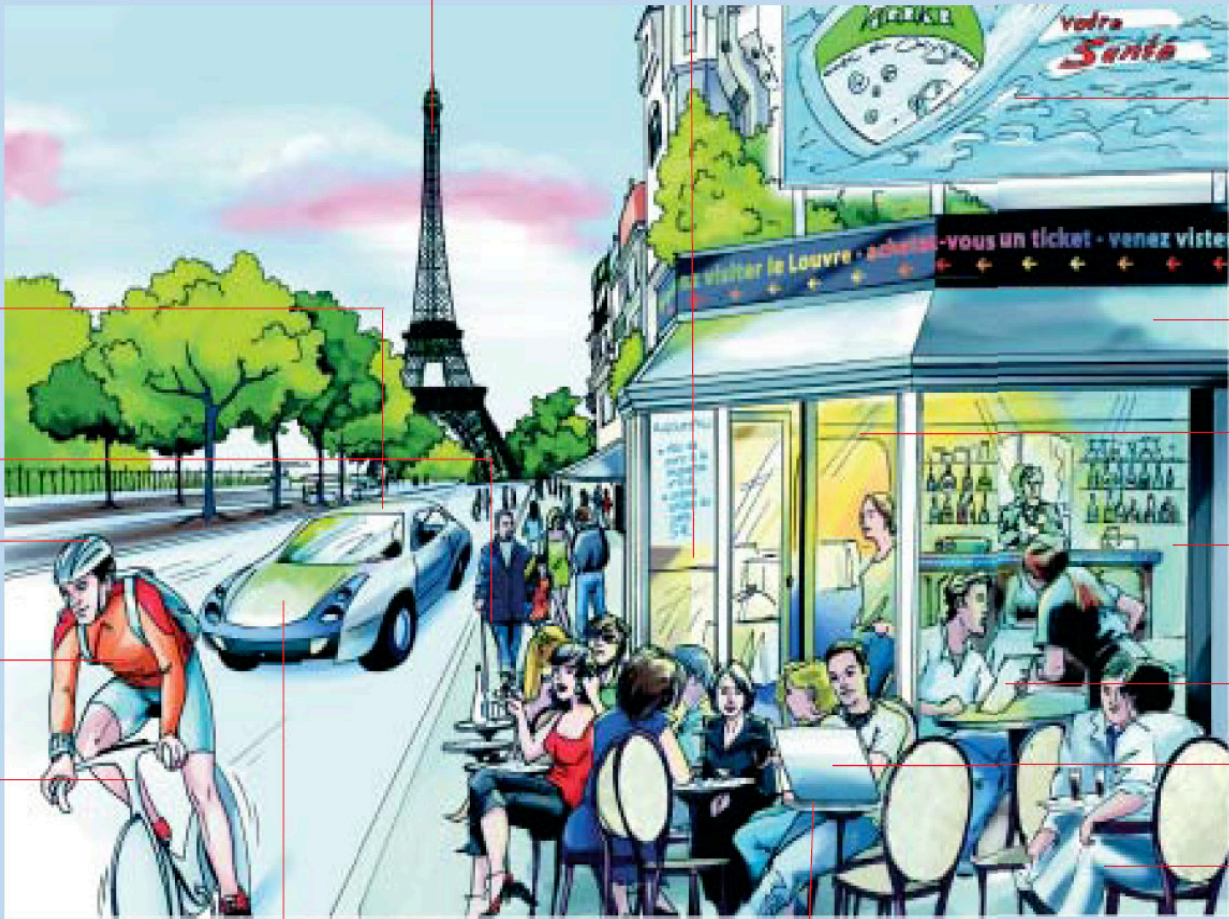
Пьезоподставки  
исключают  
нежелательные вибрации

Тазобедренные суставы,  
сделанные из  
биосовместимых  
материалов

Шлем находится в  
контакте с владельцем

Умная одежда измеряет  
пульс и дыхание

Рама из маркерных  
трубок при всей своей  
прочности легче пера



Органические  
светоиспускающие  
диоды (OLED) для  
дисплеев

Фотовольтаическая  
пленка, превращающая  
свет в электричество

Светоиспускающие диоды  
(LED) по своей мощности  
уже могут соревноваться с  
лампами накаливания

Оконные стекла со  
специальным покрытием  
против царапин и  
эффектом лотоса

Меню на  
электронной плате

Нанотрубки для  
дисплеев новых  
ноутбуков

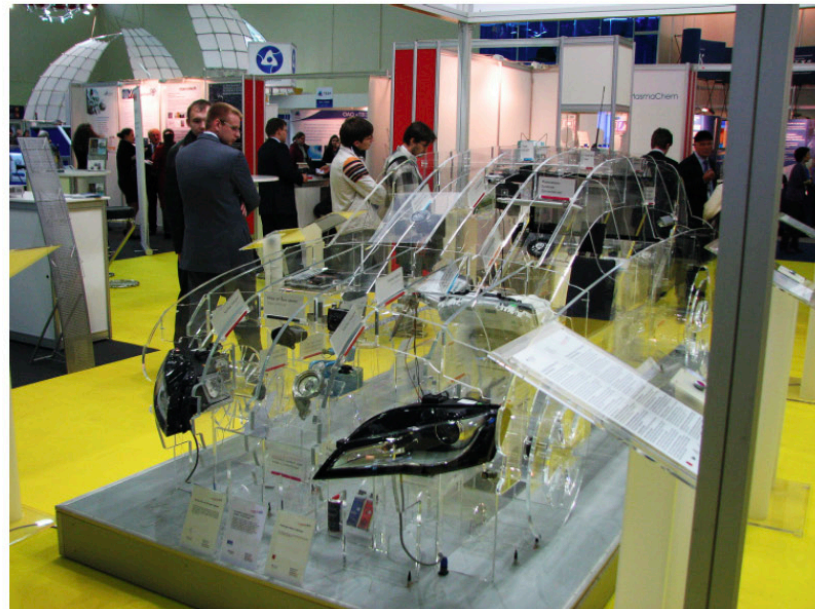
Ткани со специальным  
покрытием против  
пятен

Топливные батареи снабжают  
энергией сотовые телефоны и  
транспортные средства

Магнитные слои для  
компактных  
запоминающих устройств



# Реальные нанотехнологии



(ВИАМ, академик Е.Н.Каблов)



# Фестиваль науки







Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
солнечные батареи, фруктовые батарейки,  
печать шоколадом





Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
люминесцентная защита документов.





Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
фильтрация кока – колы через микропористые  
керамические мембраны.





Выставка ФНМ на Фестивале Науки в МГУ:  
сверхпроводящий поезд





## Новое поколение солнечных батарей

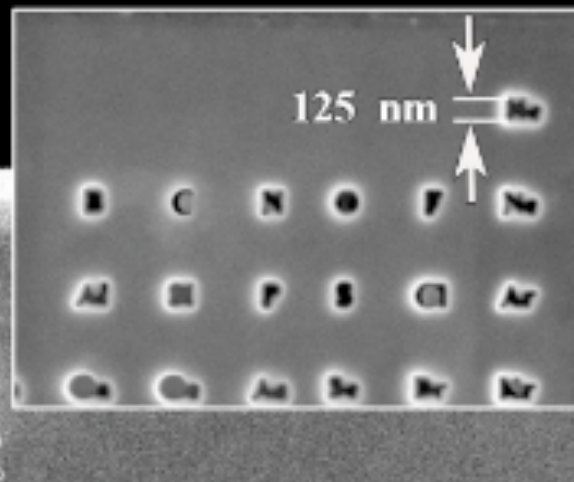
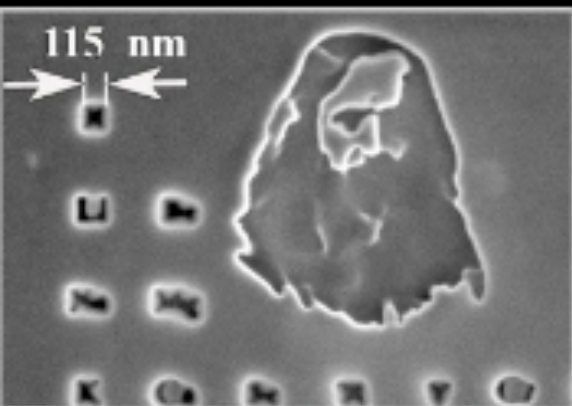
## Гибридные перовскиты



# Международный год ПСЭ

## *Nanoscale Mendeleev Periodic Table*

1969-2019



«Нанотаблица» Д.И. Менделеева

Архарова Наталья А., Орехов Андрей С., Орехов Антон С.

*Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова*

*ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН*

carbon fiber

8.7  $\mu\text{m}$

3  $\mu\text{m}$





<http://enanos.nanometer.ru>

- В.И. Путляев, Т.В. Сафронова, П.В. Евдокимов, Е.С. Климашина, Я.Ю. Филиппов, А.В. Кнотько, А.В. Гаршев, Е.А.Гудилин, А.А.Семенова, М.О.Володина, А.Б.Тарасов, А.Ю.Поляков, Н.П.Шленская, Н.А.Браже, Г.В.Максимов, Д.М.Иткис, А.В.Лукашин, А.А.Елисеев, К.С.Напольский, В.К.Иванов, А.Е.Баранчиков, Р.Б.Васильев, С.О.Климонский
- *Факультет наук о материалах, лаборатория неорганического материаловедения химического факультета МГУ, Биологический факультет МГУ, ИМЕТ РАН, ИОНХ РАН*