

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова**



Физический факультет

Константинова Елизавета Александровна
Доктор физ.-мат. наук, профессор

Нанотехнологии и наноматериалы для школьников

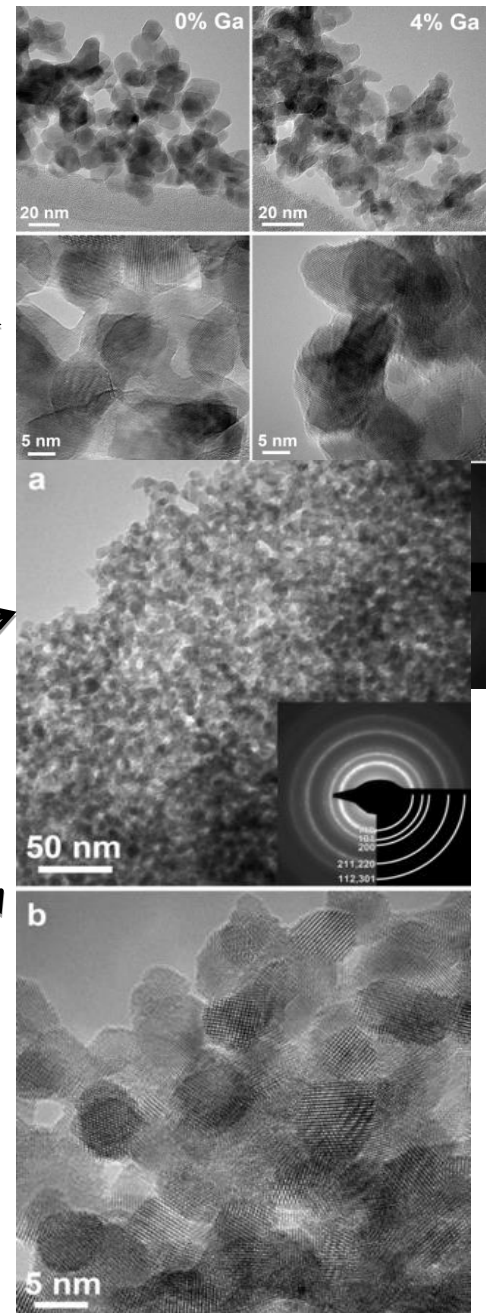


«В науке нет широкой столбовой дороги, и только тот может достигнуть её сияющих вершин, кто, не страшась усталости, карабкается по её каменистым тропам.» Карл Маркс

Содержание лекции

- **Введение**
- **Нанотехнологии и наноматериалы**
- **Этот загадочный мир наночастиц**
- **Заключение**

- **Наночастицы** – верные друзья и помощники человека
- Серебро – феноменальная бактерицидная активность → серебряные фильтры для воды, ткани, краски, клеи, зубная паста и т.п.
- Оксид цинка – эффективно поглощает э.м. излучение в широком спектре (УФ, ИК, РЧ) → защита против УФ лучей (одежда, очки, кремы и т.п.). Высокая чувствительность и селективность к газам. Используется в наносенсорике
- Диоксид олова - используется в наносенсорике
- Углеродные нанотрубки – в 100 тысяч раз тоньше человеческого волоса и в примерно в 100 раз прочнее стали (при этом их плотность в 6 раз меньше) → сверхлегкие и сверхпрочные композиционные материалы, контейнеры для различных веществ, полупроводниковые гетероструктуры для микроэлектроники и т.п.
- **Диоксид титана** – белый краситель, солнечный элемент, сенсор, эффективный фотокатализатор

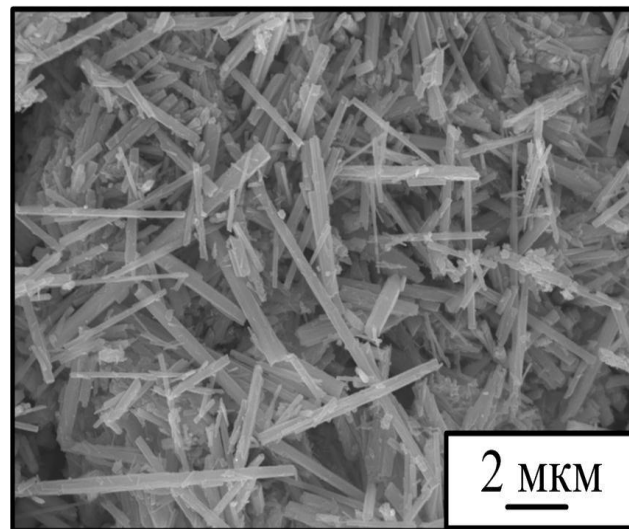


Уникальное свойство наночастиц – развитая удельная поверхность ~ сотни м²/г, открытая для воздействия молекул окружающей среды.

Чем меньше размер наночастицы, тем большая часть атомов по отношению к объему находится на поверхности и тем выше ее реакционная способность

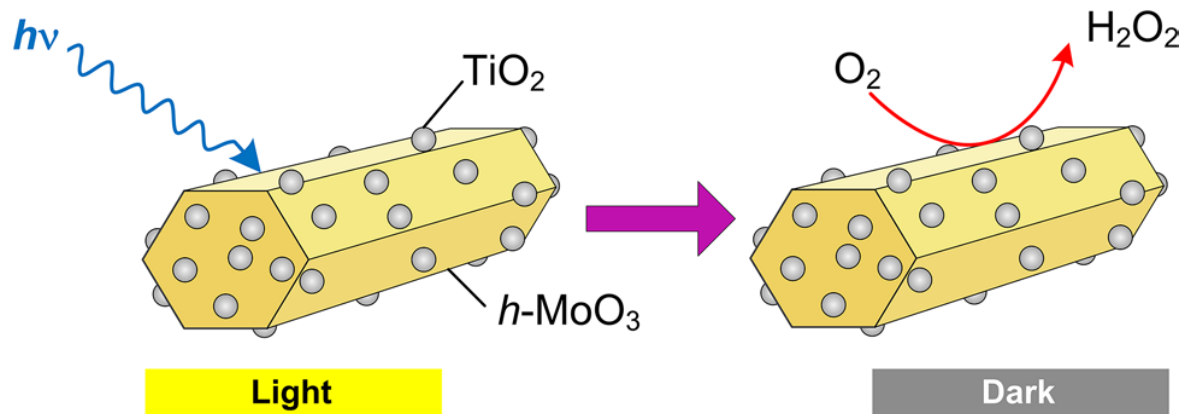


Объемный (макроскопический) материал

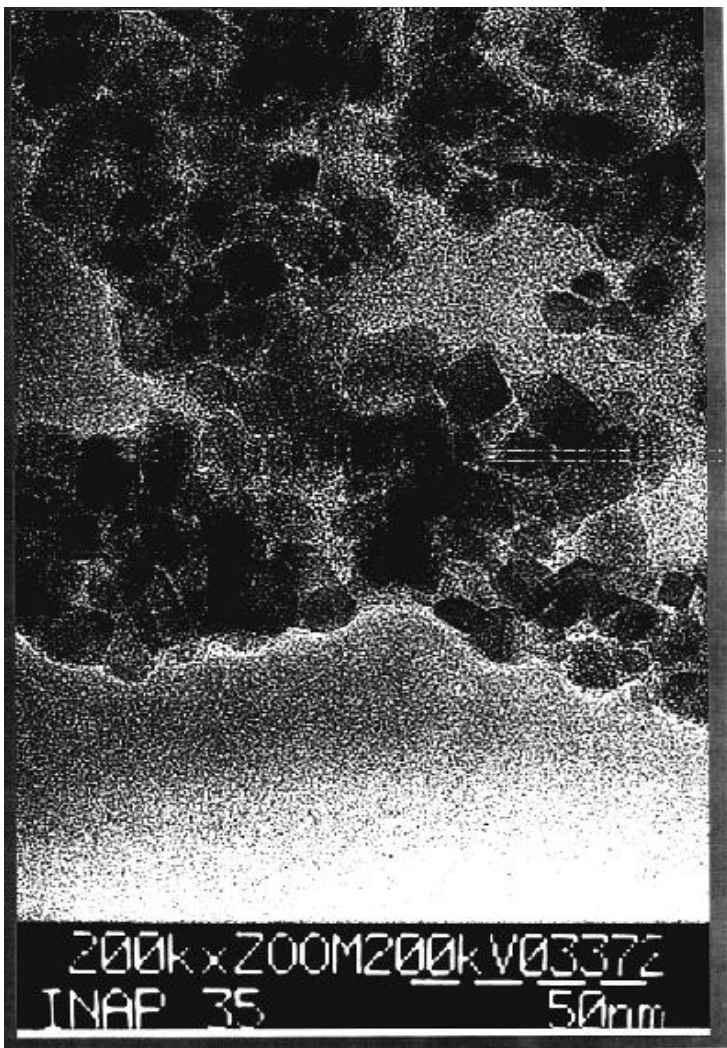


Наночастицы

Наночастицы с адсорбированными молекулами из воздуха



Нанокристаллы TiO_2 и оборудование для синтеза



Микрофотография
нанокристаллов диоксида
титана

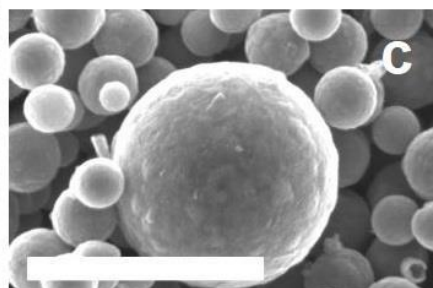
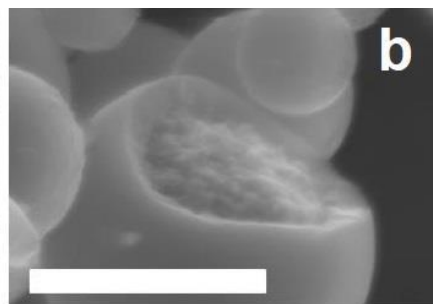
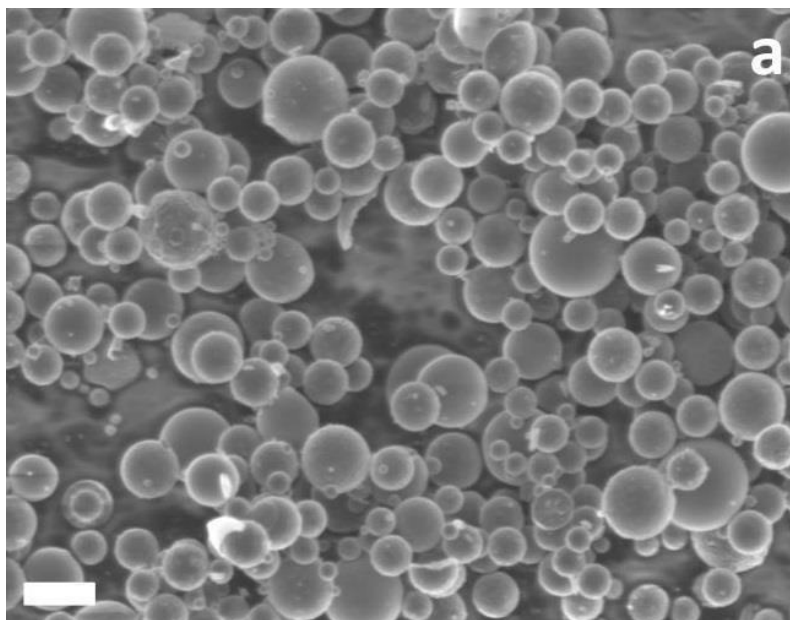


Оборудование
для проведения
реакций в
растворах и
получения
суспензий:
растворение,
перемешивание,
кипячение.



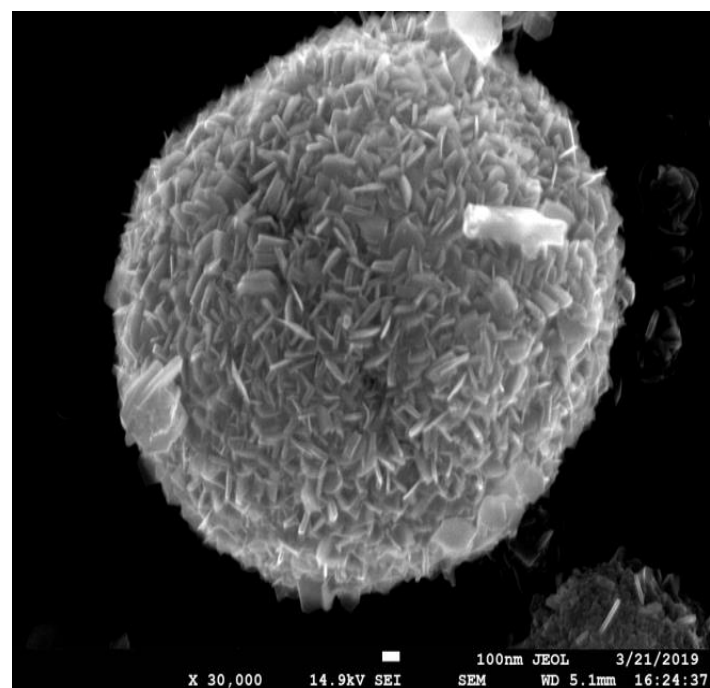
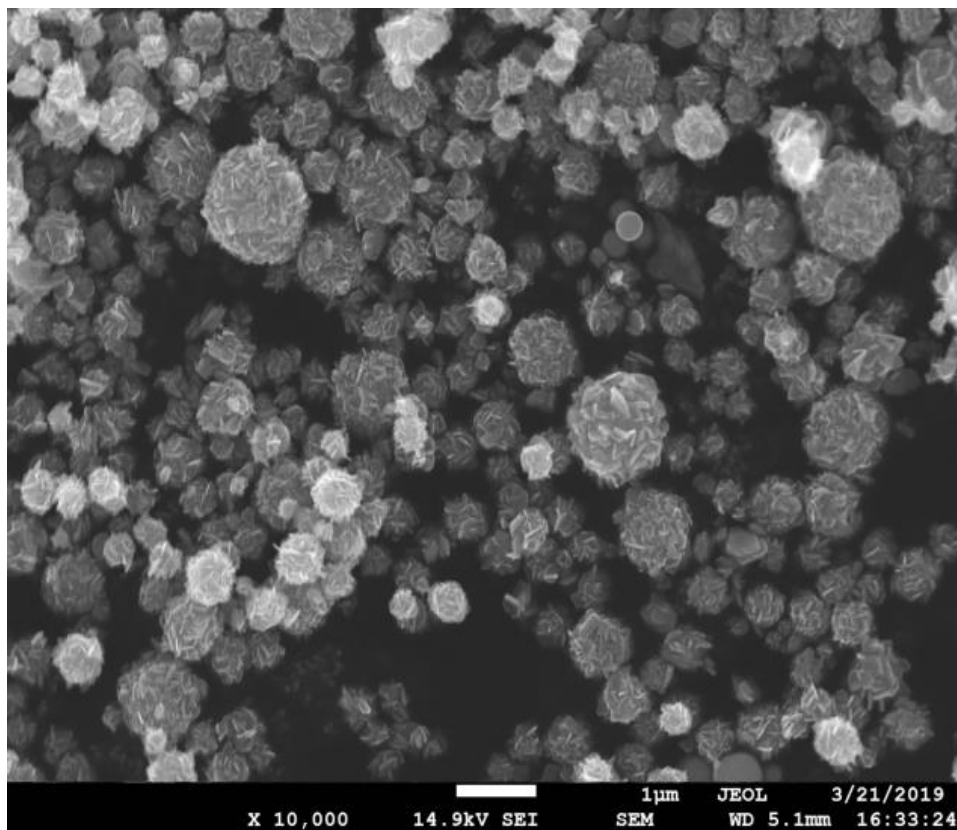
Синтез методом пиролиза аэрозолей

Установка состоит из регулятора расхода газа; ультразвукового распылителя для генерации водных аэрозолей реакционных смесей; трубчатой лабораторной печи с кварцевым реактором и фильтром Шотта с размером пор от 1 до 10 мкм для улавливания продуктов пиролиза. В качестве прекурсоров металлов используются нитрат титанила, паравольфрамат аммония, парамолибдат аммония, метаванадат аммония.

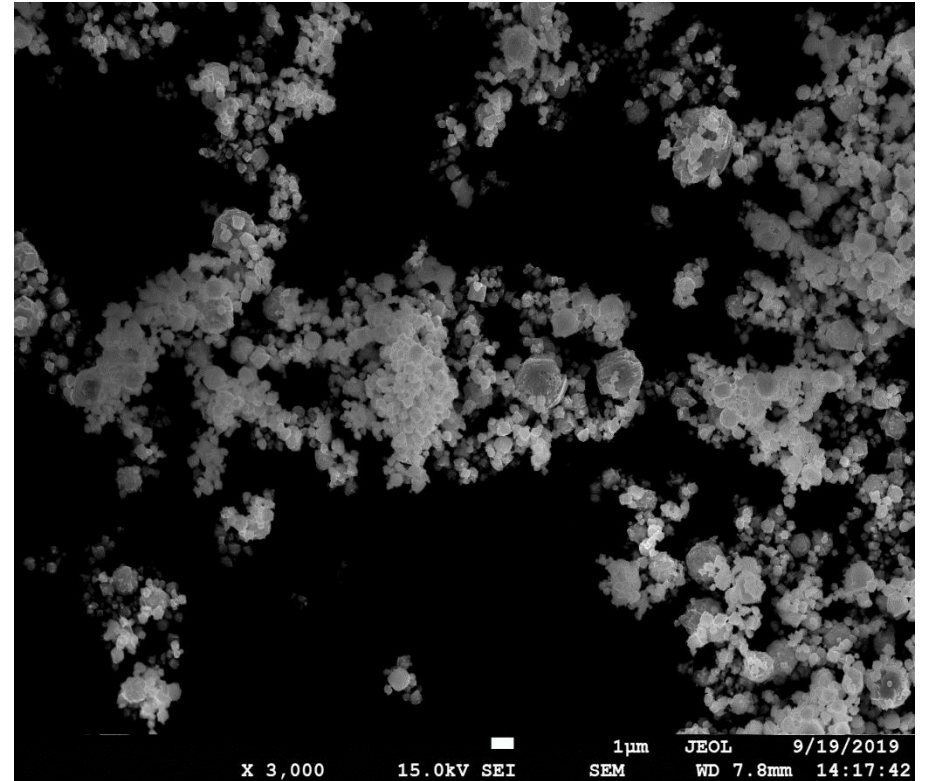
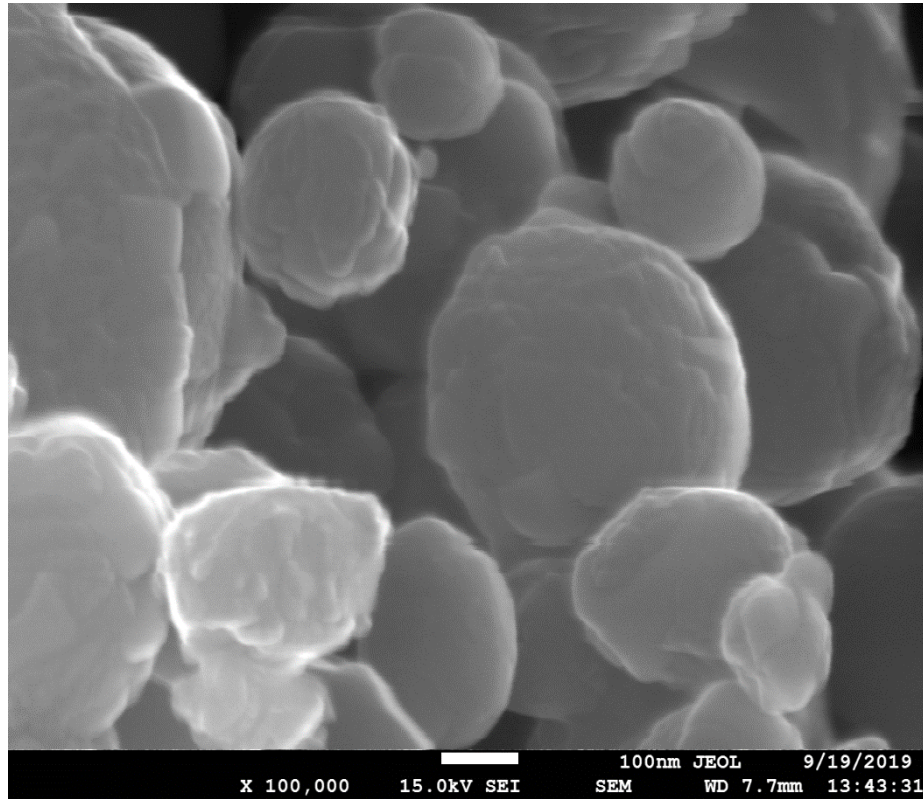


**Микрофотографии
и
Микросфер TiO_2
 TiO_2-600 (а, б)
и TiO_2-1000 (с).
Масштабная
полоска
соответствует
1 мкм**

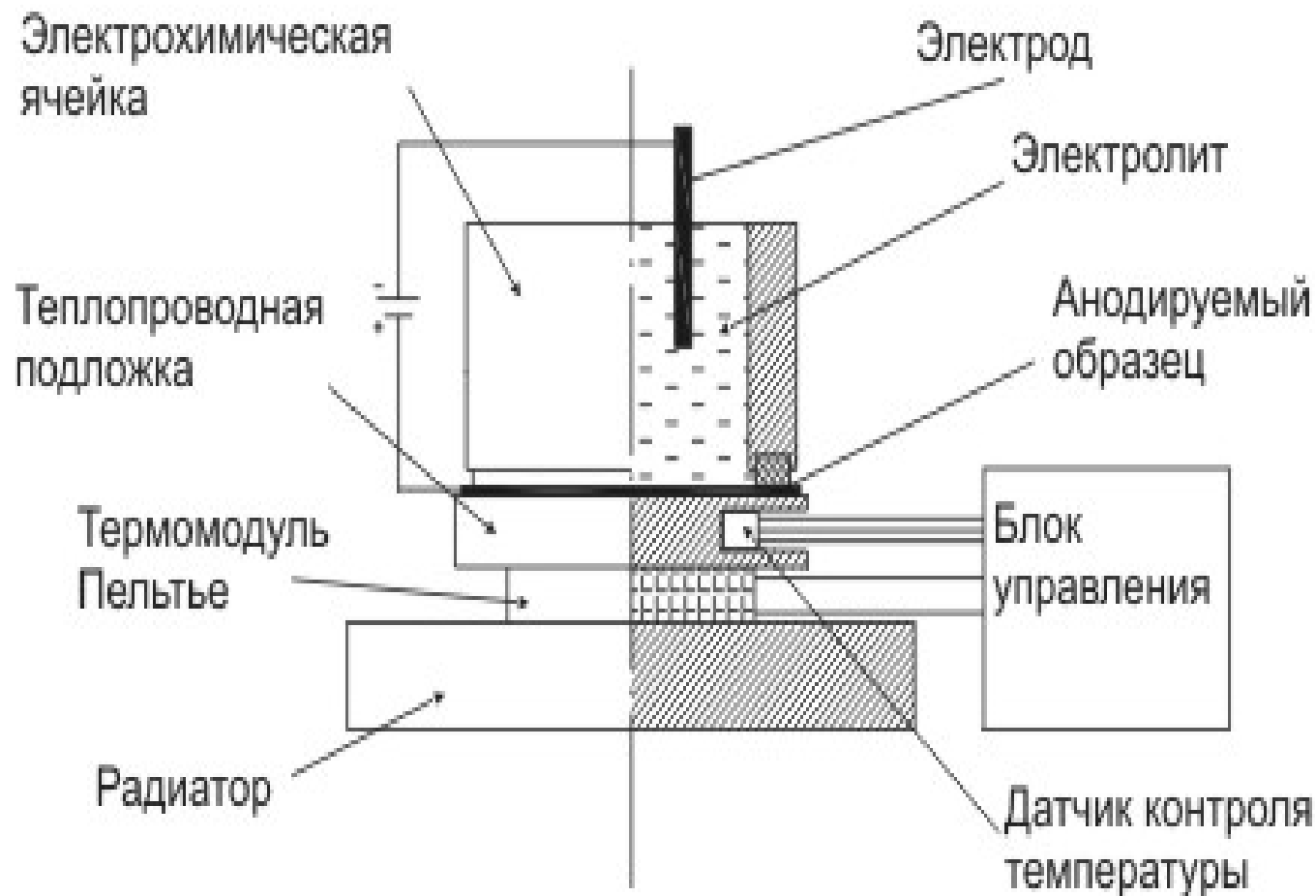
Микросферы $\text{TiO}_2/\text{MoO}_3$



Микросферы



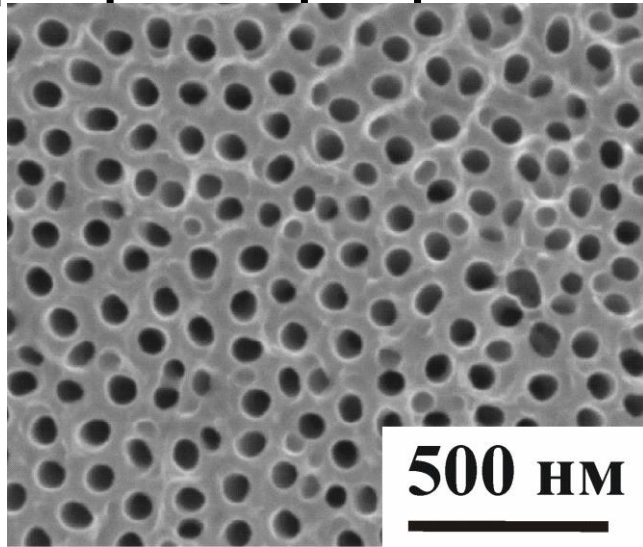
Получение нанотрубок анодного оксида титана (НТАОТ) для преобразования углекислого газа в органическое топливо



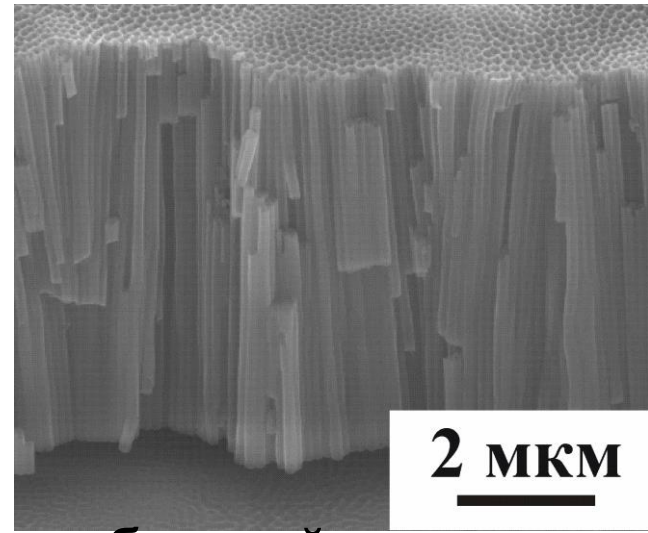
Анодируемый образец:

Титановую фольгу (толщина 50 мкм) обрабатывают ацетоном в ультразвуковой ванне в течение 15 минут, промывают деионизированной водой (18,2 МОм) и сушат в токе аргона.

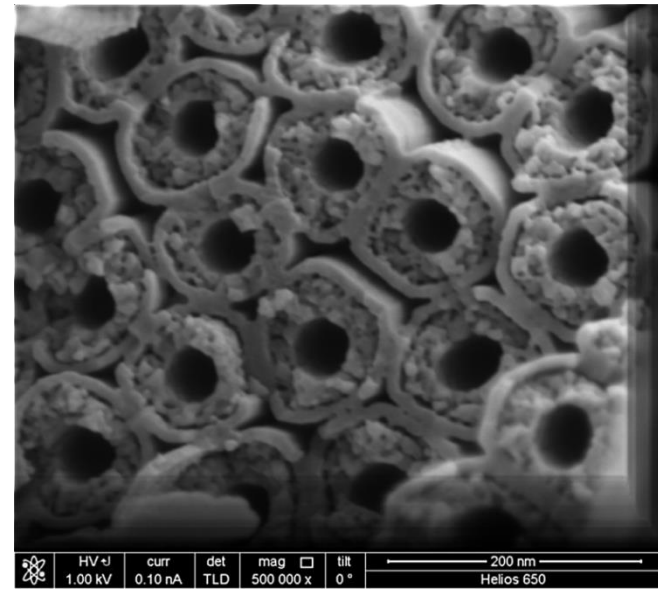
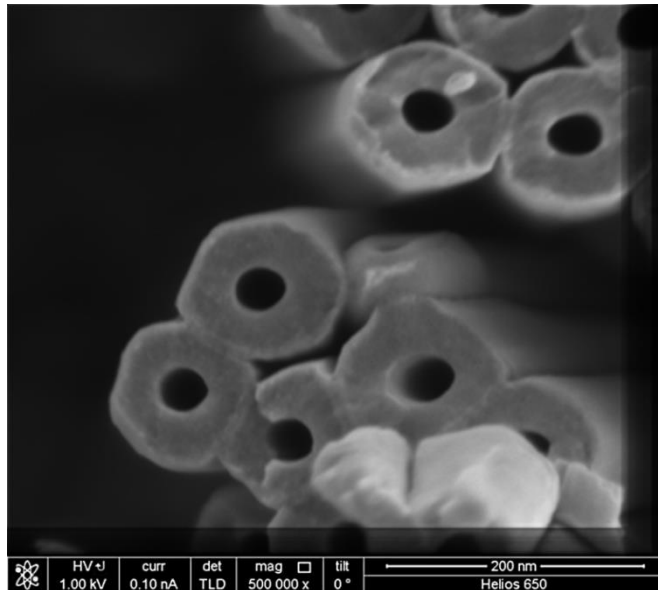
Микрофотографии нанотрубок диоксида титана



поверхность

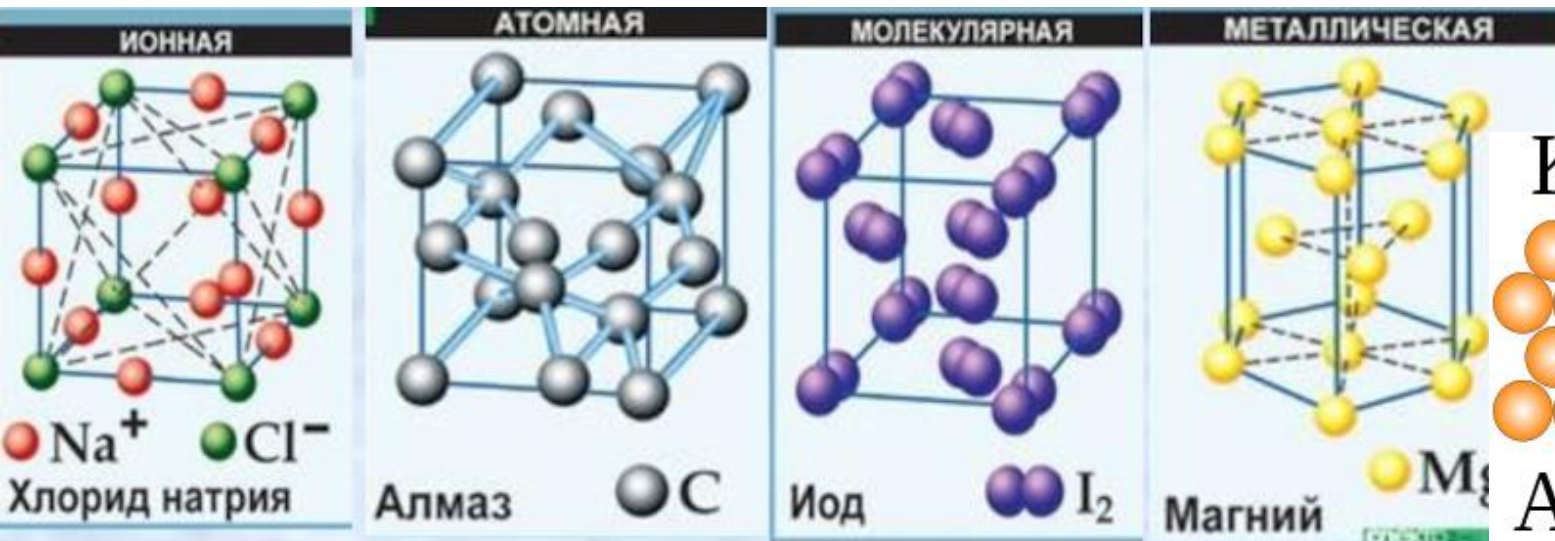


боковой скл

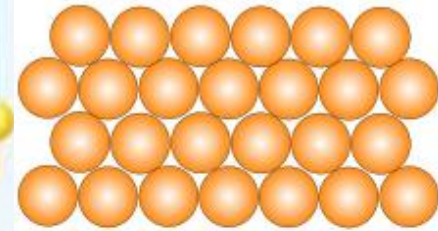


Образцы с различными параметрами синтеза и поэтому различной структурой внутреннего слоя

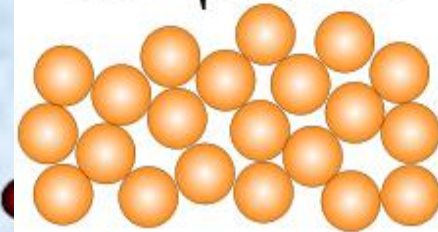
Что такое кристаллы?



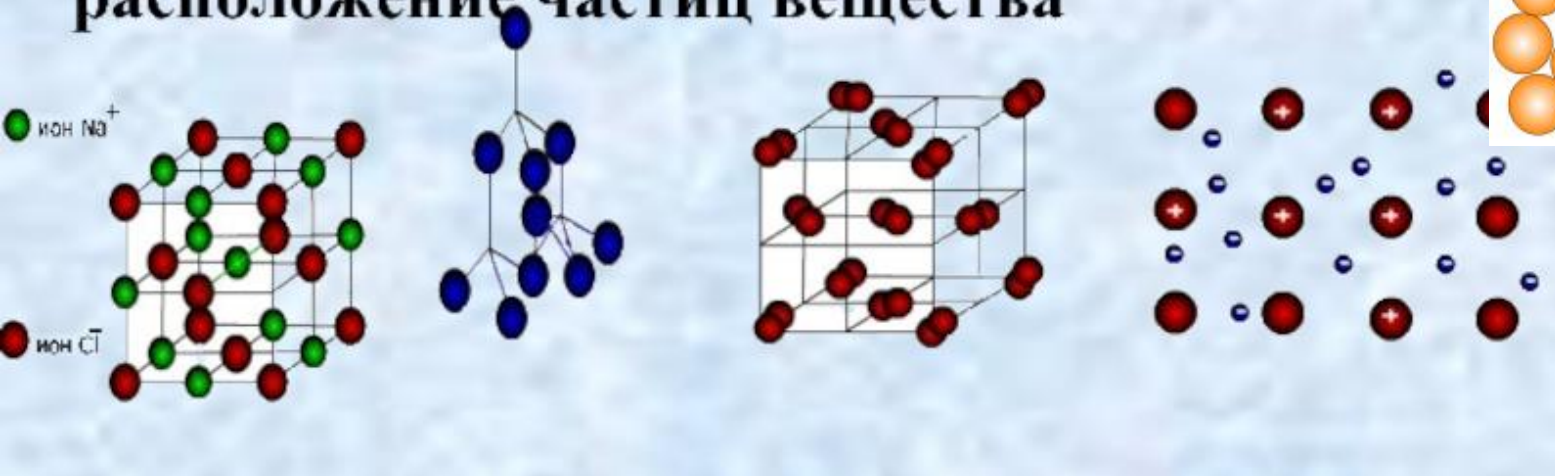
Кристалл



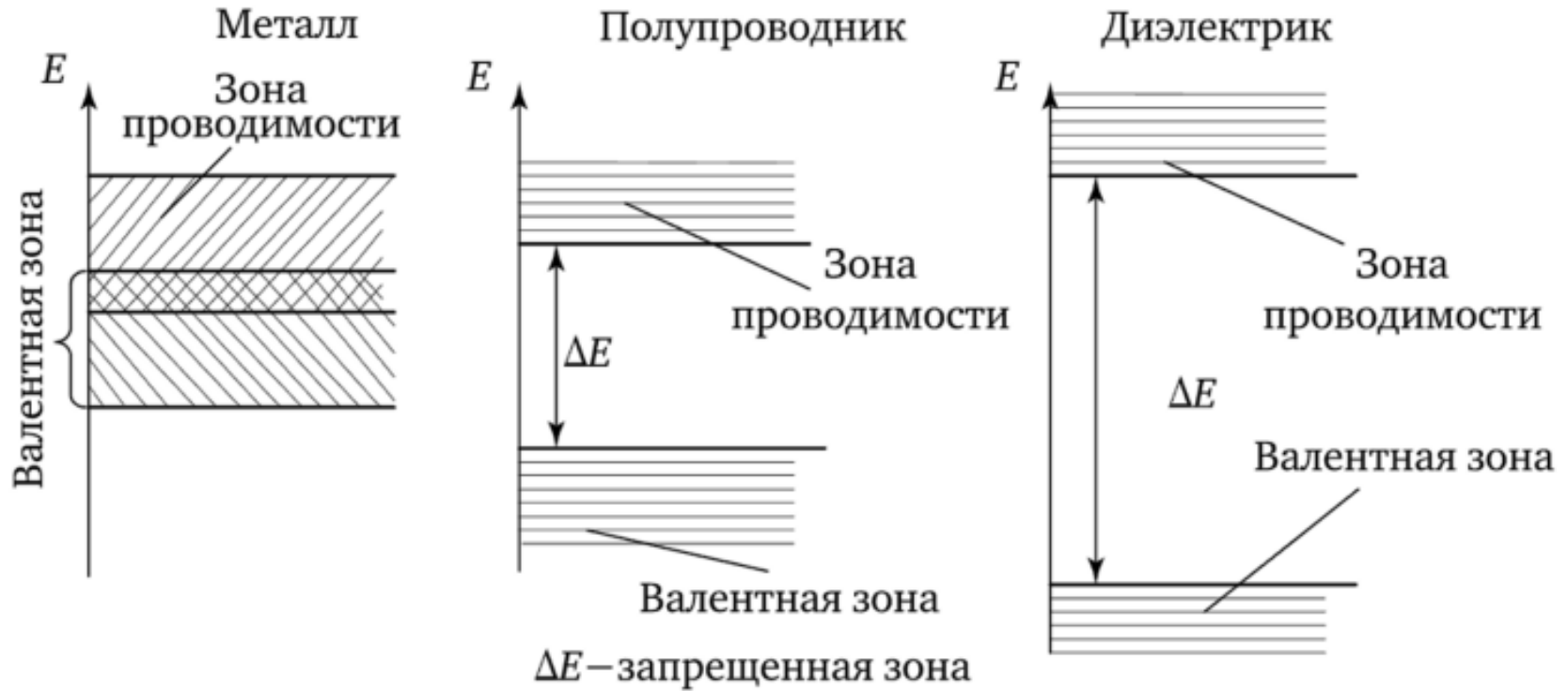
Аморфное
вещество



Кристаллическая решетка- упорядоченное
расположение частиц вещества



Металл, полупроводник, диэлектрик



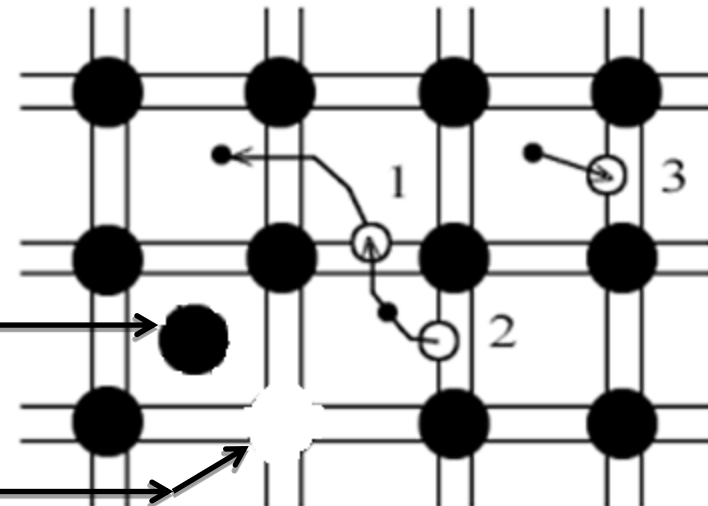
а

б

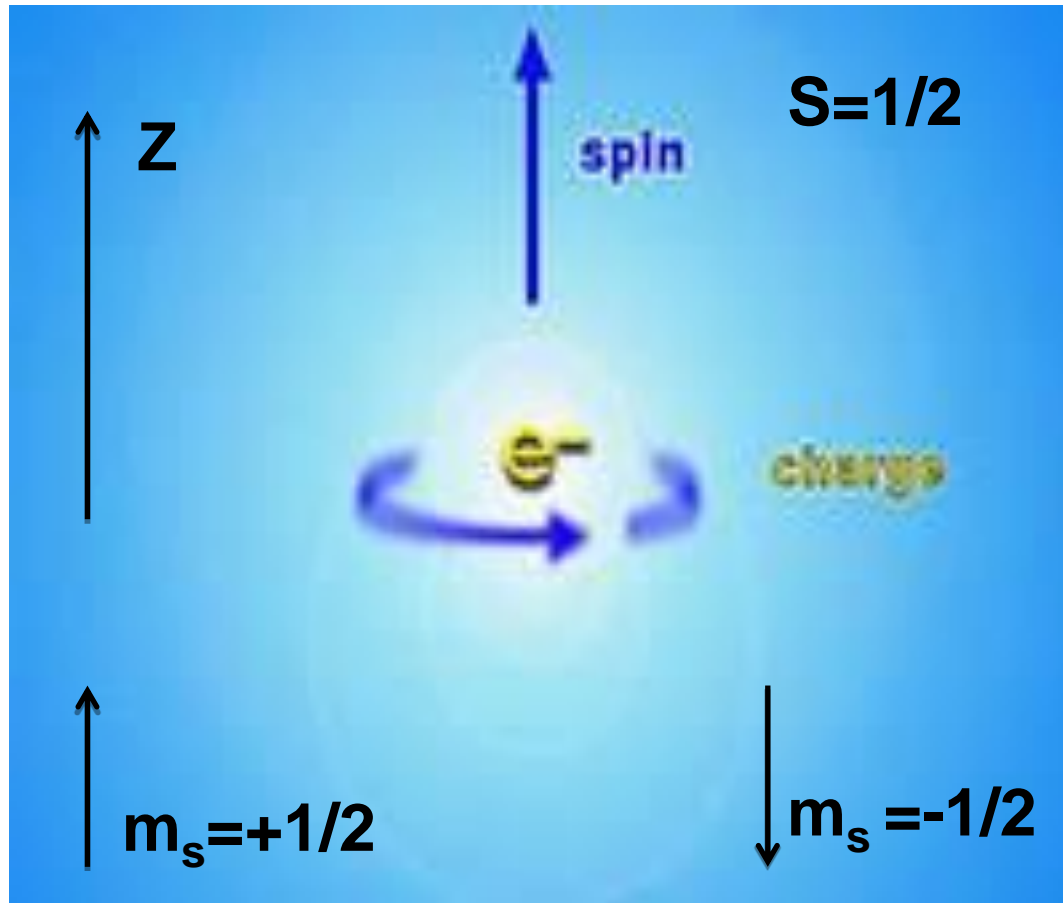
Движение электронов (маленькие черные точки) и дырок (белые кружочки) в кристаллическом полупроводнике. Большие черные кружочки - атомы

Дефект – междоузельный атом

Дефект – вакансия (нет атом в узле)



Что такое СПИН?



Это неотъемлемое свойство микрочастицы, такое же, как ее масса и заряд и НЕ ИМЕЮЩЕЕ КЛАССИЧЕСКОГО АНАЛОГА.

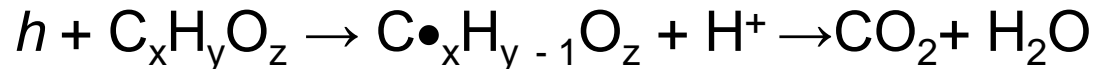
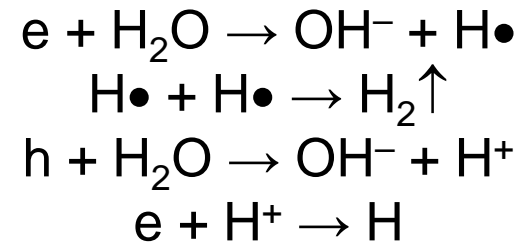
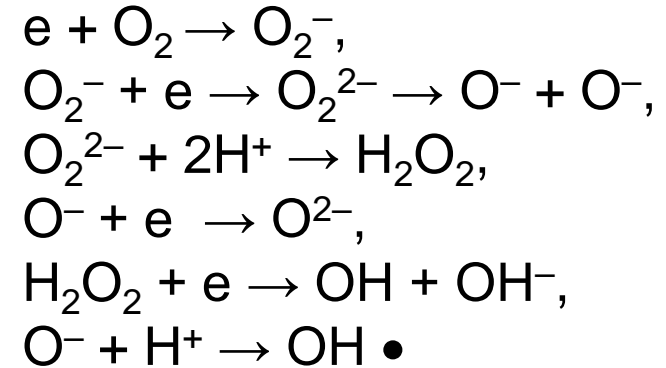
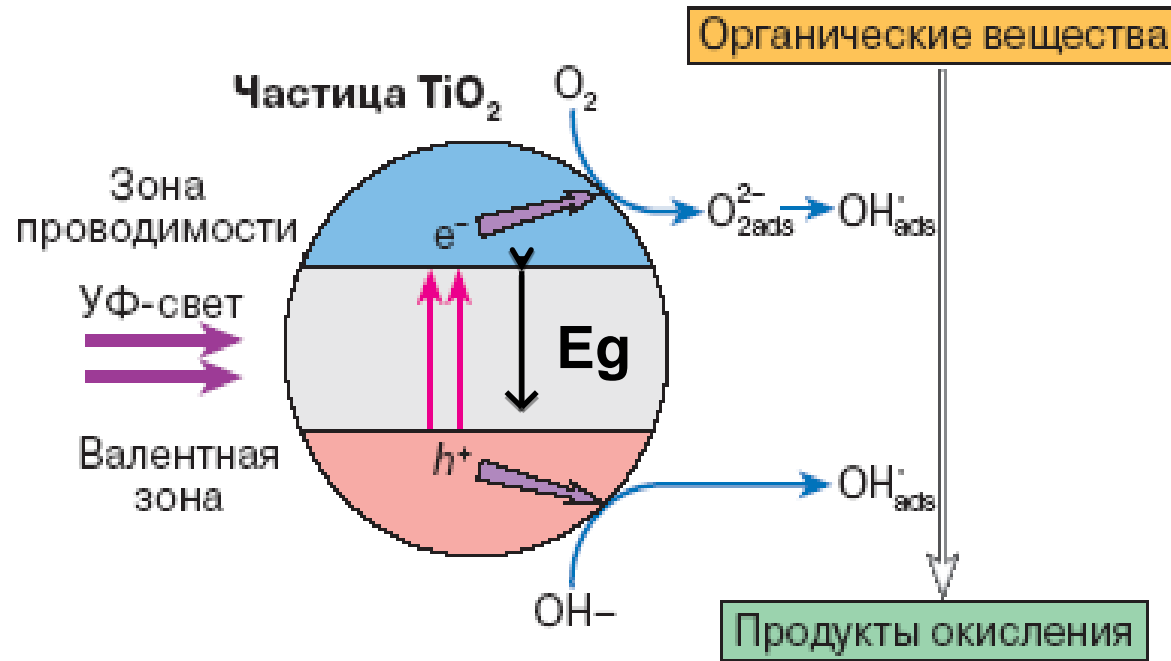
Это собственный момент импульса микрочастицы, не связанный с ее перемещением в пространстве.

Т.е. «закрученность» микрочастицы.

«Закрученность» может быть вправо и влево.

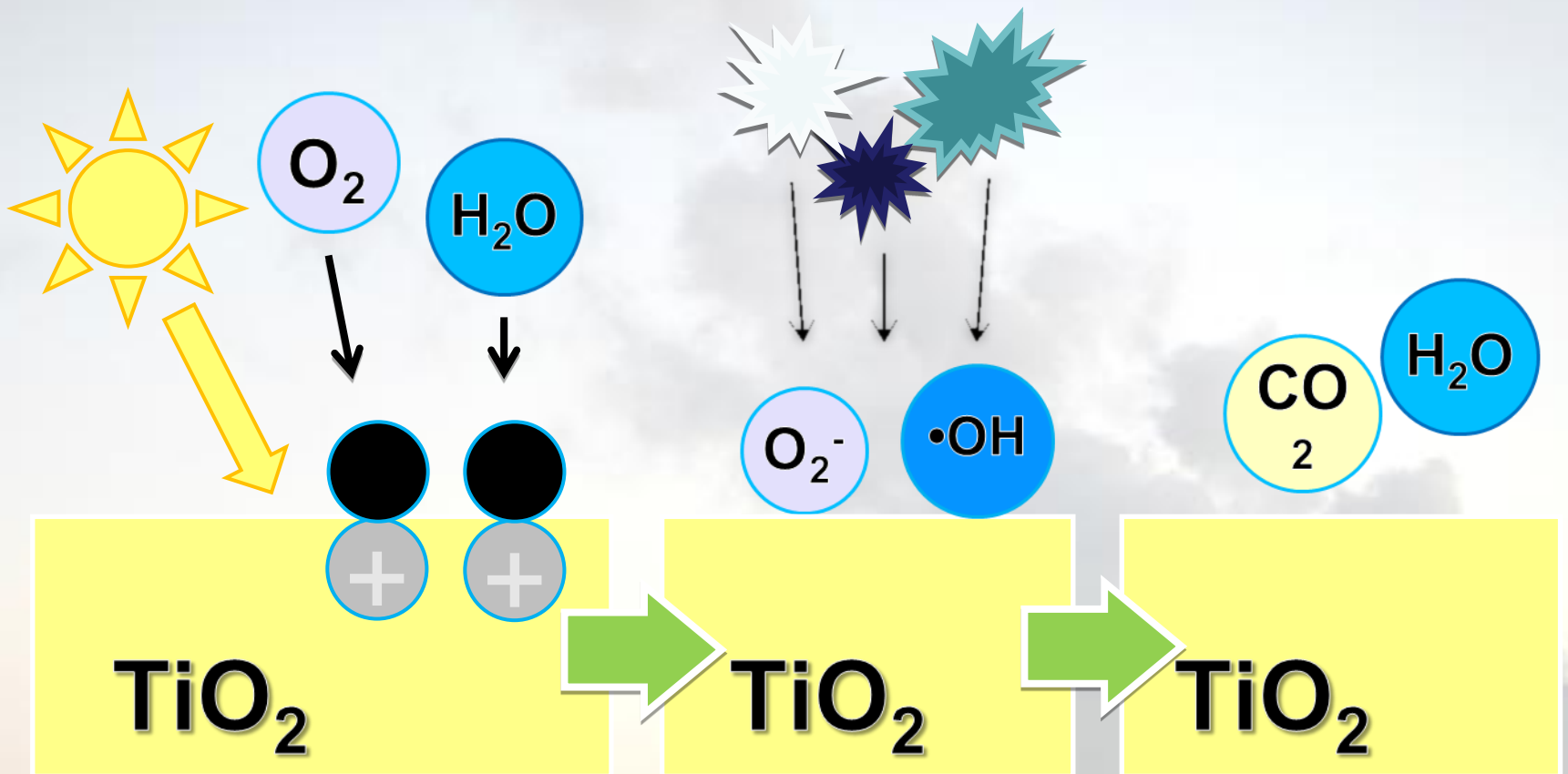
Радикал – это молекула или атом с неспаренным электроном, часто их кратко называют - СПИН

Принцип действия нанокристаллов TiO_2 как фотокатализатора



Эффективность фотокатализатора: квантовый выход реакции и спектр действия фотокатализатора. Квант. выход $\Phi = \eta_i \cdot \eta_r$, где η_i – доля носителей заряда, достигших поверхности, η_r – достигших поверхности и вступивших в полезную реакцию

Фотокаталитическое очищение



Практическое использование TiO_2 как фотокатализатора

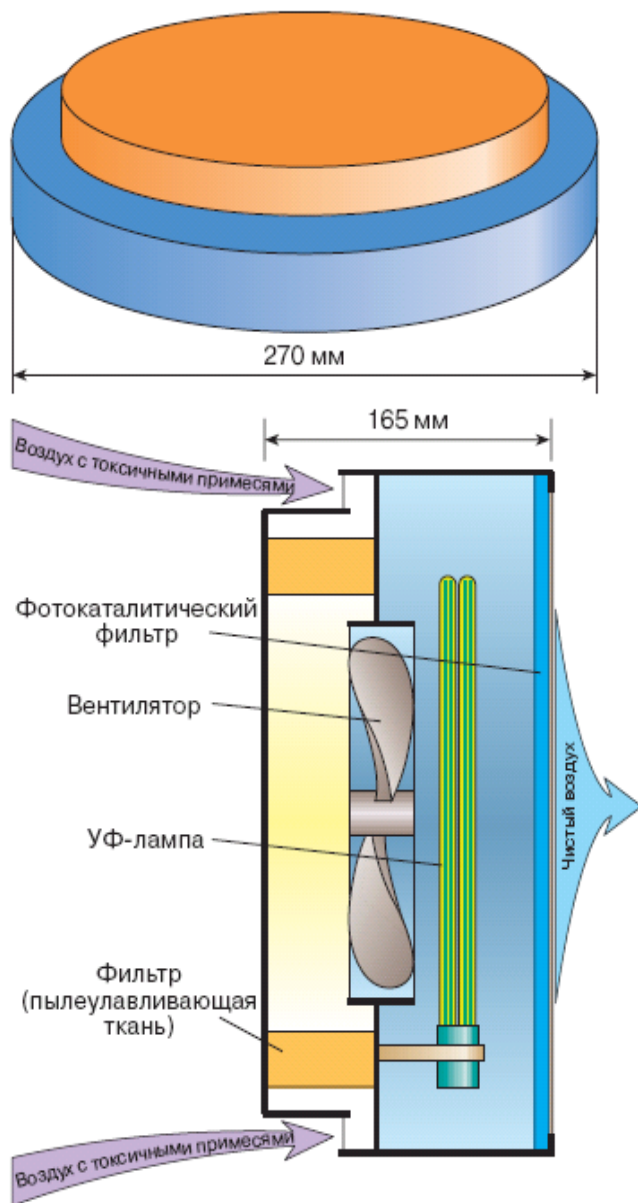


Рис. 2. Фотокаталитический очиститель воздуха

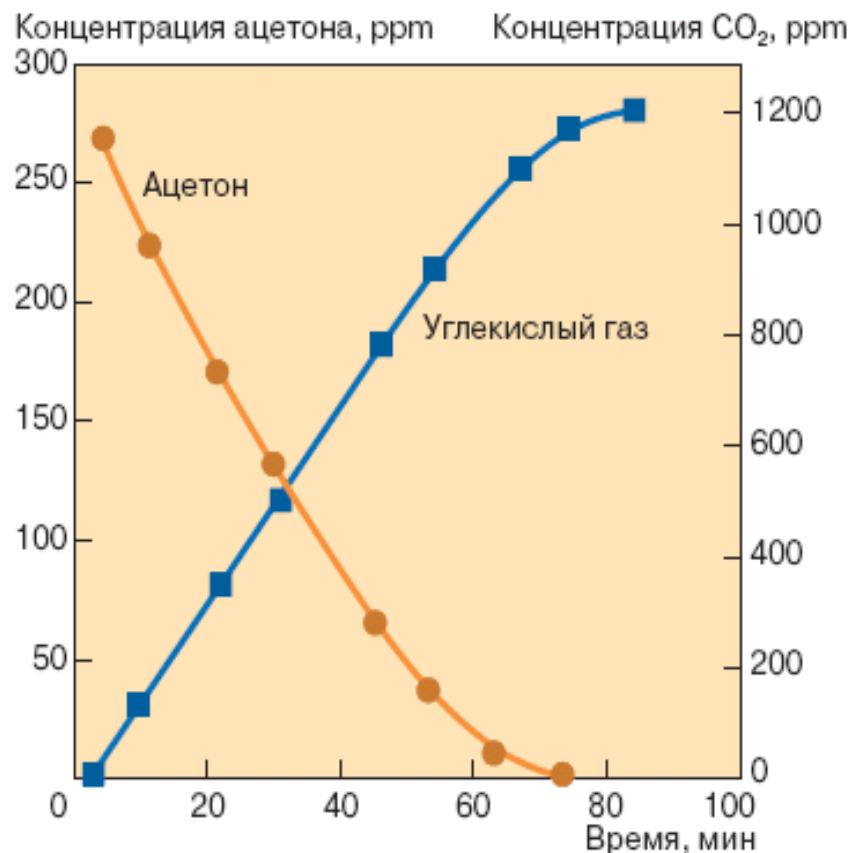
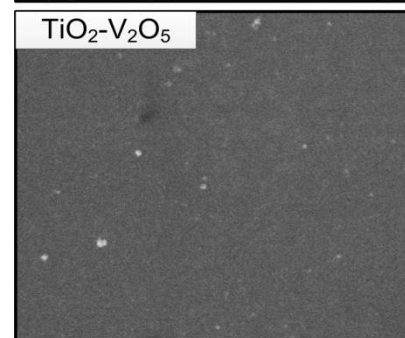
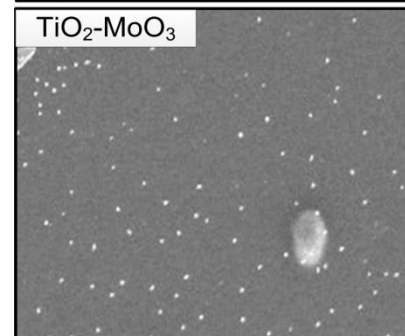
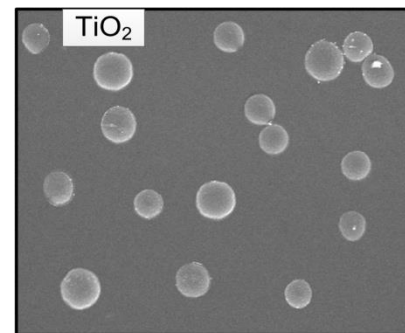
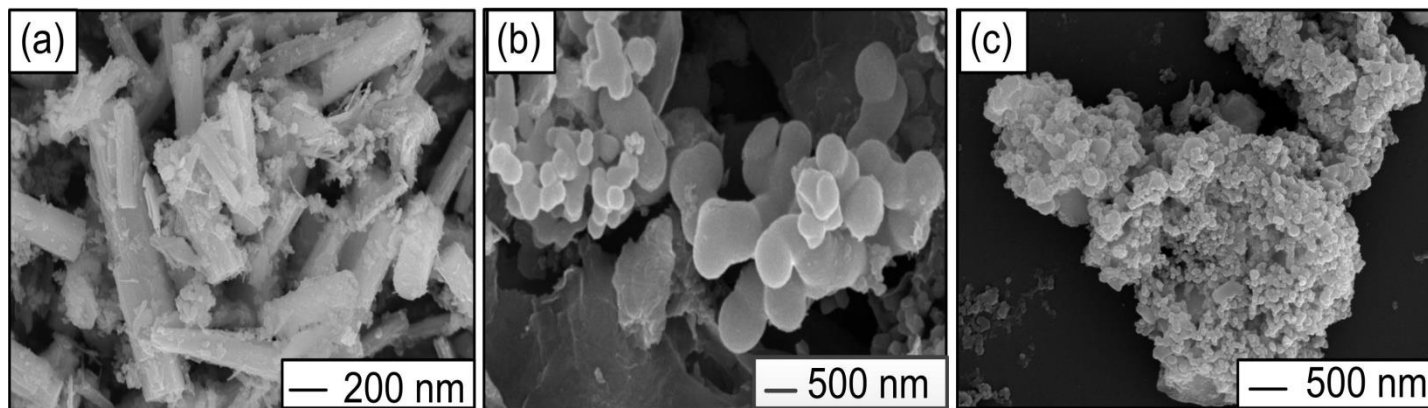


Рис. 3. Кинетические кривые исчезновения ацетона и накопления CO_2 в замкнутом объеме 190 л с фото-реактором, аналогичным изображенному на рис. 2

1. Очистка воздуха от органических примесей.
2. Очистка воды от органических примесей.
3. Самоочищающиеся зеркала и стекла.

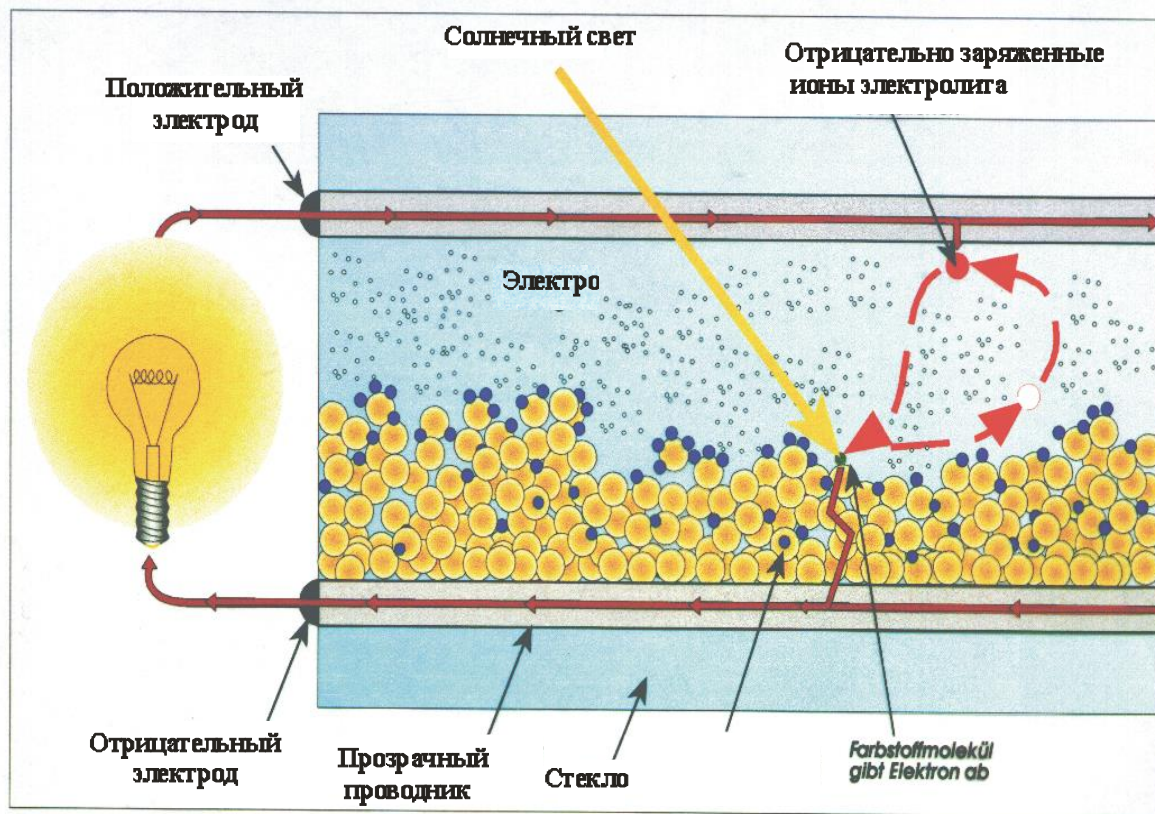
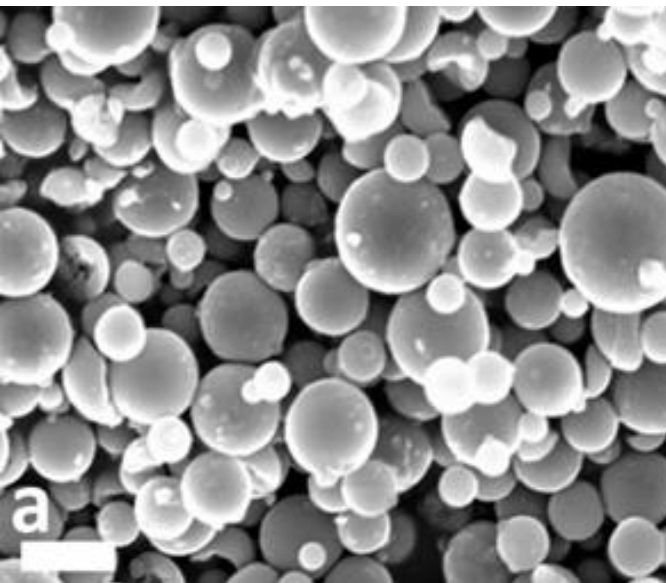
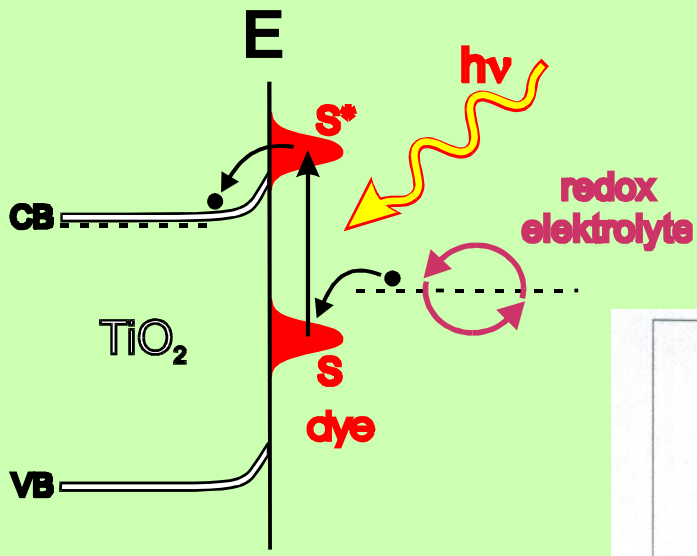
Антибактериальные свойства TiO_2 и наногетероструктур $\text{TiO}_2/\text{MoO}_3$, $\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$



Микрофотографии образцов наногетероструктур $\text{TiO}_2/\text{MoO}_3$ (a), $\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$ (b), TiO_2/WO_3 (c)

Микрофотографии бактериальных колоний, возникающих на фотокатализаторах TiO_2 , $\text{TiO}_2/\text{MoO}_3$ и $\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$, подвергнутых освещению и оставленных в темноте на 4 часа.

Принцип работы солнечного элемента (ячейки) Грэтцеля:



Wie die Farbstoffsolarzelle funktioniert...

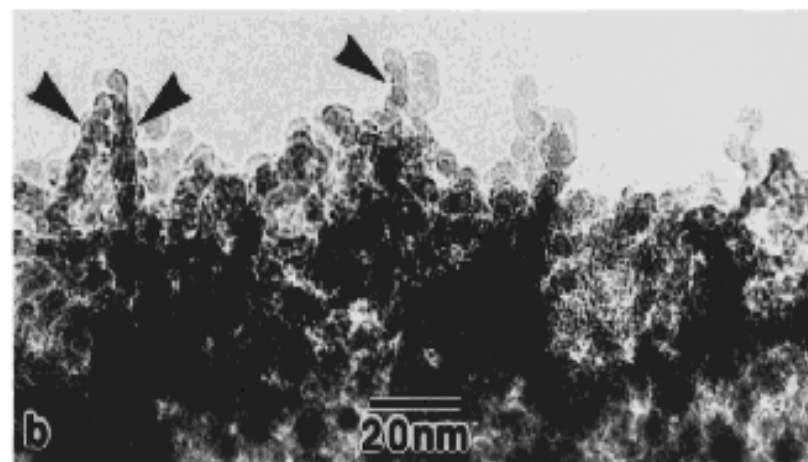
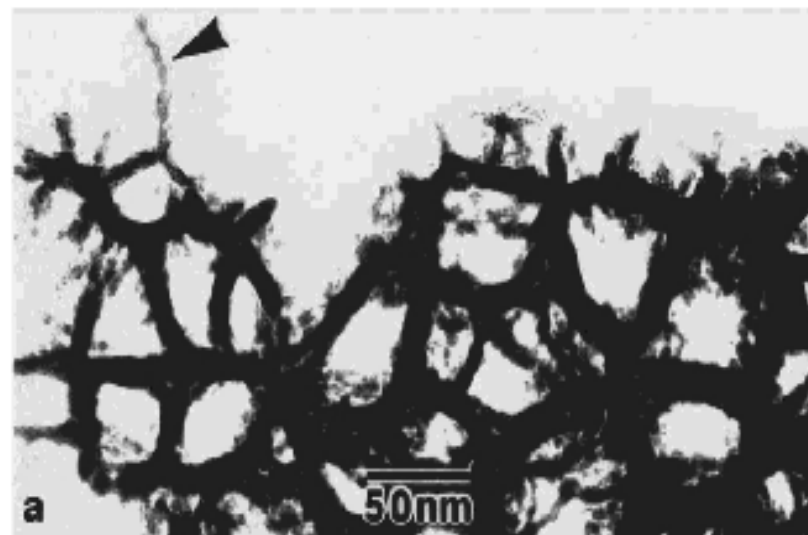
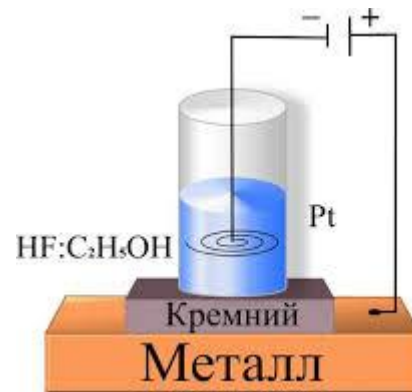
Полупроводник TiO_2
молекулы красителя

Dye-sensitized por- TiO_2 injection solarcell

[B. O'Regan and M. Grätzel, *Nature* 353 (1991) 737]

Нанокристаллы Si

1	$\text{Si} + 2\text{HF} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{SiF}_2 + \text{H}_2$	Образование бифторида кремния
2	$2\text{SiF}_2 \rightarrow \text{Si} + \text{SiF}_4$ $\text{SiF}_4 + 2\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6$	Химическое восстановление кремния из бифторида кремния
3	$\text{SiF}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{HF} + \text{H}_2$ $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} \rightarrow \text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{SiF}_4 + 2\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6$	Химическое окисление бифторида кремния до двуокиси кремния с последующим растворением ее в HF



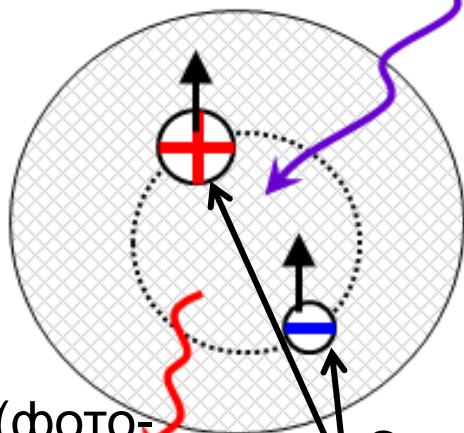
Состав электролита: HF(48%):C₂H₅OH

Еще одно необычное свойство наночастиц – проявление квантово-размерного эффекта, когда длина волны де-Бройля электрона становится сравнимой с их размерами

Для электрона в полупроводнике длина волны де-Бройля 3...30 нм и можно синтезировать наночастицы с размерами именно в этом диапазоне.

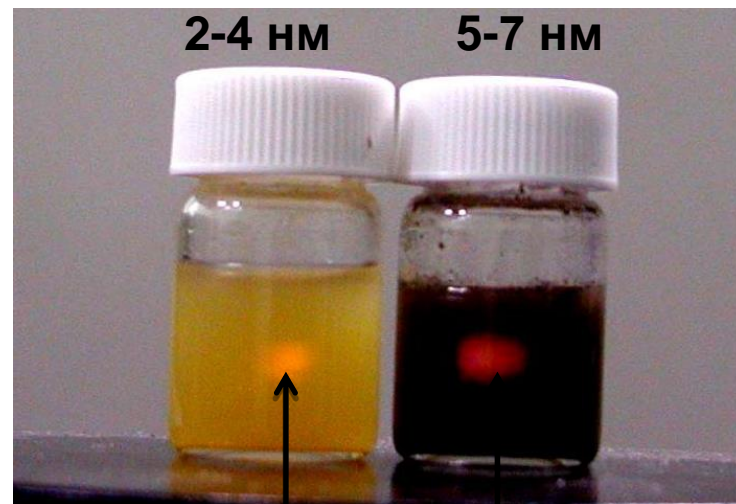
Нанокристалл Si

Возбуждающий свет



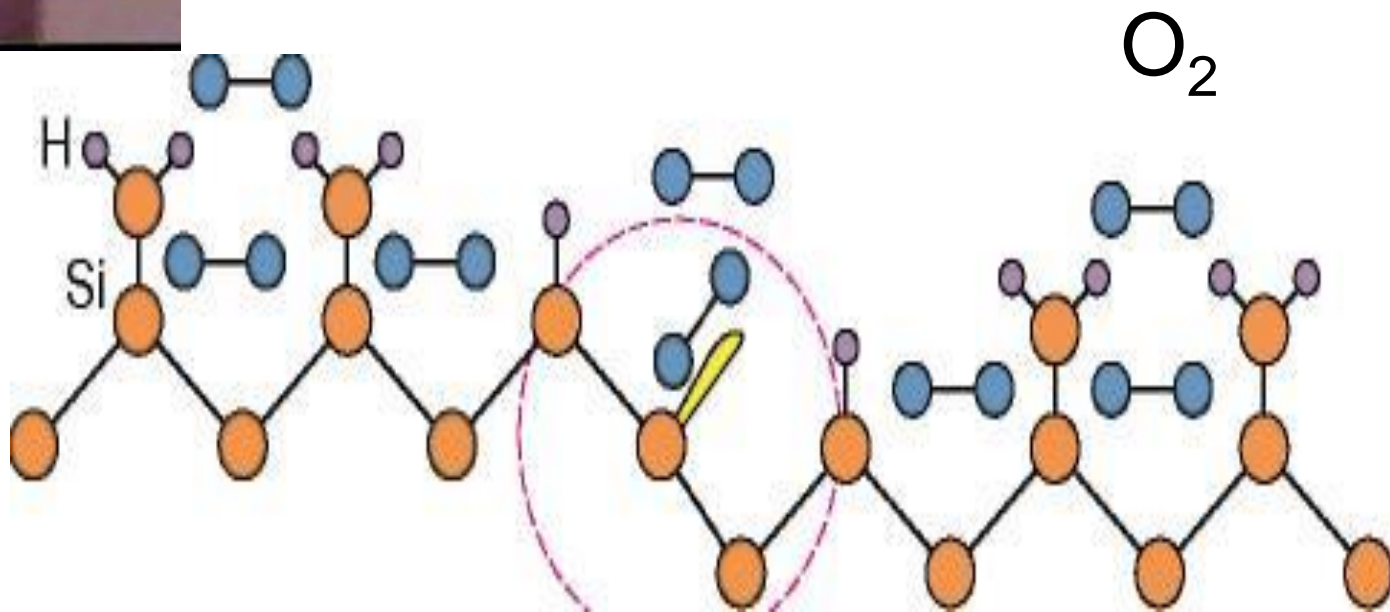
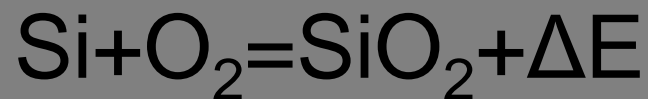
Экситон
(связанные кулоновским притяжением электрон и дырка)

Свет (фотолюминесценция),
высвечиваемый
в результате
аннигиляции
экситона

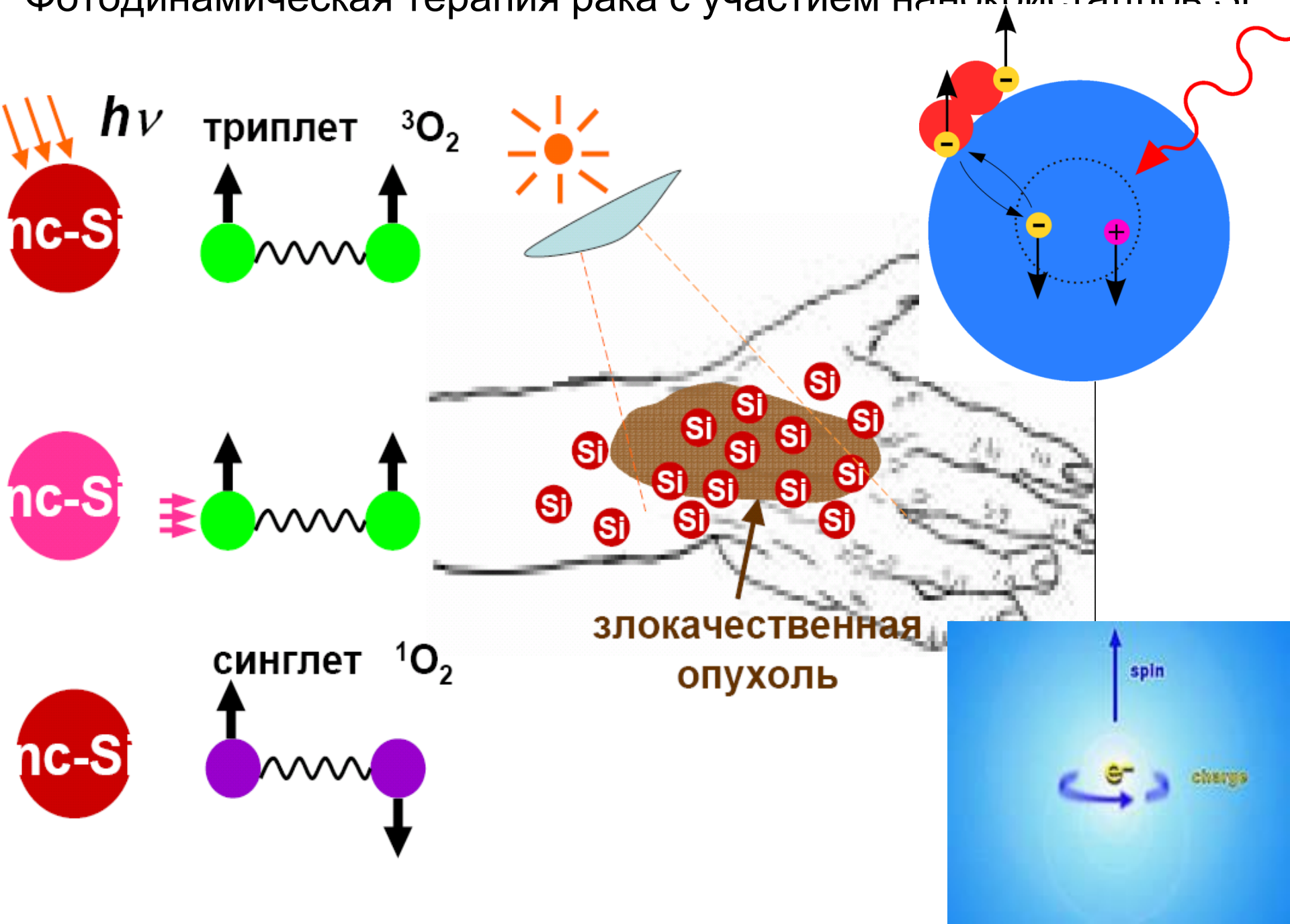


Фотолюминесценция под
действием
возбуждающего излучения
в суспензиях наночастиц
кремния

Взрывная реакция окисления нанокристаллического кремния



Фотодинамическая терапия рака с участием нанокристаллов Si



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Самое интересное скрывается в необычном,
- А электрон с его удивительными свойствами остается по-прежнему таким же неисчерпаемым, как и атом,
- И столько предстоит еще свершить открытий чудных...
- И Физический факультет МГУ с нетерпением ждет всех любознательных и увлеченных жаждой познания природных явлений в свои гостеприимные стены !

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!