

Образовательные материалы Наноолимпиады

Лекция: к 150 годовщине Периодической таблицы Д.И.Менделеева



НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!

enanos.nanometer.ru

Москва
2019



Периодическая Таблица Элементов Д.И.Менделеева и наномир (часть 2)

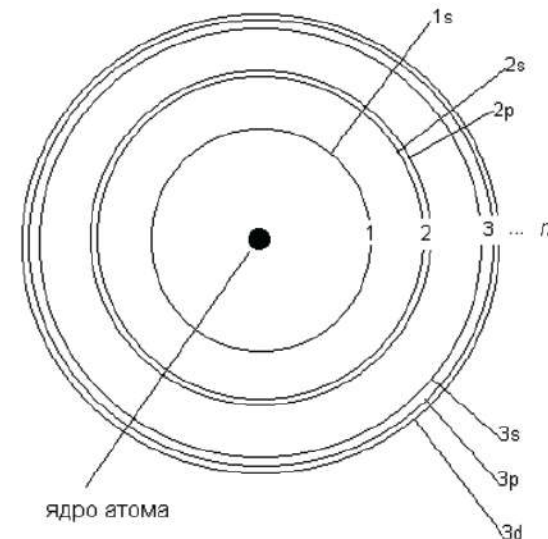
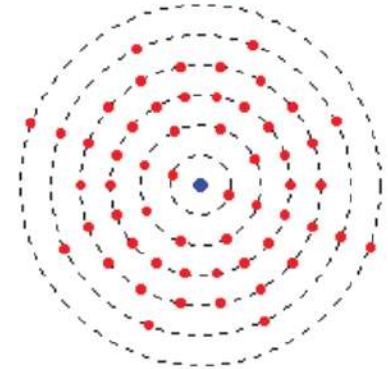
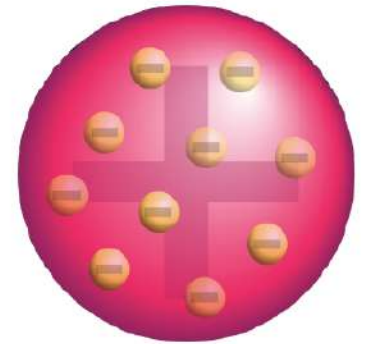
ИДЕЯ
ЭНЕРГЕТИКА
s и p элементы



Е.А.Гудилин
goodilin@yandex.ru

Три шага эволюции теорий строения атома

- **Модель Томсона** (пуддинговая модель): сгусток положительного и отрицательного зарядов
- **Модель Резерфорда** (планетарная): в центре атома находится положительно заряженное ядро, занимающее ничтожную часть пространства внутри атома, весь положительный заряд и почти вся масса атома сосредоточены в его ядре, вокруг ядра вращаются электроны. Их число равно положительному заряду ядра.
- **Модель Бора** (квантово-химическая):
 1. Электрон проявляет двойственную (корпускулярно — волновую) природу; как частица электрон имеет определенную массу и заряд, а как волна — способность к дифракции (огибания препятствия).
 2. Для электрона невозможно одновременно и точно измерить координату и энергию. В каждый момент времени можно определить только одно из этих свойств (принцип неопределенности Гейзенберга).
 3. Электрон в атоме не вращается вокруг ядра по определенной траектории, а может двигаться в любой части олюдерного пространства. Однако вероятность нахождения его в разных частях пространства неодинакова.
 4. Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов. Число протонов равно атомному номеру элемента (протонное число), а сумма чисел протонов и нейтронов (нуклонов) соответствует его массовому числу.

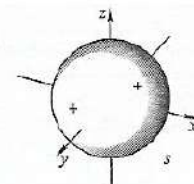


Волновая функция, являющаяся решением уравнения Шредингера, называется **орбиталью** – областью пространства, вероятность нахождения электрона в которой $\geq 95\%$

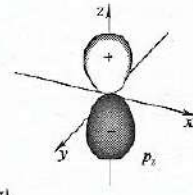
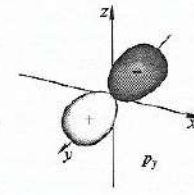
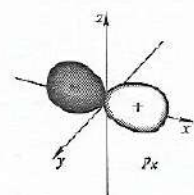
Квантовые числа, характеризующие электрон в атоме

Квантовое число	Принимаемые значения	Характеризуемое свойство	Примечание
Главное (n)	1, 2, 3, ..., ∞	Энергия (E) уровня. Среднее расстояние (r) от ядра	$n = \infty$ — отсутствие взаимодействия с ядром, $E = 0$
Орбитальное (l)	0, 1, ..., ($n - 1$) всего n значений для данного n	Орбитальный момент количества движения — форма орбитали	Обычно используют буквенные символы: $l: 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4$ $s \ p \ d \ f \ g$
Магнитное (m_l)	$-l, ..., 0, ..., l$ всего $2l + 1$ значений для данного l	Ориентация момента количества движения — расположение орбитали в пространстве	При помещении в магнитное поле орбитали с различными m_l имеют разную энергию
Спиновое (m_s)	$\pm 1/2$ не зависит от свойств орбитали	Ориентация собственного магнитного момента	Обозначают $\uparrow$ или $\downarrow$

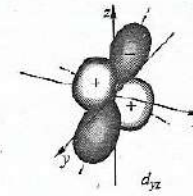
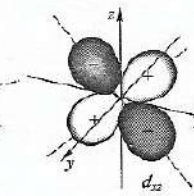
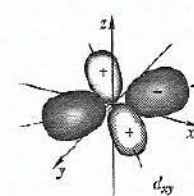
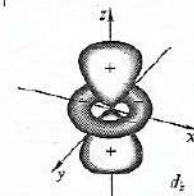
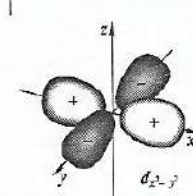
$l=0$
(s)



$l=1$
(p)

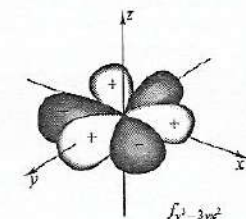


$l=2$
(d)

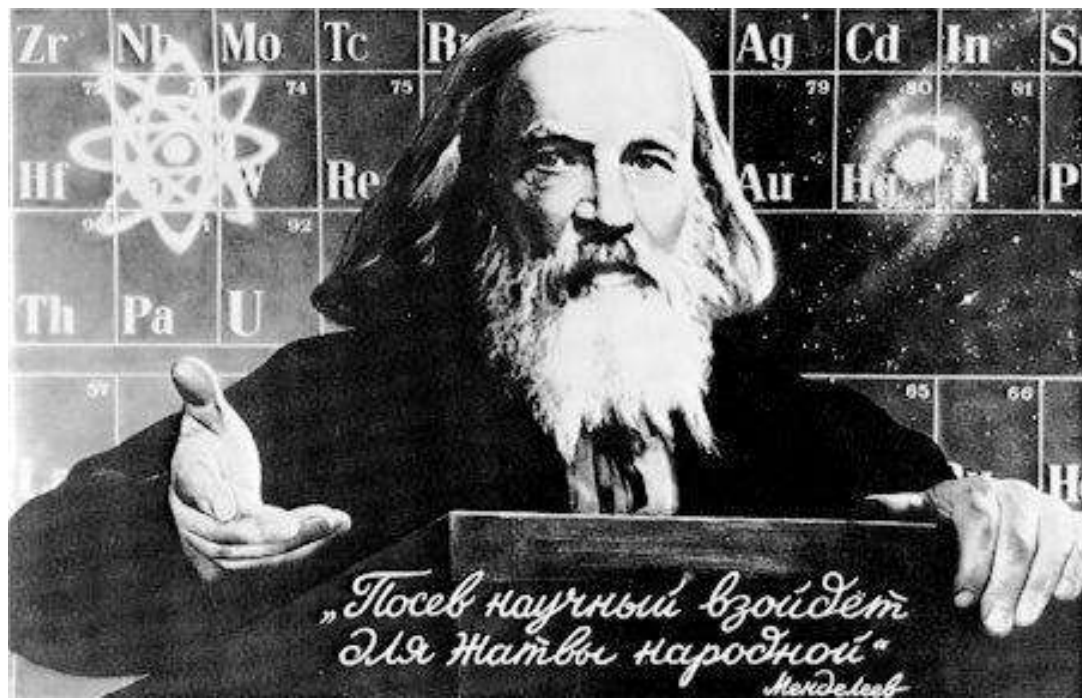


$l=3$
(f)

Пример одной из семи орбиталей



! Квантовые числа n , l и m_l определяют энергию, форму и пространственное расположение орбиталей



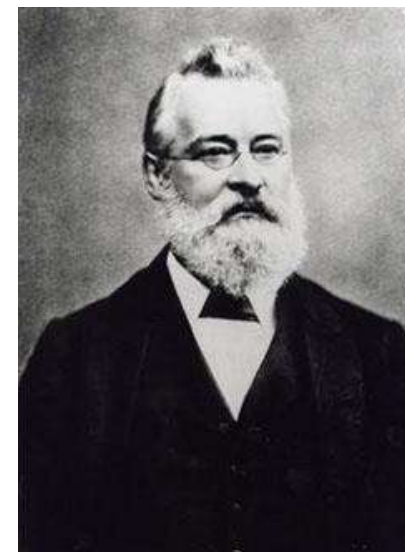
Дмитрий Иванович Менделеев (1834 - 1907)



Лотар Юлиус Мейер



**Александр Эмиль Бегуйе де
Шанкуртуа**



**Джон Александр Рейна
Ньюлендс**

... не только классификация, но и поиск фундаментального закона!

- триады Дёберейнера (1829): Br-Cl / I, Ca-Sr-Ba, S – Se – Te
- Первый химический конгресс (1860 г., Карлсруэ)
- спираль де Шанкуртуа (1862)
- октавы Ньюлендса (1864 - 1865)
- таблица Одлинга и Л. Мейера (1970)
- Таблица Менделеева (1869)
- Коротко- и длиннопериодные варианты (всего ~ 700)

IUPAC version (18 «колонок»)

USA: I A – VII A, I B – VII B, VIII – 3 и 0

Россия: I – VIII группы

«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости *от атомных весов (?) элементов*»

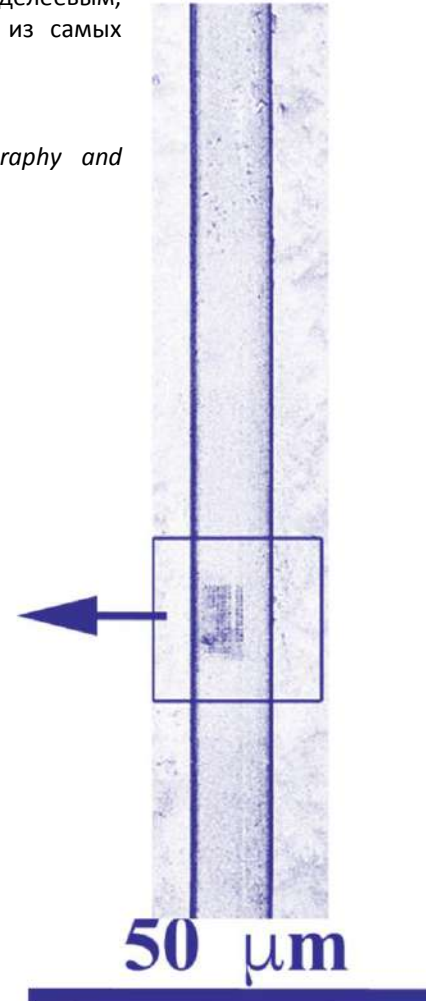
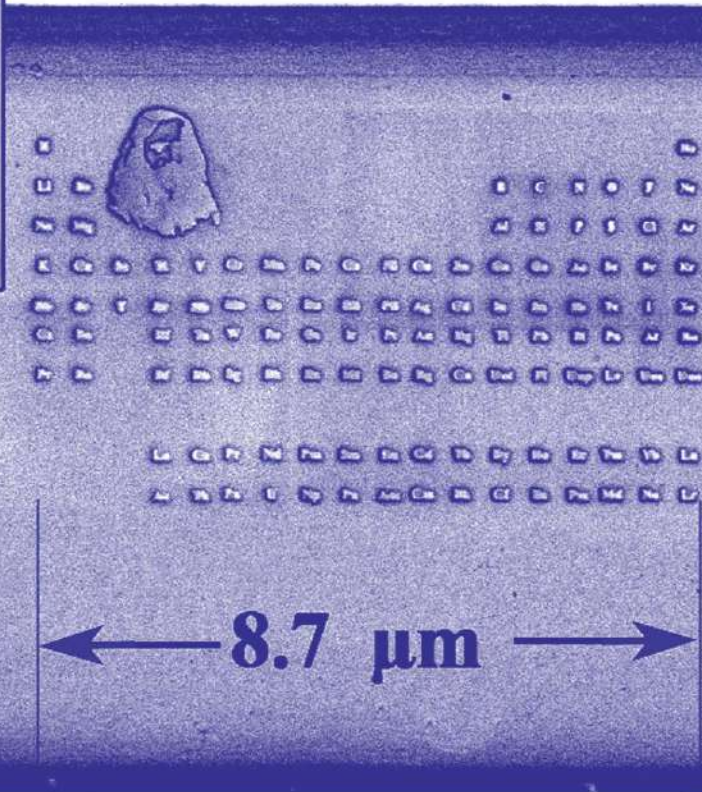
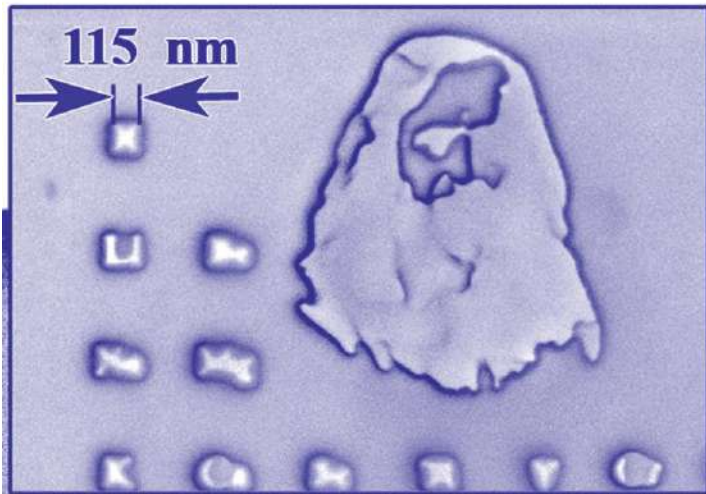
«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от **заряда ядра (!) атомов элементов**»

Естественный ряд химических элементов ${}_1\text{H}$, ${}_2\text{He}$, ${}_3\text{Li}$ ${}_{108}\text{Hs}$, ${}_{109}\text{Mt}$ образует систему с периодическим изменением электронной конфигурации и свойств химических элементов, а также образуемых ими простых и сложных веществ.

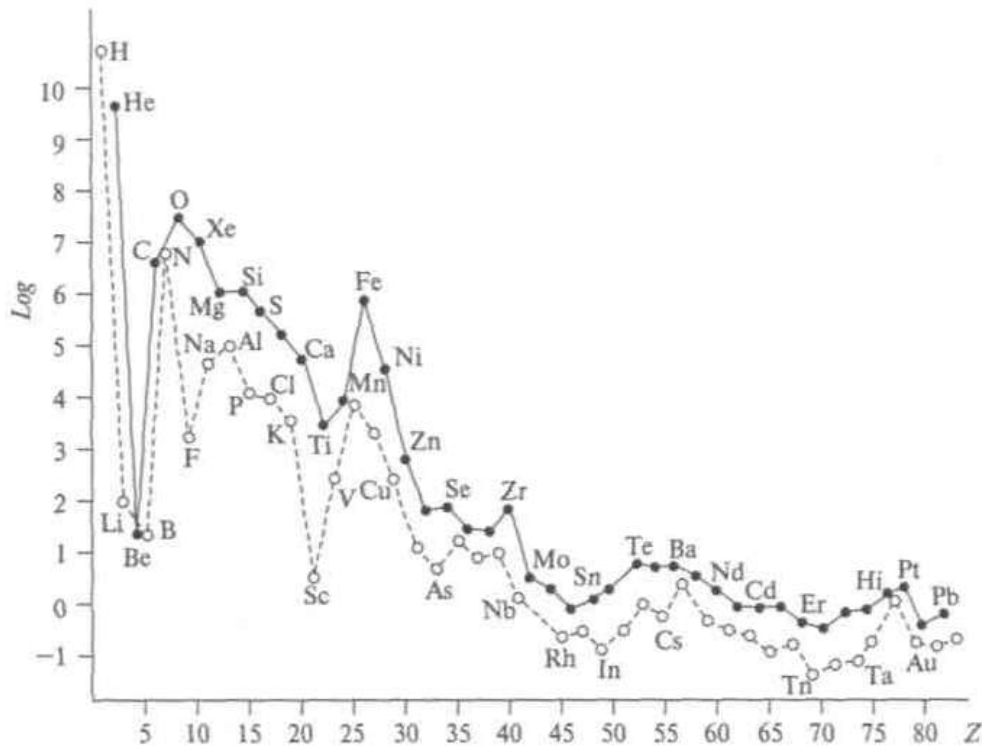
Международный год Периодической Таблицы Элементов

Периодическая таблица элементов, вырезанная сфокусированным пучком эка – алюминия (галлия), предсказанного Д.И.Менделеевым, на волокне толщиной в человеческий волос из одного из самых популярных наноэлементов - углерода.

Courtesy of N. A. Arkharova, A. S. Orekhov, and A. S. Orekhov, Shubnikov Institute of Crystallography of FSRC "Crystallography and Photonics" of Russian Academy of Sciences.



«Кларки» элементов



F.Clark (USA, 1889: A.E.Fersman, 1952 - 1960)



Франк Уилсуорт Кларк
(1847-1931), американский
геохимик



Александр Евгеньевич Ферсман
(1883 – 1945), российский минералог,
кристаллограф, геохимик, профессор,
академик РАН

Наноэлементы: идея



Nanotechnology Facets of the Periodic Table of Elements

ACS NANO, Editorial, September 2019

<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsnano.9b06998>

Eugene A. Goodilin,
Moscow State University, Russia

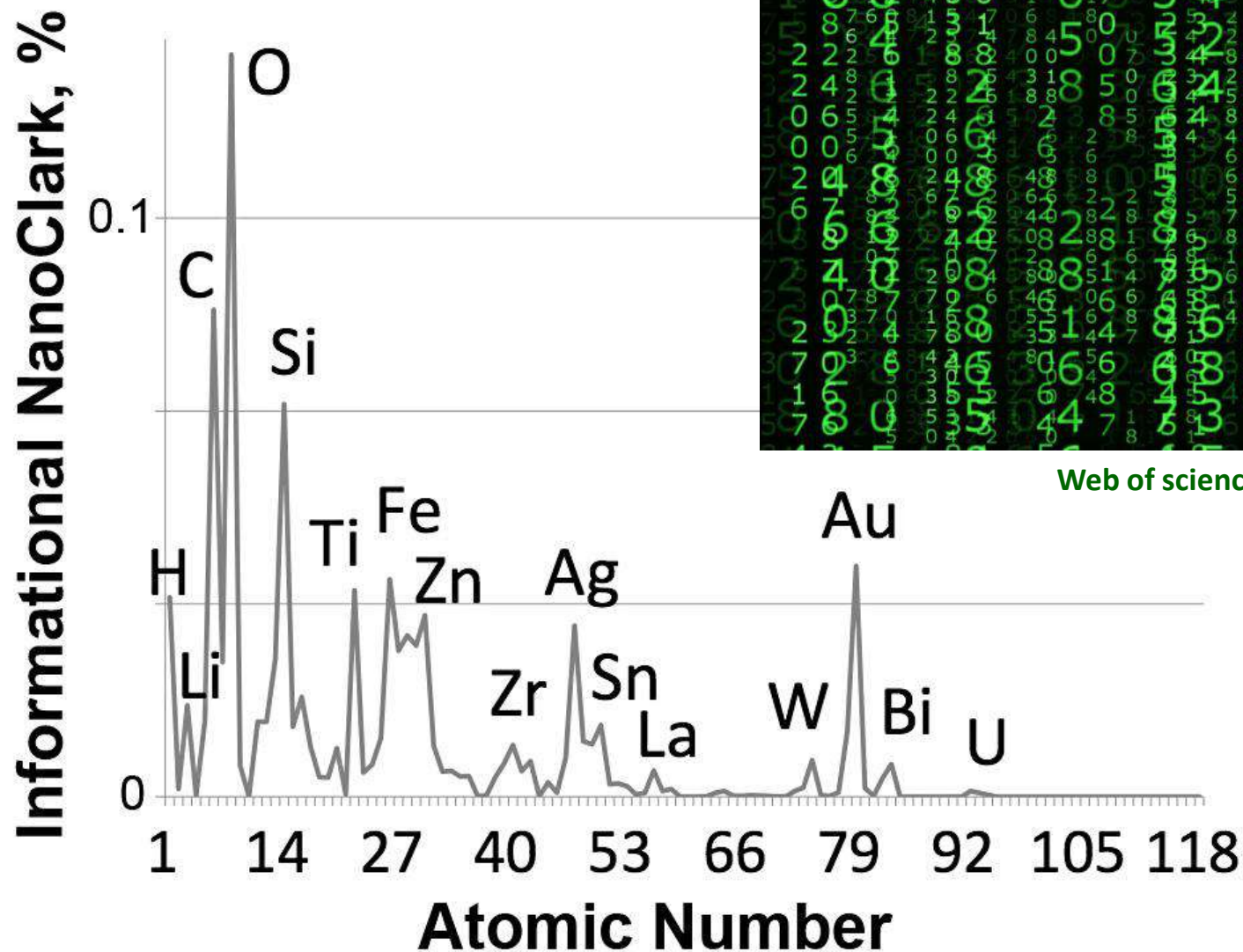


Paul S. Weiss,
University of California, USA

Yury Gogotsi
Drexel University, USA

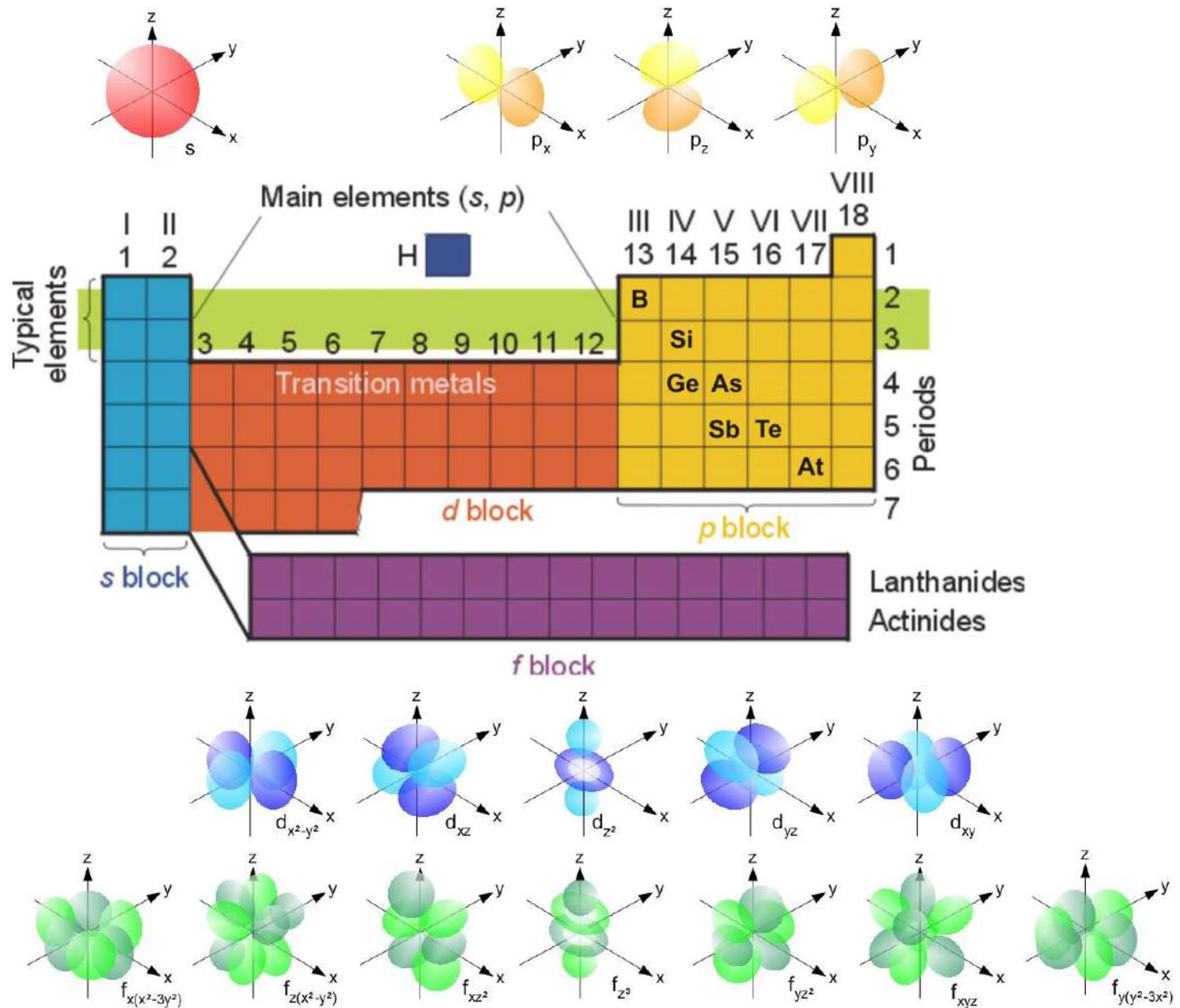


«ИнфоНаноКларки» в «информационной Вселенной»



Web of science, «element» + nano*

Структура ПТЭ (IUPAC)



Наноэлементы Периодической таблицы Д.И.Менделеева

-NANO>XIII
НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!



s – sunflowers, p – peony, d – daisy, f – forget-me-not

Критерии

- **Доступные** (*большой геокларк*)
 - **Полезные** (*применения*)
 - **Дешевые** (*зачем переплачивать?*)
 - **Уникальные** (*химия*)
 - **Стабильные** (*... обычно*)
-
- **Интерфейс** (*большая поверхность*)
 - **Наноккомпозиты** (*разнообразие*)
 - **Нетоксичность** (*если возможно*)



20 – 30 главных наноэлементов (в основном, “легкие”)
15 – 20 специальных наноэлементов

Наноэлементы Периодической таблицы Д.И.Менделеева

-NANO>XIII
НАНОТЕХНОЛОГИИ - ПРОРЫВ В БУДУЩЕЕ!



s – sunflowers, p – peony, d – daisy, f – forget-me-not

Водородная энергетика



Старт комплекса «Энергия — Буран» 15 ноября 1988 года с космодрома Байконур



СИРИУС
ОТКРЫТИЕ НОВОГО

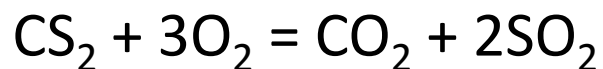
Водородный транспорт



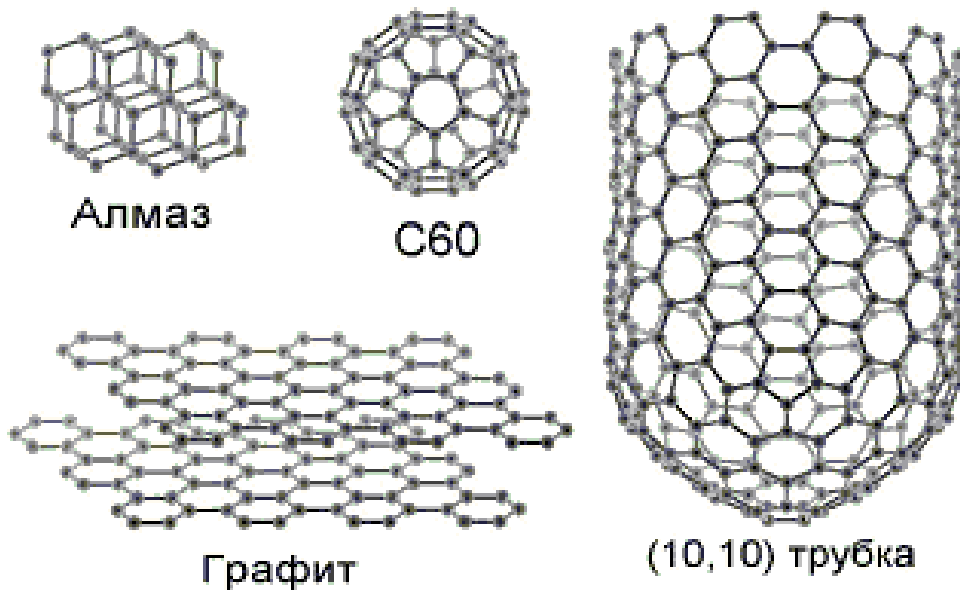
Д.х.н. Ю.А.Добровольский (Центр компетенций НТИ)

<https://www.facebook.com/profile.php?id=100005901546437>

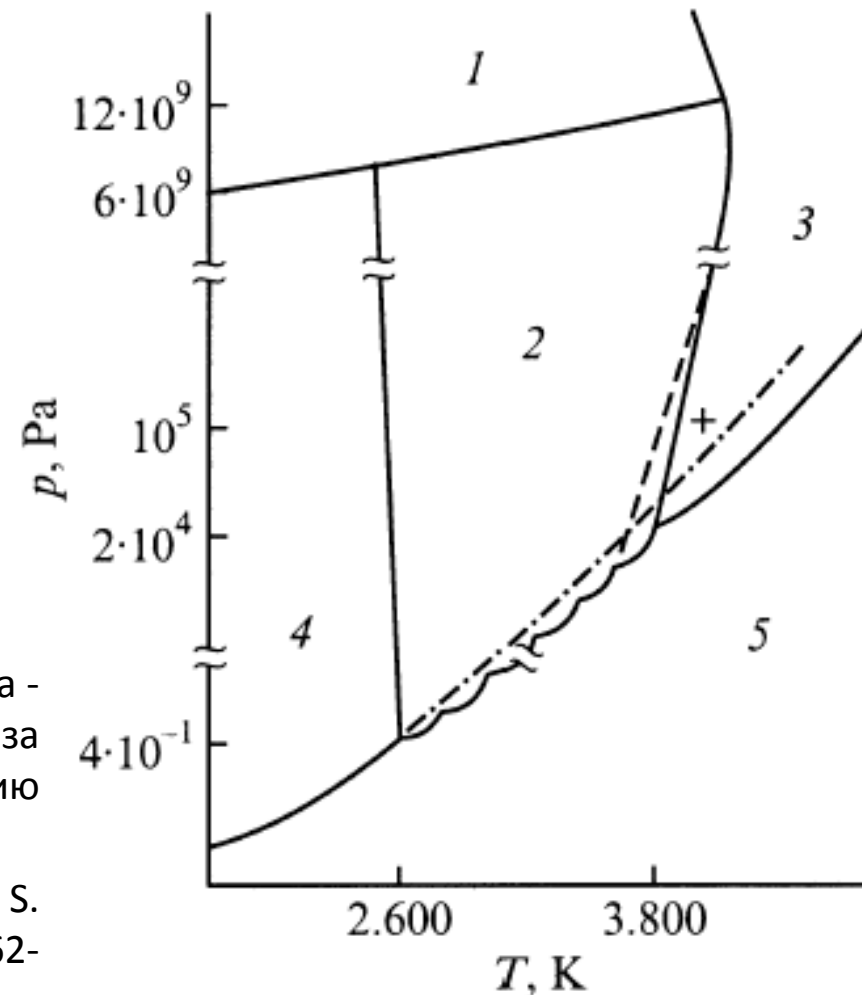
Фараонова змея и углеродные наноматериалы



Углеродные материалы



- Нобелевская премия в области физики 2010 года - Андре Гейм, Константин Новосёлов "за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена"
- C60: Buckminsterfullerene H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. E. Smalley Nature 318, 162-163 (14 Nov 1985) Letters to Ed

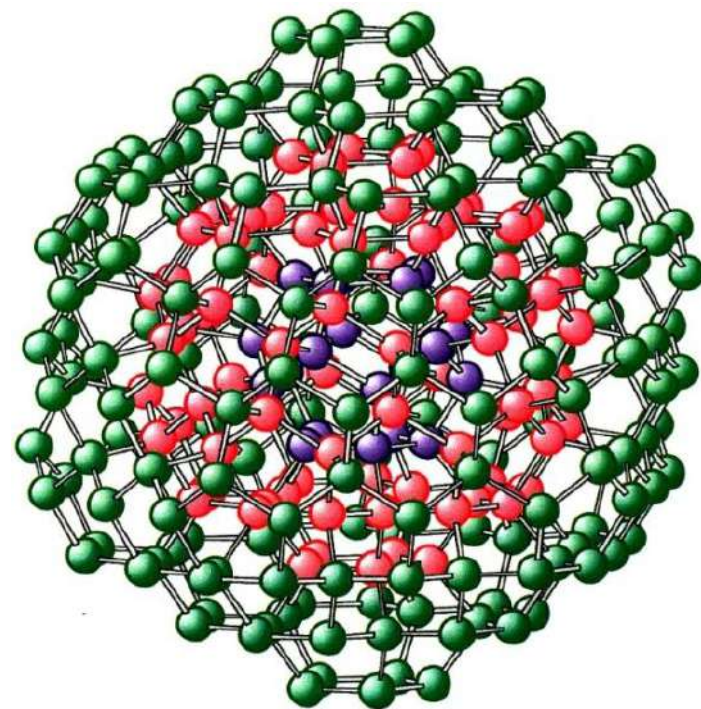


1 – алмаз, 2 – карбин, 3 – жидкость, 4 – графит, 5 - пар

Алмаз

- XIX в. - алмаз есть форма существования углерода (один из самых твердых материалов)
- Синтез алмазов из графита - при $T > 1400-1500$ К и $p > 1,5-6,0$ ГПа, катализаторы – Fe (а также Mn, Cr, Ta, Ni, Mg-Cu, Mg-Sn, Al-Cu)
- Тонкие алмазные пленки - высокая твердость, высокая теплопроводность, прозрачность в широком оптическом диапазоне, большое удельное сопротивление.

Тальк  Твердость 1 Царапается ногтем	Ортоклаз  Твердость 6 Царапается напильником
Гипс  Твердость 2 Царапается ногтем	Кварц  Твердость 7 Поддается обработке
Кальцит  Твердость 3 Царапается ножом	Топаз  Твердость 8 Царапает стекло
Флюорит  Твердость 4 Царапается ножом	Корунд  Твердость 9 Царапает стекло
Апатит  Твердость 5 Царапается ножом	Алмаз  Твердость 10 Режет стекло

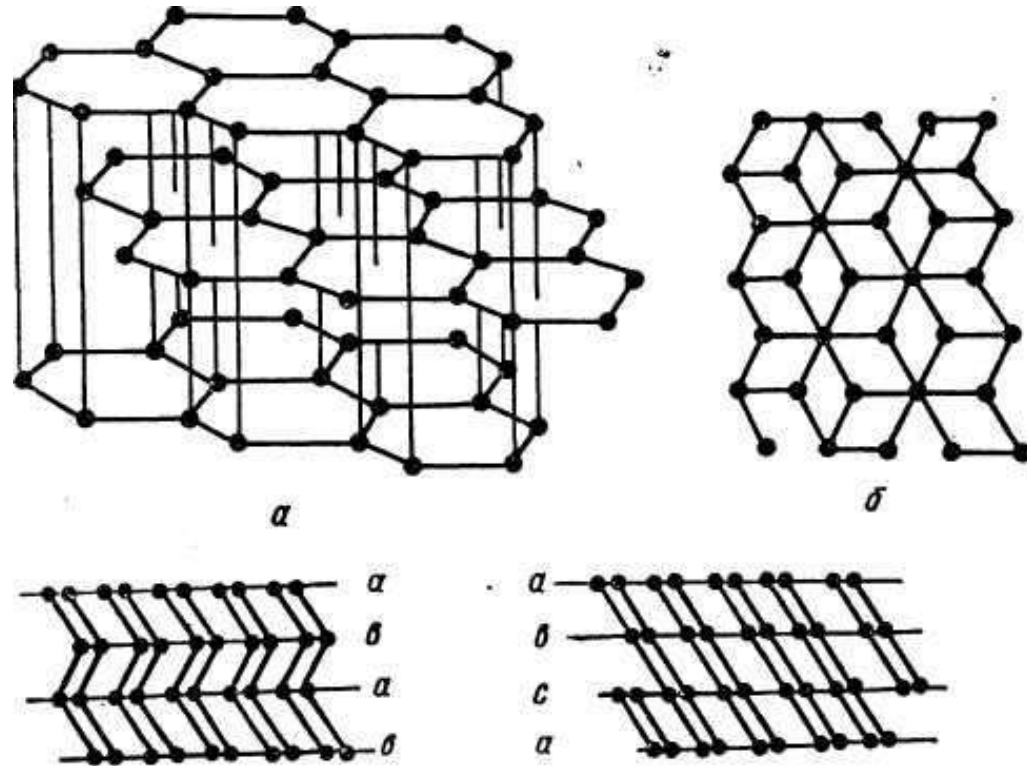


*«Луковичная»
структура
икосаэдрического
наноалмаза*

Графит

Графит - ряд слоев углерода, параллельных основной плоскости и состоящих из гексагонально связанных друг с другом атомов углерода. Расстояние между любыми соседними атомами углерода в плоскости слоя равно 0,142 нм, между соседними слоями 0,335 нм. Каждый атом в слое связан с тремя соседними, и углы между связями составляют 120°.

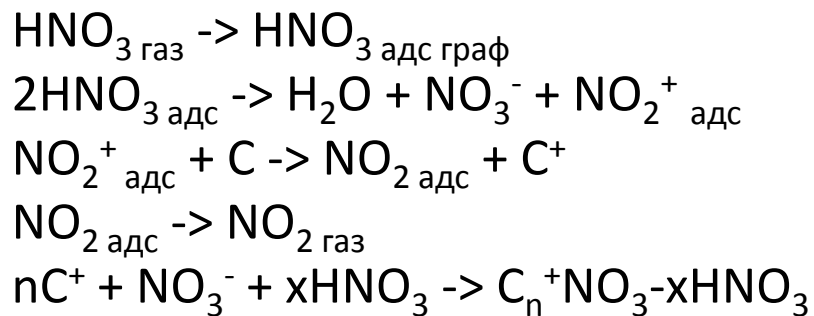
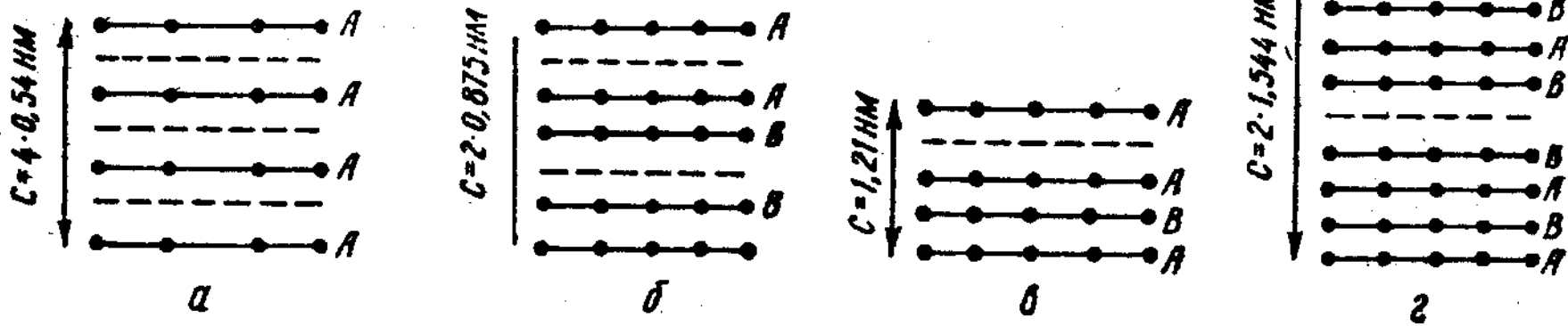
- Высокая термостойкость — в вакууме до 3000°C
- Высокая тепло- и электропроводность
- Низкая плотность (1.5 — 2.0 г/см³), легко обрабатывается.
- Химическая инертность
- Антифрикционные свойства — низкий коэффициент трения.



Структура графита: пространственная решетка (а), проекция перпендикулярно слоям (б), поперечное сечение гексагонального графита (в) и поперечное сечение ромбоэдрического графита (г) (• — атомы углерода)

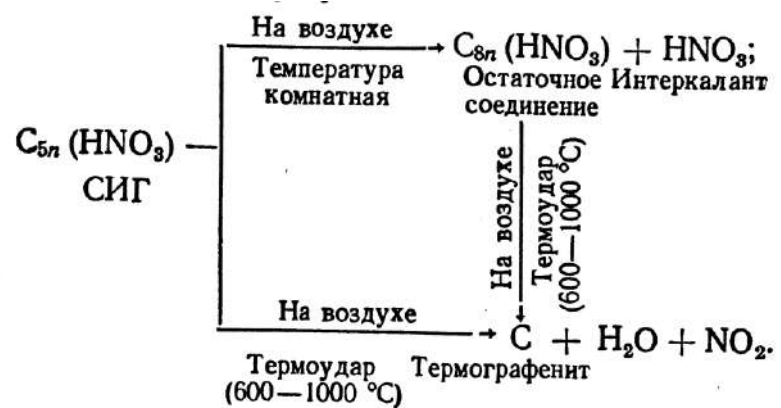
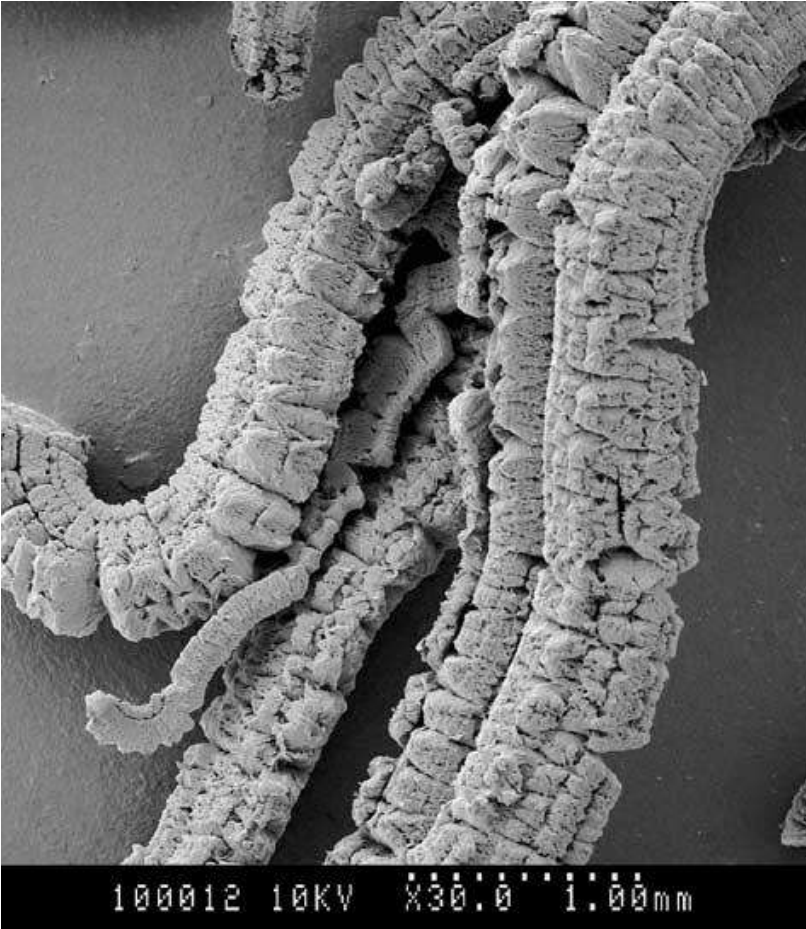
«Соединения» внедрения в графит

Диаграмма упаковки СВГ стадий 1-4 (а-г). Точками показаны слои графена, пунктиром – слои интеркалята. Номер ступени N равен числу графитовых сеток между ближайшими слоями внедренного вещества.



- Акцепторные СВГ (C_{16}Br_2 , $\text{C}_{20}\text{FeCl}_3$, C_{16}ICl , $\text{C}_{24}^+ \text{HSO}_4^{*-} 2\text{H}_2\text{SO}_4$),
- Донорные СВГ (C_4K , C_8Li , C_8Ca)

+ИК поляризаторы, монохроматоры для низкоэнергетических нейтронов, оптические фильтры, системы теплозащиты, для получения пенографита



Оксид графена

12.011
A2 hex
4492¹⁸
3825¹⁹
2.25
2.55
[He]2s²p²
Carbon

6
2, 4
C

Что такое sp² углерод?

графит

алмаз



стабилен

метастабилен
(постепенно
превращается
в графит)



известен < 500 лет

известен > 3000 лет

sp²

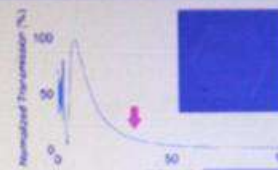
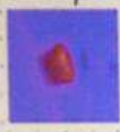
Нано фактор. ргг
Костяа Мина

одинаковый
химический
состав

Возможные приложения

Оптические приложения
(Samsung roadmap: 2012)

Фотодетекторы



Дисплей
Touch-screens



Солнечные батареи

Тактильные дисплеи

Электроника

Транзисторы

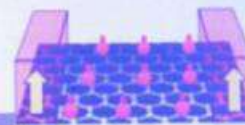
Moore et al., IEEE Electron Device Lett. (2009)

Lin et al., Nano Lett. (2009)

Lin et al., Science (2010)



Газовые датчики



Спиновые транзисторы

Варикап



Механические датчики

Композитные материалы

прочные, проводящие, оптически прозрачные

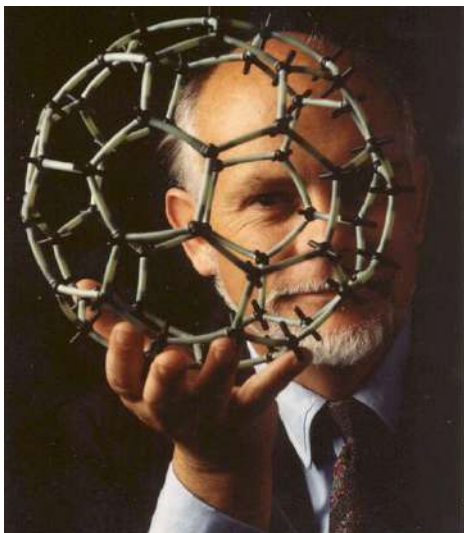
Гибкие



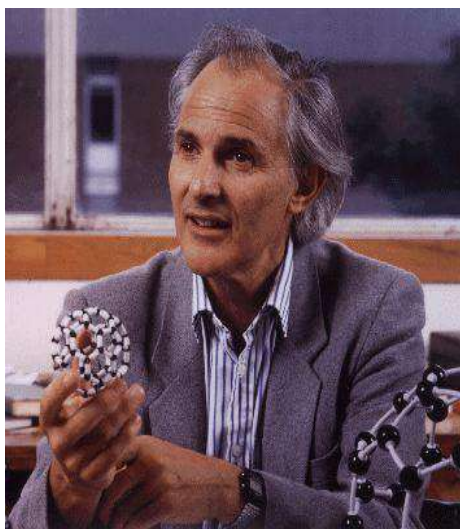
Супер-конденсаторы



Нобелевская премия по химии 1996 г.



Richard E. Smalley

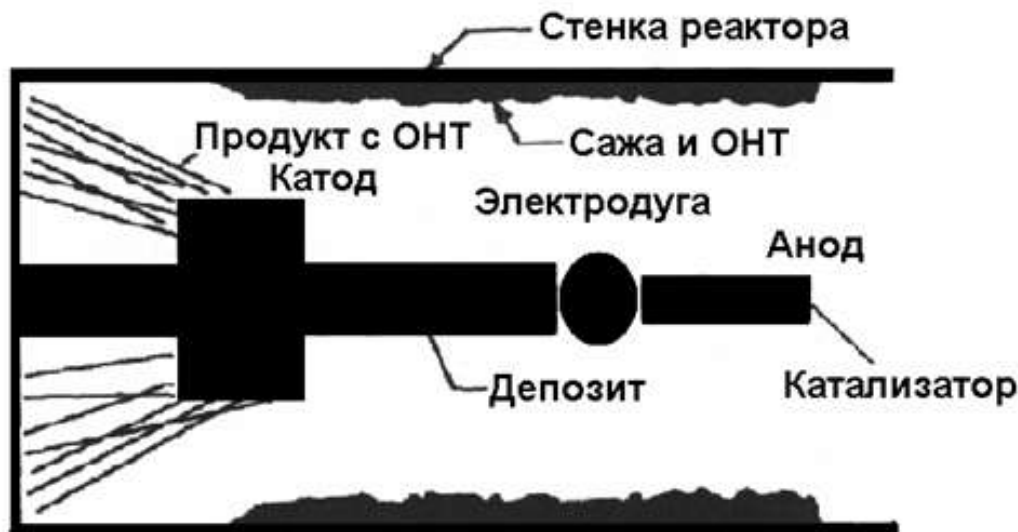


Harold W. Kroto



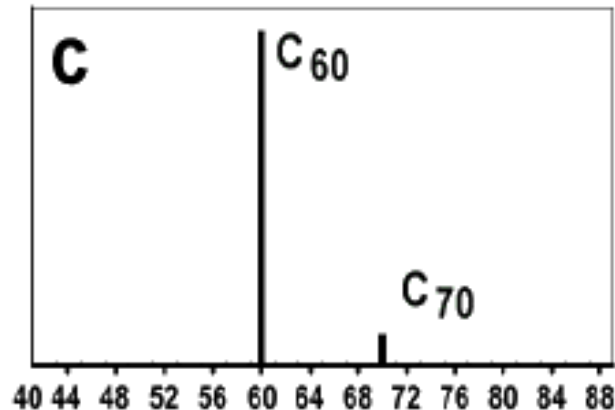
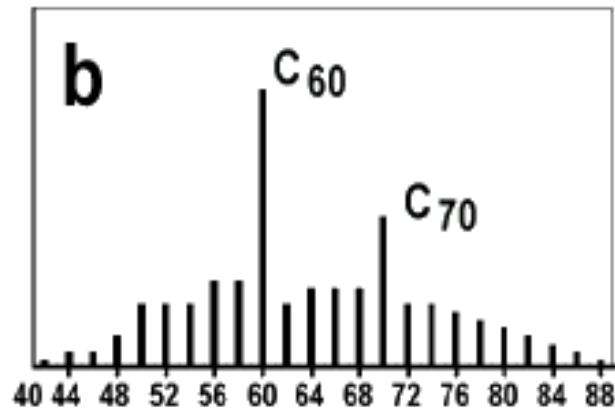
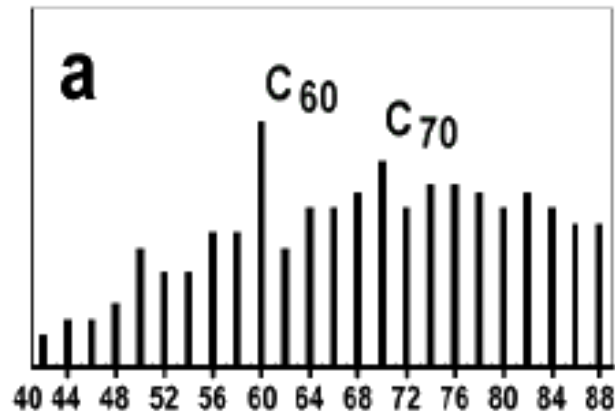
Robert F. Curl

Nature
1985,
318,
162

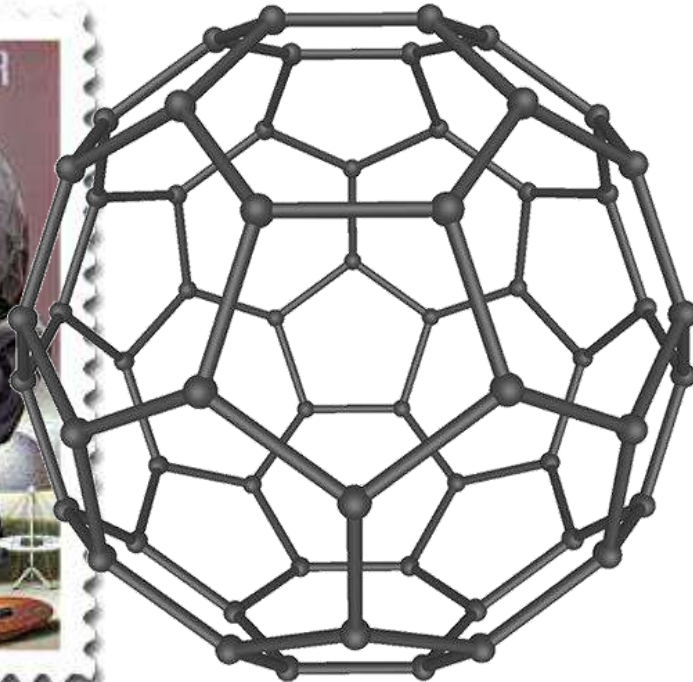


Высокая плотность тока $I = 150-300 \text{ A, DC}$, высокое давление газа $> 300 \text{ тор}$, Ar, фиксированный зазор 1-3 мм

Фуллерены

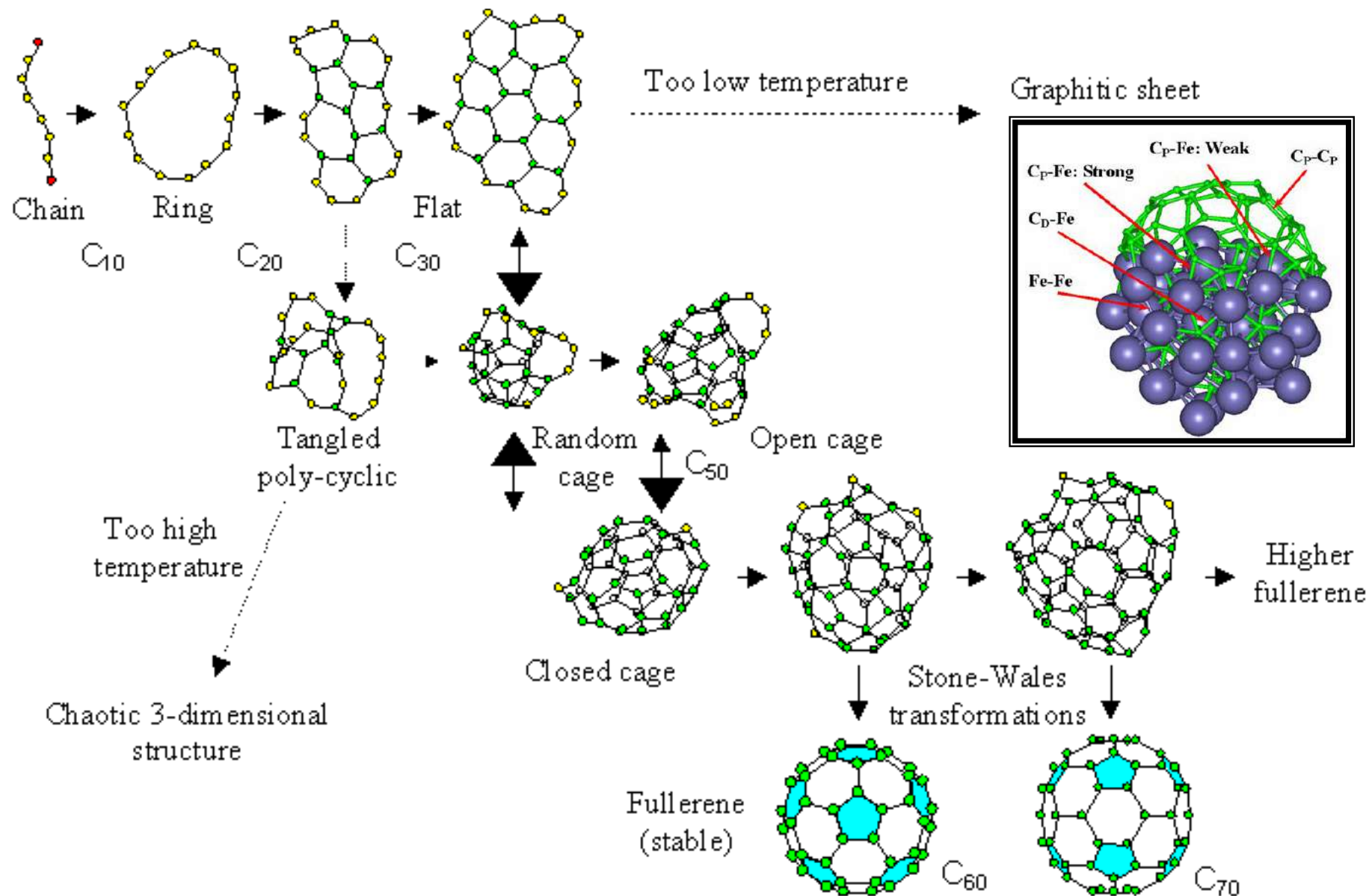


No. of carbon atoms per cluster

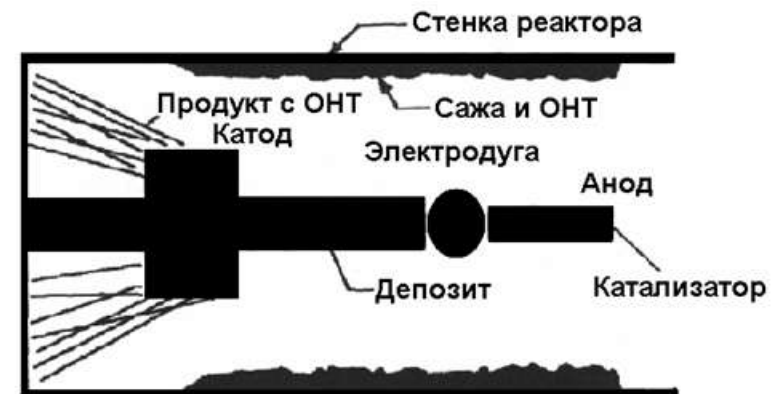
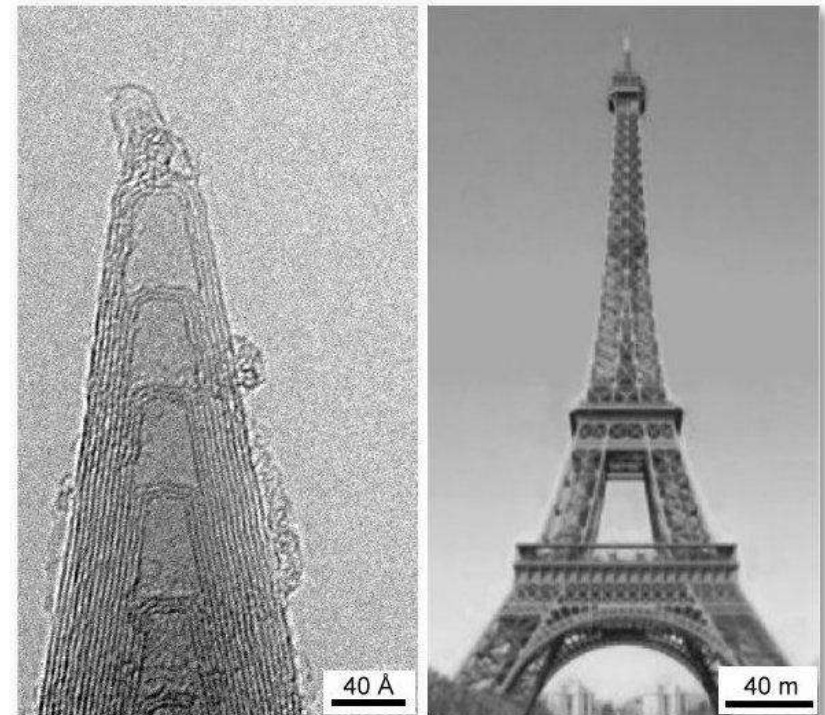
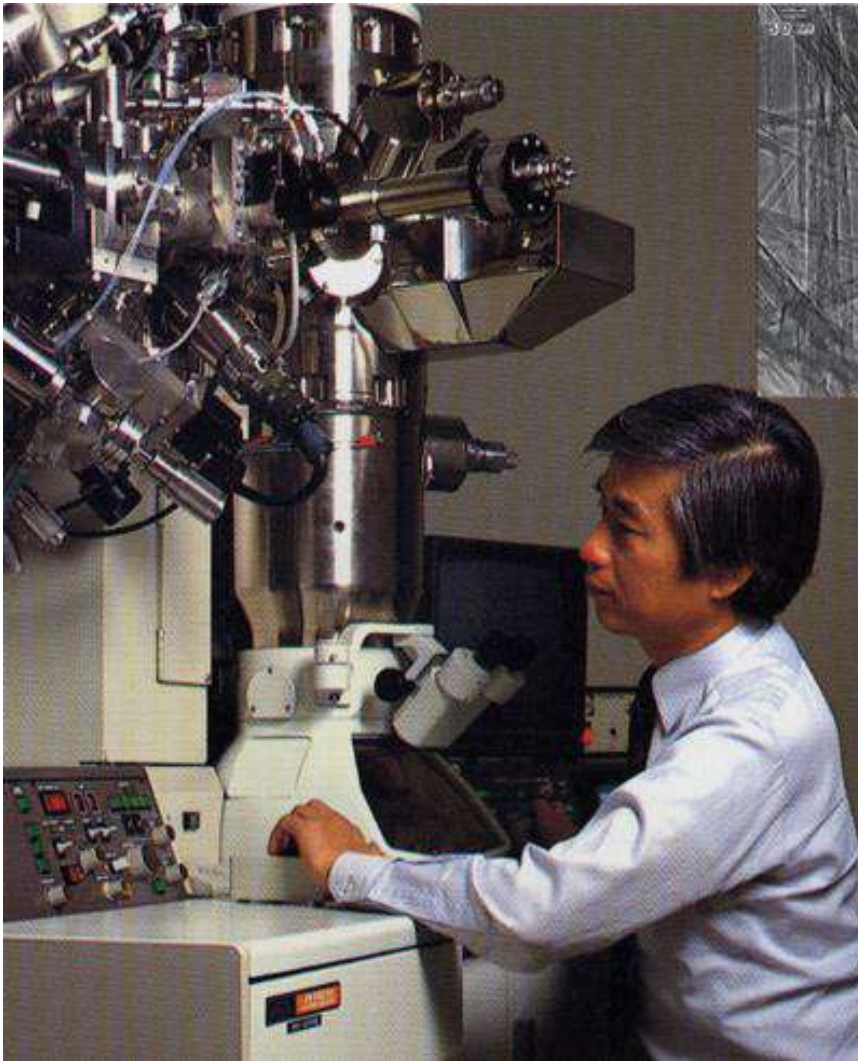


- антивирусная активность
- солнечная энергетика
- молекулярная электроника

Формирование фуллеренов



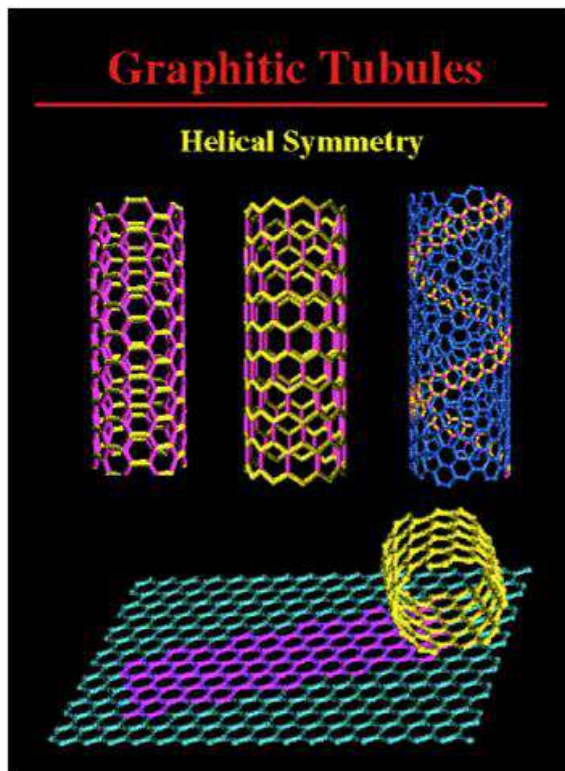
Углеродные нанотрубки (УНТ)



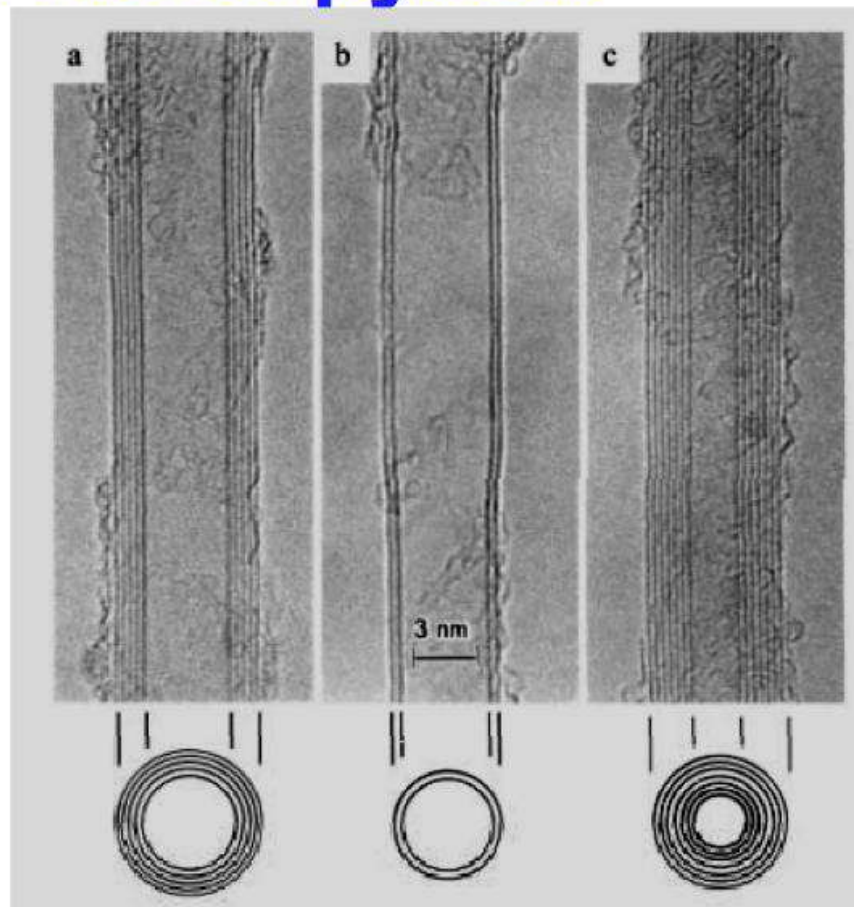
S. Iijima *Nature* 1991, 354, 56

Первые РЭМ наблюдения углеродных нанотрубок

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

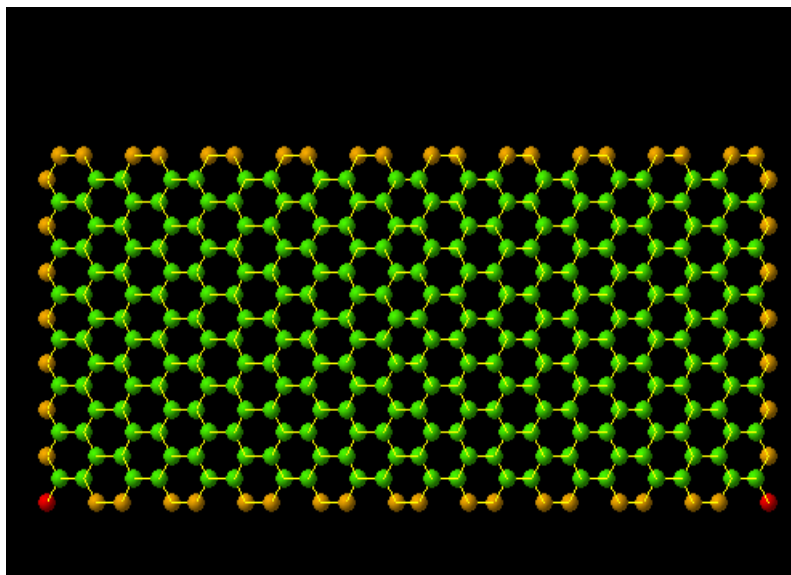


получены СНТ < 10 нм,
метод CVD (Oberlin, M.
Endo, T. Koyama. J. Cryst.
Growth 32, 335 (1976)).



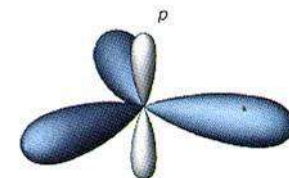
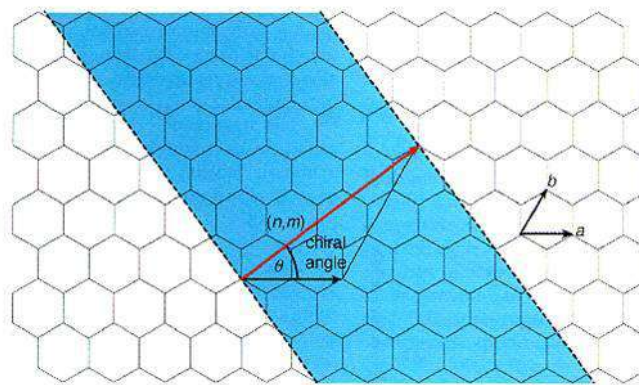
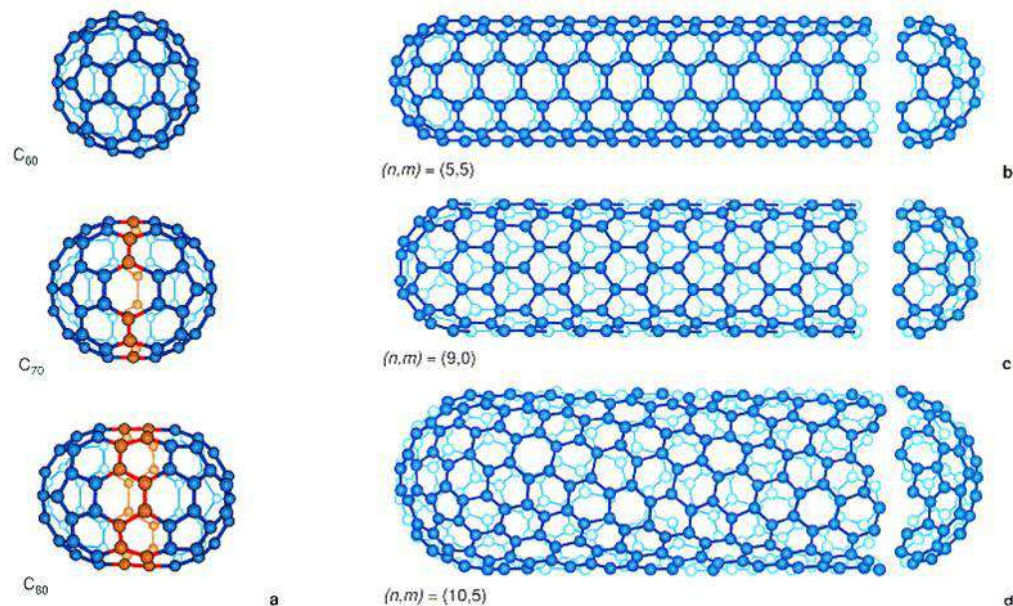
ТЕМ наблюдение J. Iijima (*Nature*, 1991) коаксиальных
многостенных нанотрубок (катод осадок в угл дуге)
различными внутренними и внутренними диаметрами и
числом оболочек с различной хиральностью

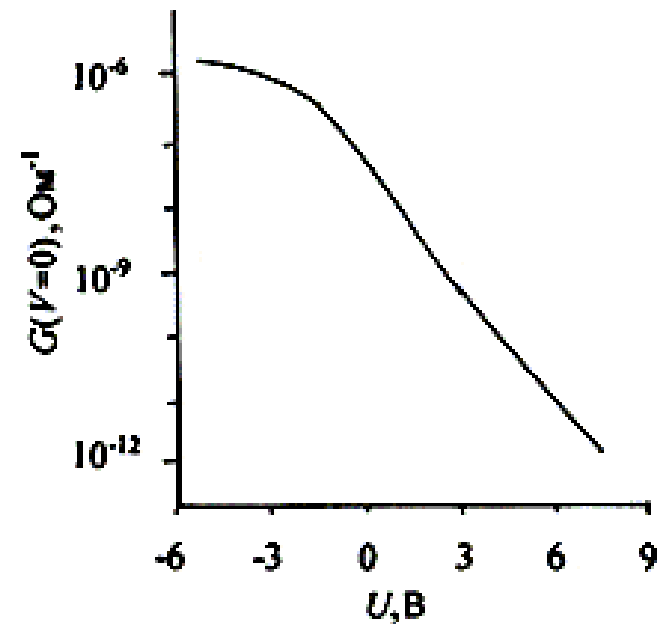
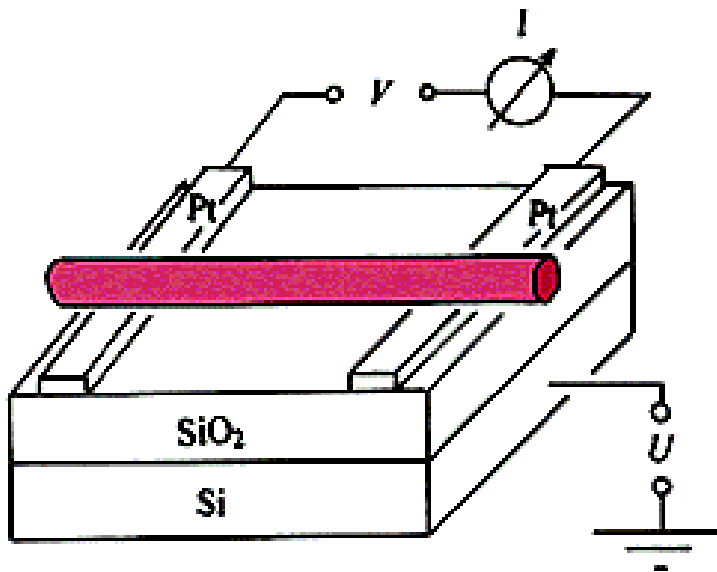
Строение УНТ



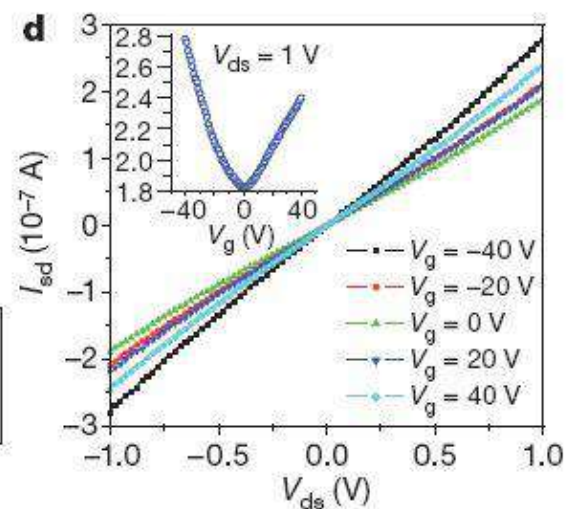
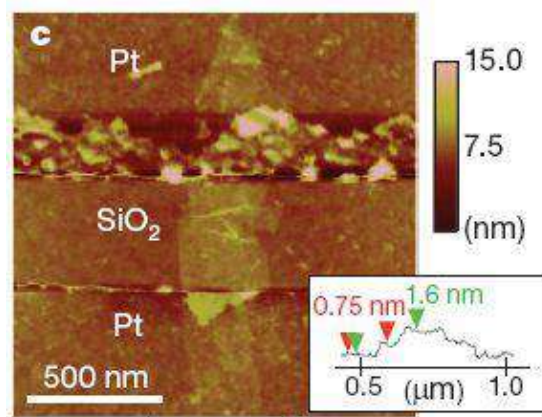
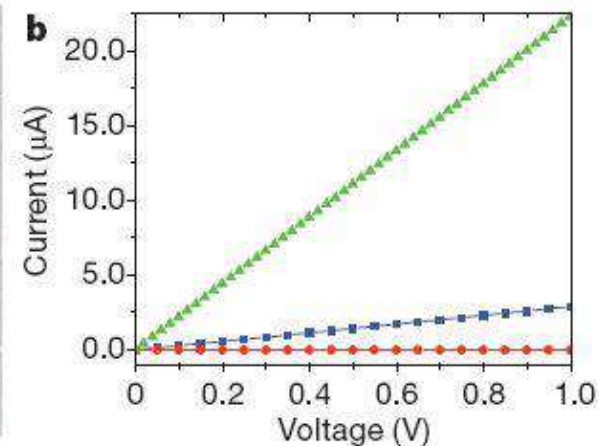
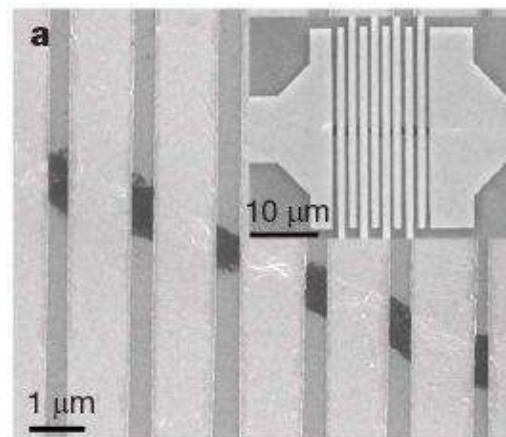
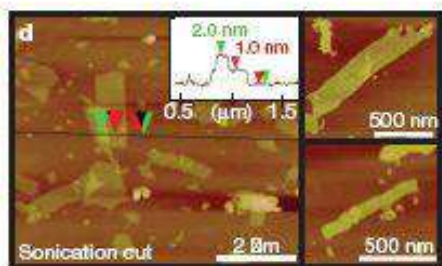
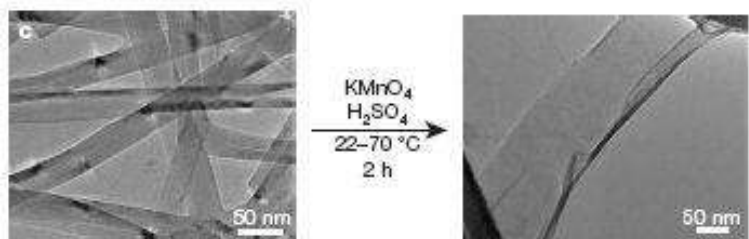
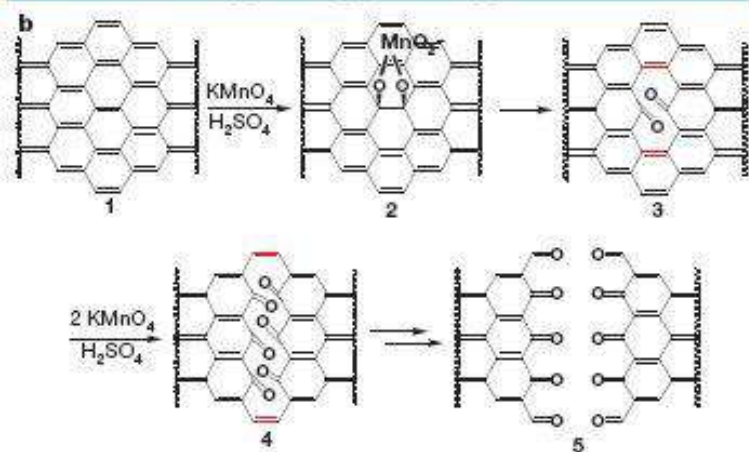
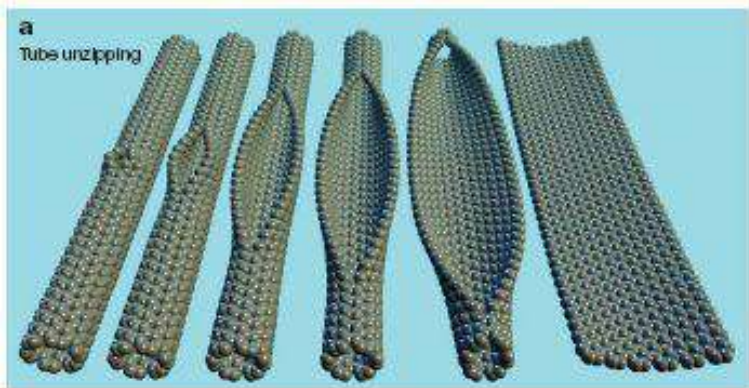
Схематическое получение zig-zag УНТ (10,10) из графитового листа

sp^2 - НАНОУГЛЕРОД



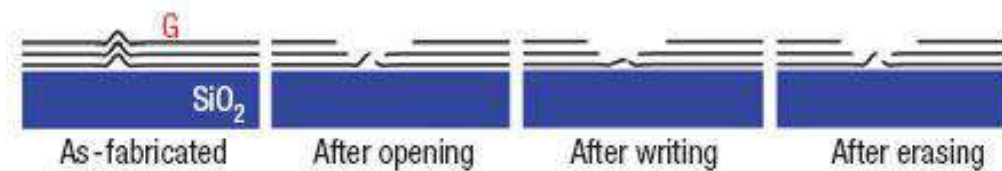
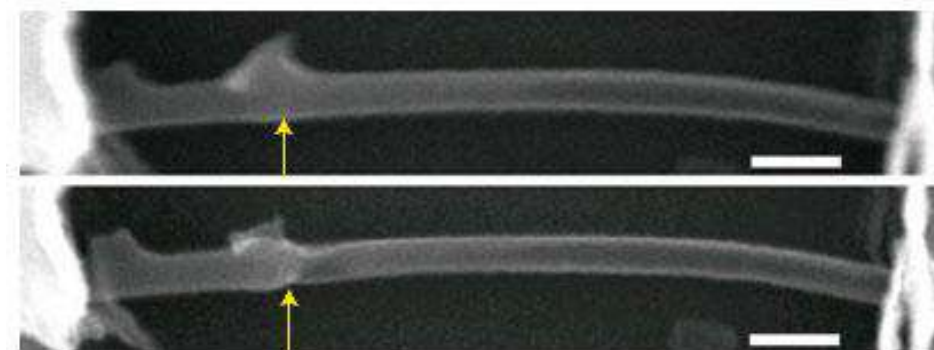
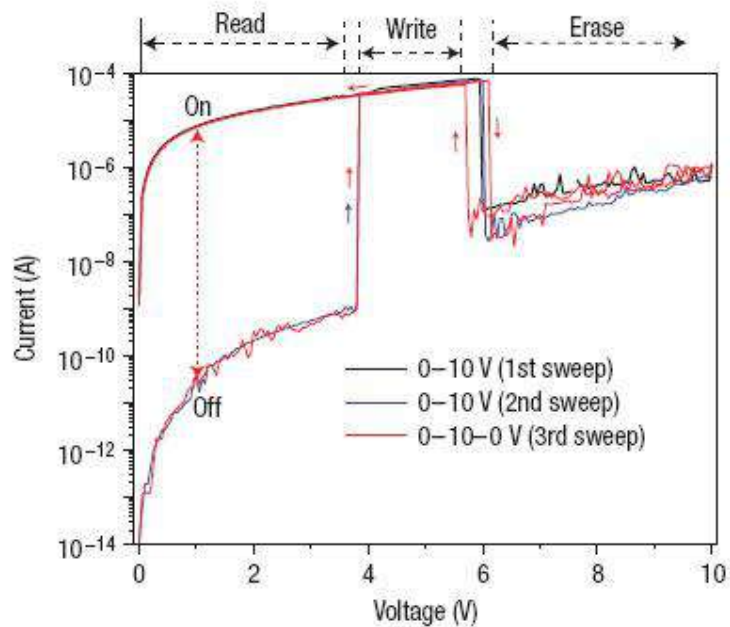
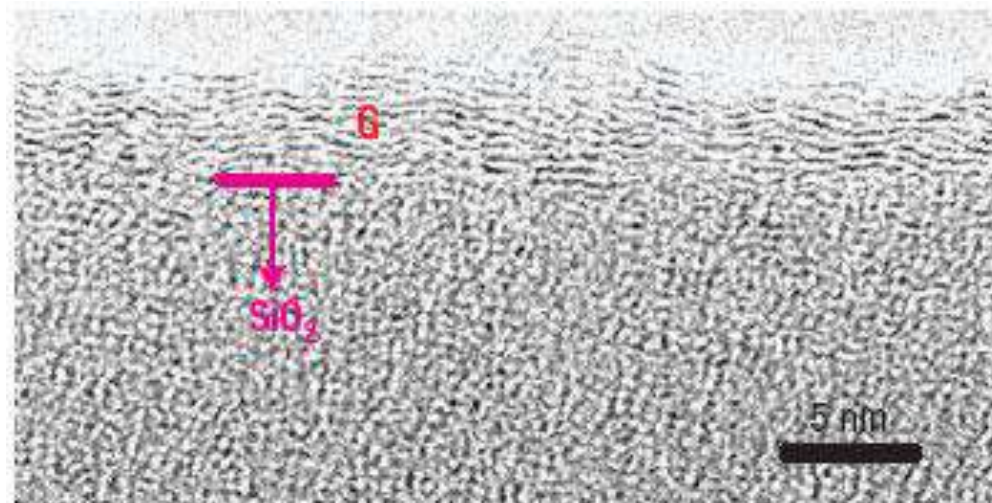
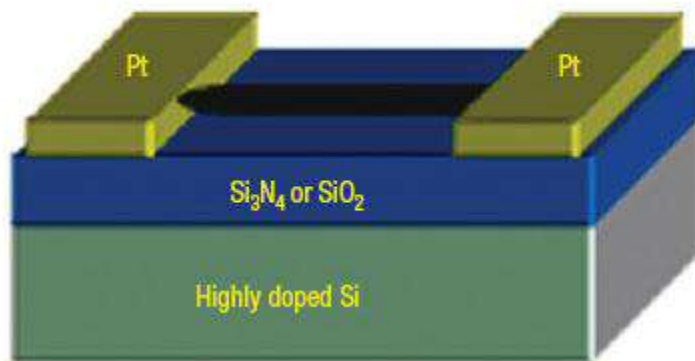


УНТ-графен

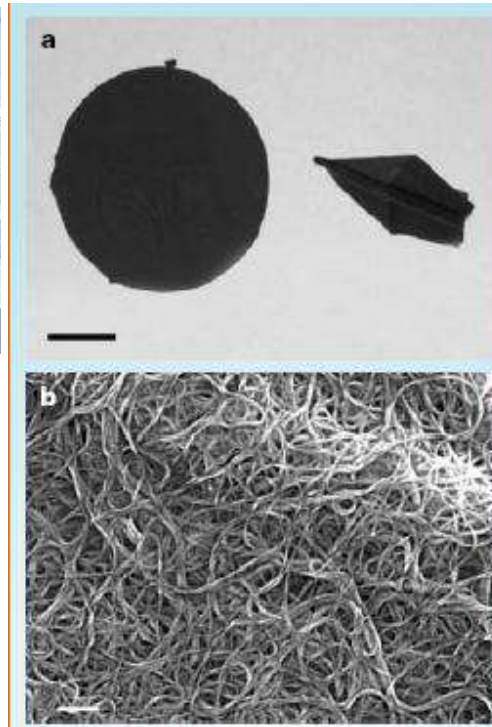
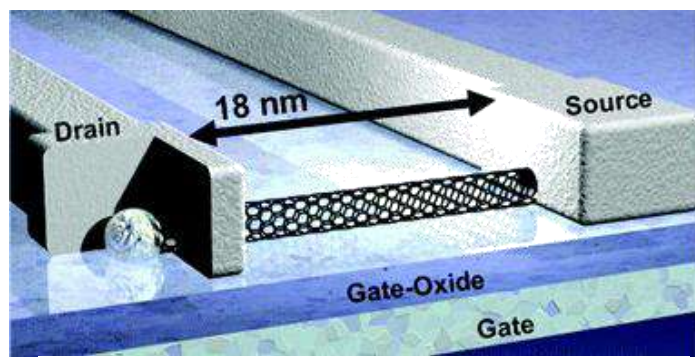


Полевой транзистор на основе полученного материала графена. а. SEM-изображения устройства. б. Вольтамперная характеристика для устройств на основе графена: окисленного (красный), восстановленного гидразином (синий) и в токе водорода (зелёный). с. AFM-изображение другого устройства на основе двухслойного графена. д. Зависимости тока стока-истока (I_{sd}), напряжения стока-истока (V_{ds}) и напряжения на затворе (V_g) для устройства, указанного в пункте с.

Графеновая память



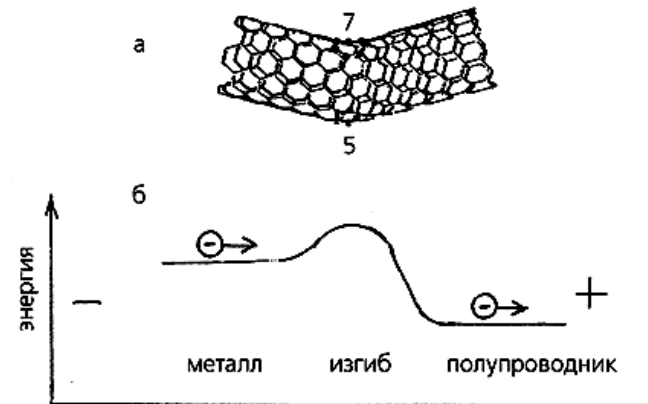
Применения УНТ



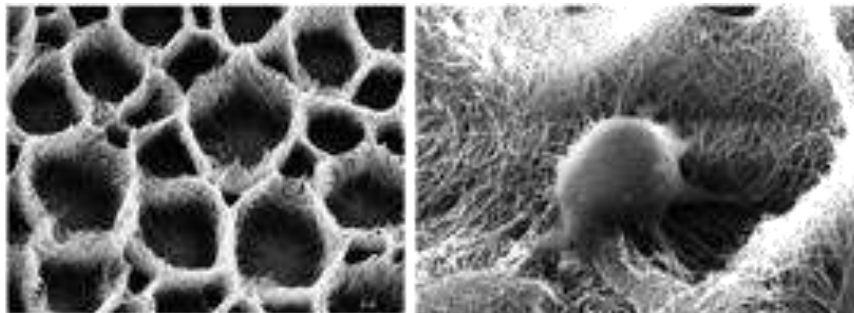
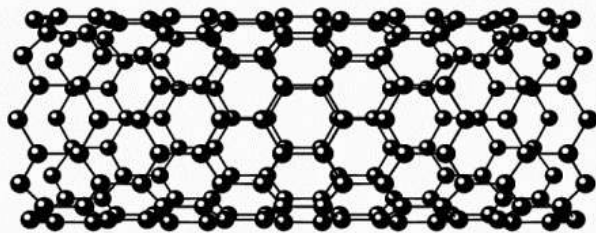
«Бумага» из УНТ



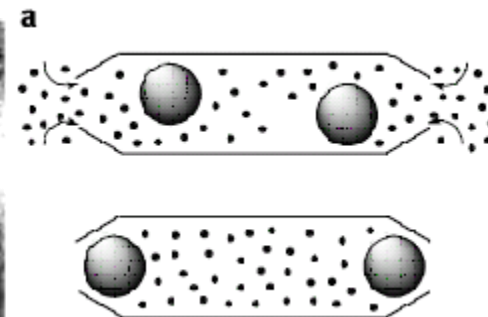
УНТ - дисплеи



Нанодиоды



Биосовместимые подложки

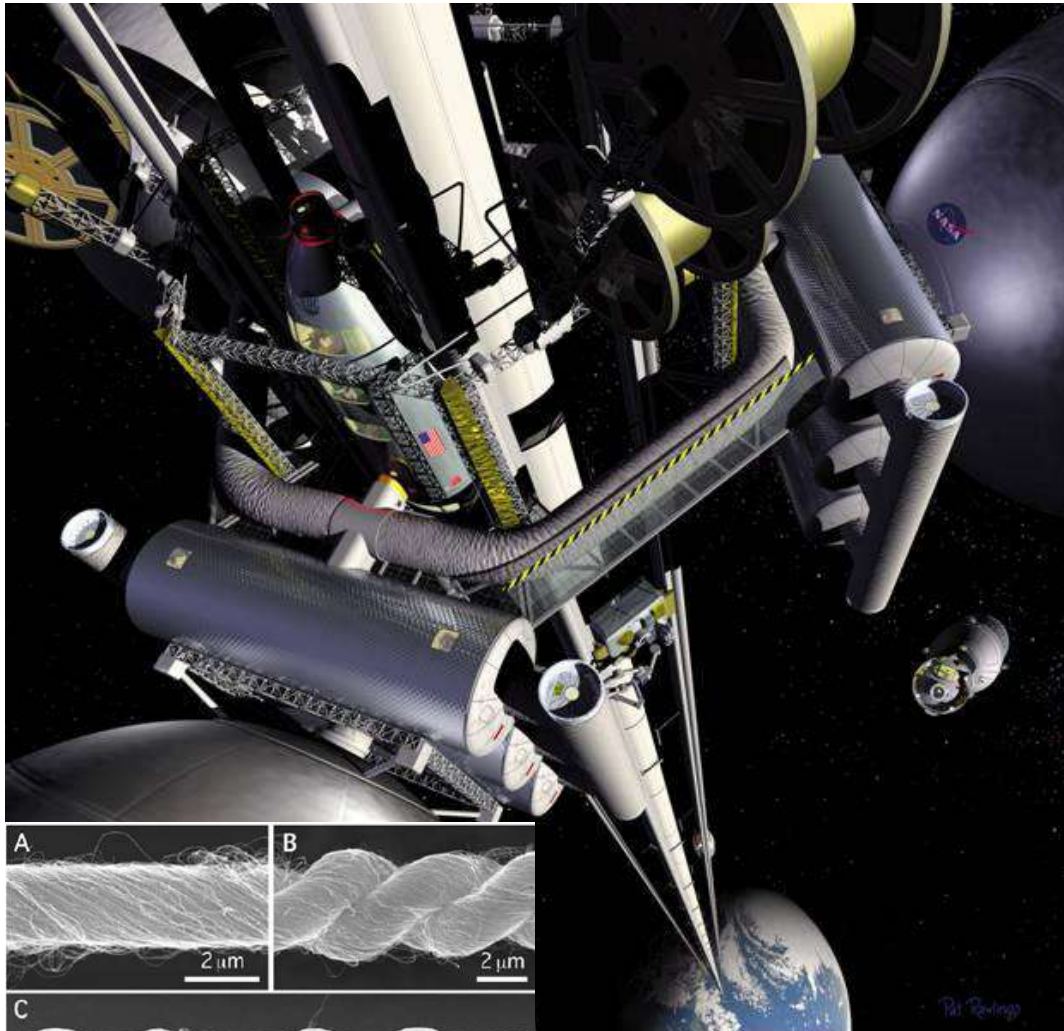


Хранение водорода

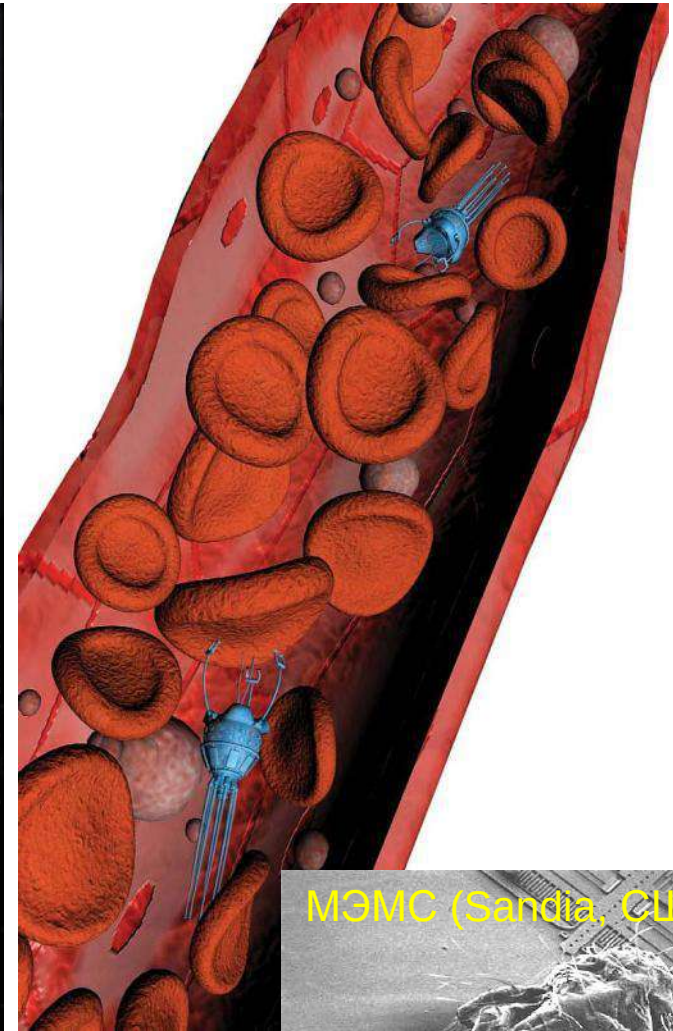


Нанотермометр (Ga-УНТ)

Футуристическое будущее

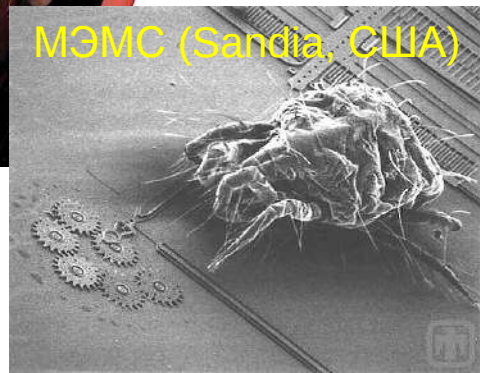


Космический лифт из
углеродных
нанотрубок



Нанобио-
роботы
в сосудах

МЭМС (Sandia, США)



Космический лифт и наноботы

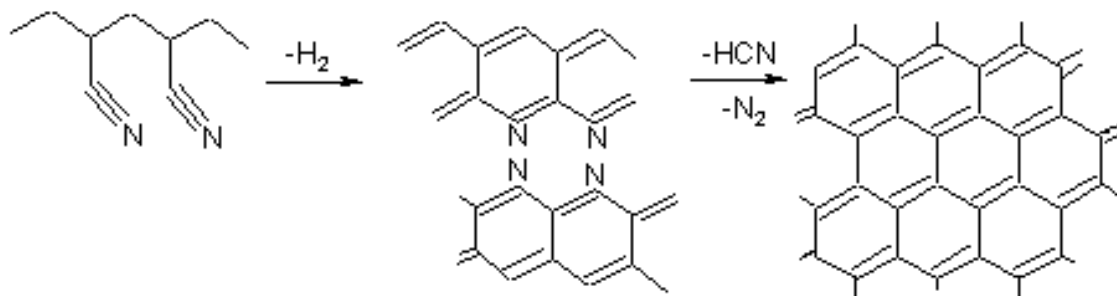


Ответ: диаметр троса 1 см,
10 триллионов тонн наноботов,
40 триллионов лет

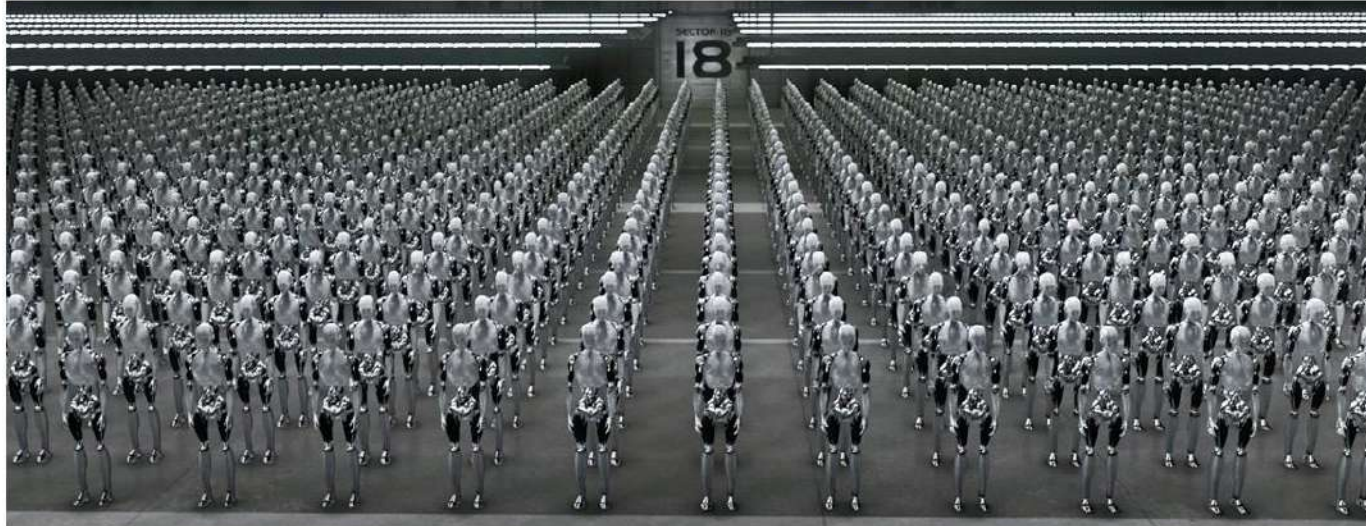
Для того, чтобы сделать трос для «космического лифта» планируется использовать одностенные углеродные нанотрубки, которые являются легким и чрезвычайно прочным материалом. Представьте, что один наноробот массой 0.01 миллиграмма сшивает две одинаковые одностенные углеродные нанотрубки длиной 1 микрон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

Углеродные волокна

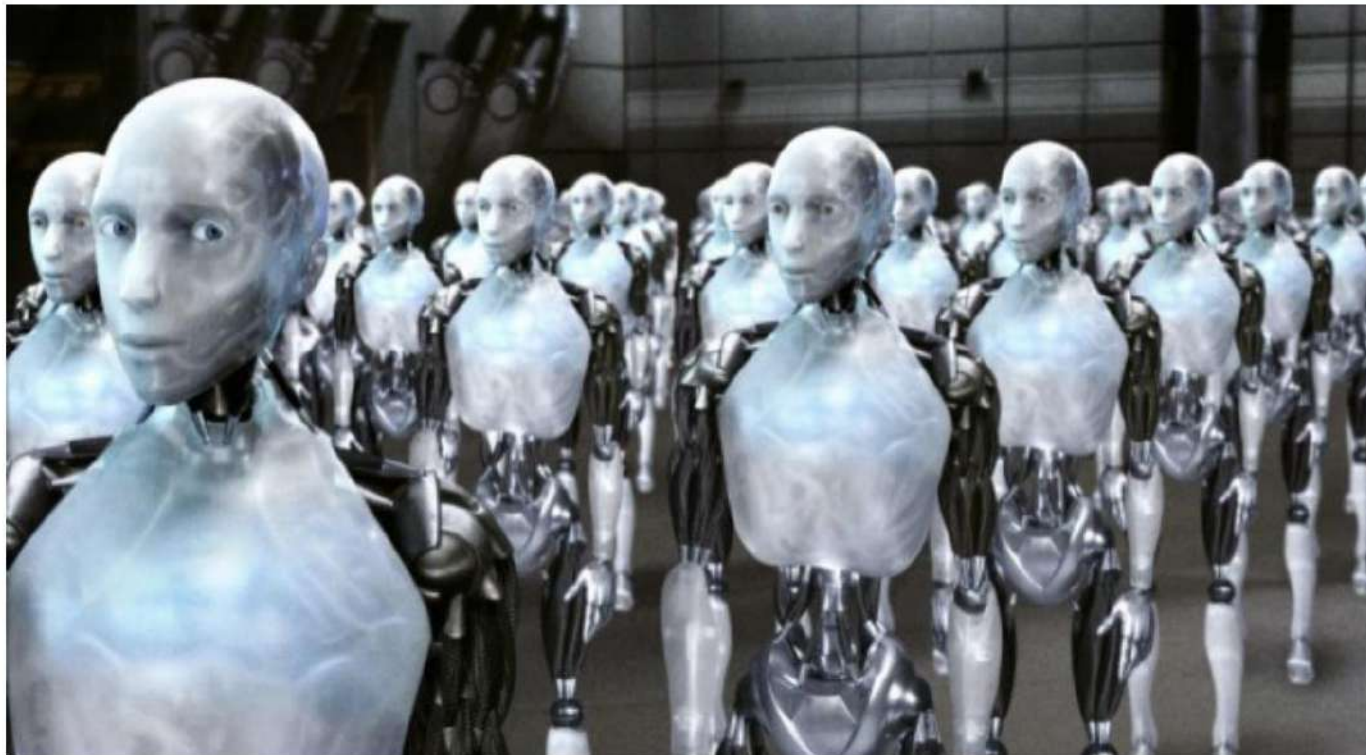
- Пиролиз и последующая высокотемпературная обработка полимерных волокон (полиакрилонитрил, ПАН)) приводит к получению углеродных волокон, а затем композитов на их основе - углепластиков.



Я, робот



**WiFi
Стадо**



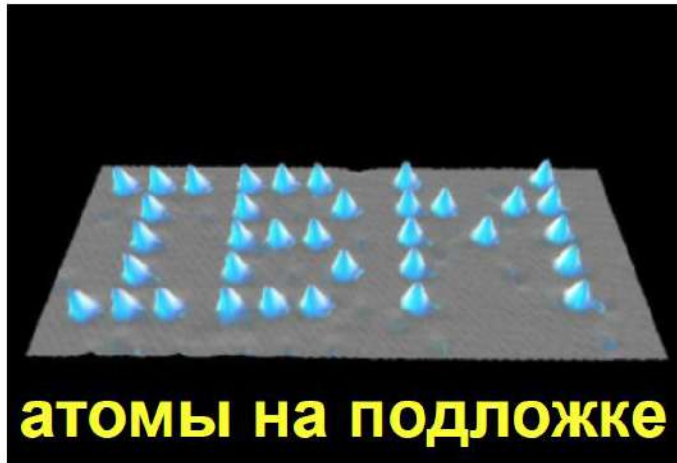
**Лучше
оружие
против
роботов-
наниты**

Сканирующая туннельная микроскопия



Gerd Binnig Heinrich Rohrer

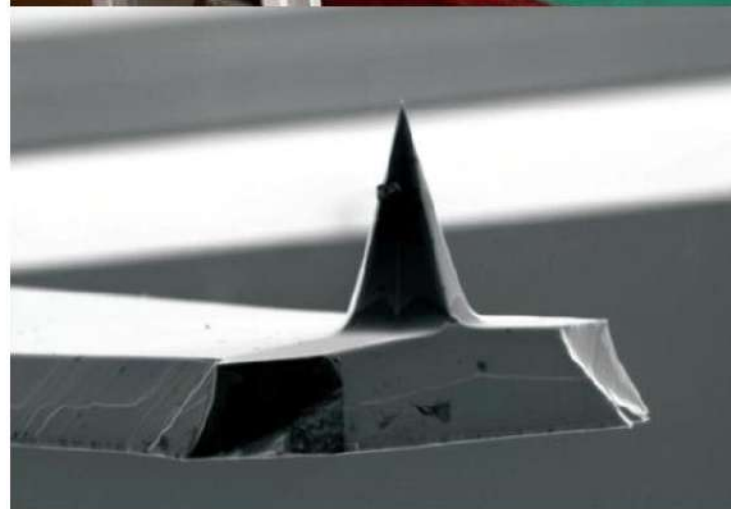
1981 создание первого СТМ, получение атомарного разрешения (IBM, Цюрих) - 1986 (Нобелевская премия)



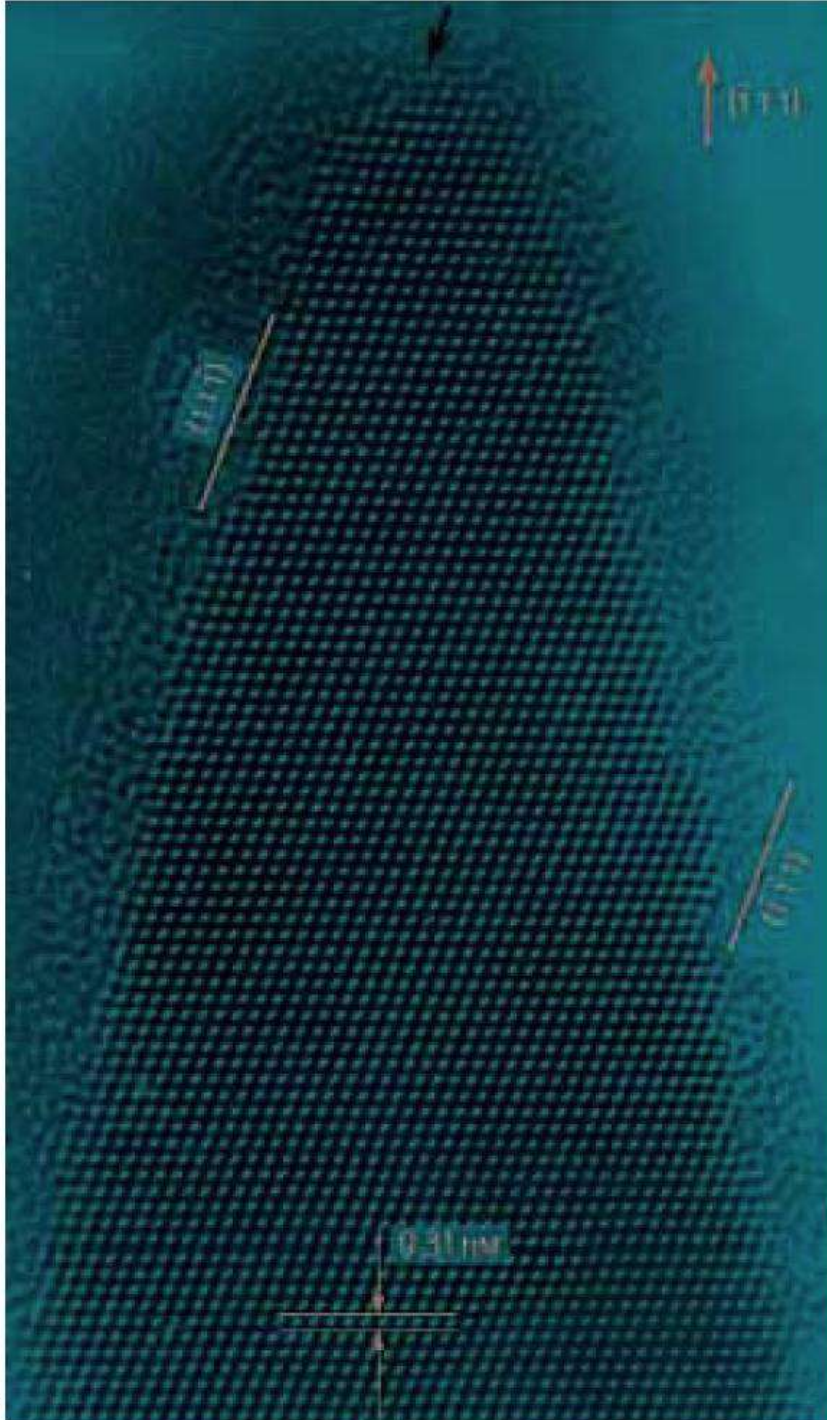
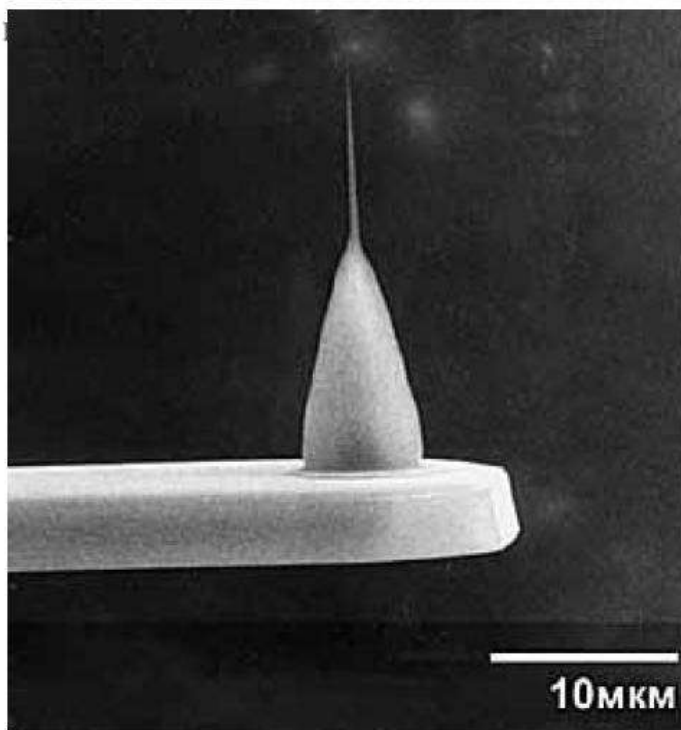
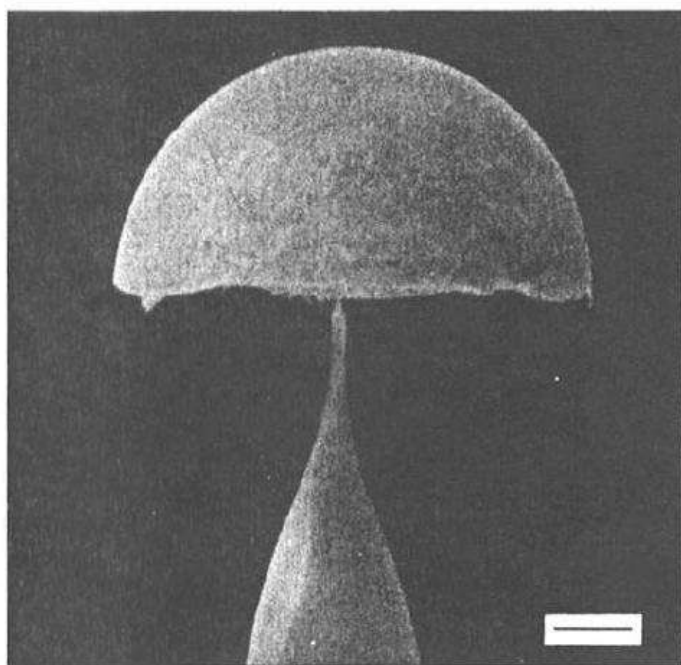
атомы на подложке



решетка графит

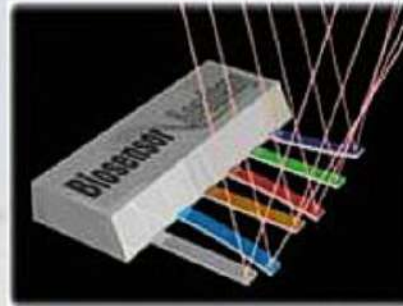


Mag = 5.00 K X 10µm EHT = 5.00 kV Signal A = SE2 MSU HSMS
WD = 15 mm Photo No. = 9862 Date: 5 Jul 2005



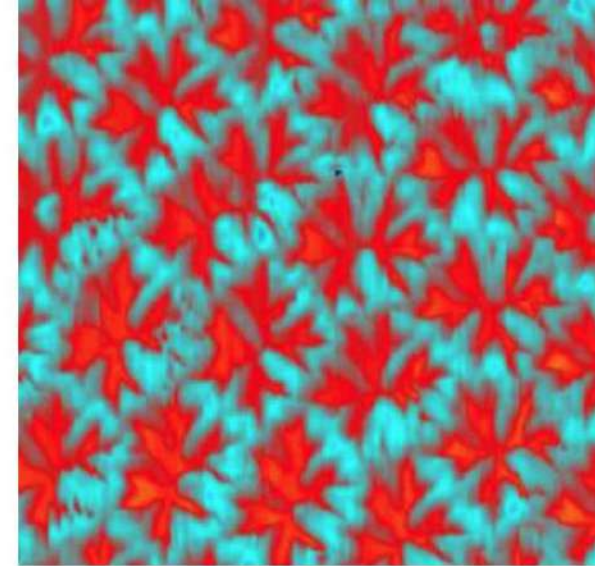
Принцип работы:

- 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

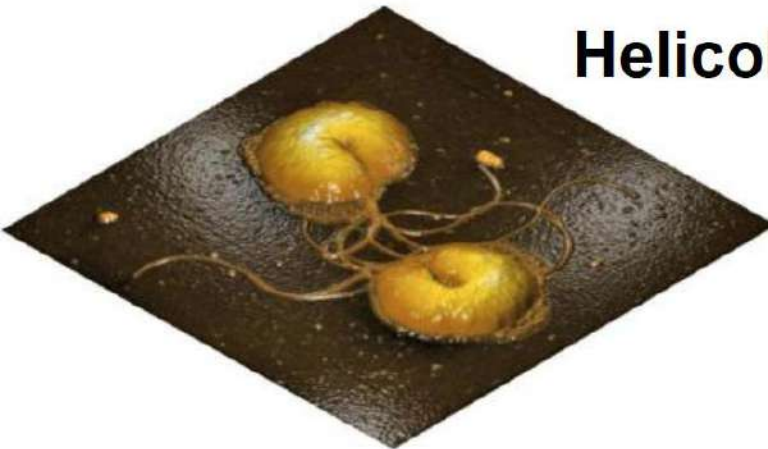


Применение:

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

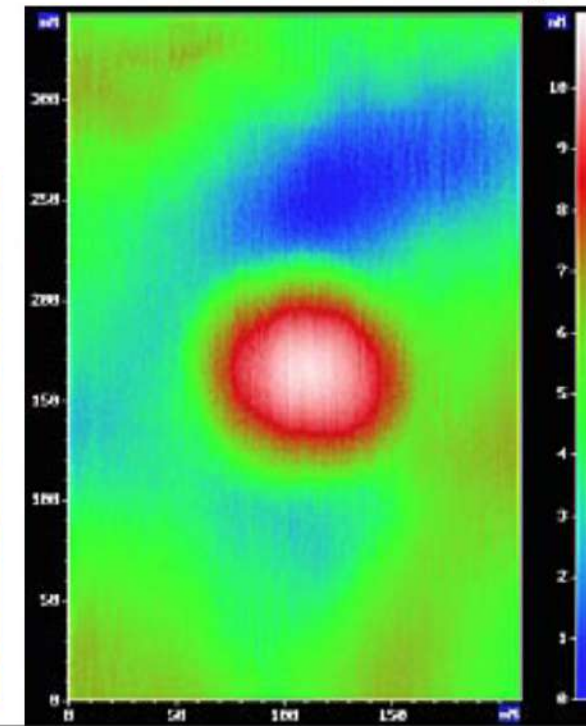
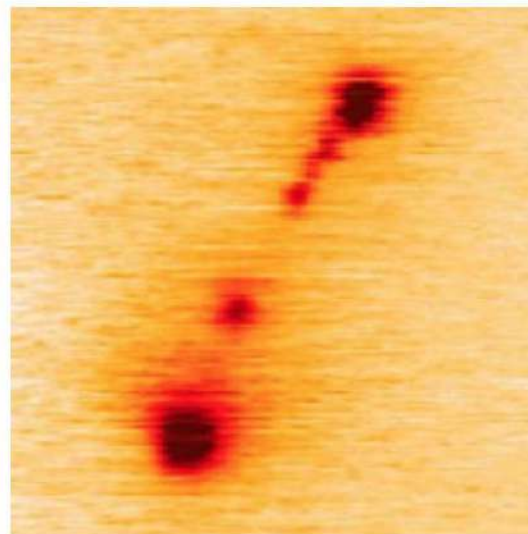


Магнитная пленка
наночастица

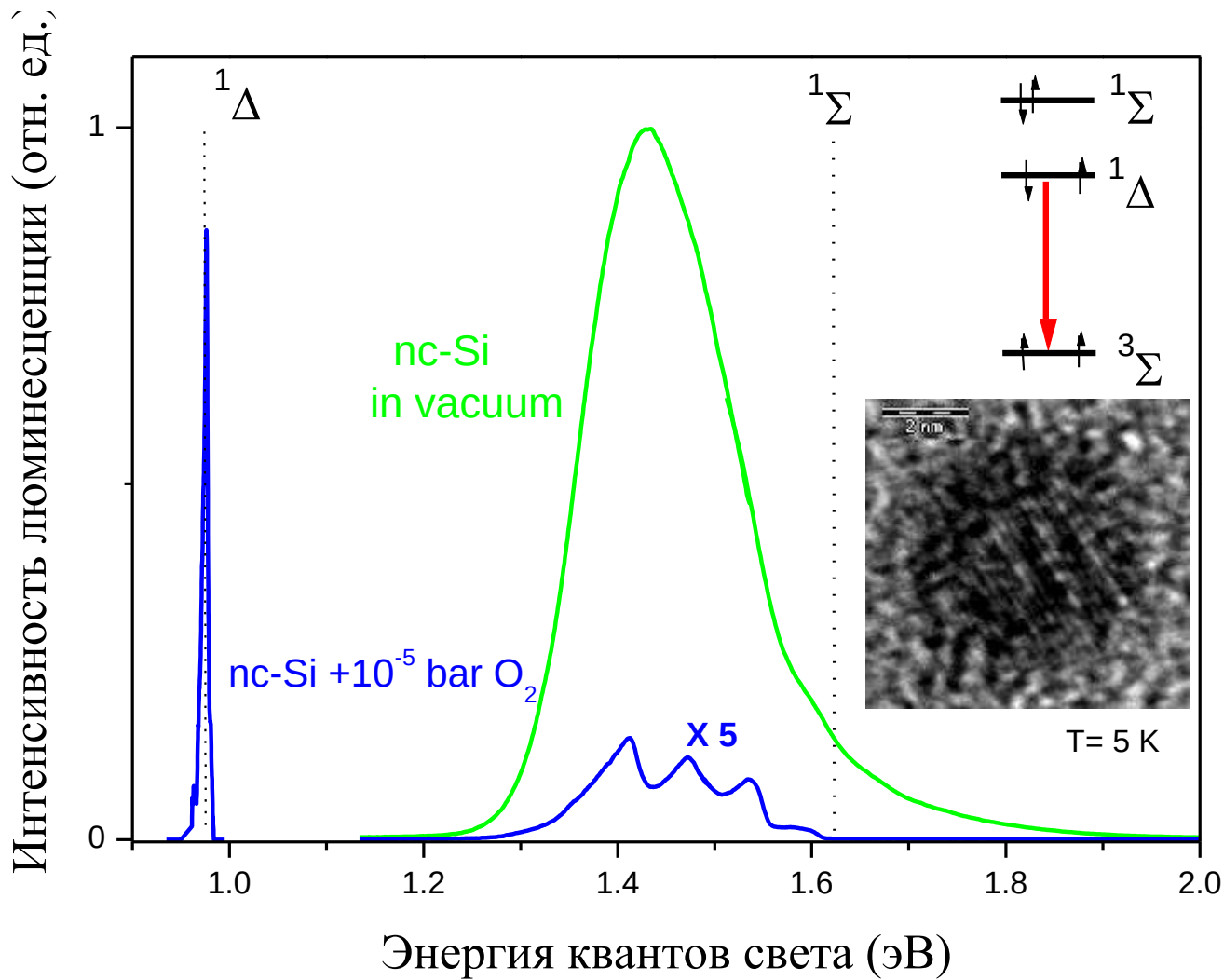


Helicobacter pylori

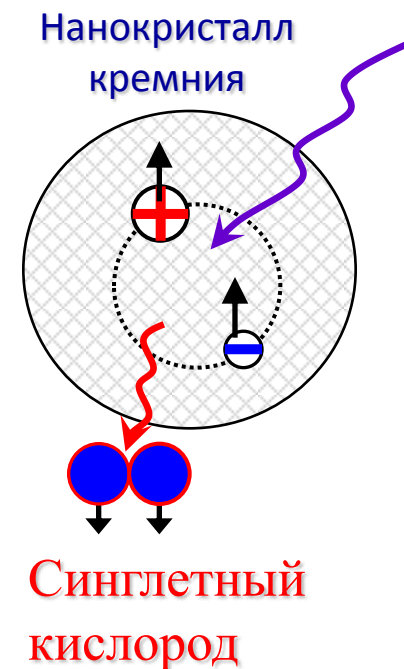
Проводимость
ОУНТ



Передача энергии от экситонов в нанокристаллах Si к молекулам O₂

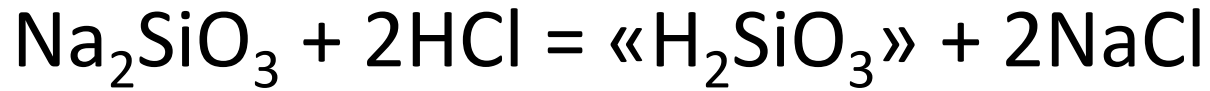


D. Kovalev, V. Timoshenko et al., Phys. Rev. Lett. 89 (2002)



Золь, гель, аэрогель

- гель кремниевой кислоты



- аэрогель



Молекулярные сита, цеолиты

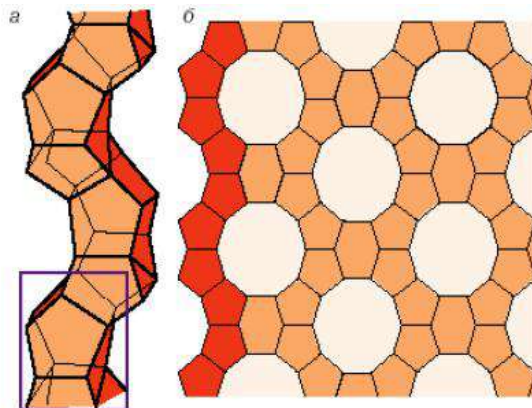


Рис. 5. Схематическое изображение структуры цеолита типа пентасила (ZSM-5). Основной элемент выделен рамкой

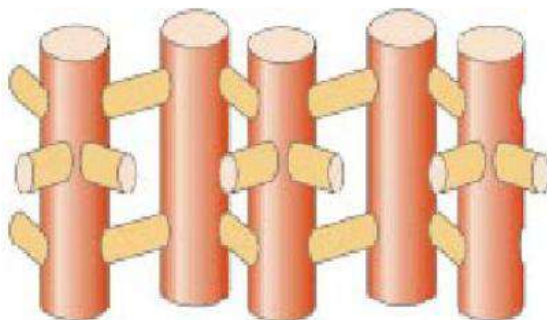
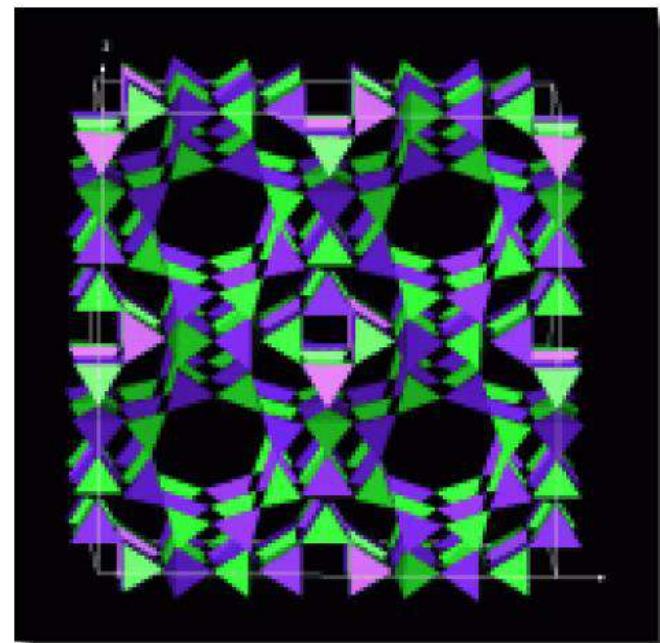
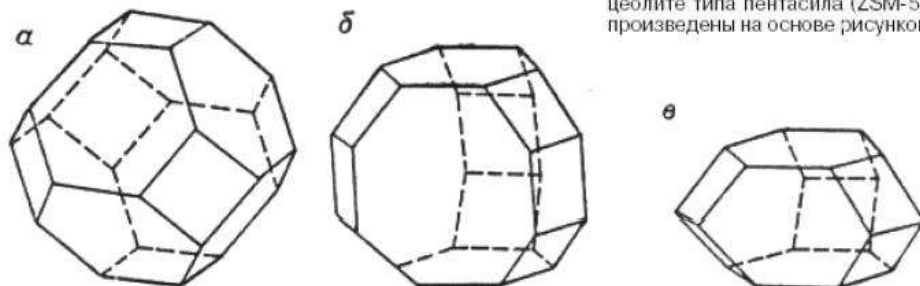
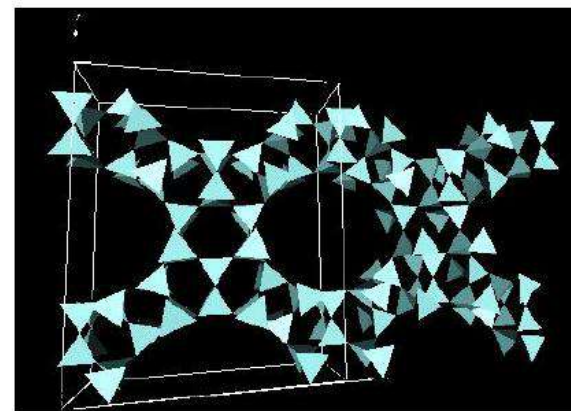


Рис. 6. Схематическое изображение каналов в цеолите типа пентасила (ZSM-5). Рис. 5 и 6 воспроизведены на основе рисунков в [5]



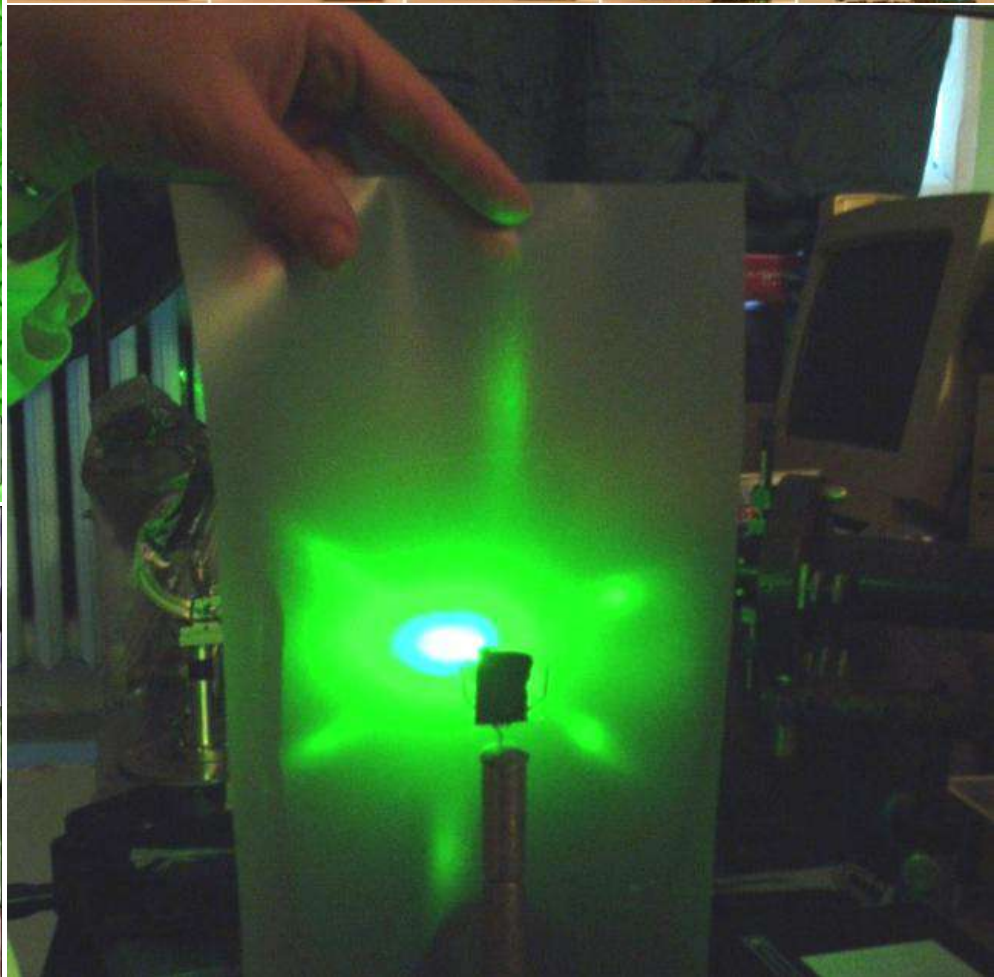
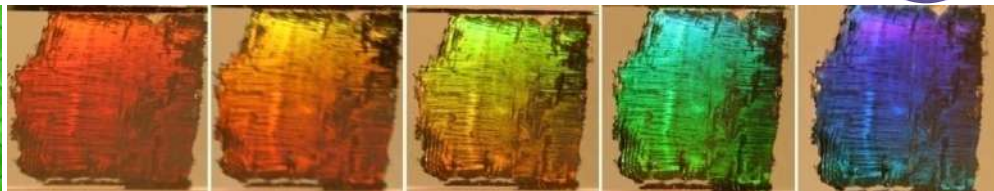
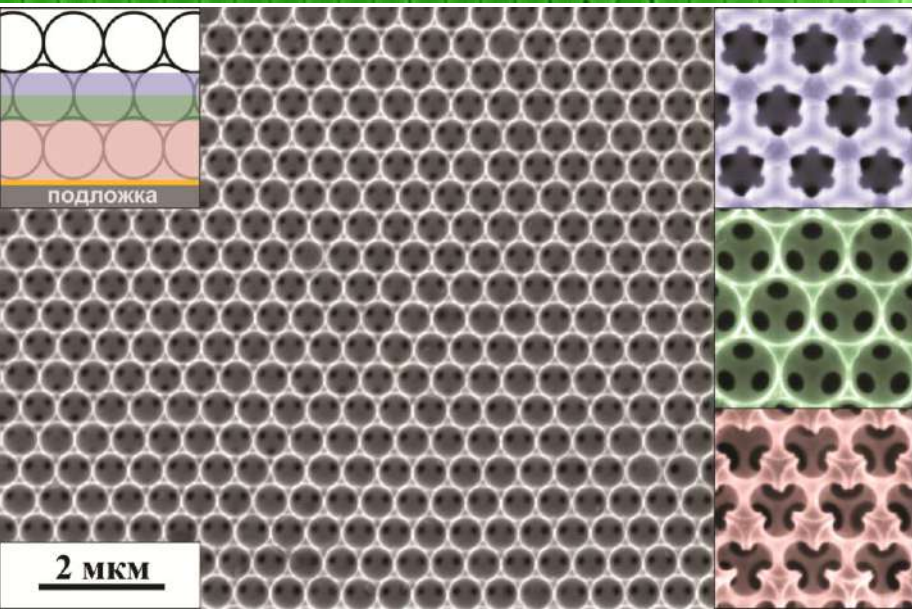
Структура фожазита



Ячейка морденита



Фотоника

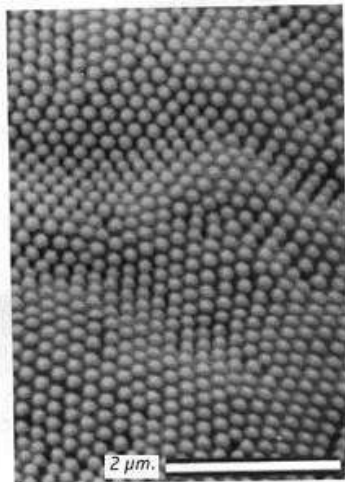


Природные фотонные кристаллы

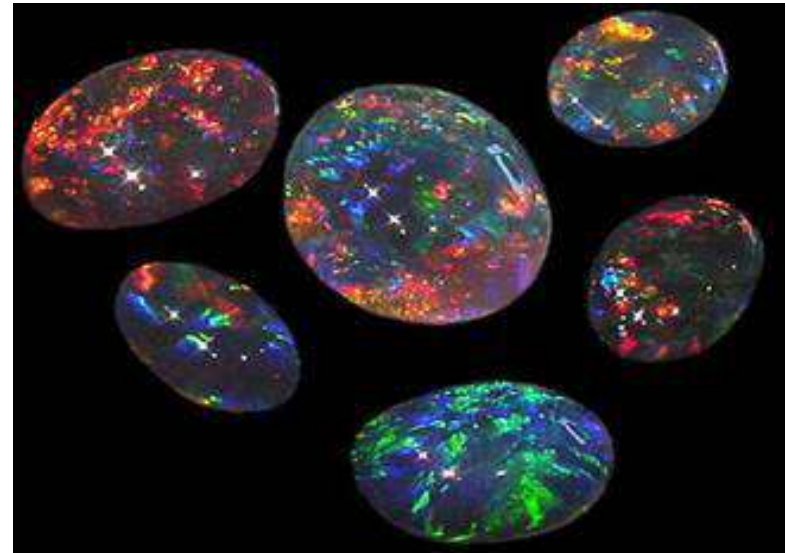


Morpho butterfly showing characteristic blue iridescence.

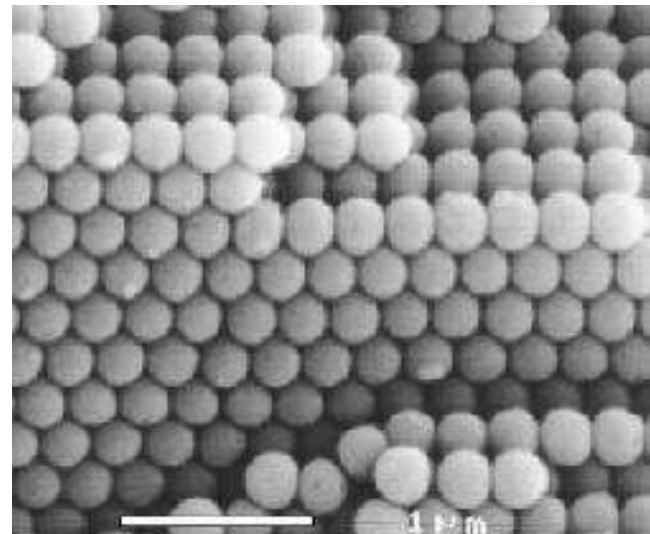
Insects



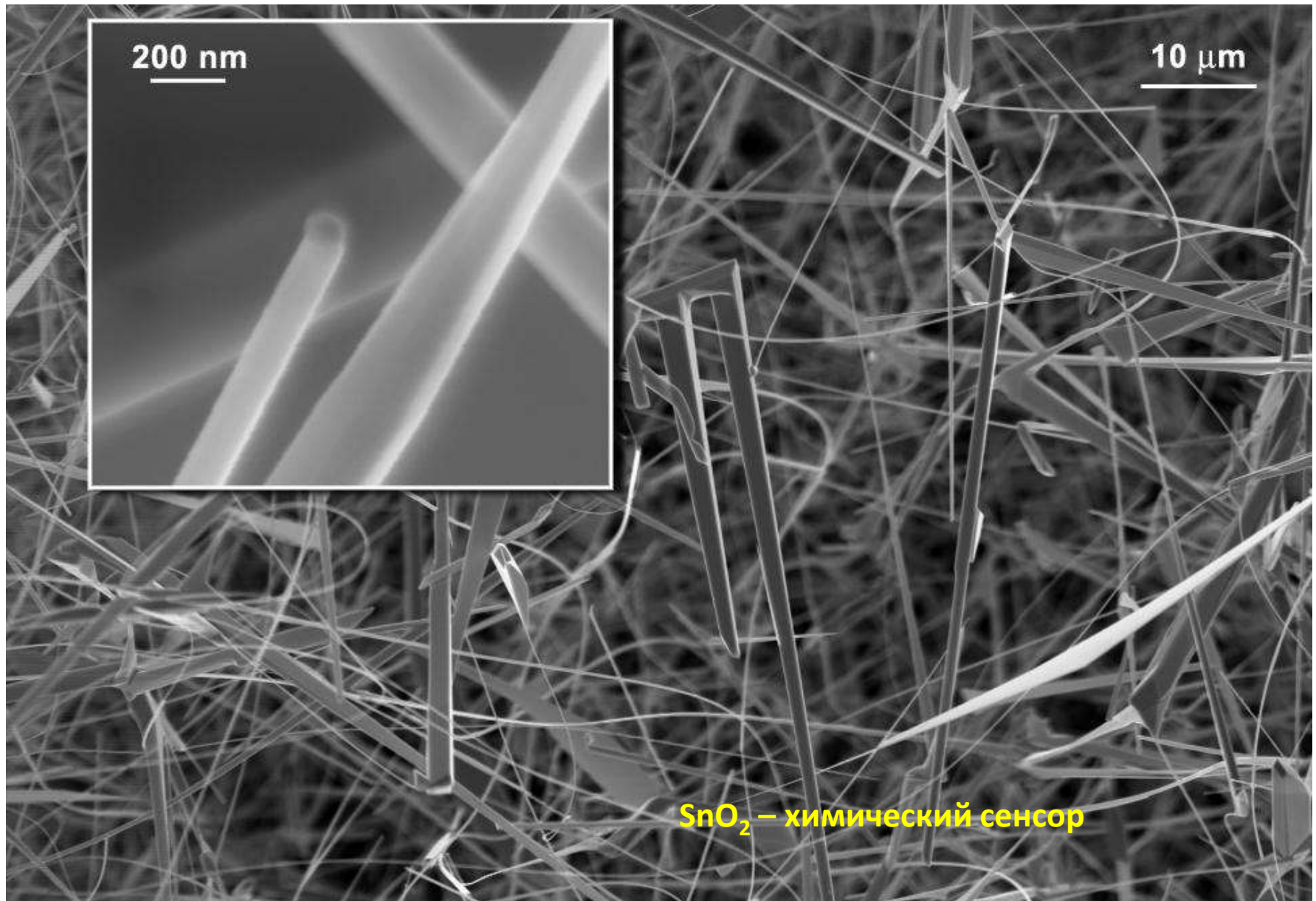
*Scanning electron micrograph of a butterfly (*Vanessa kershawi*) cornea.*



Opals



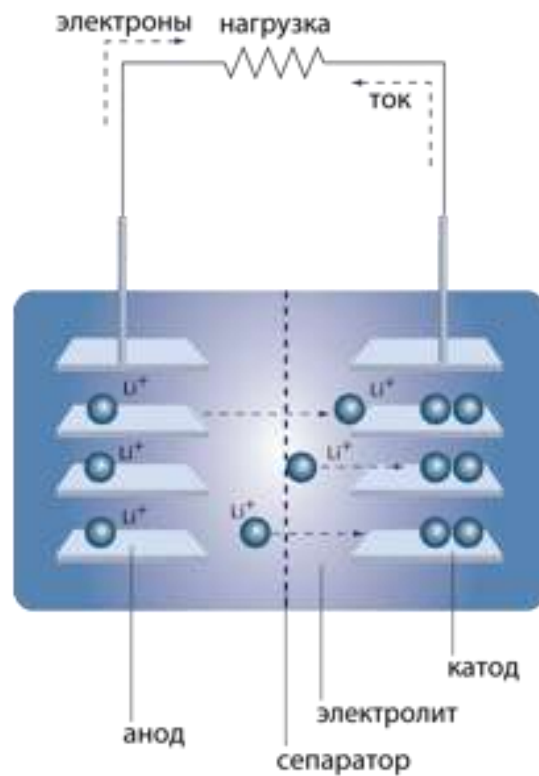
Вискеры SnO_2



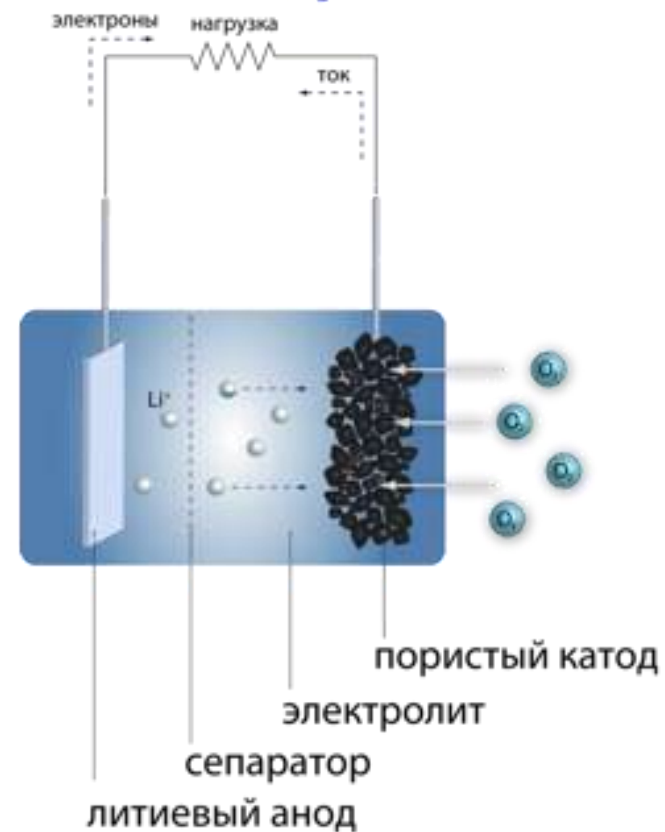
SnO_2 – химический сенсор



Литий - Ионные Источники



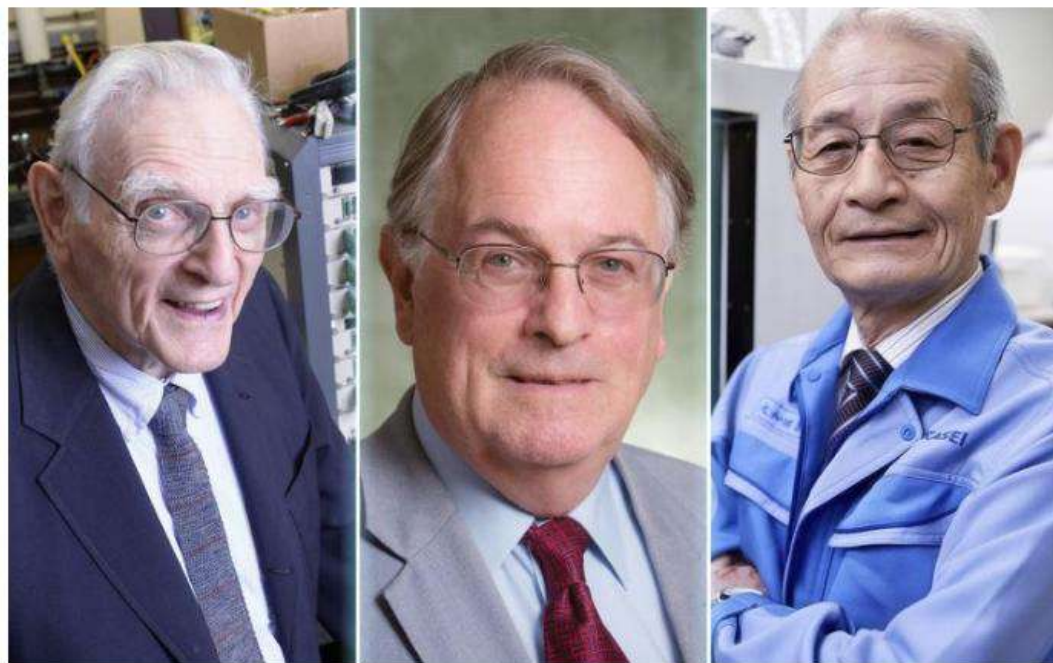
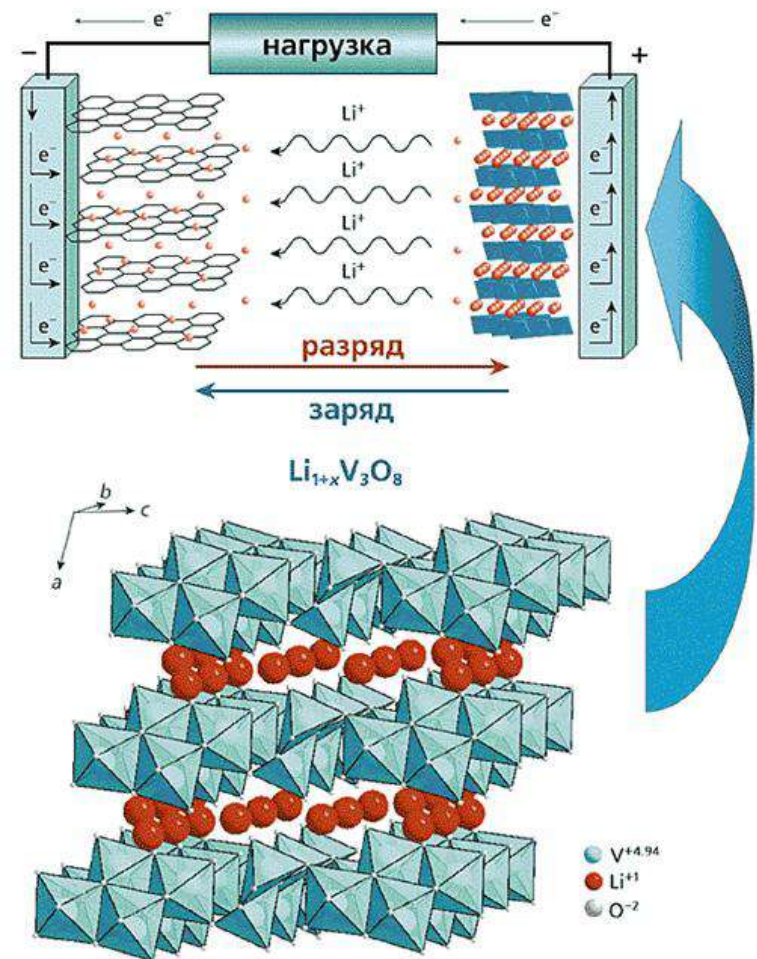
Литий - Воздушные Источники



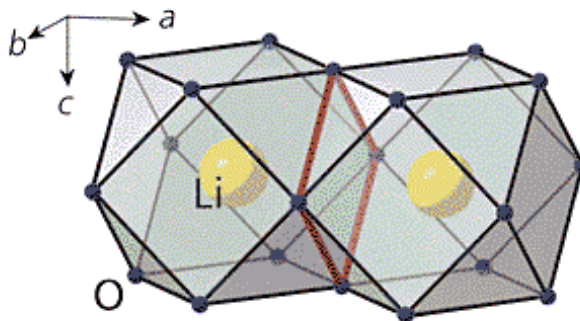
Преимущества

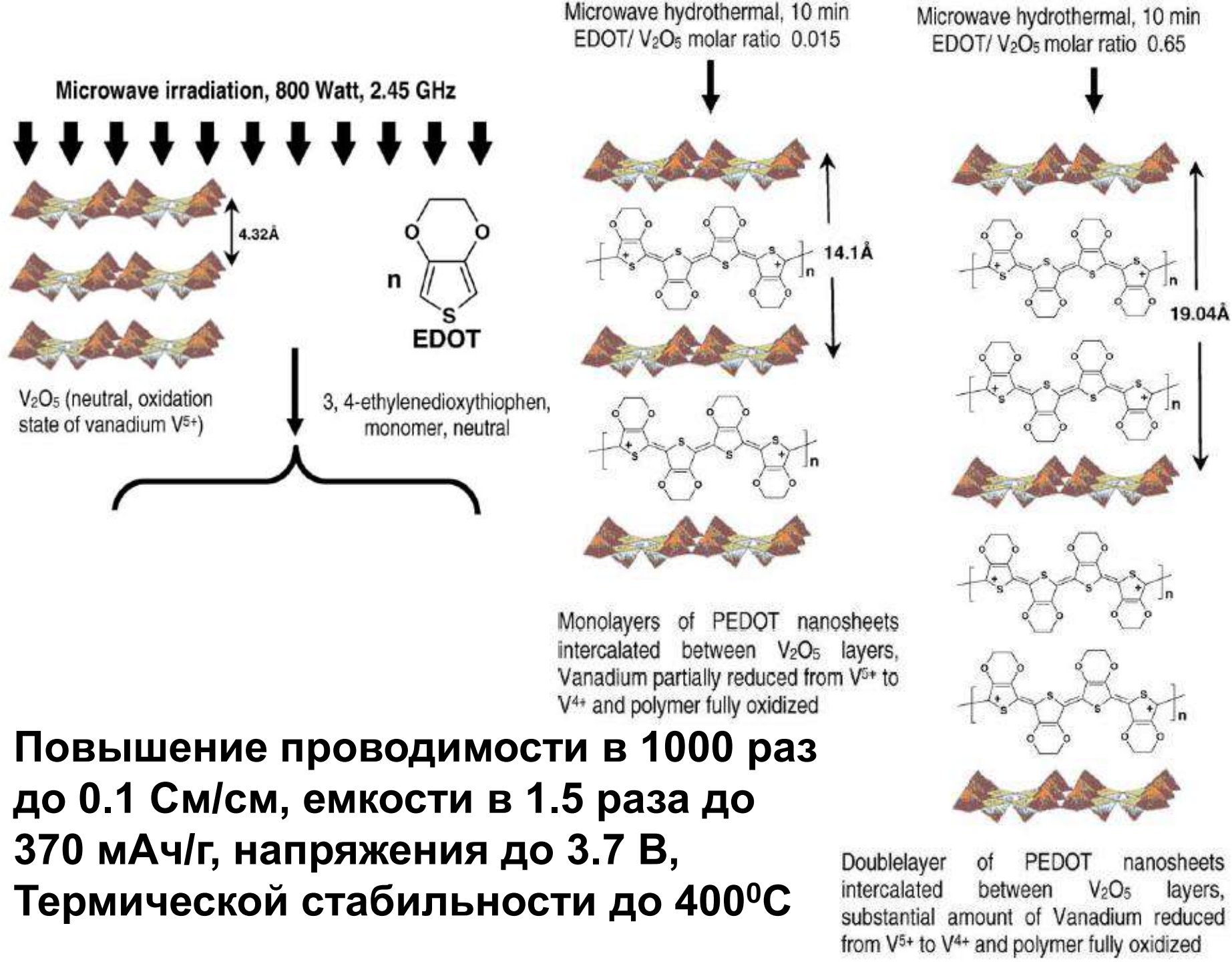
- Высокое напряжение
- Высокая удельная энергия
- Высокие удельный ток и мощность
- Широкий диапазон рабочих условий
- Стабильность при циклировании
- Удельная энергия выше в 5-20 раз
- Кислород неисчерпаемый и бесплатный
- Низкий вес источника
- Огромная ёмкость источника

Литий – ионные аккумуляторы



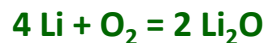
В среду, 9 октября, представители Королевской шведской академии наук огласили в Стокгольме решение о присуждении Нобелевской премии по химии за 2019 год. Лауреатами стали трое ученых – Джон Гуденаф, Стэнли Уиттингем и Акира Ёсино – «за развитие литий-ионных батарей».





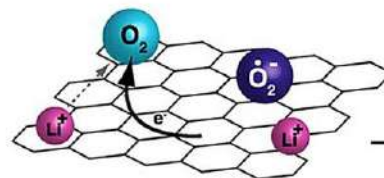
**Повышение проводимости в 1000 раз
до 0.1 См/см, емкости в 1.5 раза до
370 мАч/г, напряжения до 3.7 В,
Термической стабильности до 400°C**

Электрохимическая энергетика

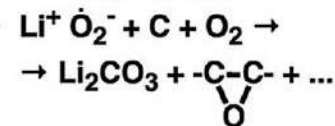


a. electrochemical process
 $\text{O}_2 + \text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}^+ \dot{\text{O}}_2^-$

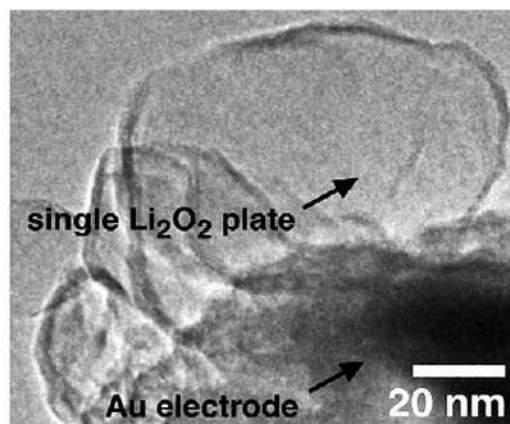
"disproportionation"



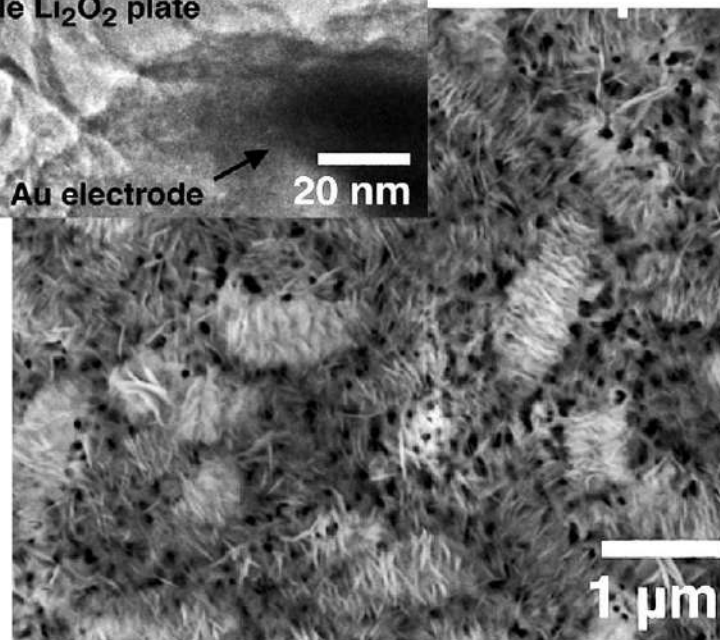
chemical reaction
with carbon



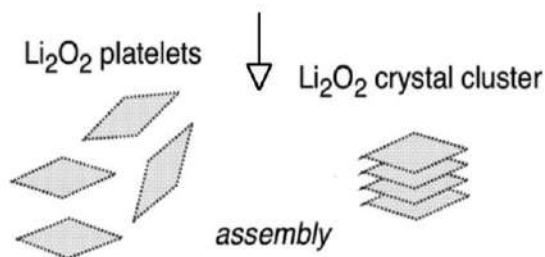
c.



single Li_2O_2 plate
 Au electrode
 20 nm



1 μm

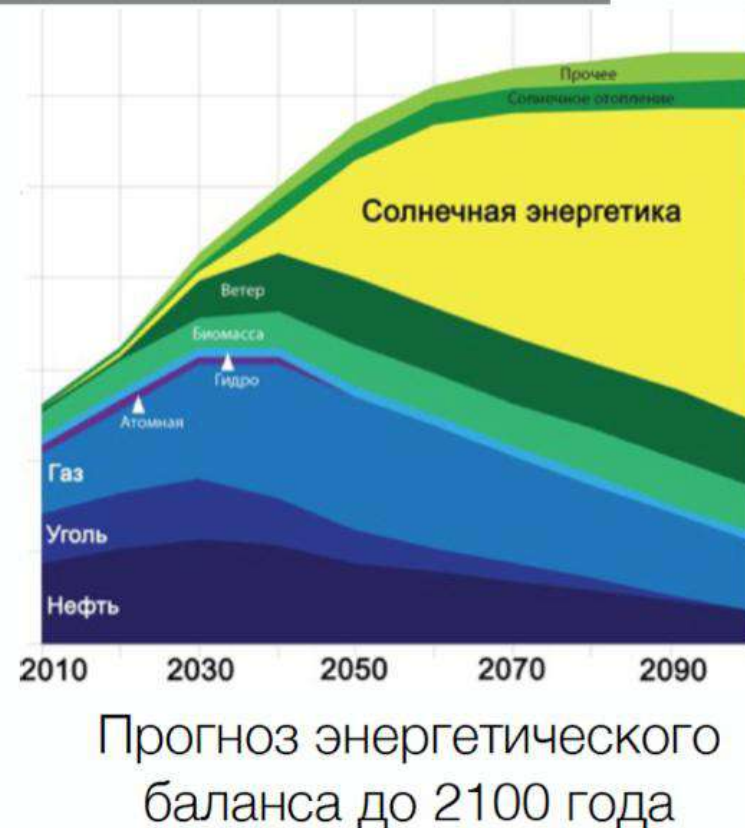
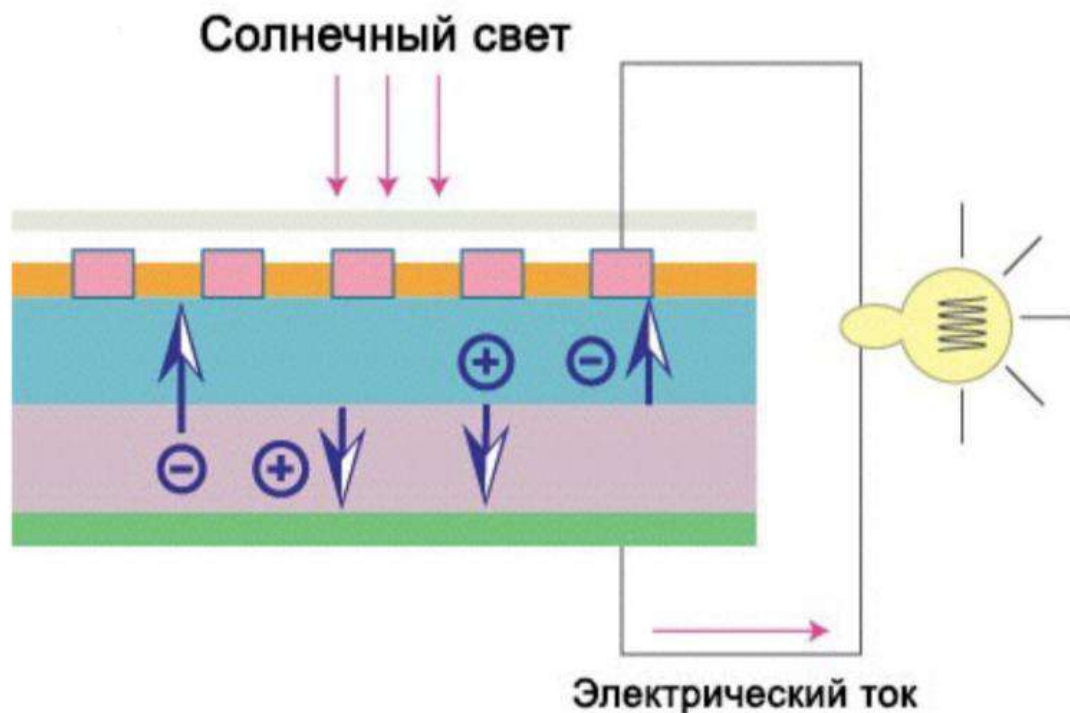


b.

Фуллерены: Нобелевская премия по химии, 1996 г. (Харольд Крото, Ричард Смолли и Роберт)

Графен: Нобелевская премия по физике, 2010 г. (Андрей Гейм, Константин Новоселов)

Солнце - самый перспективный источник безопасной энергии



Солнечная батарея позволяет переводить энергию света в электричество





+



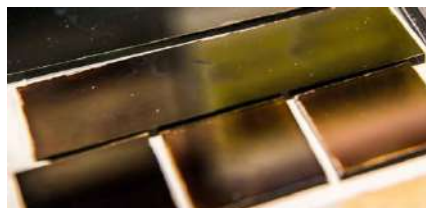
Новое поколение: Солнечные перовскиты



0D: quantum dots



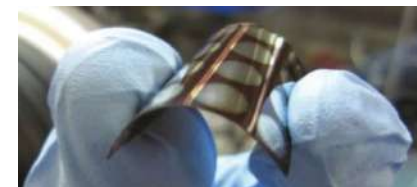
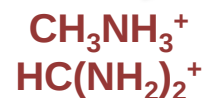
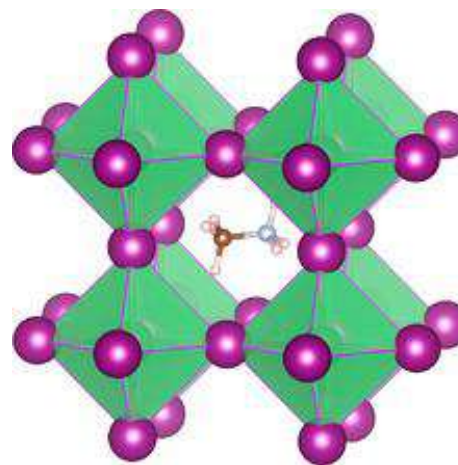
1D: nanowires



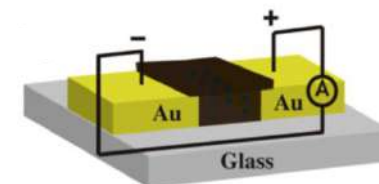
2D: films



3D: single crystals



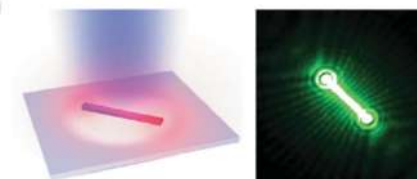
Solar cells



Photodetectors

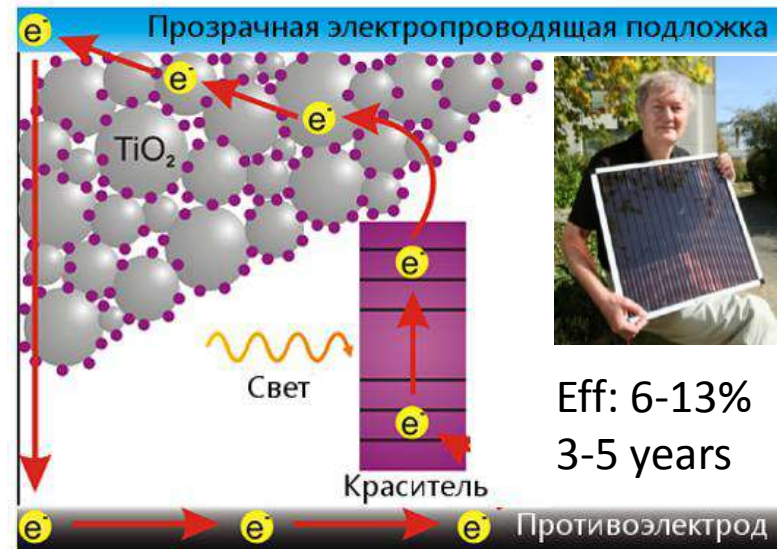
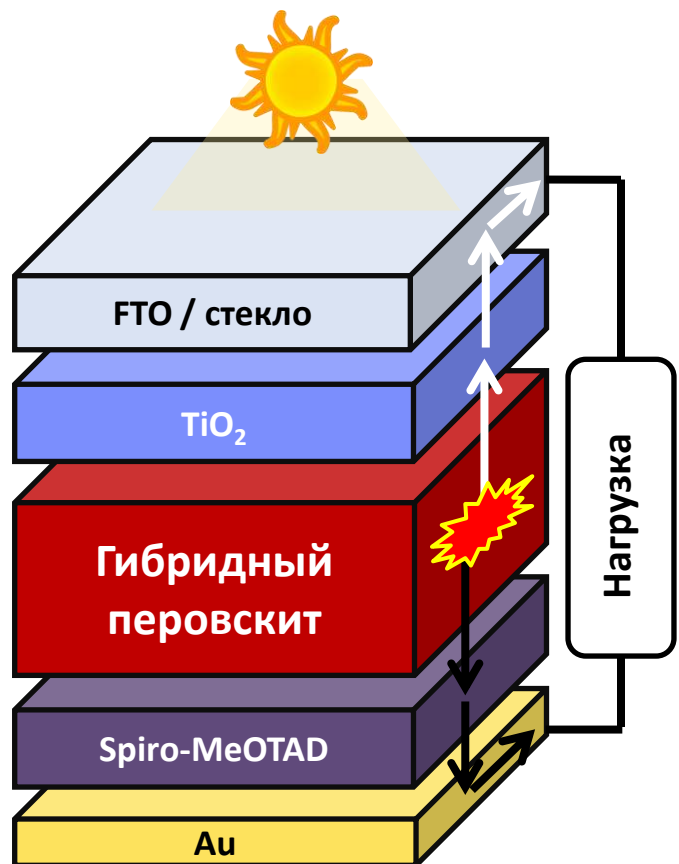


LED

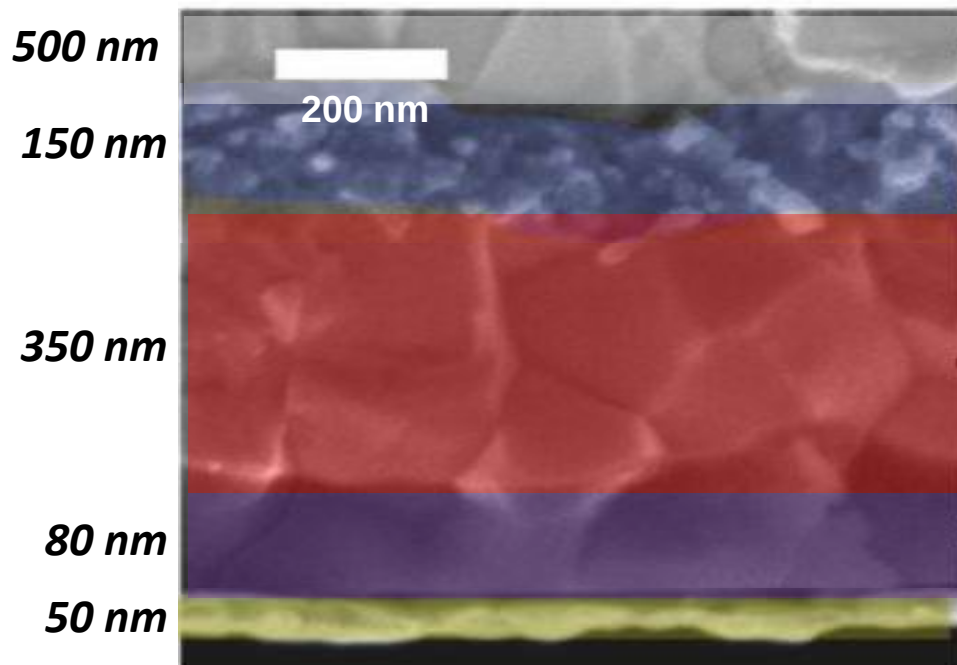


Lasers

1991: Ячейки Гретцеля
2009: первый перовскит → 3,8%
2011: лучше электролит → 6,5%
2012: твердый электролит → 11%
2013: планарная структура → 15%
2019: оптимизация → 24,2%



Электронная микроскопия сечения
 солнечной перовскитной батареи (EF>24%):

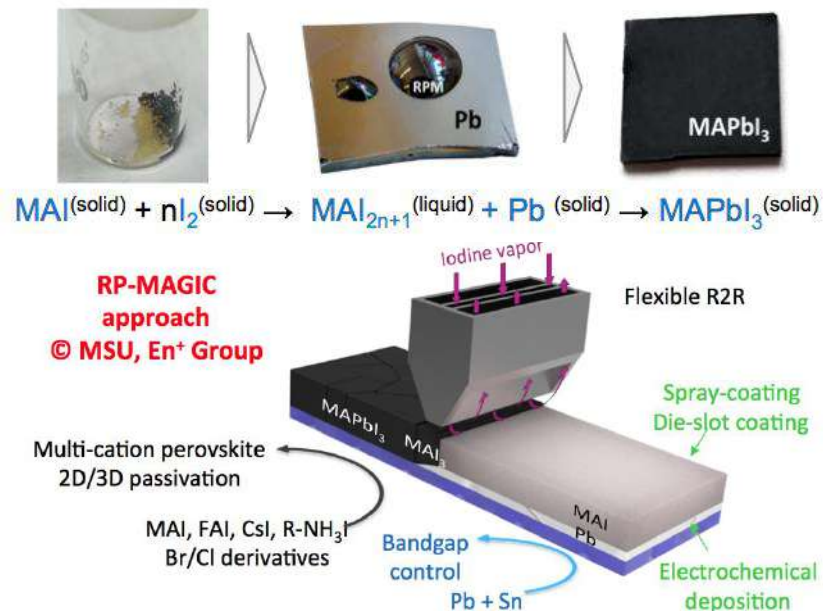
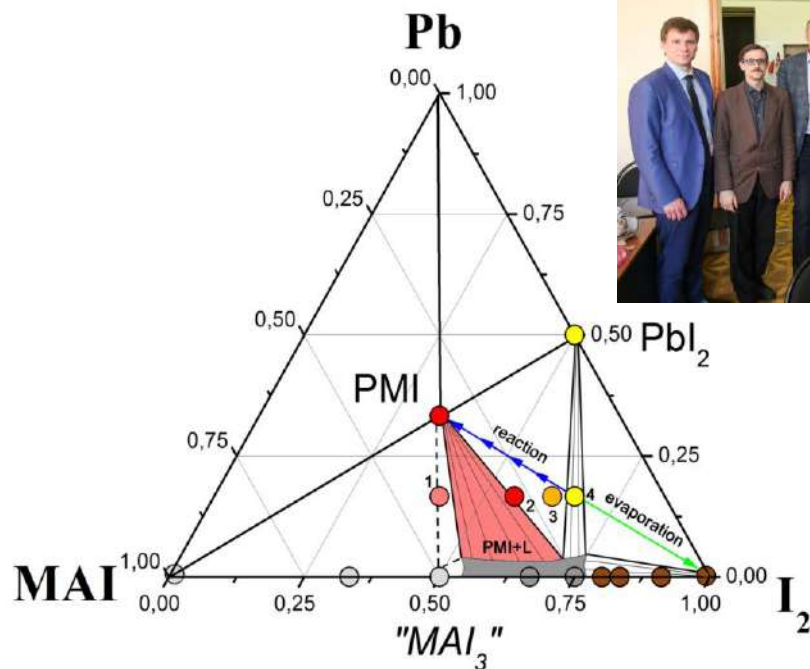
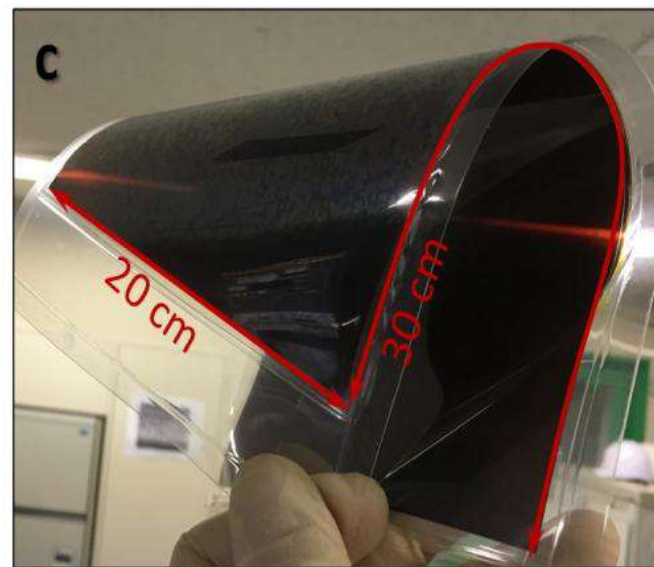
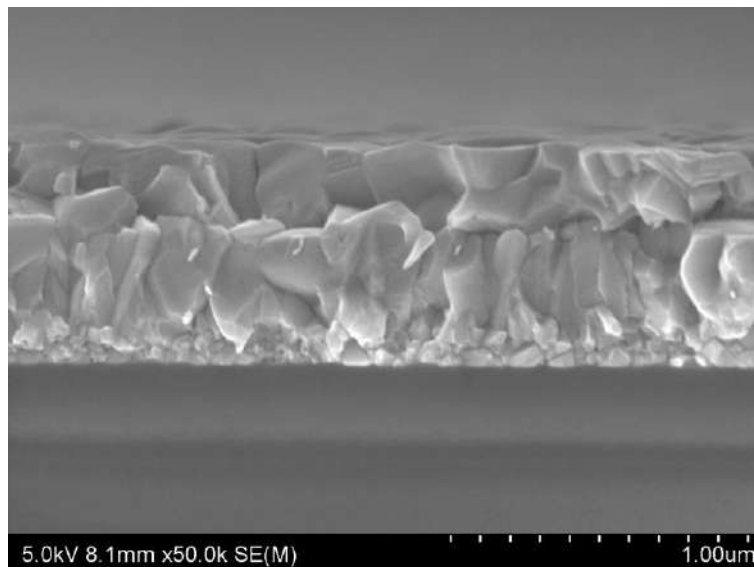




MAPbI₃

FTO

- ✓ КПД 14 - 17%
- ✓ Простой
- ✓ Дешевый
- ✓ Гибкий



I. Turkevych, e. a. *Nature Nanotechnology*, 2019, 14, pp. 57-63.

Ядерная энергетика

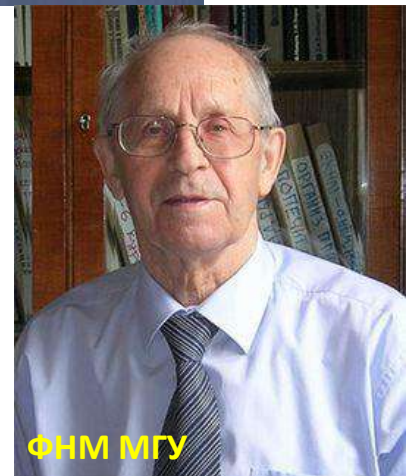


$U(U_3O_8) / Zr$



112 группа химфака МГУ

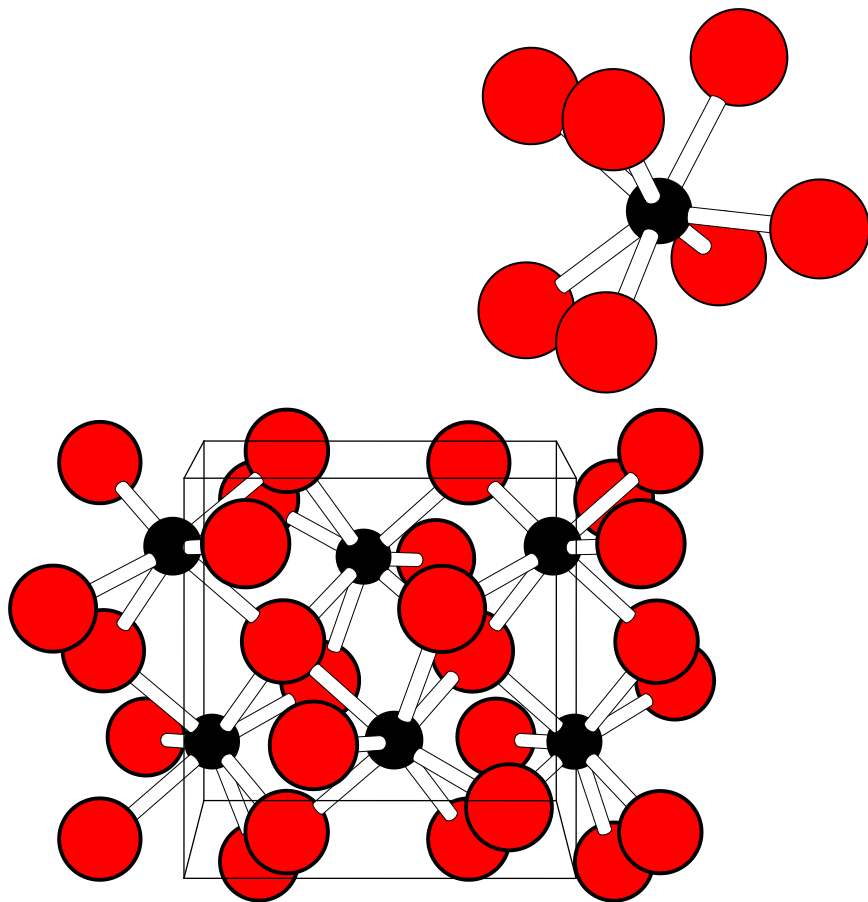
На заседании объединенной кафедры радиационной и химической технологии (1986).
Слева направо: Р.Г. Азес, В.А. Аскасов, Г.А. Ягудин (министр высшего образования, гость на кафедре), А.В. Кубасова



ФНМ МГУ

Диоксид циркония ZrO_2

Низкотемпературная моноклинная
модификация ($P2_1/c$), $KЧ(\text{Zr}) = 7$,
4 + 3 – для O^{2-}



Высокотемпературная кубическая
модификация ($Fm\bar{3}m$), $KЧ(\text{Zr})=8$,
тетраэдры - для O^{2-}

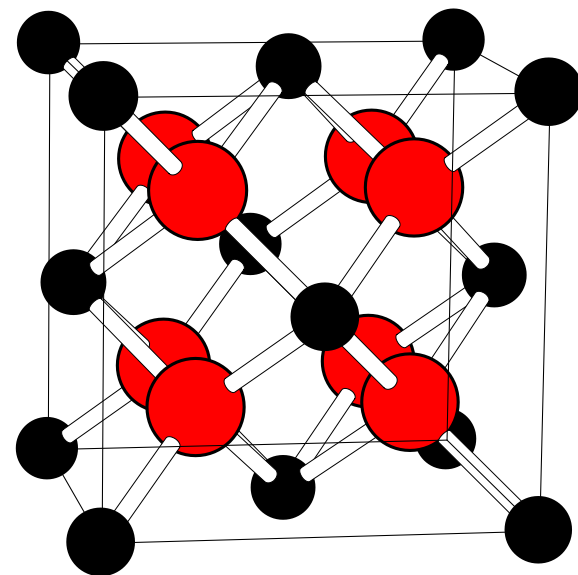
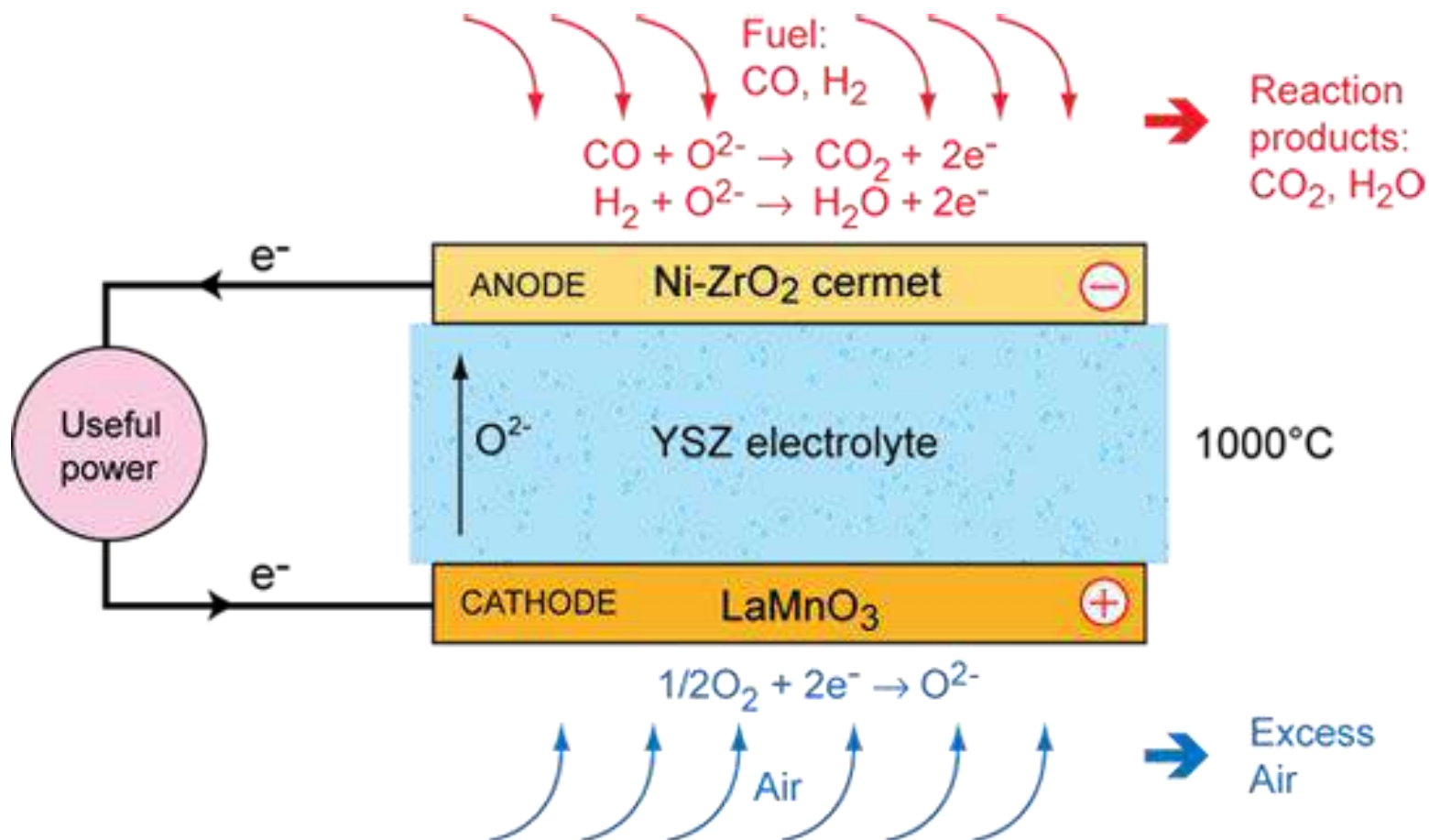


Схема топливной ячейки



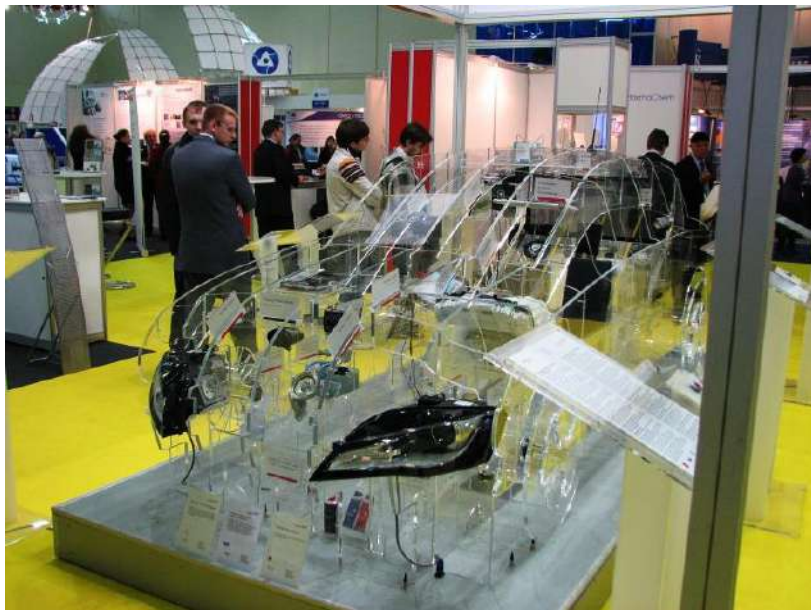


**Классическая
Модель**



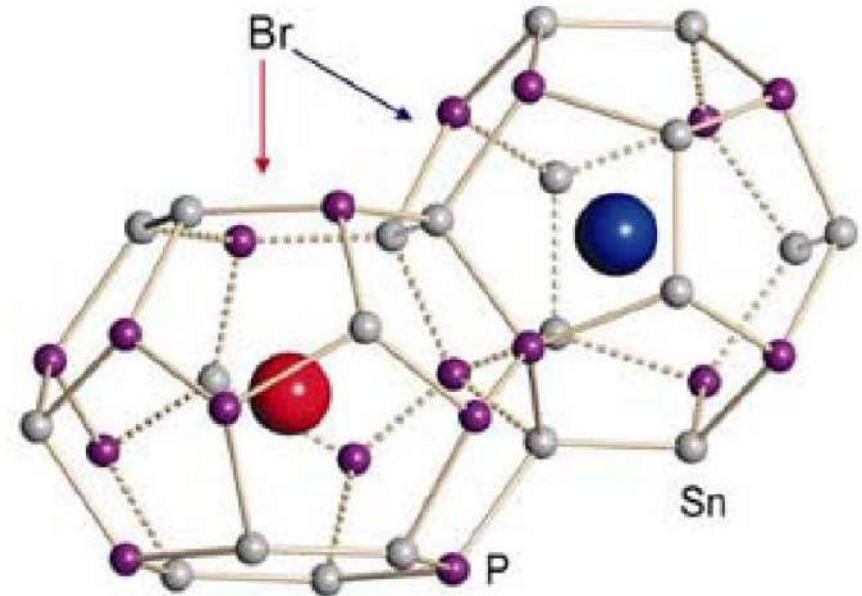
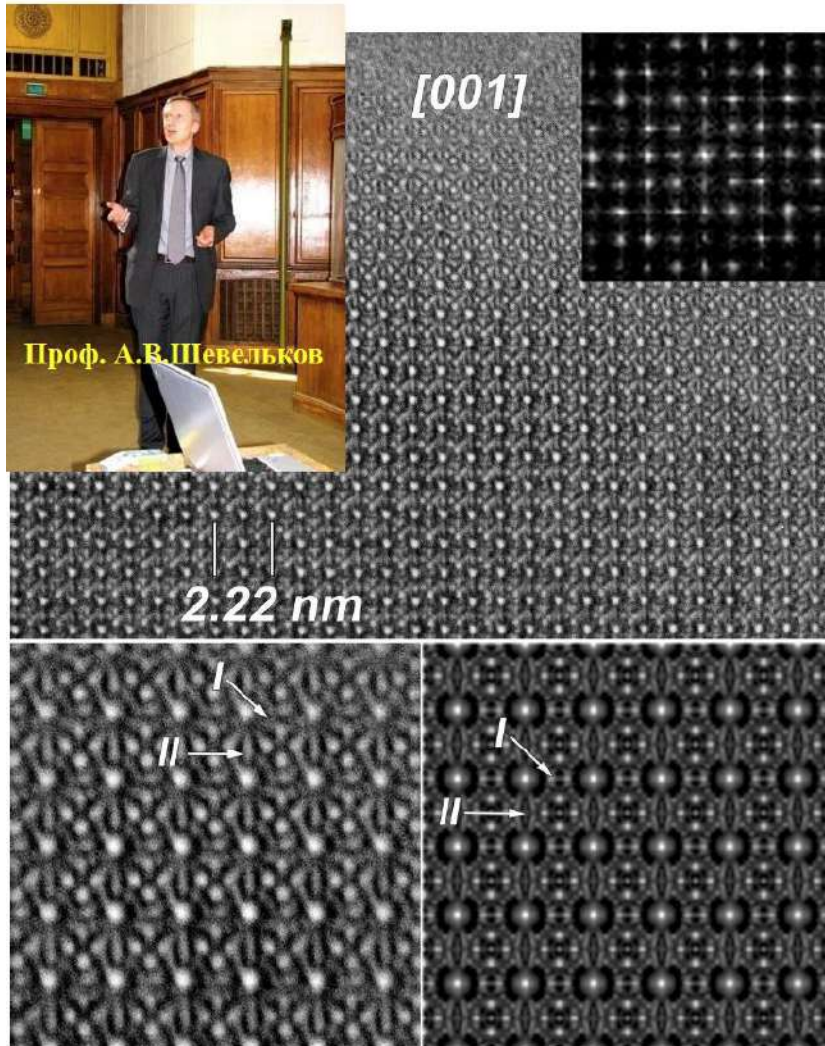
**Нанокиборг
(жидкий металл)**

Конструкционные материалы



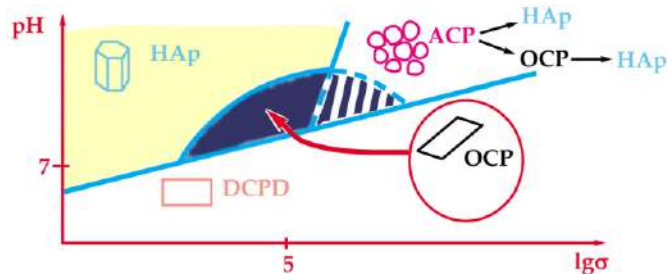
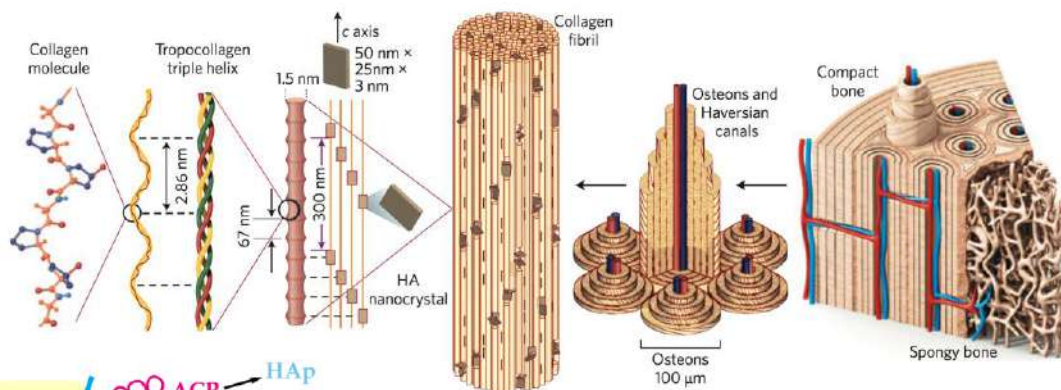
(ВИАМ, академик Е.Н.Каблов)

«Наноклеточные» термоэлектрики

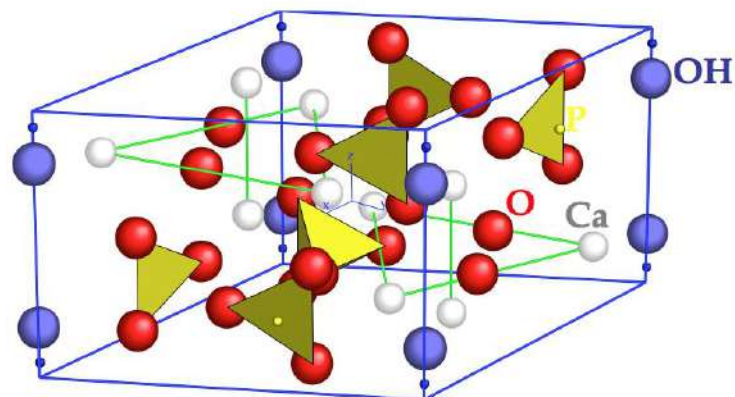
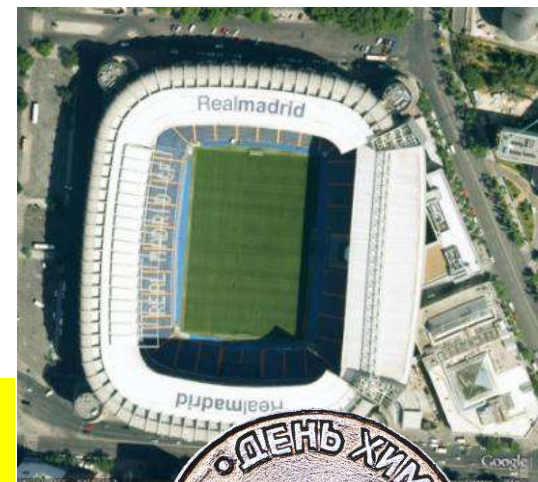


Холодильники без
фреона и компрессора –
бесшумные и безопасные

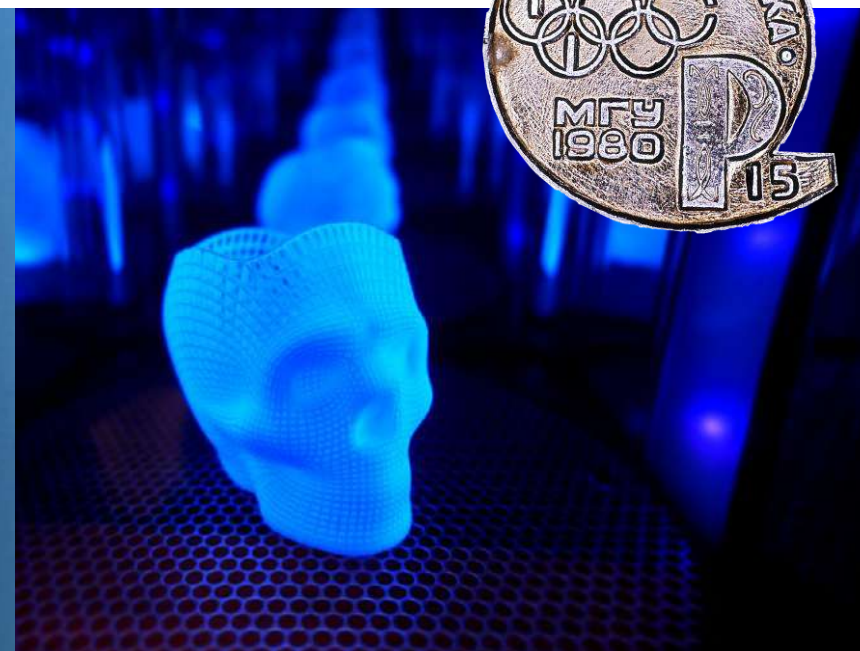
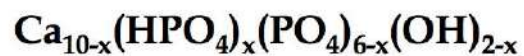
«Мягкая химия» биоматериалов



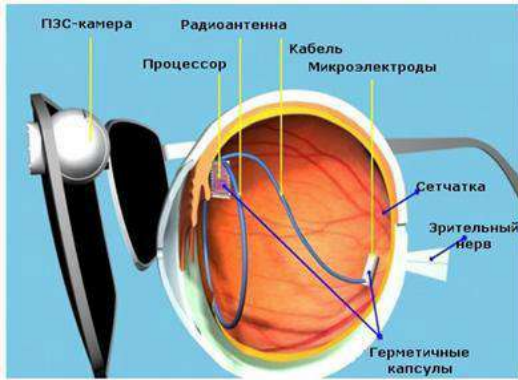
=10



$$P6_3/m \quad a = 9.422 \text{ \AA} \\ c = 6.880 \text{ \AA}$$

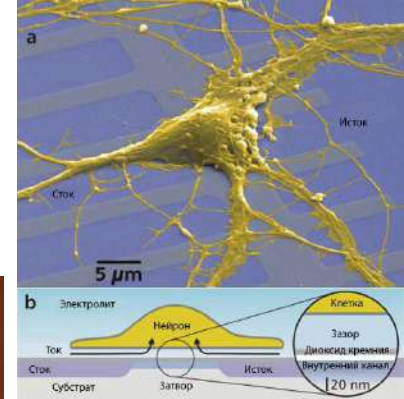
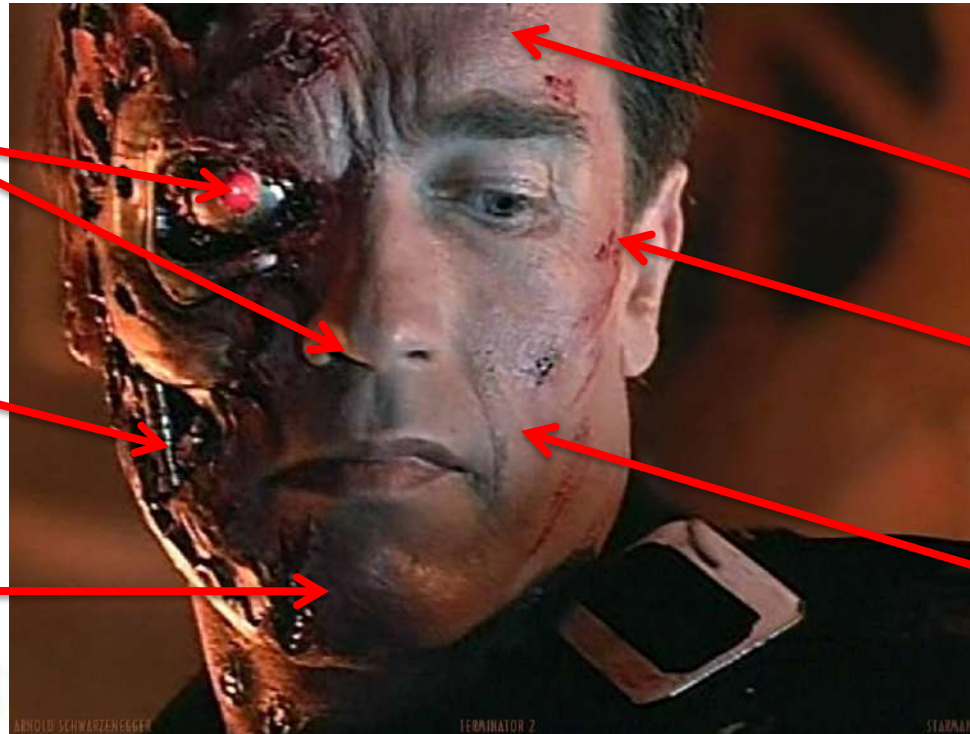
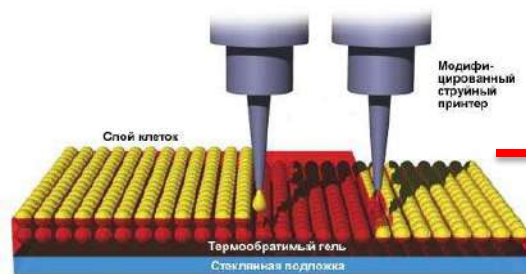


Материалы для биологии



Сенсоры

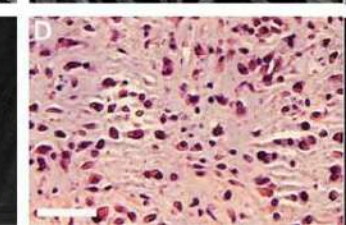
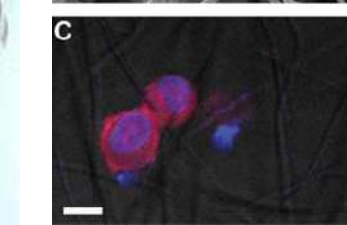
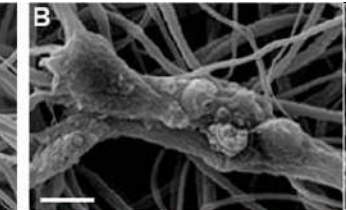
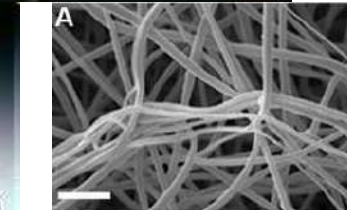
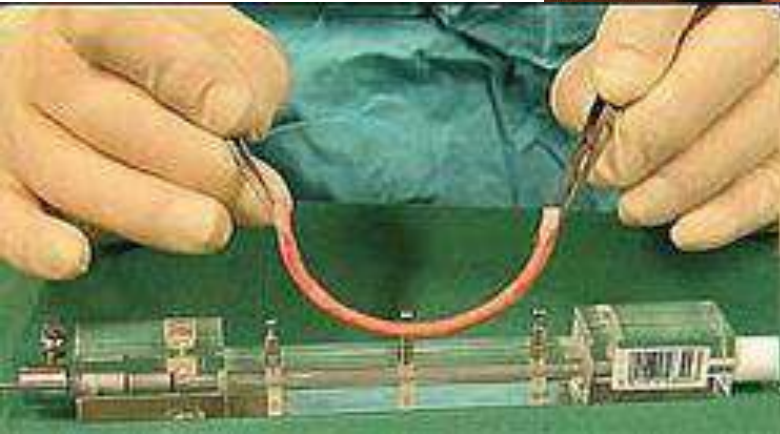
Нанокерамика и сплавы



Гибридные материалы

Терапевтические, диагностические наночастицы

Полимеры, нанокомпозиты



Современные «ВЫЗОВЫ»

- Медицина, диагностика, фармацевтика
- Экология, сенсорика
- Энергетика, нефтепереработка, альтернативная энергетика
- Информационные технологии, мобильная электроника
- Нейробиологический интерфейс
- Авиация, космос
- Строительство
-

Благодарности

К.А.Солнцев, Ю.Гогоци, П.Вайс,
В.И.Путляев, А.А.Елисеев, А.В.Лукашин,
А.А.Семенова, Н.А.Браже, Г.В.Максимов,
А.Б.Тарасов, К.С.Напольский, Д.М.Иткис,
Р.Б.Васильев, С.Г.Дорофеев, И.А.Веселова,

Д.И.Менделеев