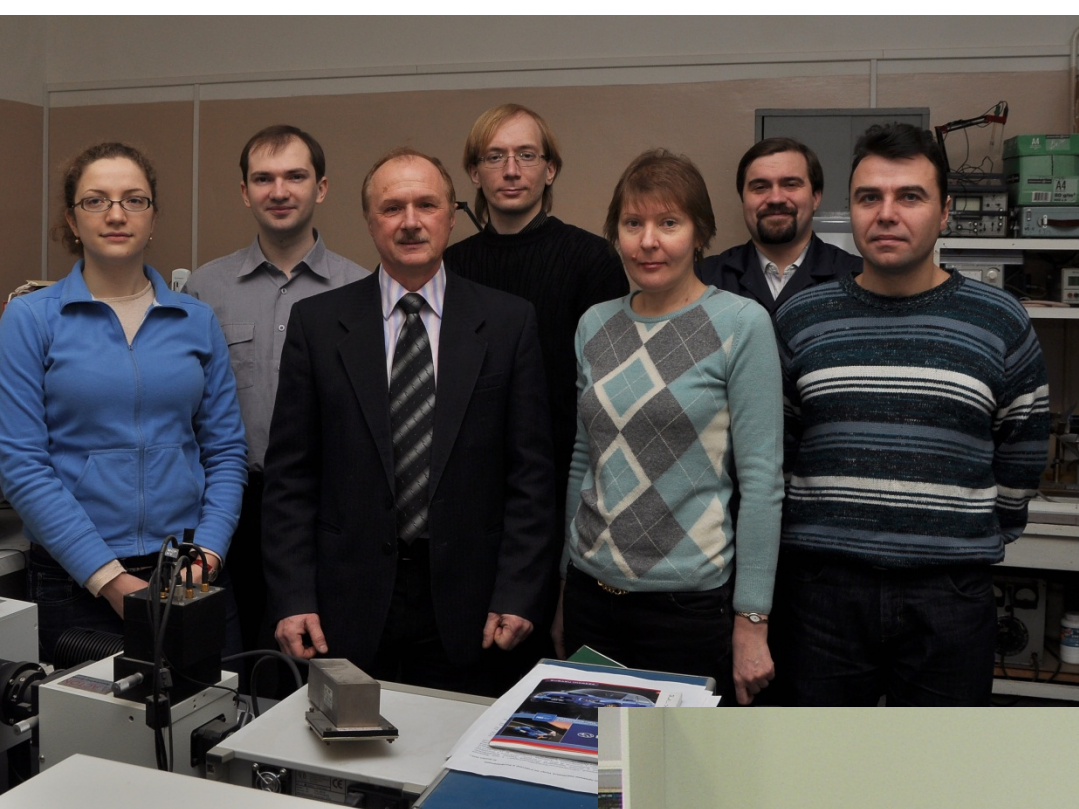


***СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ
ФОТОНИКИ
НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР***

Член-корреспондент РАН Разумов В.Ф.

*Лаборатория фотоники
наноразмерных структур*



**Бричкин С.Б.,
Спирин М.Г.,
Николенко Д.Ю.,
Николенко Л.М.,**

**Товстун С.А.,
Невидимов А.
Иванчихина А.В.,
Гак В.Ю.,
Сивак М.**





Нанофотоника – одно из направлений в области нанотехнологий, связанное с созданием новых оптических материалов и функциональных устройств, построенных на основе наноразмерных структур (агрегатов, кластеров, наночастиц и т.д.)

Теренин Александр Николаевич

[6.05.1896 - 18.01.1967], академик АН СССР (1939); член-корреспондент (1932), Герой Социалистического Труда (1966).



А.Н.Теренин ввел в научную литературу новый термин - "фотоника", обозначив им область науки, изучающую совокупность взаимосвязанных фотофизических и фотохимических процессов, происходящих при поглощении света веществом.



**Главное сейчас — наполнить страстью молодые сердца.
А. Н. Теренин**

Теренин Александр Николаевич

[6.05.1896 - 18.01.1967], академик АН СССР (1939); член-корреспондент (1932), Герой Социалистического Труда (1966)



А.Н.Теренин (справа) на конгрессе по фотобиологии после вручения ему золотой медали им.Финзена.



Научная деятельность А.Н.Теренина отмечена рядом крупных открытий и ставших классическими фундаментальных исследований: экспериментальное обнаружение

фотодиссоциации и

фотоионизации молекул (1926), открытие сверхтонкой структуры атомных линий (1928), учение о триплетной природе метастабильного состояния молекул (1943 г.), открытие явления триплет-триплетного переноса энергии (1952), пионерские работы, приведшие к созданию нового спектроскопического метода - фотоэлектронной спектроскопии (1961).



Главное сейчас — наполнить страстью молодые сердца.
А. Н. Теренин

Главная прикладная задача нанофотоники – разработка фотонных устройств и материалов для эффективного управления фотонами (также как электронные устройства управляют электронами)

Сегодняшнее состояние развития нанофотоники можно сравнить с состоянием микроэлектроники до изобретения транзистора.

Грядущий качественно новый уровень нанофотоники связан с созданием оптических логических устройств, оптоэлектронных процессоров и компьютеров с архитектурой, подобной мозгу человека, стереоскопической системой визуализации информации, подобной зрительному процессу и т.д.

Нанофотоника

Информационные устройства

Дисплеи

Оптические
запоминающие
устройства

Опволоконные
линии

Оптоэлектронные
устройства

Устройства для преобразования световой энергии

Солнечные
батареи

Электролюминесцентные
устройства

Полупроводниковые
лазеры

Фотокаталитические
системы

Нелинейные свето-
преобразователи

Сенсорно-диагностические устройства

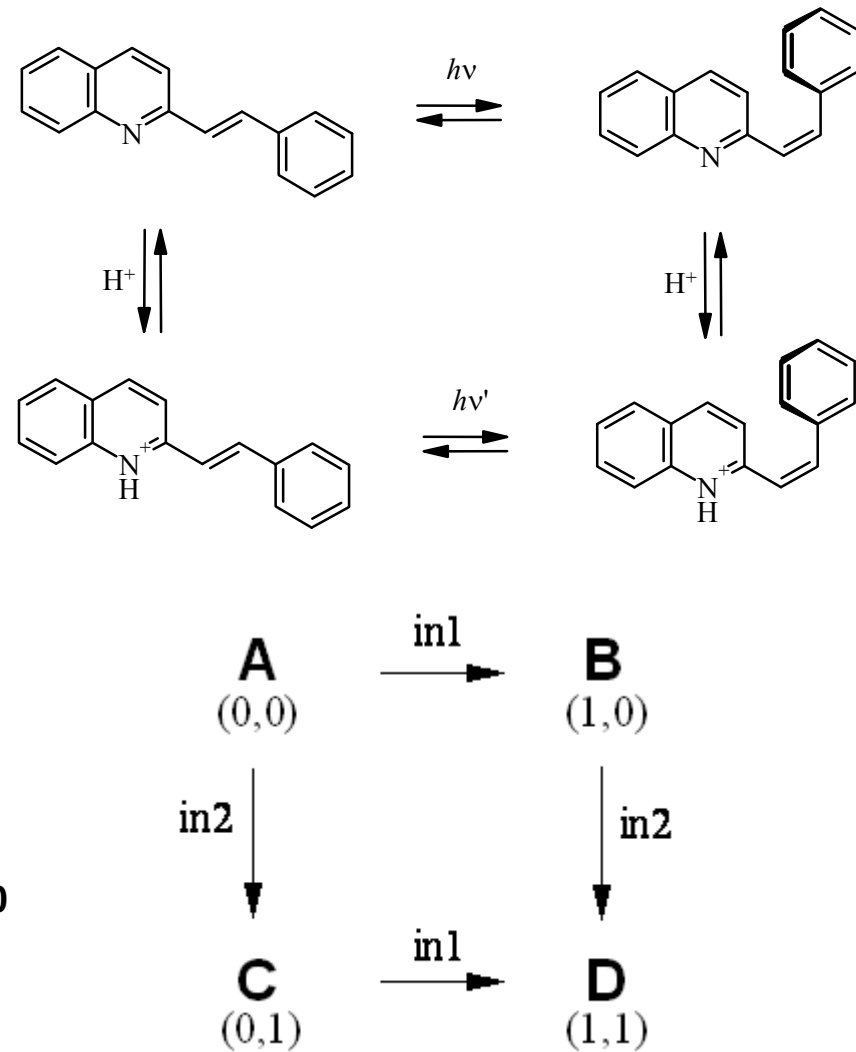
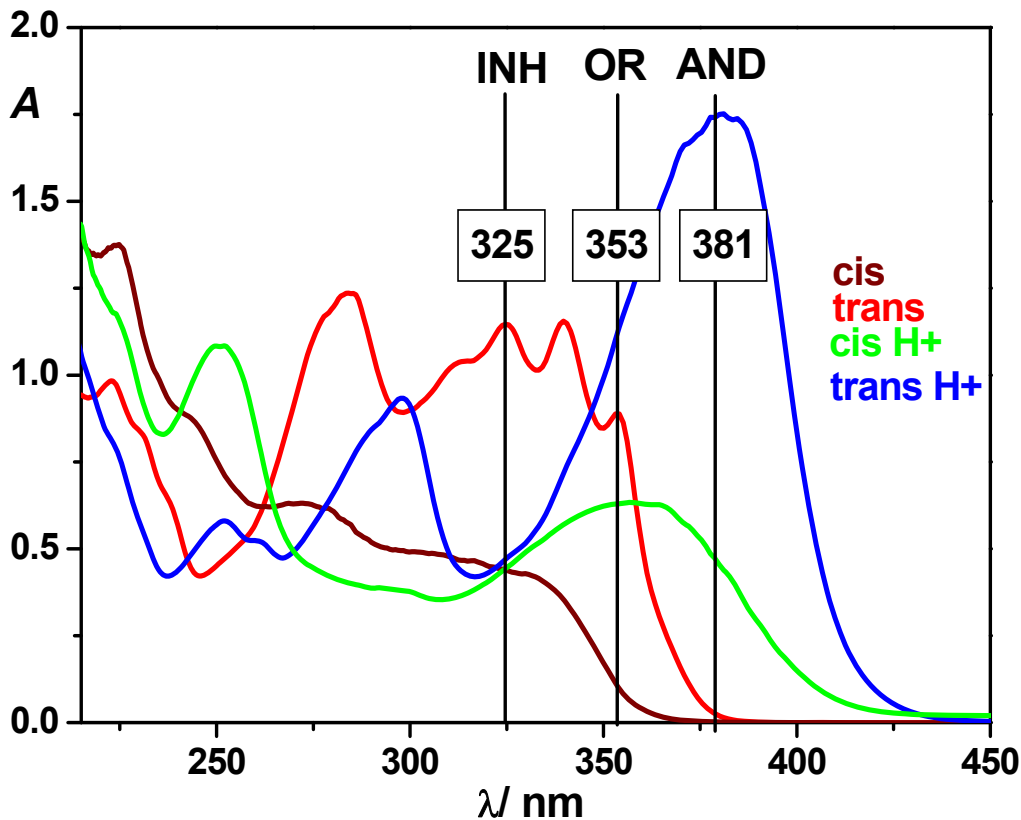
Химические
оптосенсоры

Оптоэлектронные
датчики

Биомедицинская
диагностика

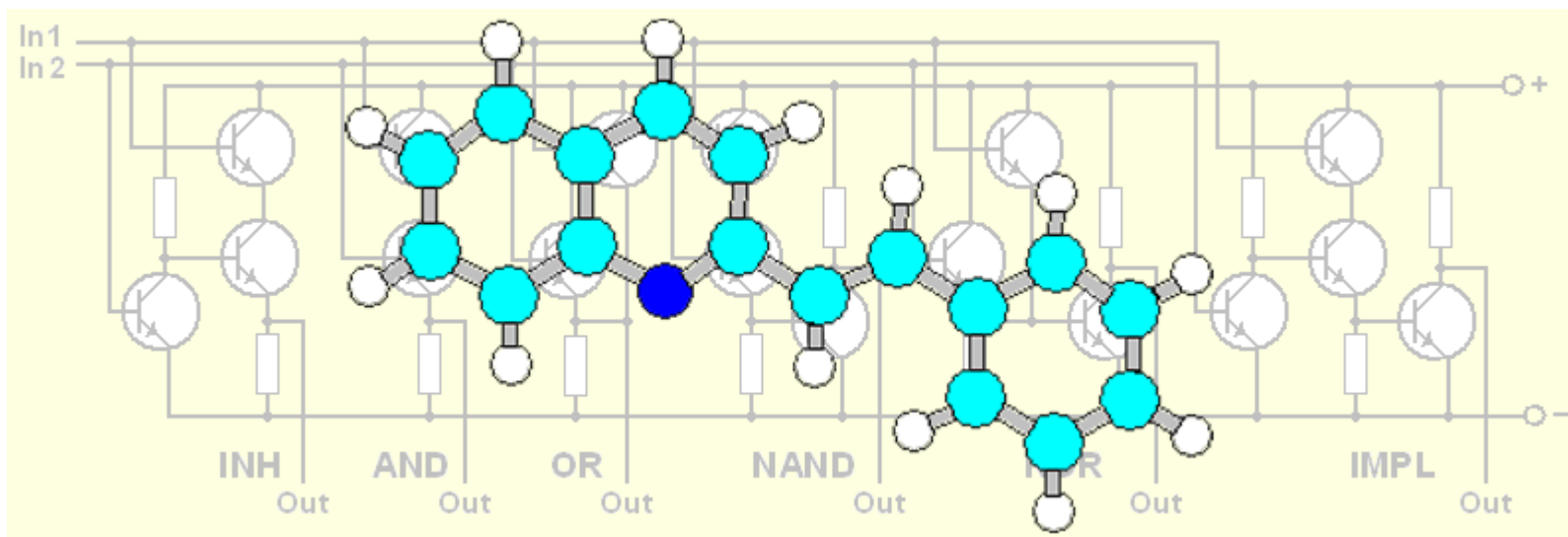
*МОЛЕКУЛЯРНЫЕ
ФОТОПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ И
ЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА –
ЭЛЕМЕНТЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ*

Design of MLG based on 2-styrylquinoline



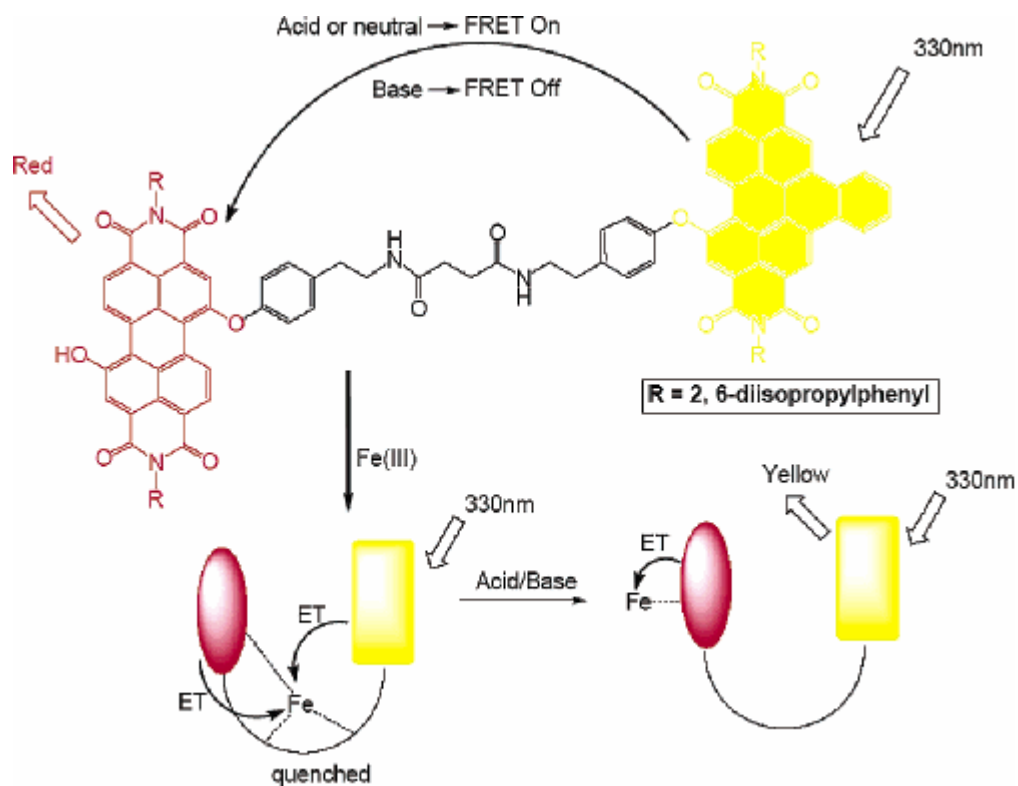
M.F. Budyka, N.I. Potashova, T.N. Gavrishova, V.M. Lee // Reconfigurable Molecular Logic Gate Operating in Polymer Film // J. Mat.Chem, 2009, 19, DOI: 10.1039/b908562a

Electron analog of 2-styrylquinoline

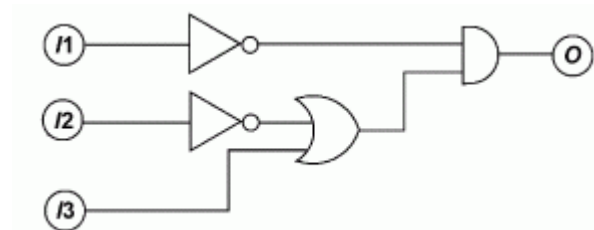


M.F. Budyka, N.I. Potashova, T.N. Gavrishova, V.M. Lee // Reconfigurable Molecular Logic Gate Operating in Polymer Film // J. Mat.Chem, 2009, 19, DOI: 10.1039/b908562a

МЛУ: 1 молекула = 4 элемента



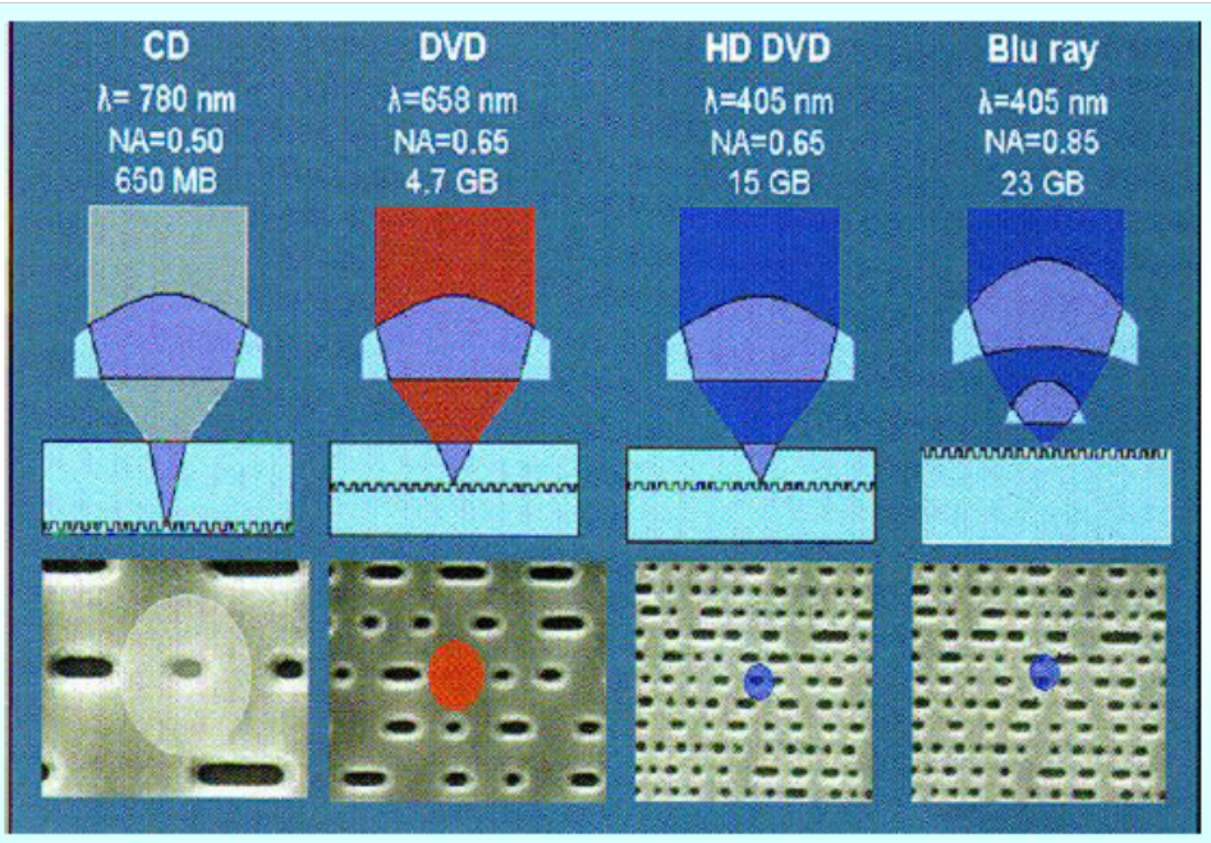
input			output
I1 (Fe ³⁺)	I2 (TEA)	I3 (TFA)	O (λ _{em} = 580 nm)
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0



Y.Li, H.Zheng, Y.Li, S.Wang, Z.Wu, P.Liu, Z.Gao, H.Liu, D.Zhu // **Photonic Logic Gates Based on Control of FRET by a Solvatochromic Perylene Bisimide** // *J. Org. Chem.*, 2007, 72 (8), 2878.

*Регистрирующие среды
для оптической памяти*

Регистрирующие среды для оптической памяти



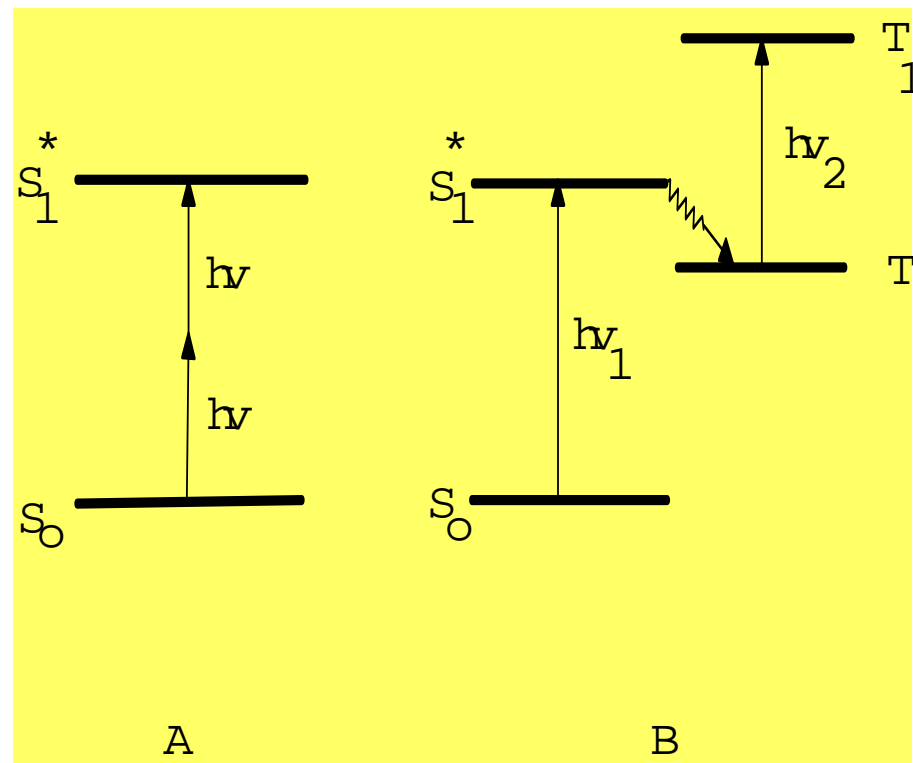
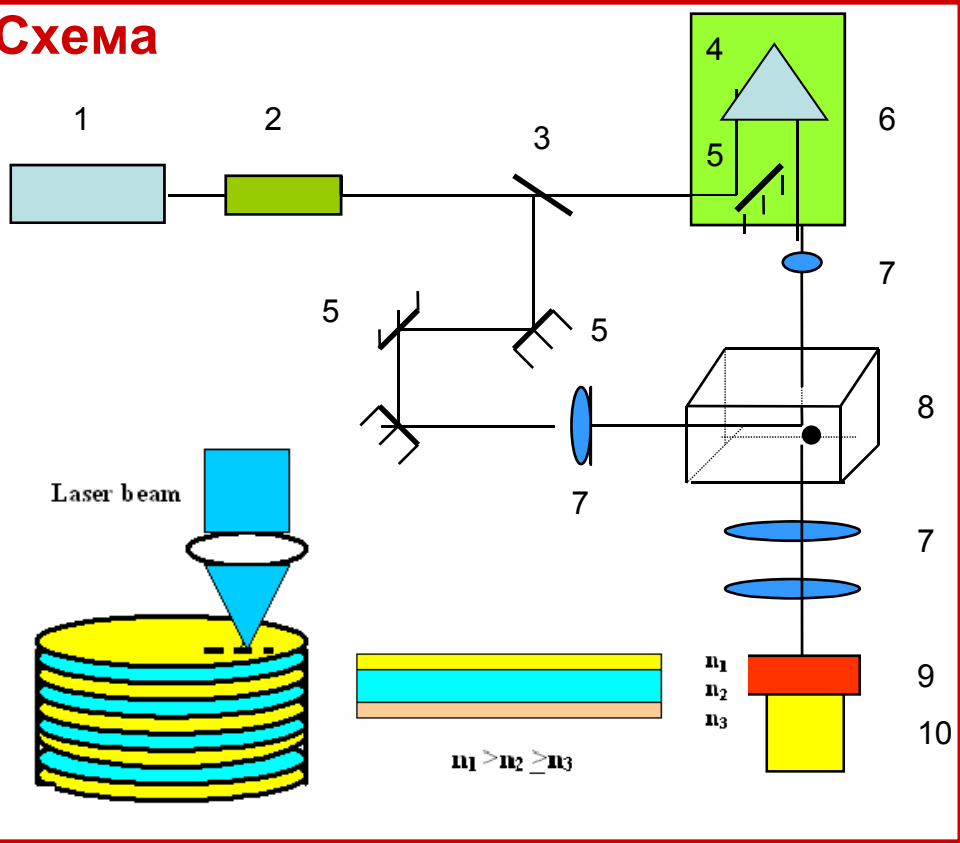
Blu-ray Disc Association разработала ОД с информационной емкостью 25 Гбайт (50 Гбайт for DVD)

Дальнейшие перспективы связываются с созданием трехмерной (3D) объемной оптической памяти на ОД с плотностью записи информации более 10^{12} бит/см³ или 1 Тбит/см³

Регистрирующие среды для 3D оптической памяти

Побитовая 3D оптическая память Двухфотонные регистрирующие среды

Схема

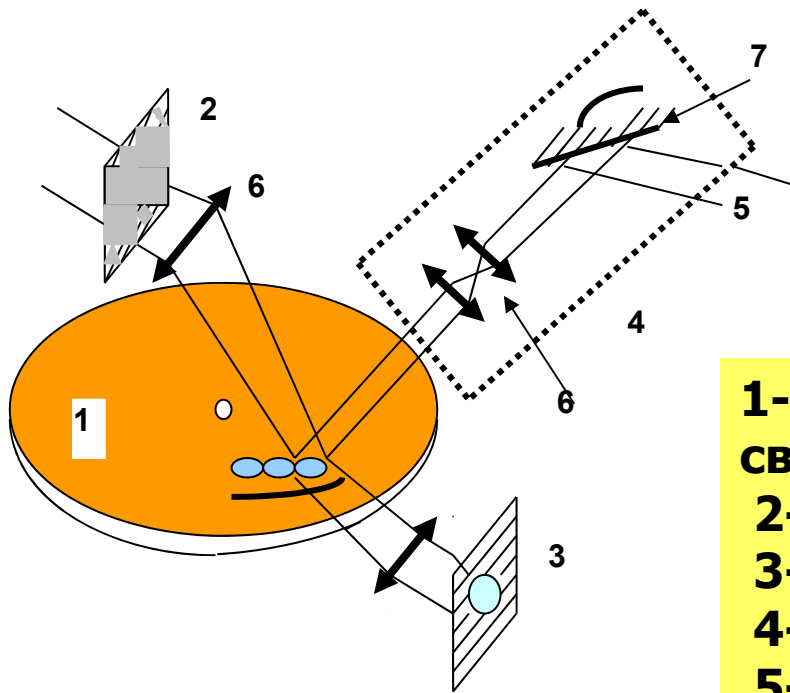


1-лазер; 2-преобразователь частоты; 3-расщепитель пучка; 4-призма; 5-зеркала; 6-линия задержки; 7-линзы; 8-регистрирующая среда; 9-полихроматор; 10-детектор излучения

Регистрирующие среды для 3D оптической памяти

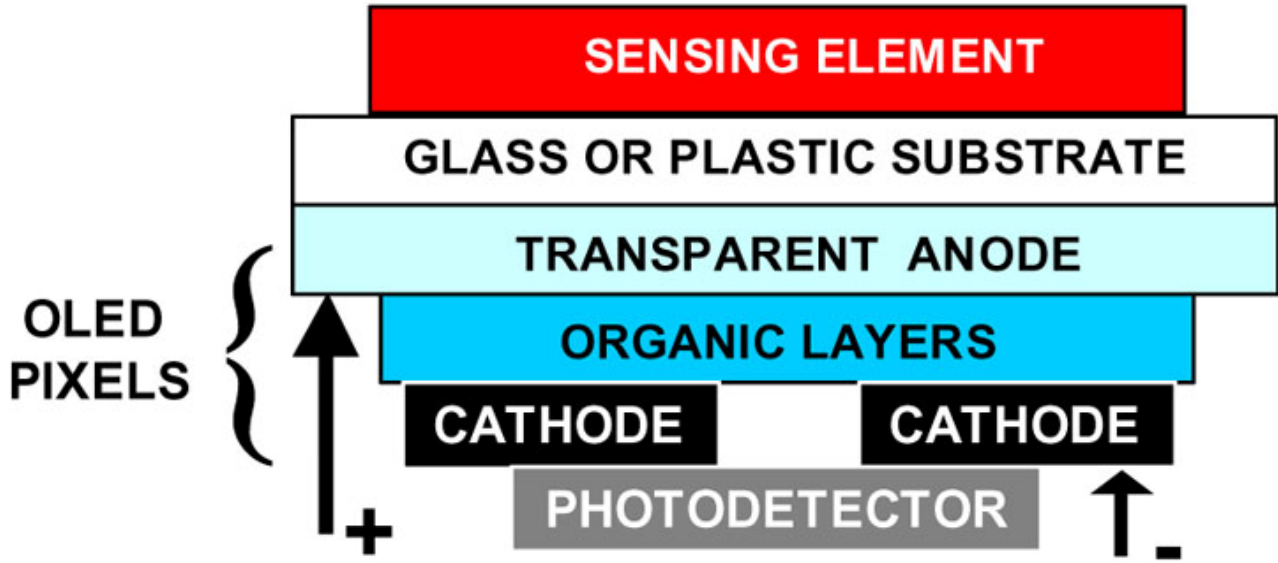
Голографические среды

Схема голографической оптической памяти на оптических дисках



- 1-оптический диск со светочувствительным слоем;**
- 2-изображение;**
- 3-детектор излучения;**
- 4-оптическая система считывания;**
- 5-пучок сравнения;**
- 6 –оптическая система для записи и Восстановления изображения;**
- 7- вращающееся зеркало**

*Оптические сенсоры
и хемочипы*

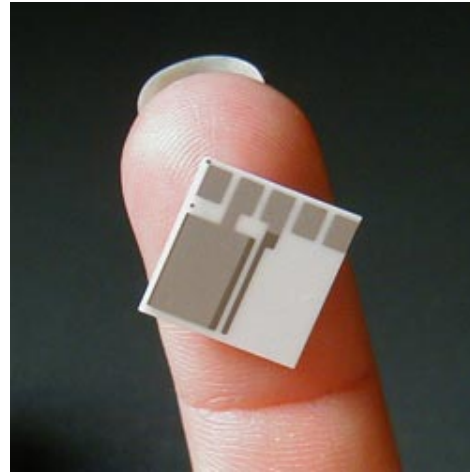


Microelectronic nose detects and recognizes gases to save lives

by Richard Greb



SENSOR KIT – The Smart Sensor Development Kit, which is available for licensing, can be used to develop inexpensive devices to detect specific gases.

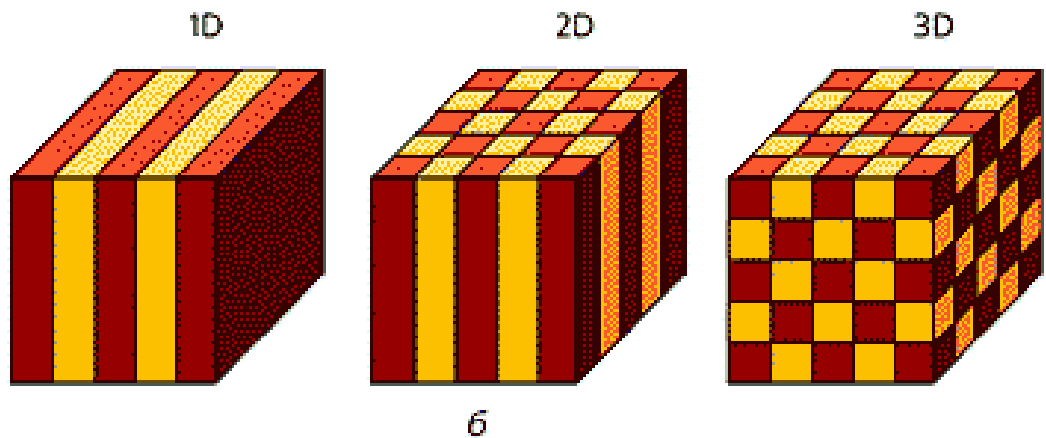
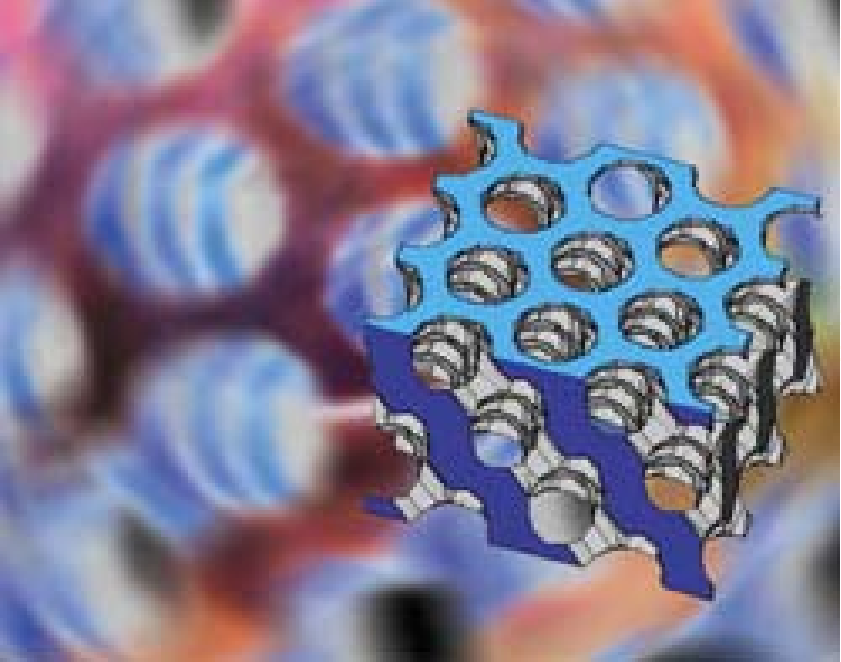


TINY HEART – The heart of the Smart Sensor fits on a fingertip

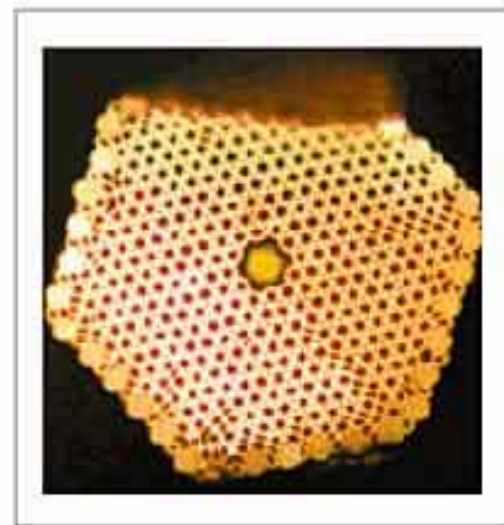
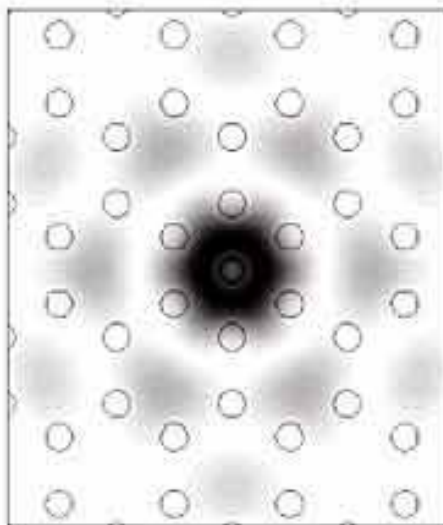


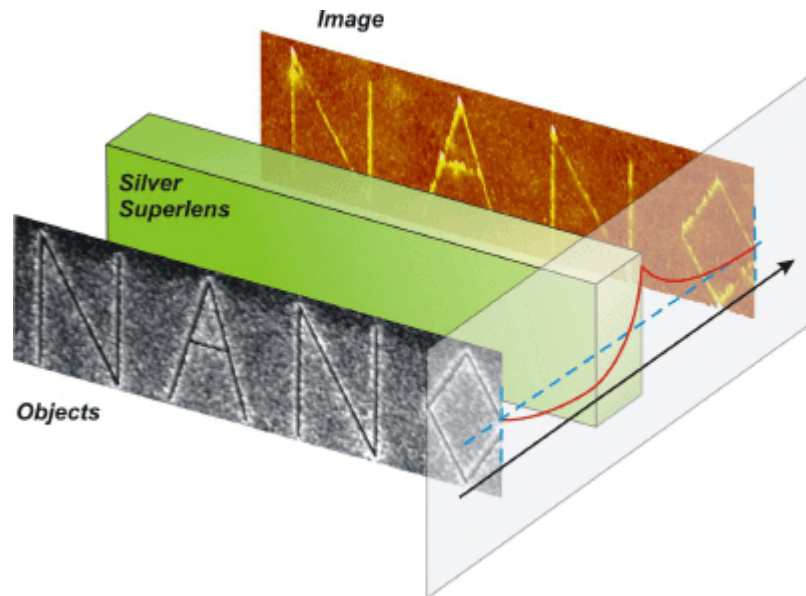
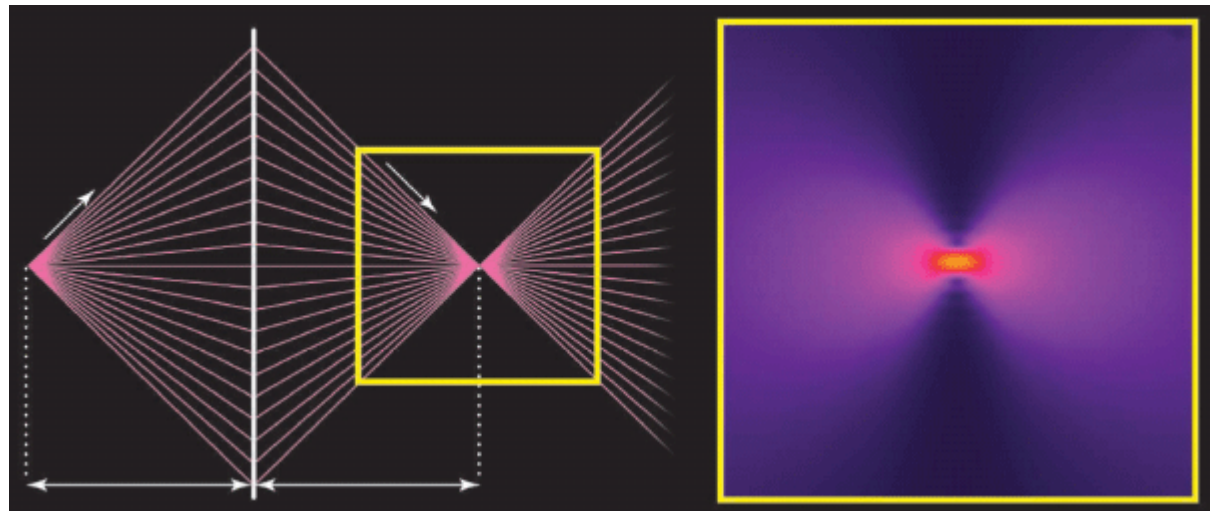
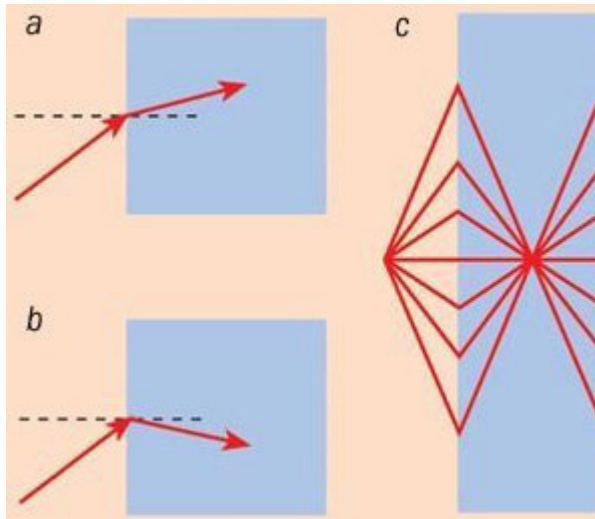
CONTINUING IMPROVEMENT – Laura Skubal and Michael Vogt continue to refine the Smart Sensor.

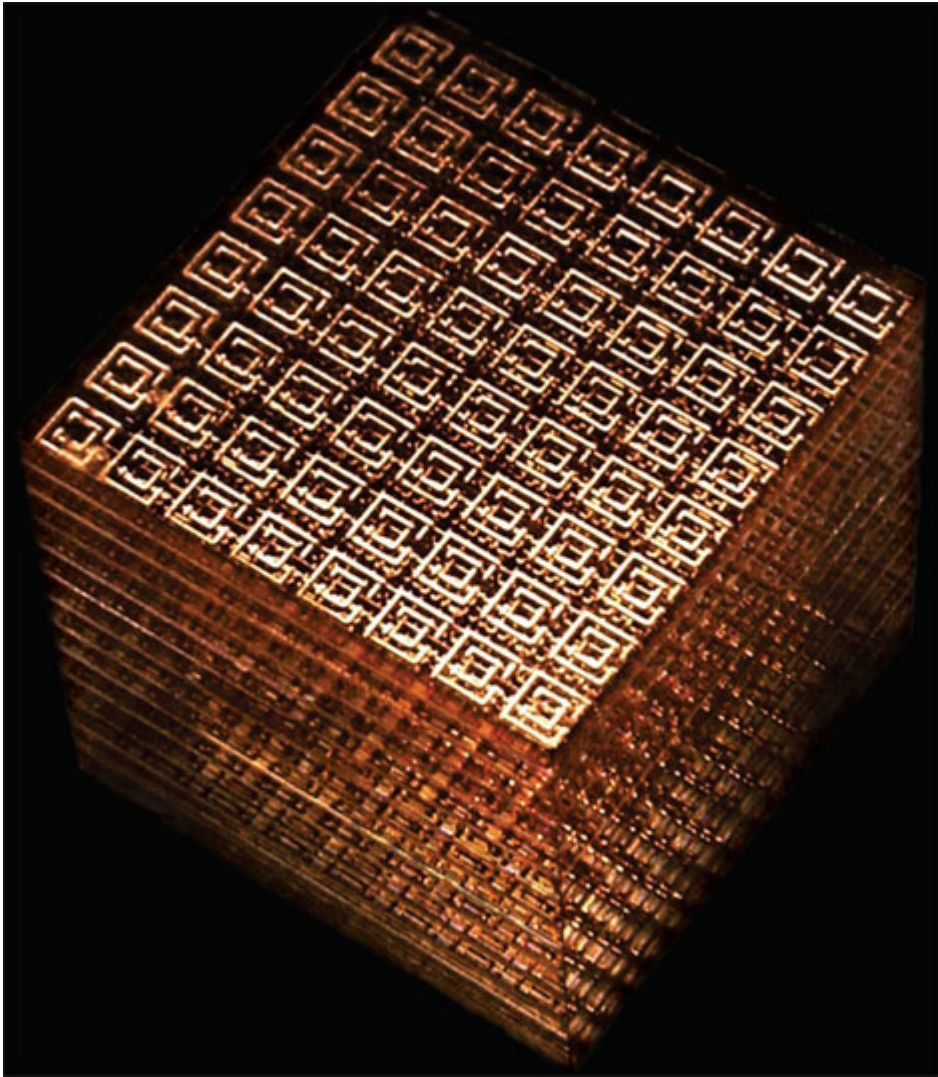
The package, called the Smart Sensor Developer Kit, was one of the winning technologies in the 2002 R&D 100 awards competition. The kit was developed by Argonne's [Energy Systems Division](#) and has been licensed to [General Atomics](#) of San Diego, Calif., and Relative Solutions Corp. of Metairie, La. The sensor was demonstrated to President George W. Bush when he visited Argonne in July 2002 to view the laboratory's homeland-security technology.



Фотонные кристаллы



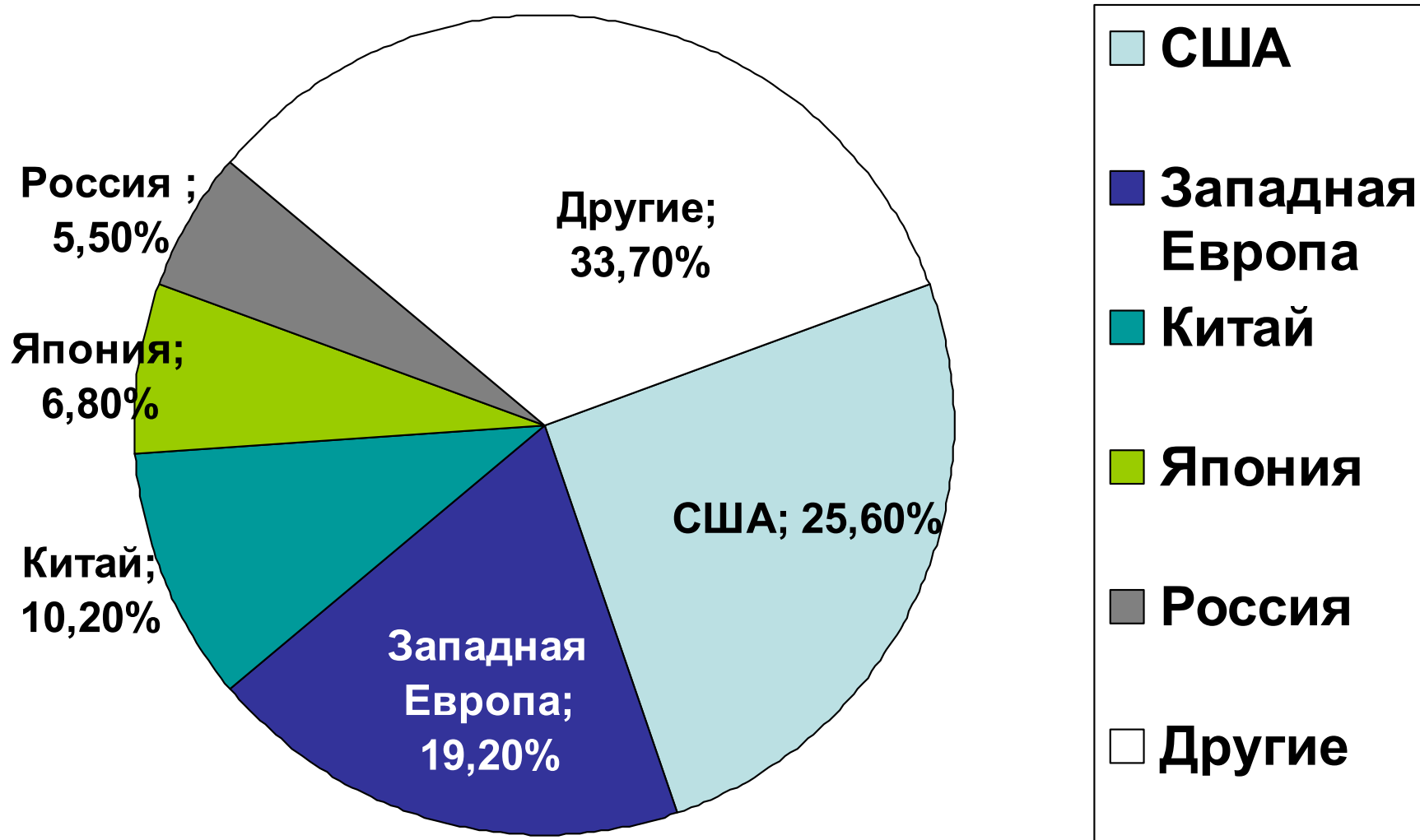




Куб метаматериала представляет собой трехмерную матрицу, образованную медными проводниками и кольцами с разрезом. Микроволны с частотами около 10 ГГц ведут себя в таком кубе необычно, потому что для них он имеет отрицательный показатель преломления. Шаг решетки — 2,68 мм или около 0,1 дюйма

***ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
ЭНЕРГИИ СВЕТА***

Общее потребление электроэнергии (2 ТераВт = 2×10^6 МВт)



Happy Life



**IT IS NECESSARILY 15 TW IN 2050 AND 35 TW IN 2100!!!
WHERE CAN WE GET THESE AMOUNT OF CARBON FREE ENERGY?**

WHERE CAN WE GET THIS AMOUNT (15 TW by 2050, 35 TW BY 2100) OF CARBON-FREE ENERGY?

- **Nuclear Fission (build 15,000 1GW nuclear power plants ⇒ 1 every day for the next 40 years (450 globally today))**
- **Nuclear Fusion (unproven technology- 30-50 years away (this way for 50 yrs))**
- **Fossil Fuels but with CO₂ sequestration in the ocean or in depleted oil/gas reservoirs (unproven technology, ocean acidity increase, leaks from reservoirs (need < 1% leak rate. geological effects?))**
- **Renewable Energy (proven but expensive for some technologies and/or politically sensitive and controversial)**

SOLAR ENERGY

Direct Solar Photon Conversion

Our Nuclear Fusion Reactor 93
Million Miles Away

Surface Temperature = 6000 °C
Core Temperature = 20,000 K

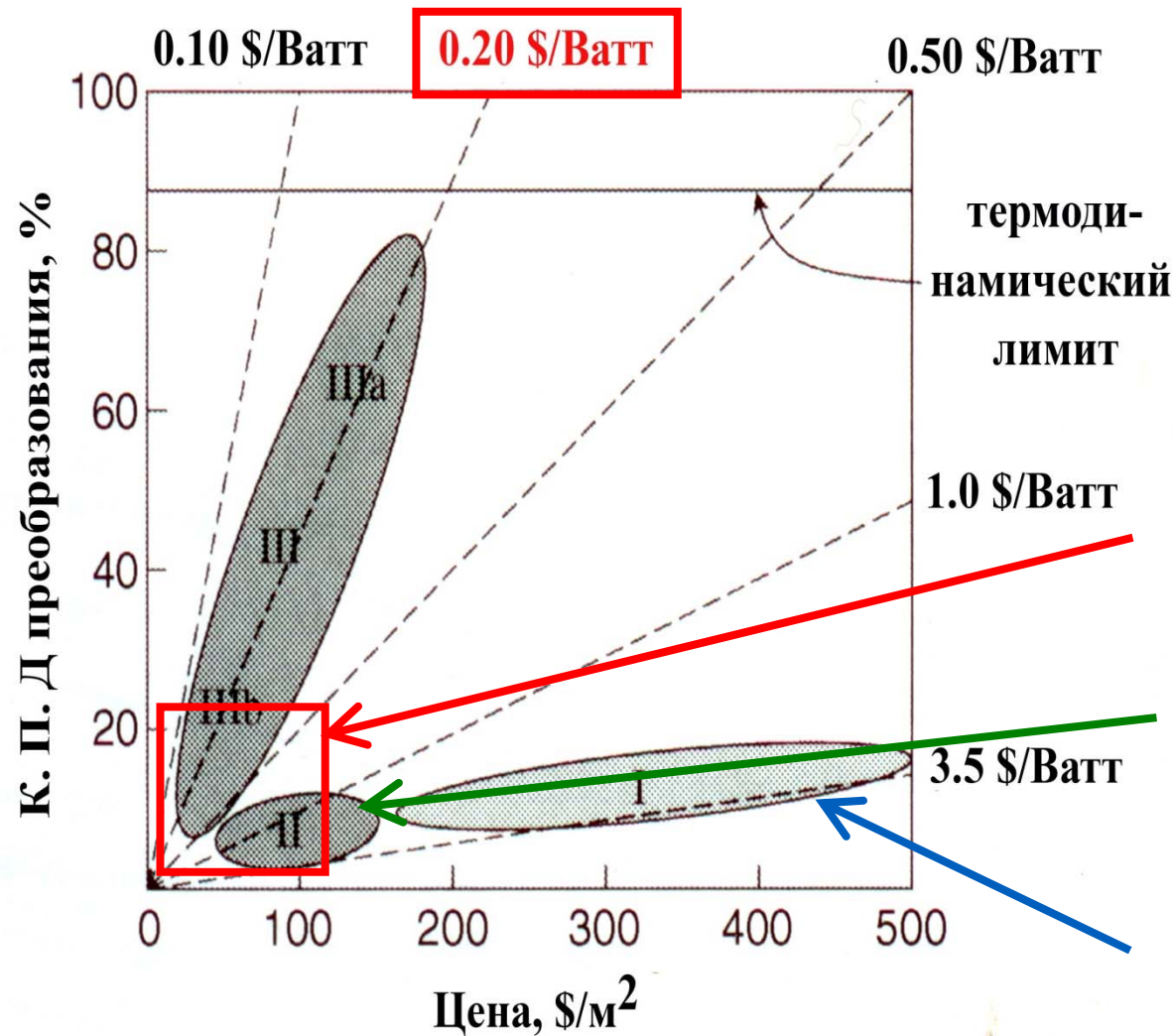
**Globally, 1 ½ hrs of sunlight is
equivalent to the total energy
consumed globally in one year**

**Solar spectrum described by
Black Body Radiation (Planck's
Radiation Law):**

$$E_b = (2/h^3c^2)(E^2/(e^{E/kT} - 1))$$



Три поколения солнечных батарей: органика на смену неорганики



Замена неорганических материалов на органические снизит цену электроэнергии в 5 раз!!!

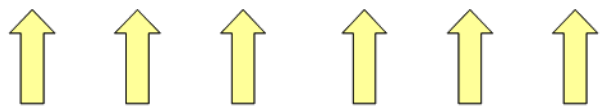
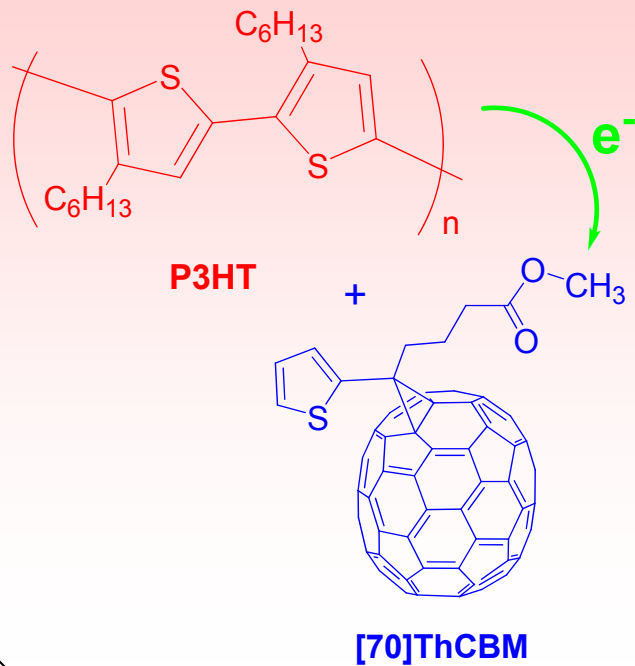
Органическая фотовольтаика (0.20 \$/Вт)

Аморфный Si (1 \$/Вт)

Кристаллический Si (3,5 \$/Вт)

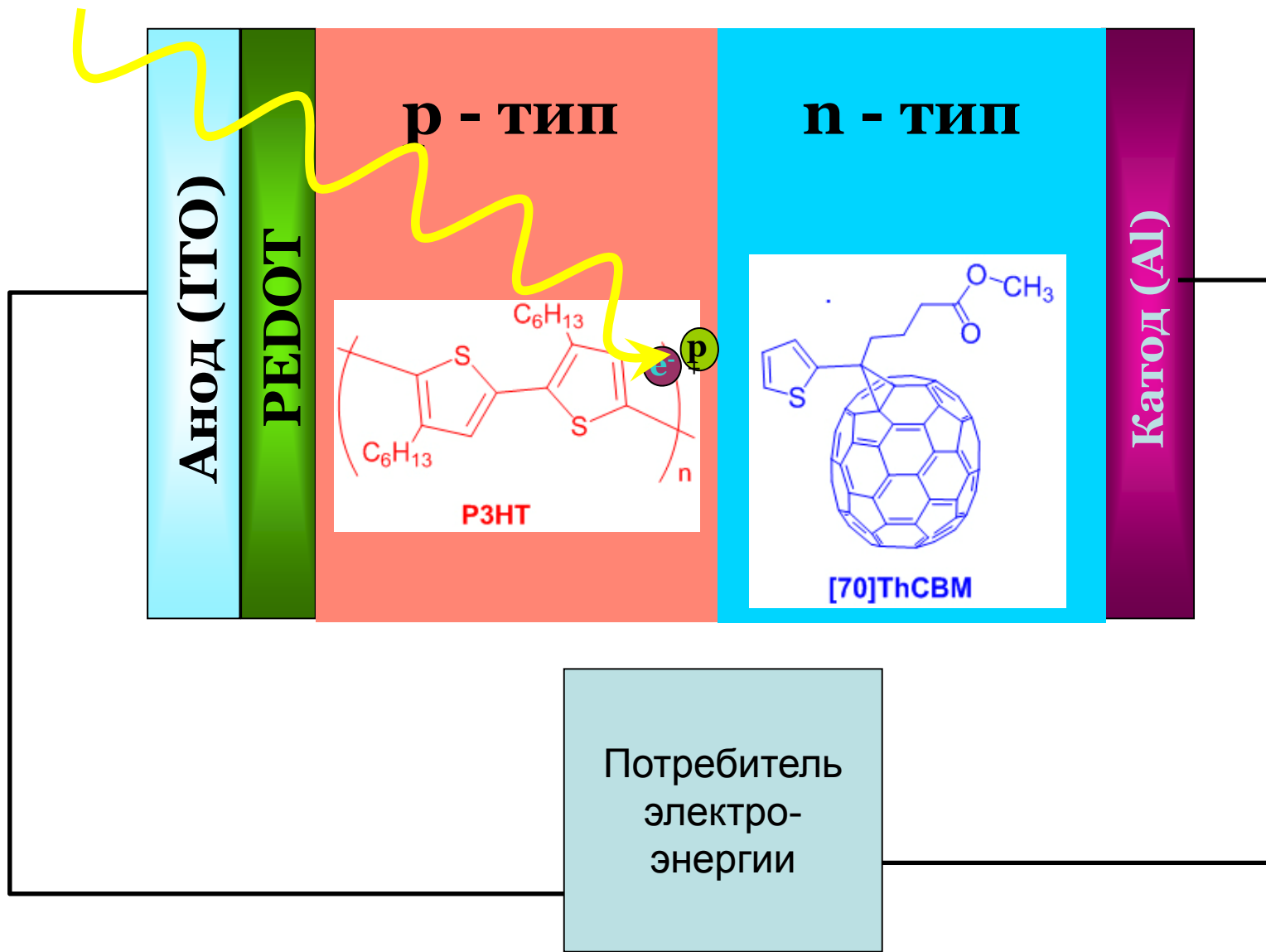


**Фотоактивный слой – это
наноккомпозит
сопряженного полимера и
соединения фуллерена**



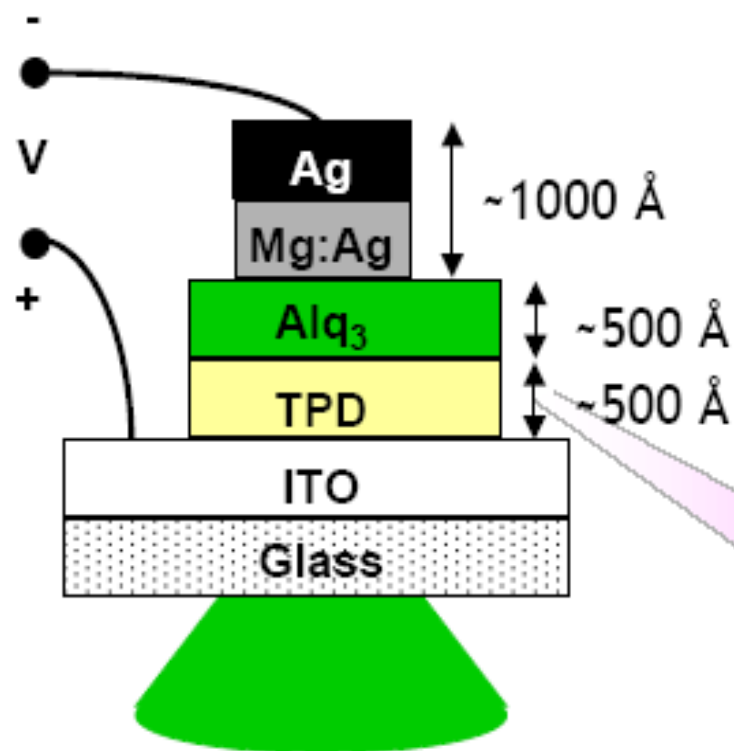
Объемный гетеропереход – новая идея в органической электронике

$h\nu$

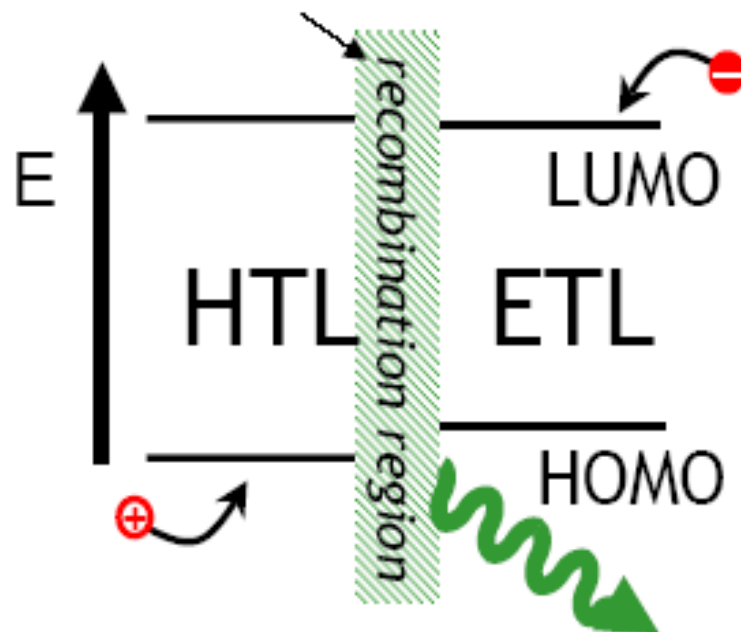
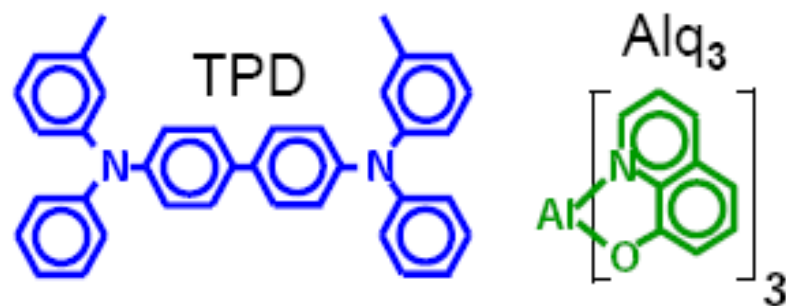
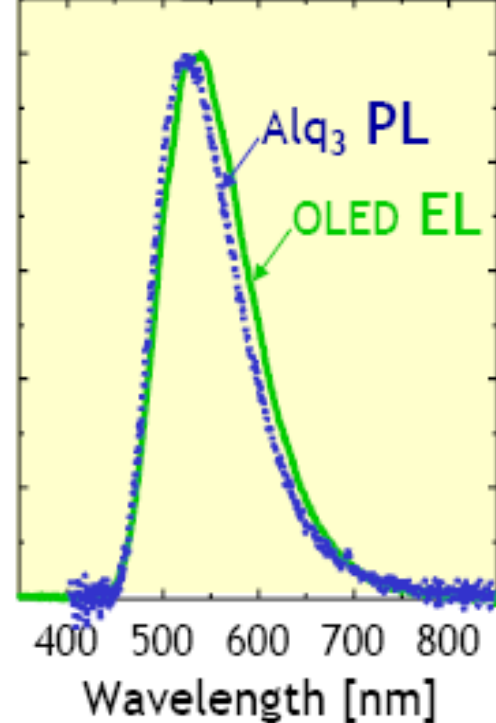


*Электролюминесцентные
устройства*

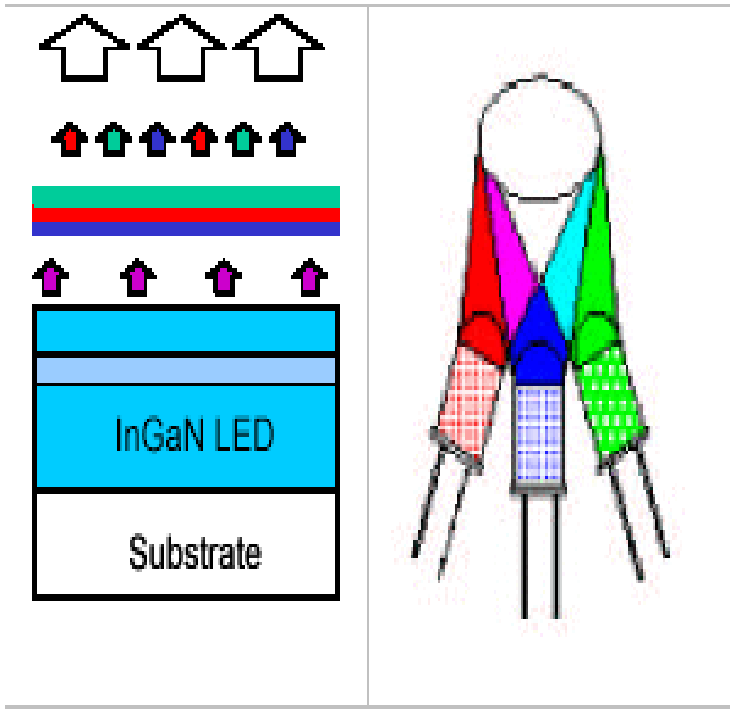
Why do OLEDs Glow ?



electrons and holes
form *excitons*
(bound e⁻-h⁺ pairs)



some excitons radiate

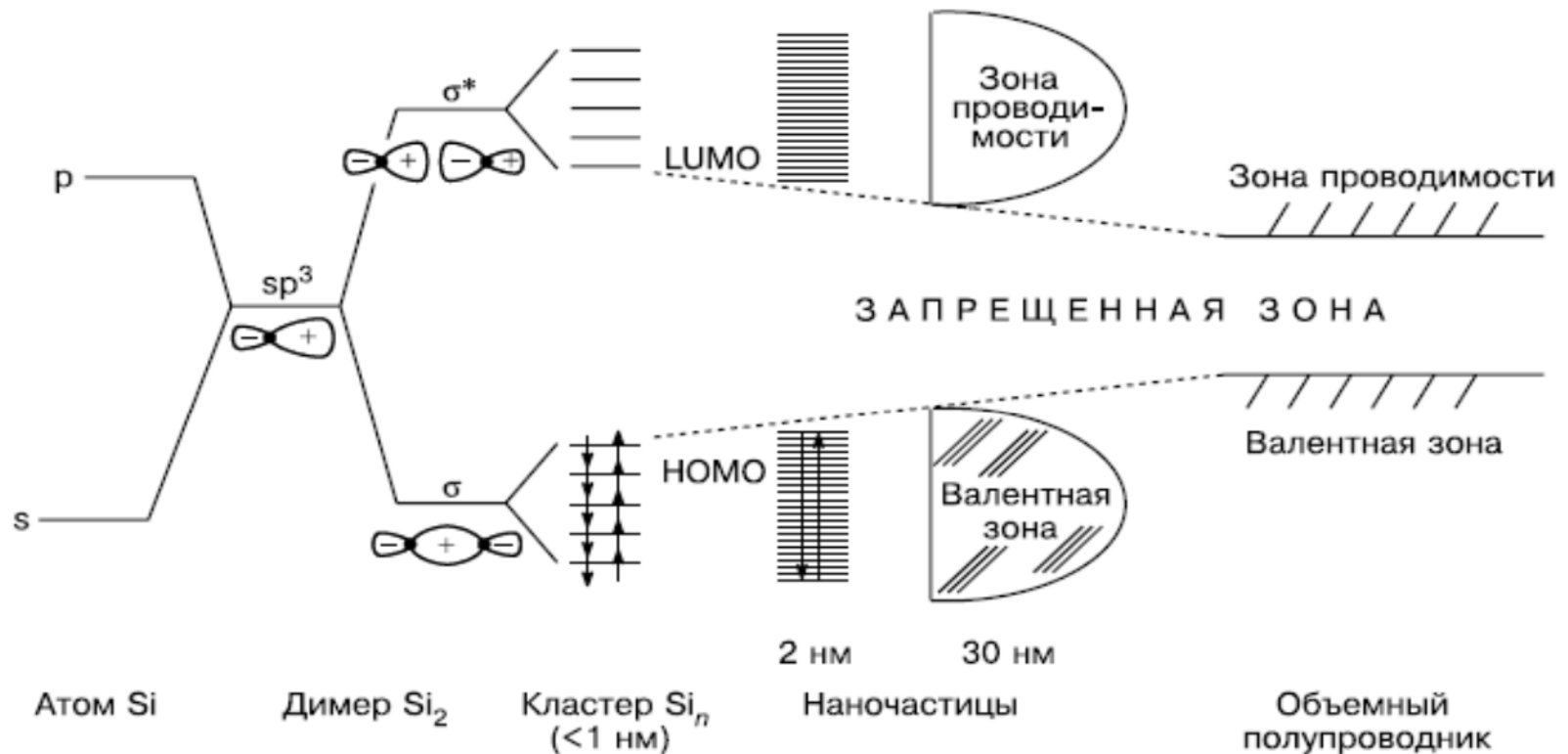


50-100 Lm/W
theory limit up to
300 Lm/W

15-20 Lm/W

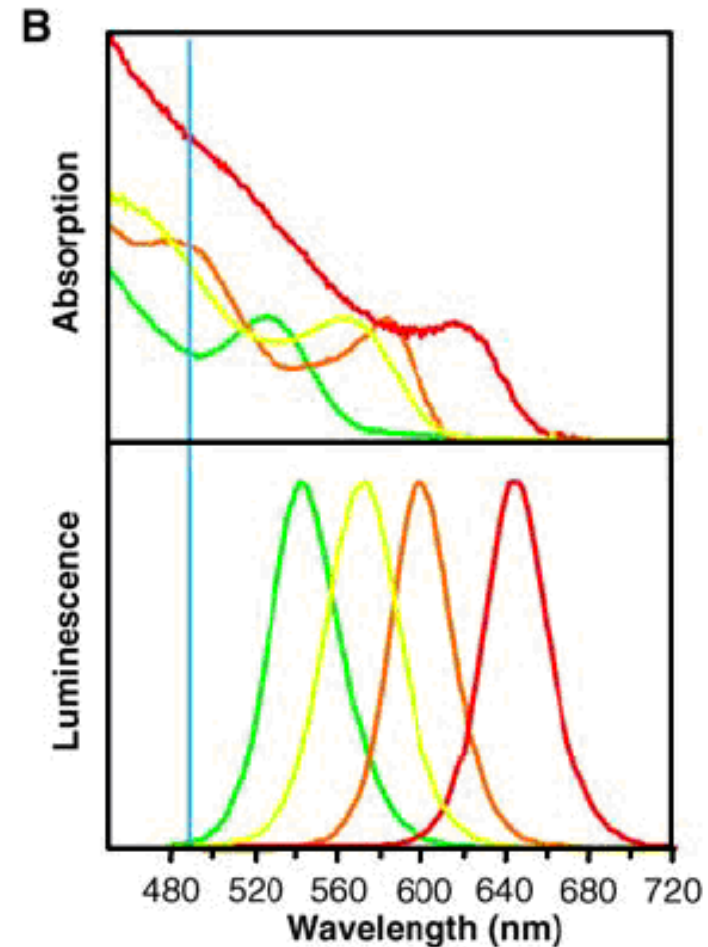
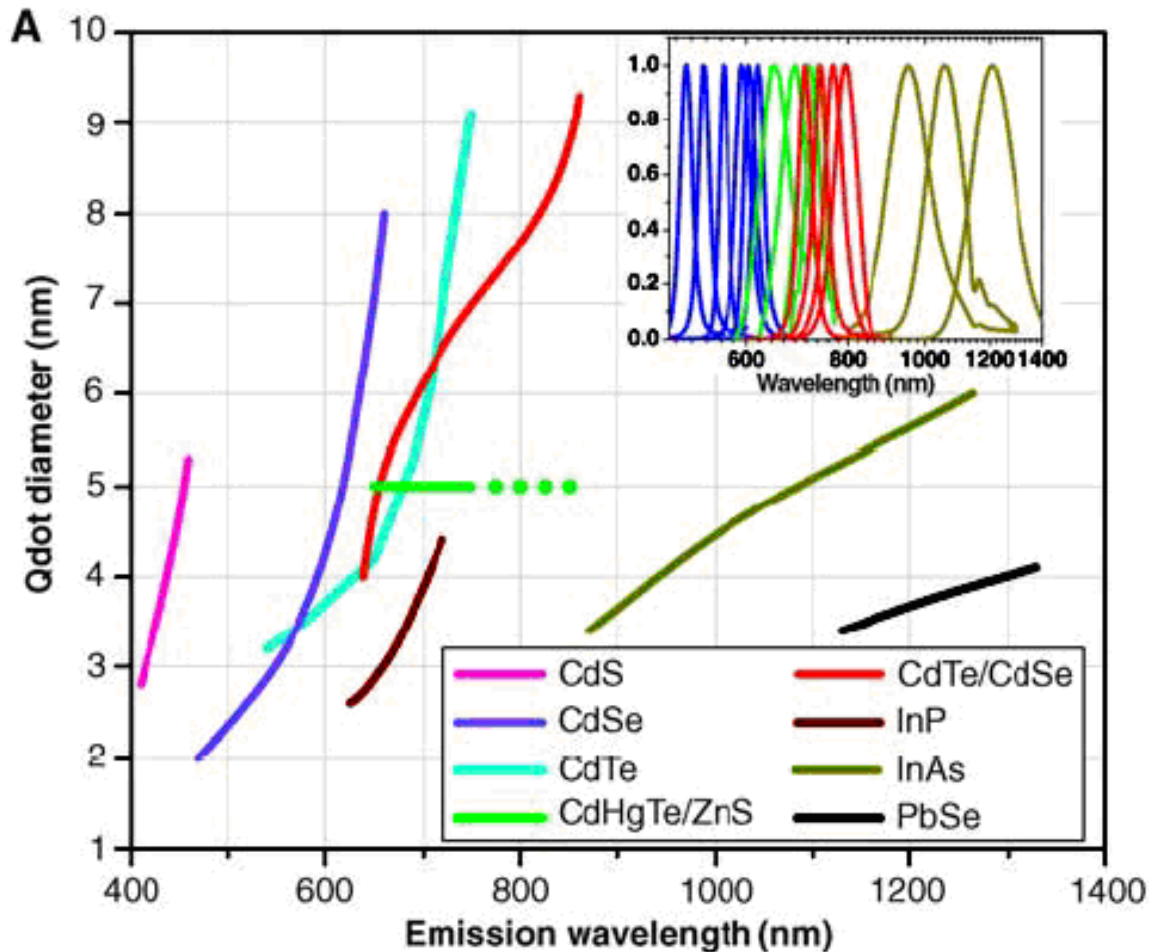
КОЛЛОИДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Квантовая точка- «искусственный атом» в виде наночастицы, в котором энергия электронных переходов определяется его геометрическим размером



Изменение структуры электронных уровней кремния при переходе атом- димер- кластер – наночастица.

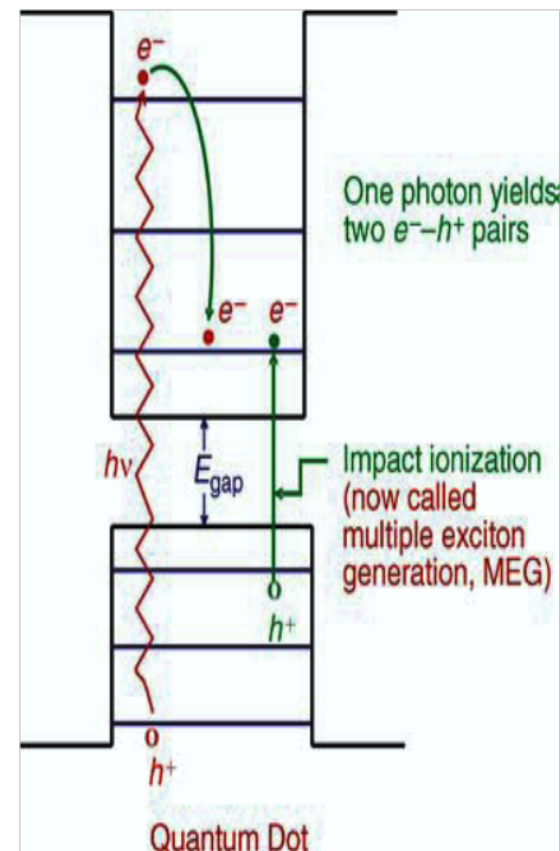
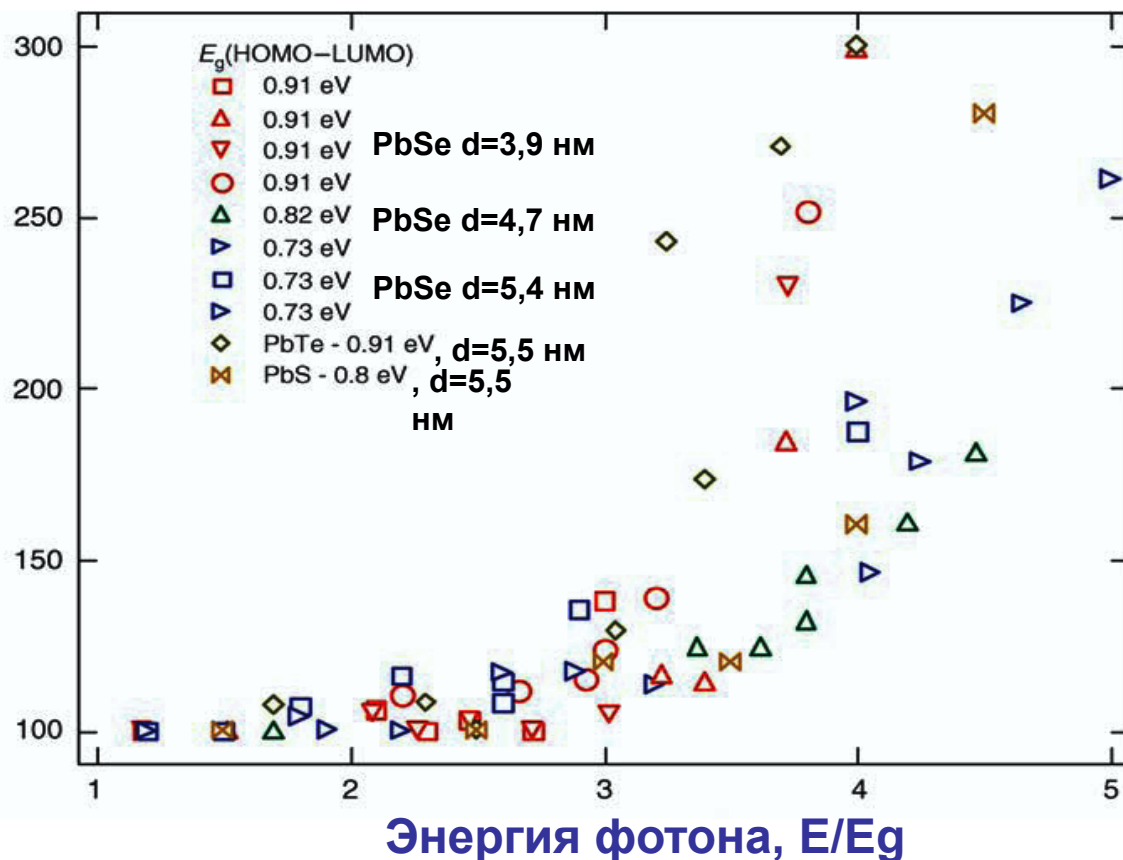
Спектрально-люминесцентные свойства коллоидных квантовых точек



X. Michalet, F.F. Pinaud, L.A. Bentolila, J.M. Tsay, S. Doose, J.J. Li, G.Sundaresan, A.M. Wu, S.S. Gambhir, S. Weiss // Science, 2005. V.307. P.538-544

МНОГОЭКЦИТОННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В КОЛЛОИДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ

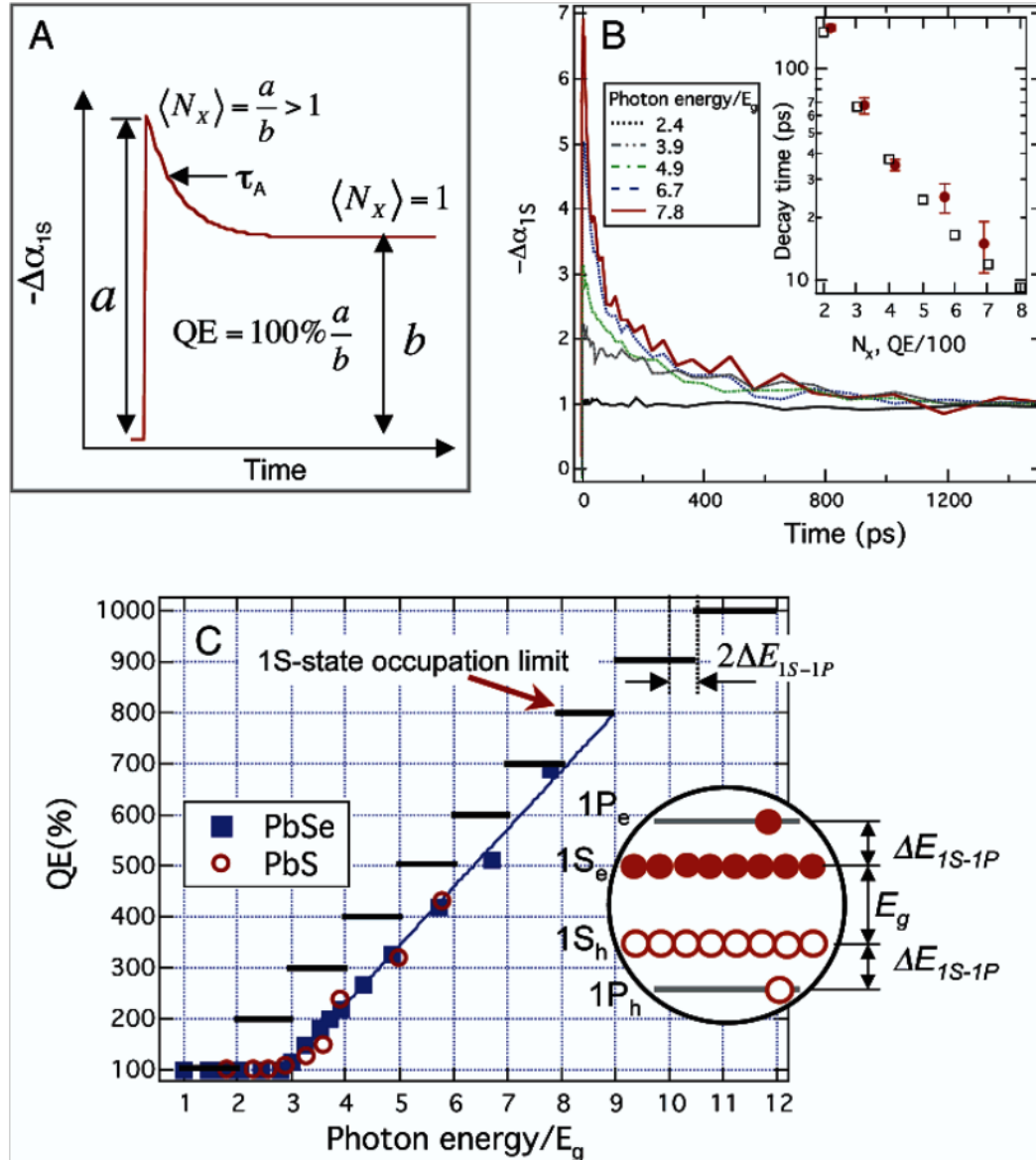
Квантовый выход, %



Antonio Luque, Antonio Martí, Arthur J. Nozik. MRS BULLETIN . V 32, 2007, P 236. Solar Cells Based on Quantum Dots: Multiple Exciton Generation and Intermediate Bands.

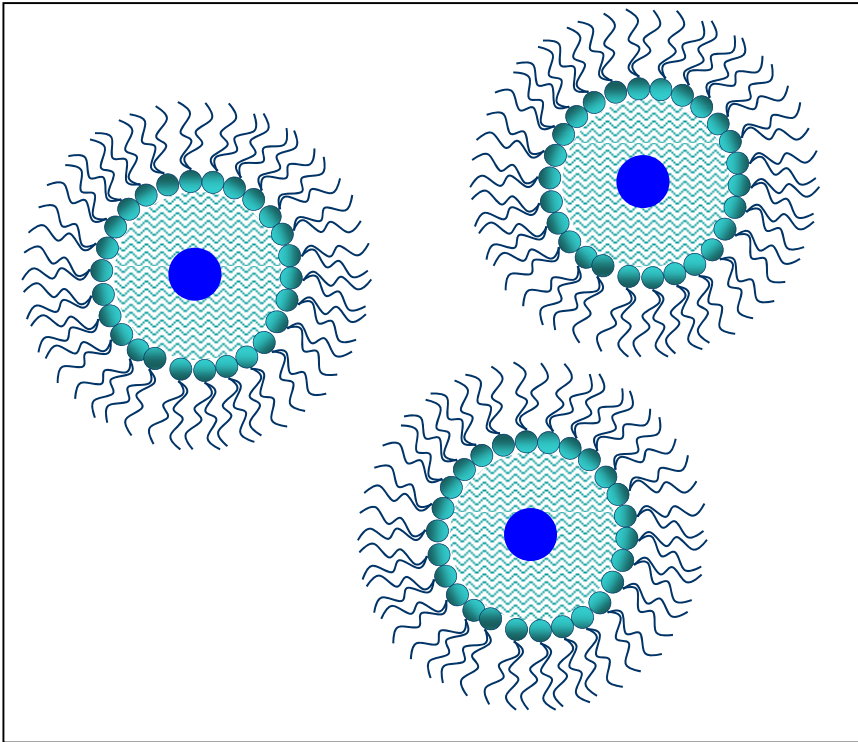
Seven Excitons at a Cost of One: Redefining the Limits for Conversion Efficiency of Photons into Charge Carriers

R.D. Schaller, M. Sykora, J.M. Pietryga, V.I. Klimov. *Nano Lett.*, 6, 424 (2006)

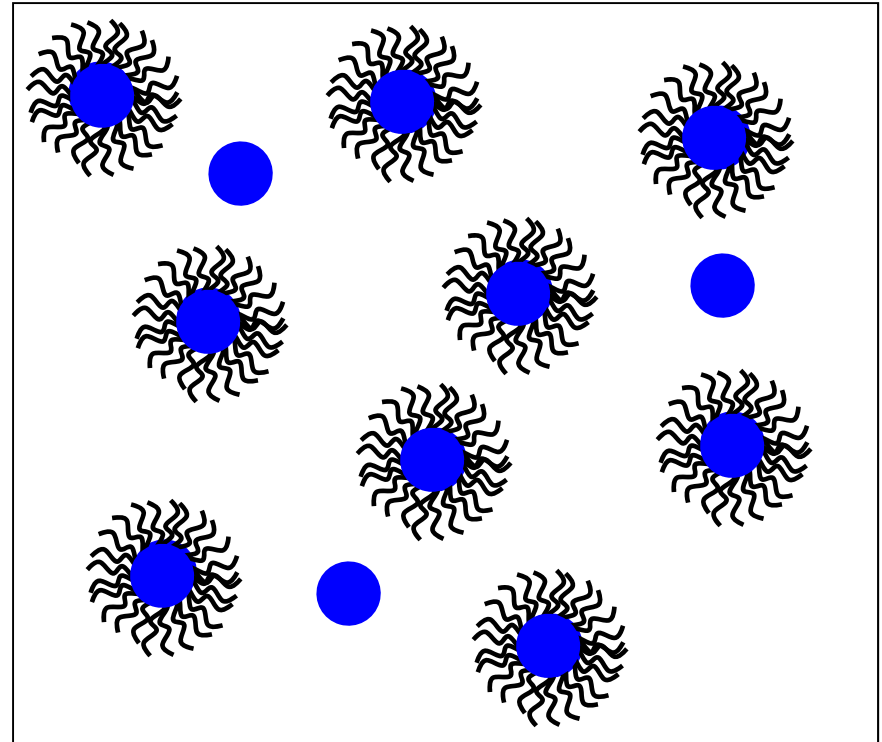


В коллоидном синтезе получение НЧ требует неперемного использования специальных добавок - поверхностно-активных веществ (ПАВ), призванных снизить величину поверхностной энергии и предотвратить укрупнение частиц за счет коагуляции. Без таких добавок НЧ склонны к бесконтрольной агрегации в результате чего резко увеличивается средний размер и ухудшается распределение.

Мицеллярный синтез

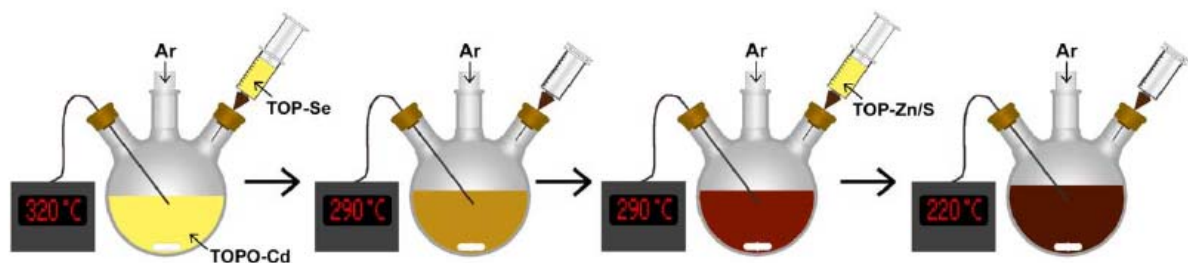


Коллоидный синтез



в присутствии ПАВ

Высокотемпературный коллоидный синтез наночастиц



TOP-Se
+
TOPO-Cd

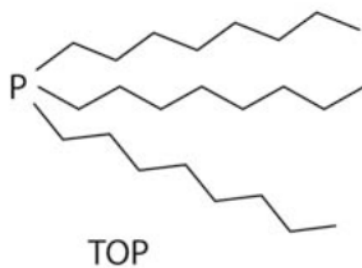
Nucleation



Growth

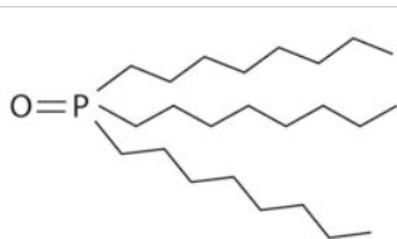


Shell Growth



TOP

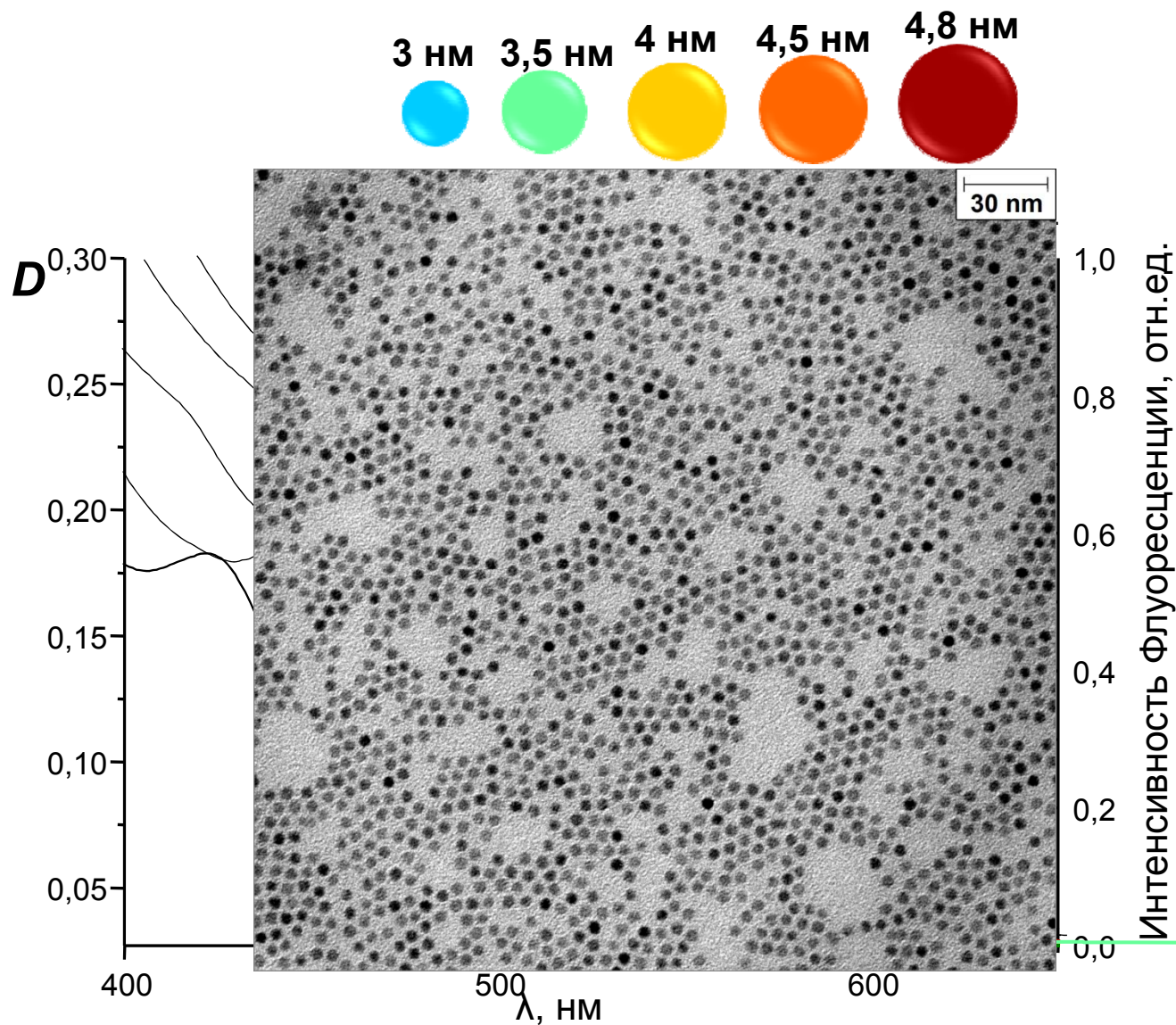
Триоктилфосфин
(C₈H₁₇)₃P



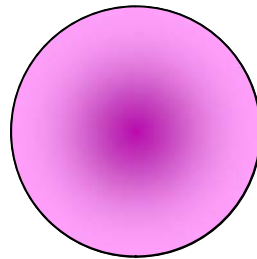
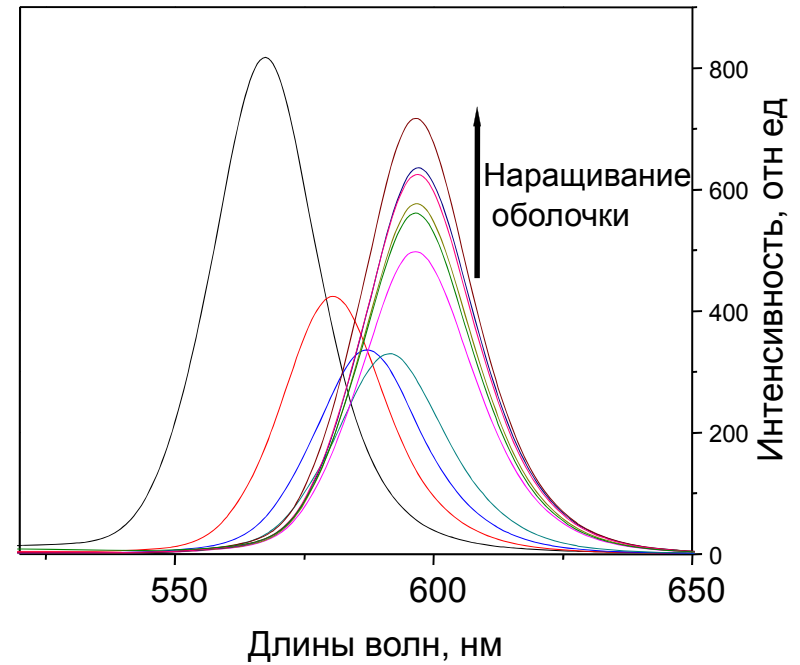
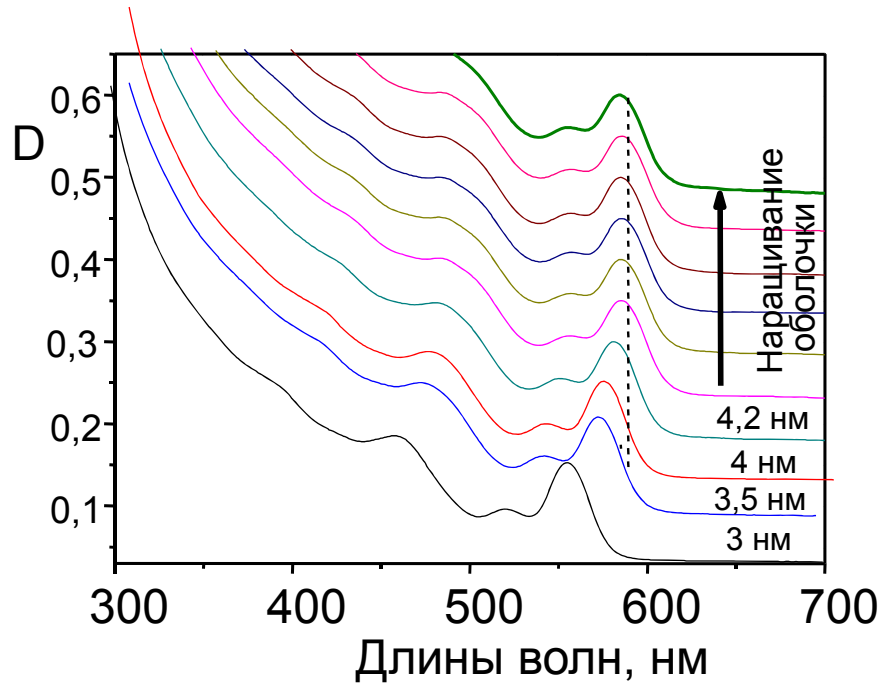
TOPO

Триоктилфосфин оксид
(C₈H₁₇)₃PO

Синтез высокооднородных наночастиц CdSe



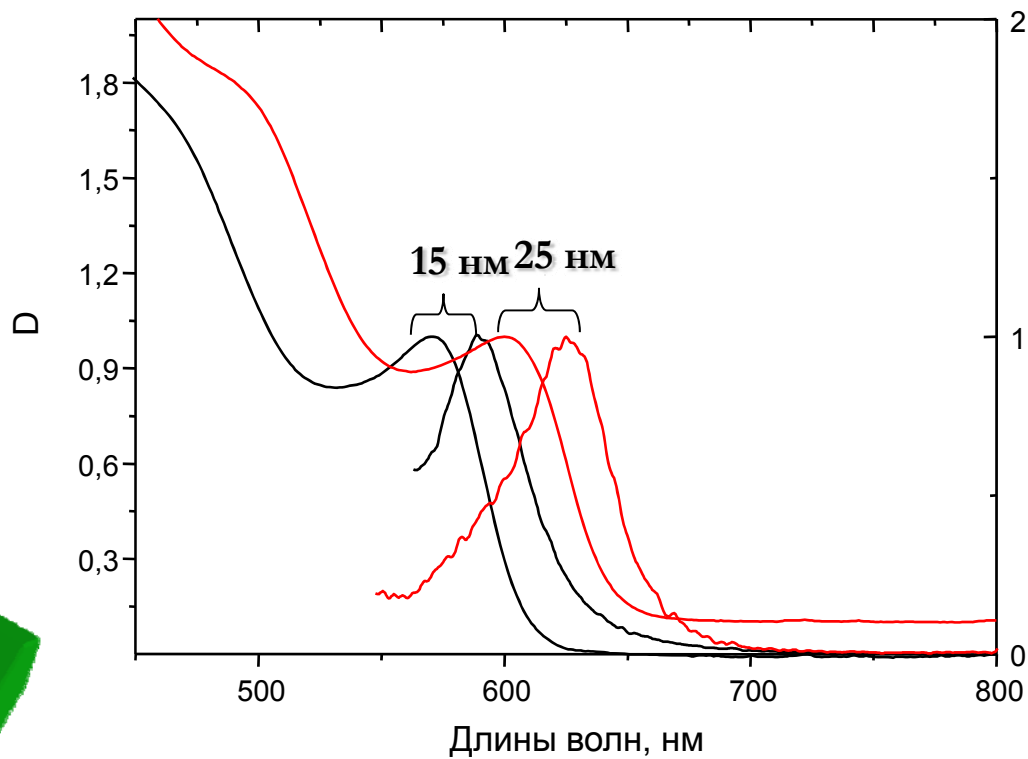
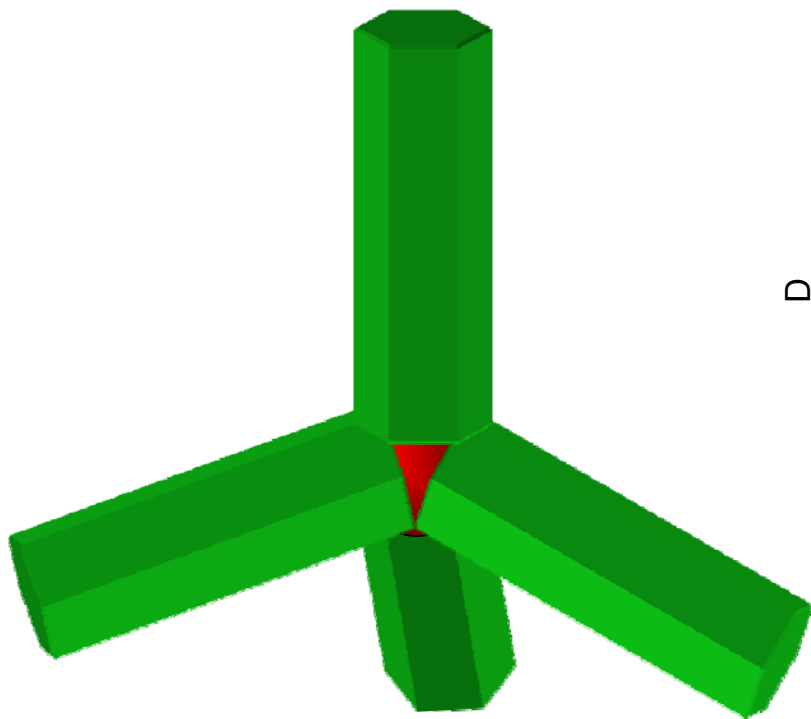
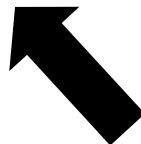
Получение НЧ CdSe@ZnSe со структурой ядро-оболочка



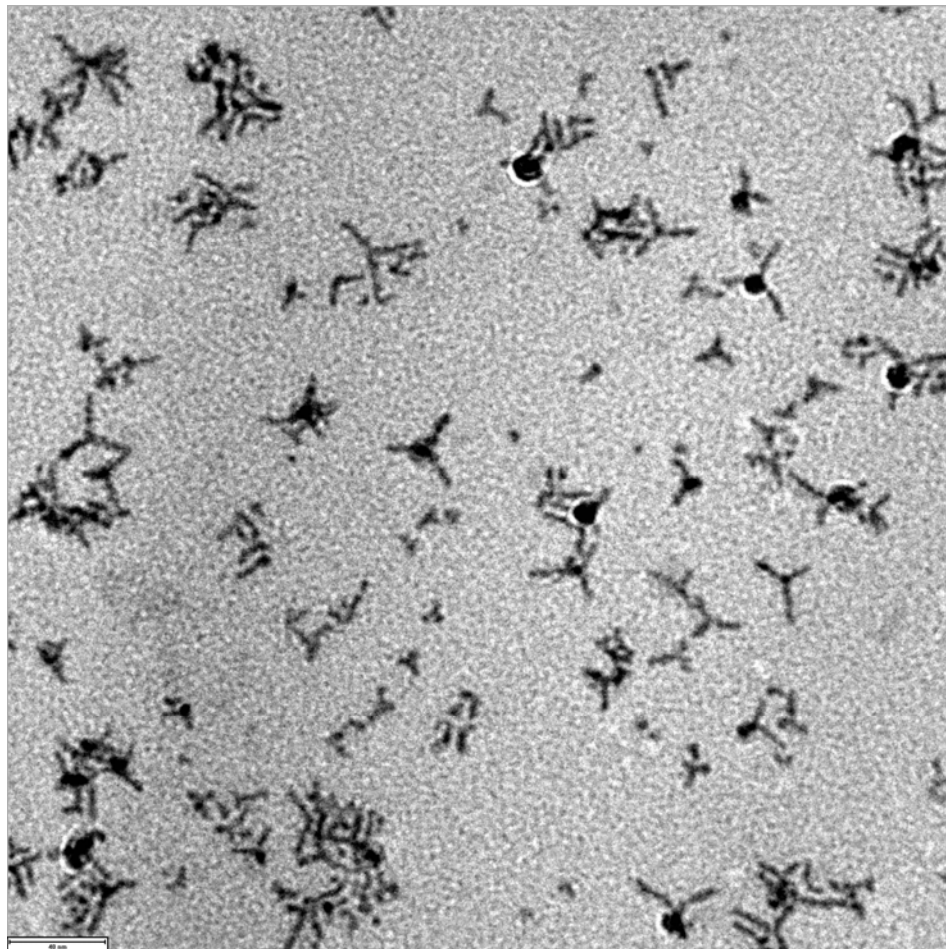
Синтез наночастиц тетраподов CdSe

ZB

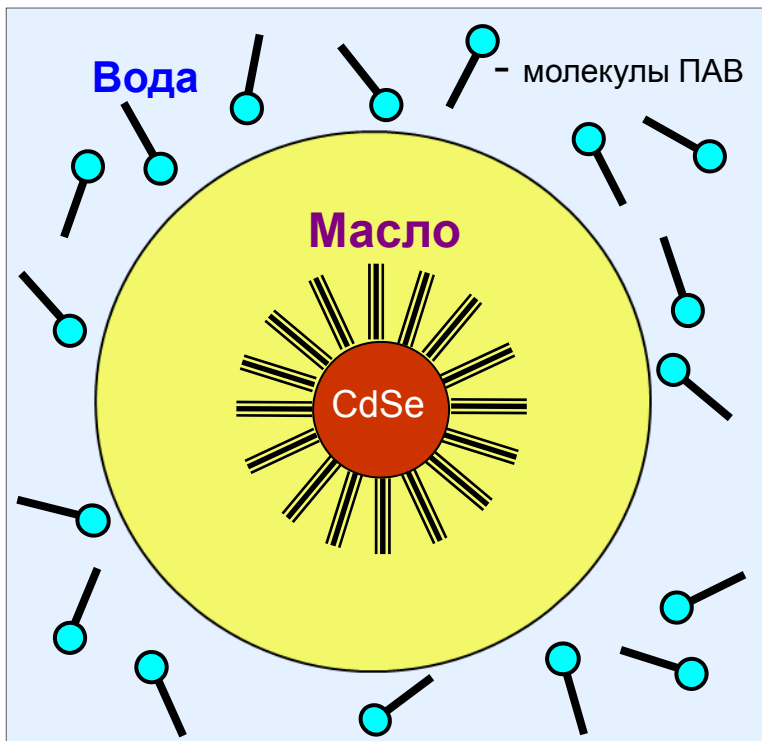
WZ



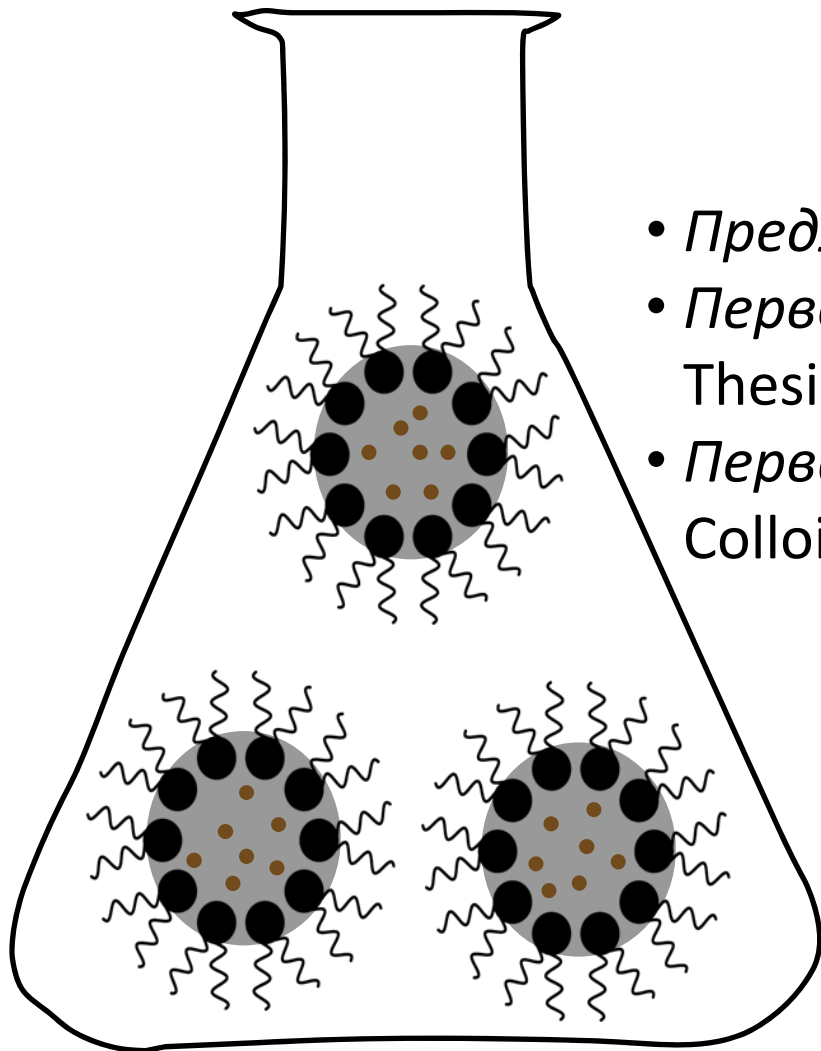
Наночастицы тетраподов CdSe



Гидрофилизация полупроводниковых квантовых точек



Синтез в обратных мицеллах



- Предложили в **1970-х** Friberg и Gault
- Первое упоминание: Boutonnet, Thesis, Strasbourg, **1980**
- Первая работа: Boutonnet et al. Colloids and Surfaces, 5, 209 (**1982**)

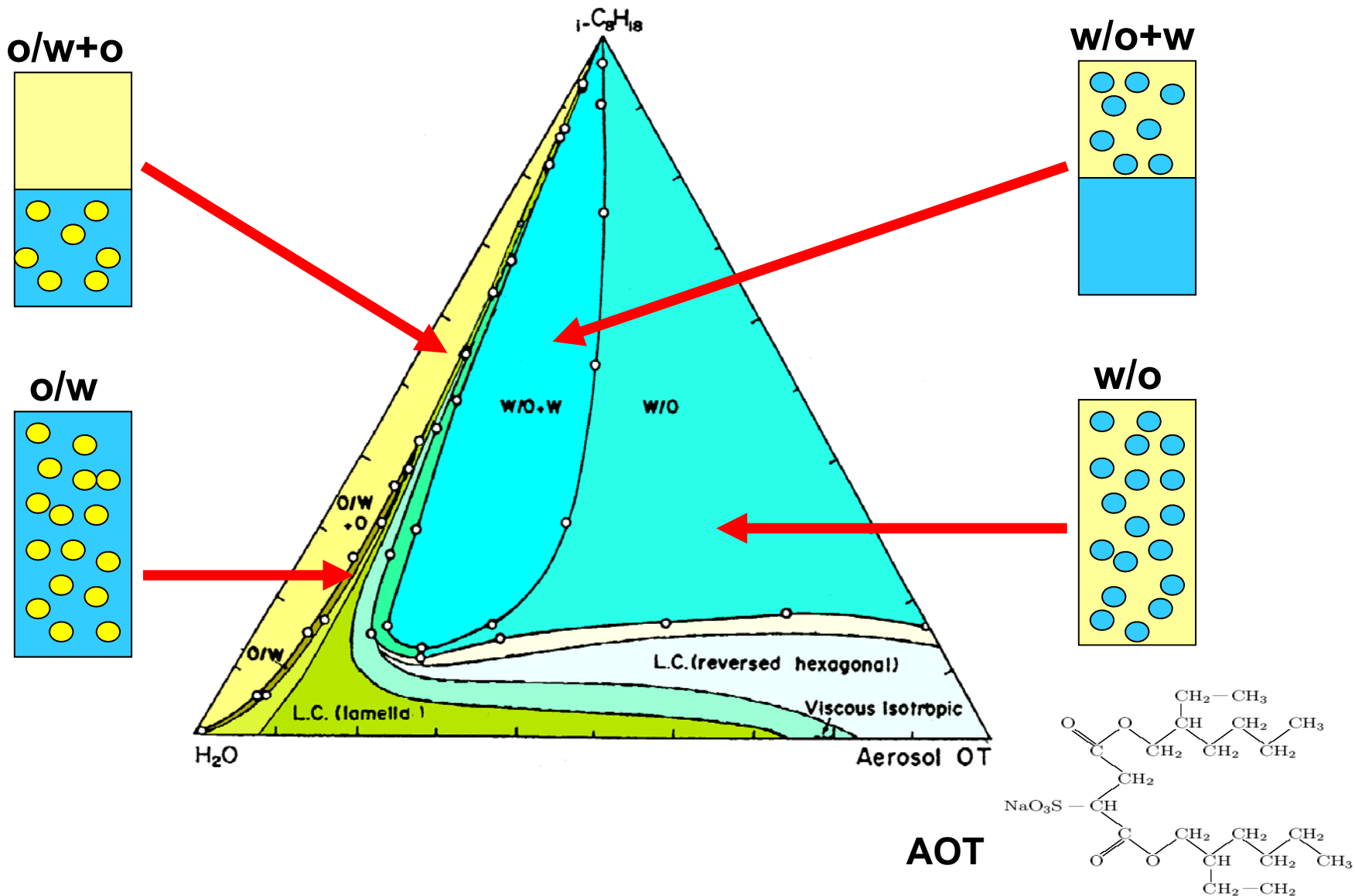


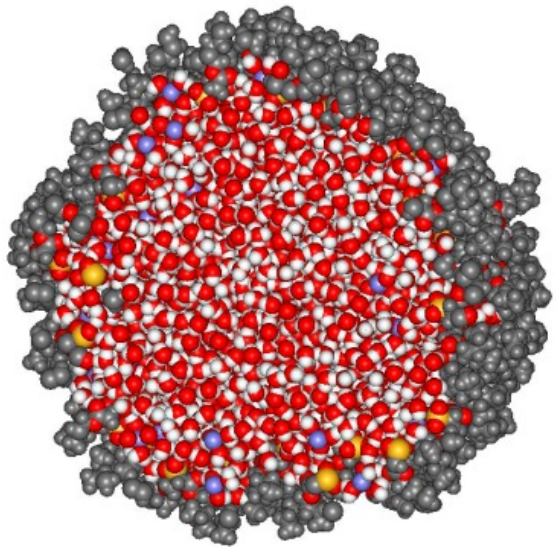
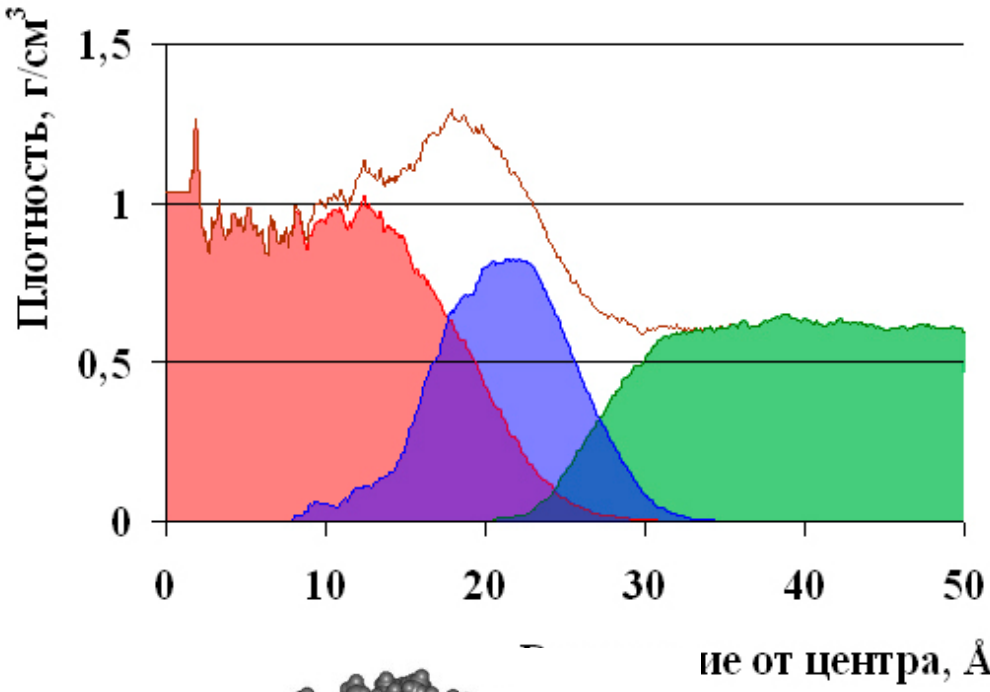
Преимущества:

- ультрамалый размер частиц
- узкое распределение

Термодинамически стабильные микроэмульсии вода-в-масле образуются при строго определенных условиях.

Фазовая диаграмма тройной системы H_2O -AOT- C_8H_{18}





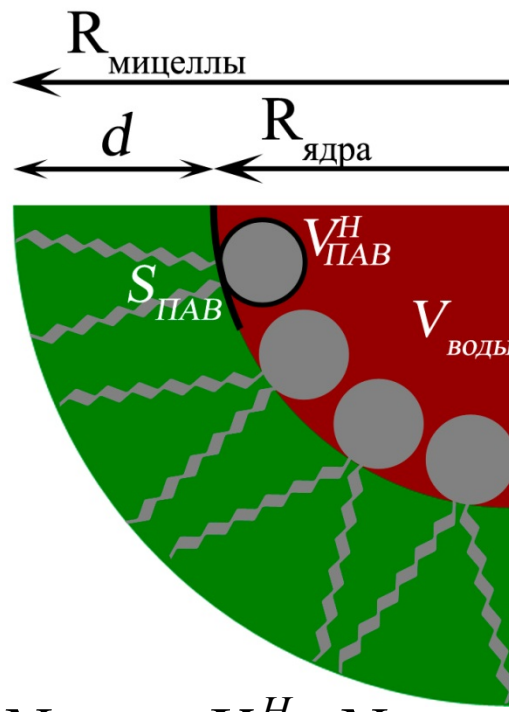
Радиус ОМ:

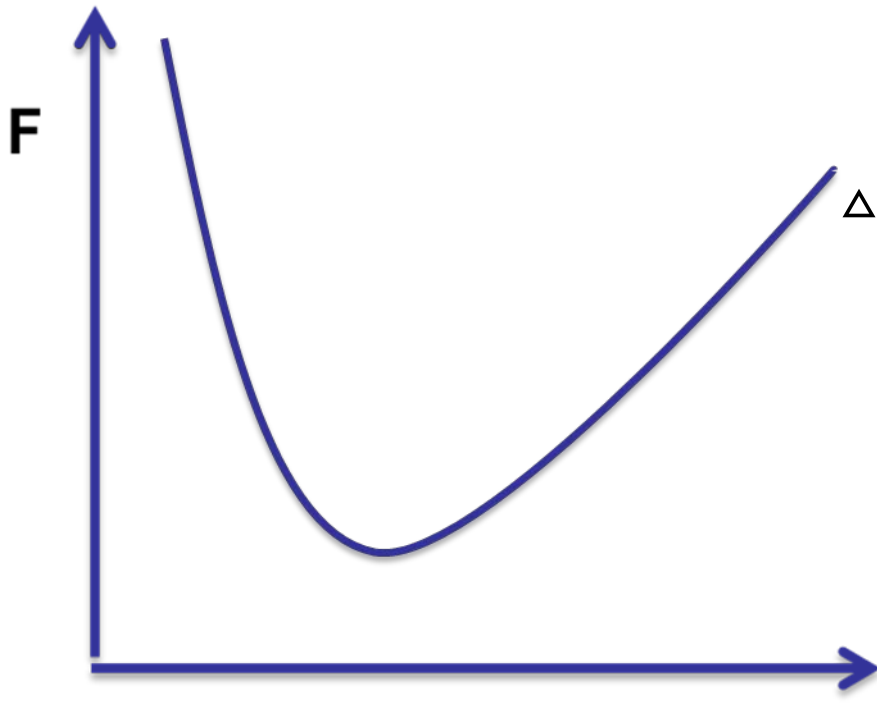
$$R_m = R_y + d$$

$$\frac{4}{3} \pi R_y^3 = V_{\text{воды}} N_{\text{воды}} + V_{\text{ПАВ}}^H N_{\text{ПАВ}}$$

$$4\pi R_y^2 = S_{\text{ПАВ}} N_{\text{ПАВ}} \quad W = \frac{N_{\text{воды}}}{N_{\text{ПАВ}}}$$

$$R_y = \frac{3V_{\text{воды}}}{S_{\text{ПАВ}}} W + \frac{3V_{\text{ПАВ}}^H}{S_{\text{ПАВ}}}$$





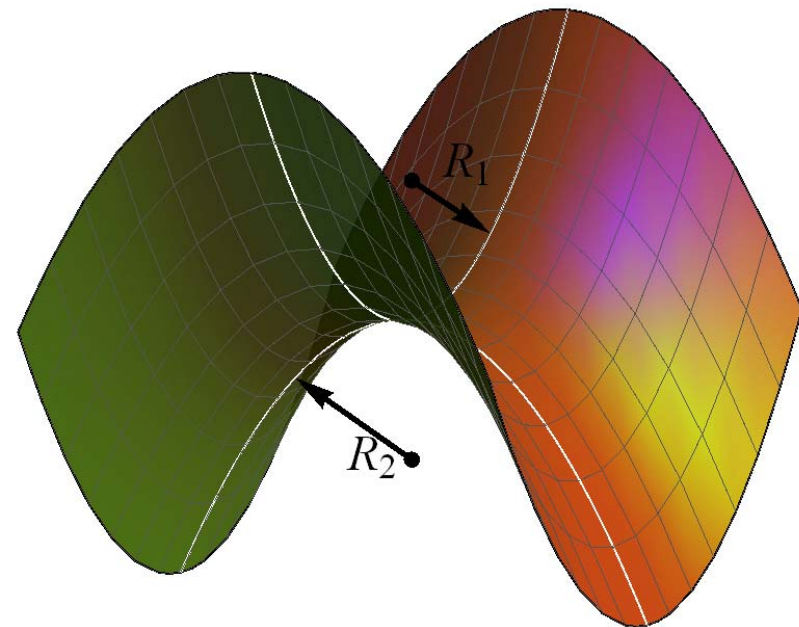
$$\Delta F = \Delta E - T \Delta S$$

$$\Delta S = N \ln \frac{N+n}{N} + n \ln \frac{N+n}{n} \approx n \ln \frac{N}{n}$$

$$\Delta F = n(4\pi R^2 \sigma - T \ln \frac{N}{n})$$

$$4\pi R^2 \sigma \leq T \ln \frac{N}{n}$$

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{\kappa}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{2}{R_S} \right)^2 + \frac{\kappa_G}{R_1 R_2}$$



κ – жёсткость поверхности,
 κ_G – гауссова жёсткость,
 R_S – радиус спонтанной кривизны
 R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны

Термодинамика образования обратных мицелл

Термодинамический потенциал при $N_{\text{ПАВ}} = \text{const}$ в зависимости от радиуса R :

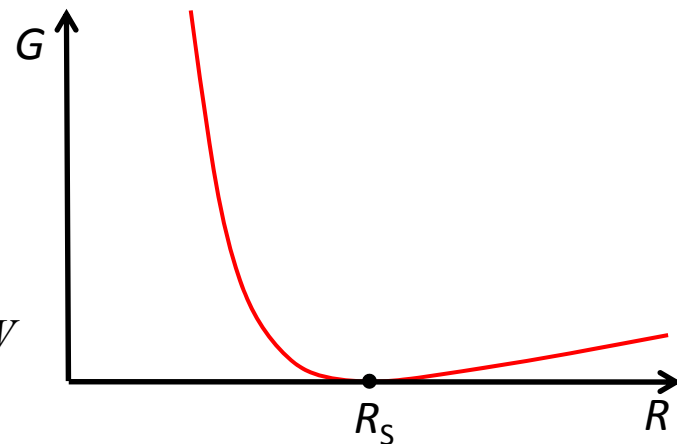
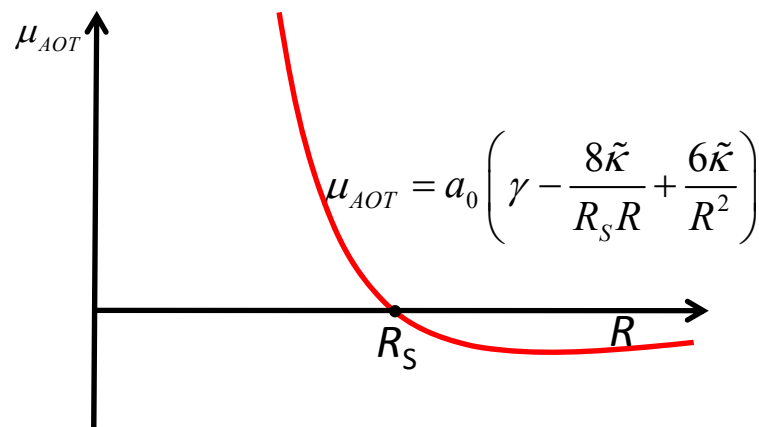
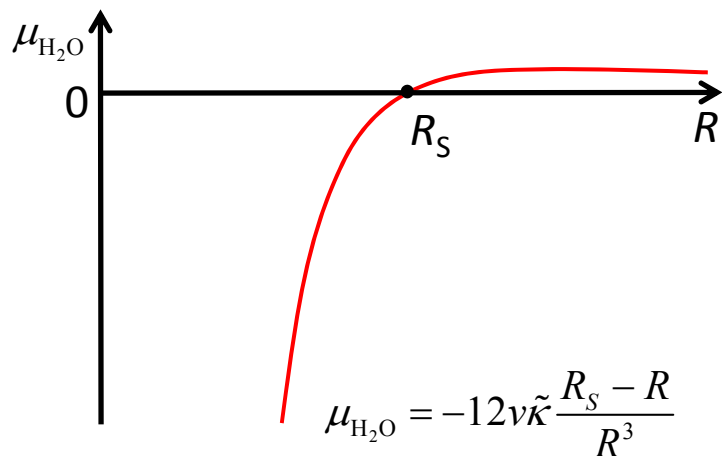
$$G(R) = N_{\text{АОТ}} a_0 \sigma(R) = N_{\text{АОТ}} a_0 \times \left(\gamma - \frac{4\tilde{\kappa}}{R_S R} + \frac{2\tilde{\kappa}}{R_S^2} \right)$$

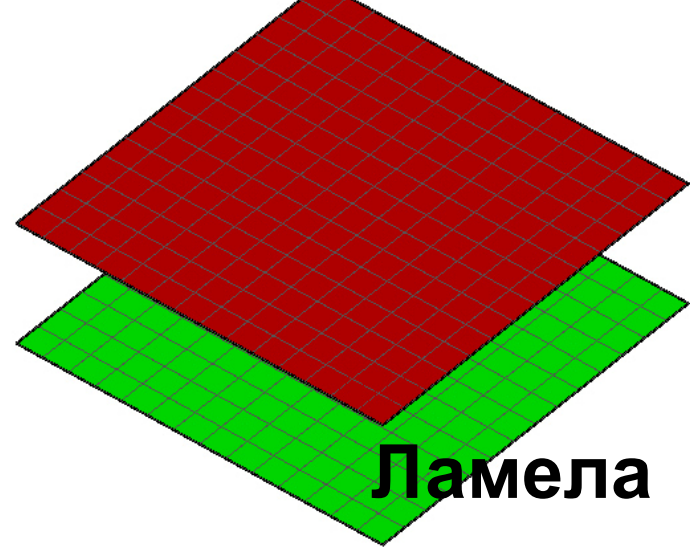
$$G(R) = \mu_{\text{АОТ}} N_{\text{АОТ}} + \mu_{\text{H}_2\text{O}} N_{\text{H}_2\text{O}}, \quad R \approx \frac{3\nu N_{\text{H}_2\text{O}}}{a_0 N_{\text{АОТ}}} = \frac{3\nu W}{a_0}$$

С учётом уравнения Гиббса-Дюгема

$$N_{\text{АОТ}} d\mu_{\text{АОТ}} + N_{\text{H}_2\text{O}} d\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0$$

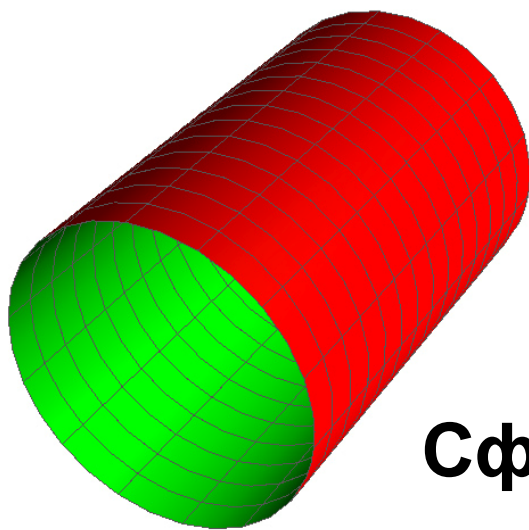
можно получить зависимости от R химически[потенциалов воды и ПАВ:



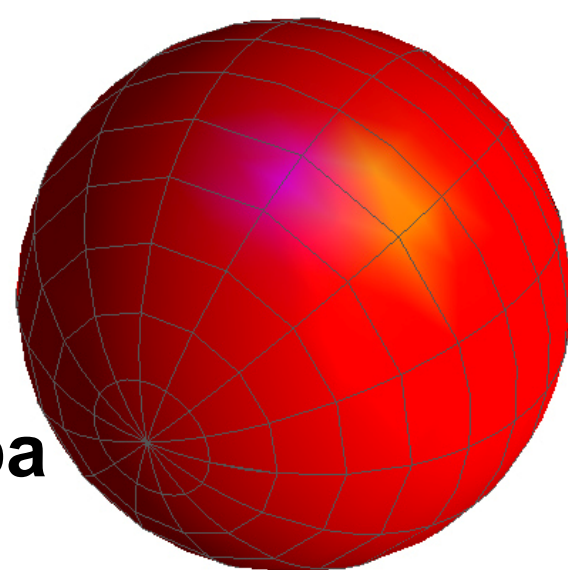


Ламела

$$\bar{\kappa}_G = 0$$

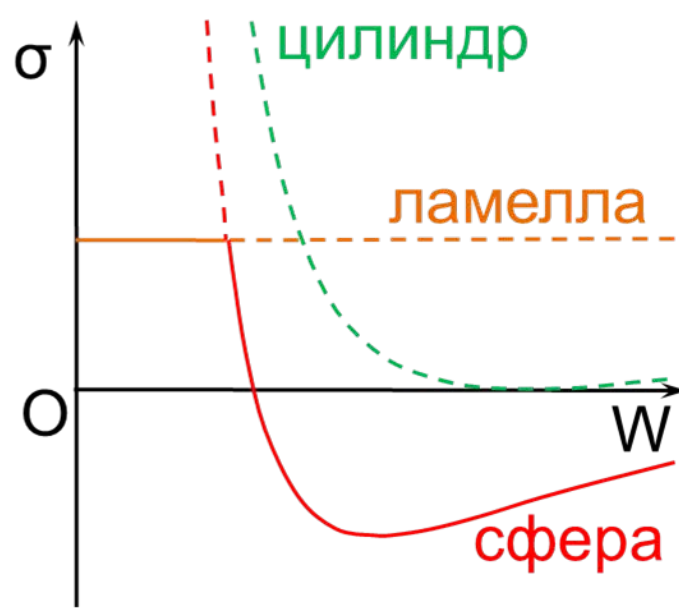
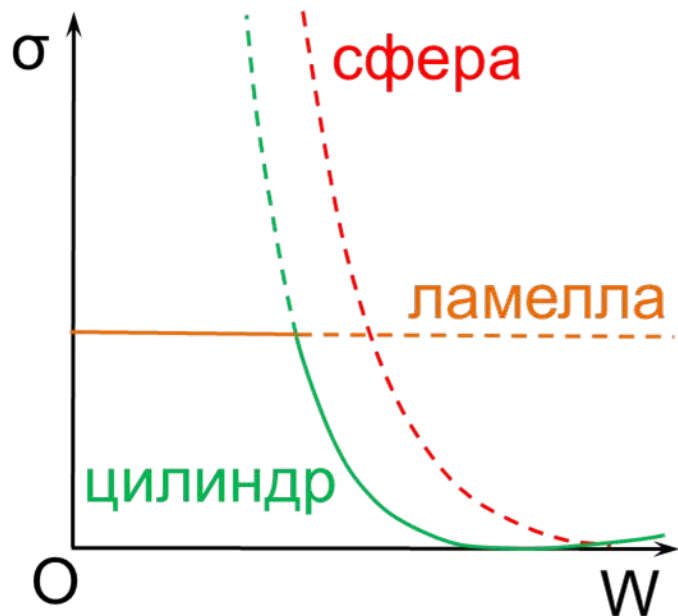


Цилиндр

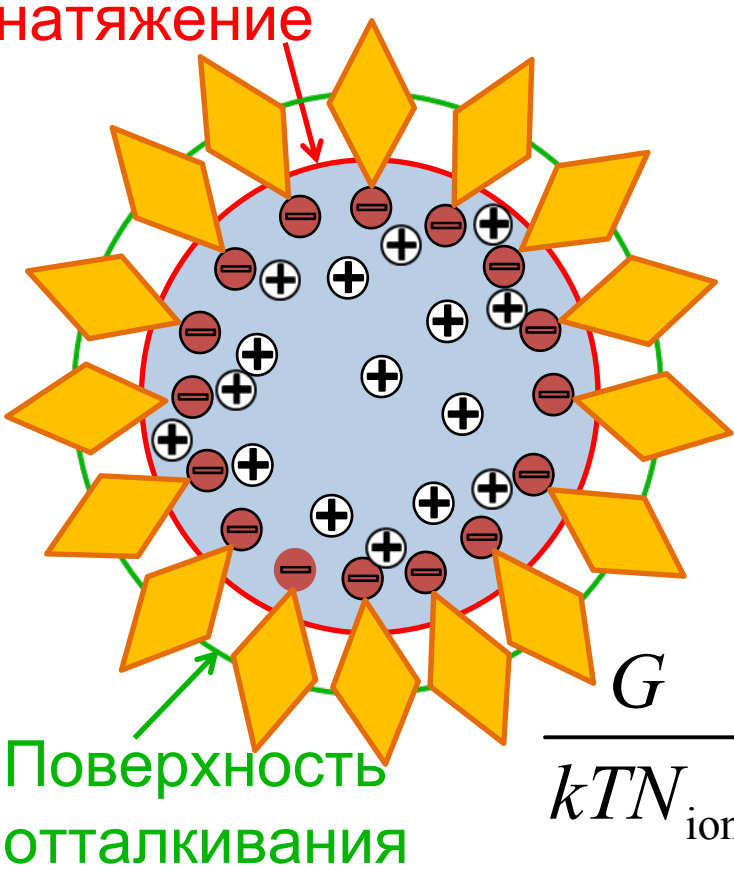


Сфера

$$\bar{\kappa}_G / \kappa < -1/2$$



Поверхностное натяжение Уравнение Пуассона–Больцмана



$$\Delta\varphi = \frac{-qc_0}{\varepsilon\varepsilon_0} \exp\left(-\frac{q\varphi}{kT}\right)$$

$$G = G_{\text{el}} + G_{\text{mix}} =$$

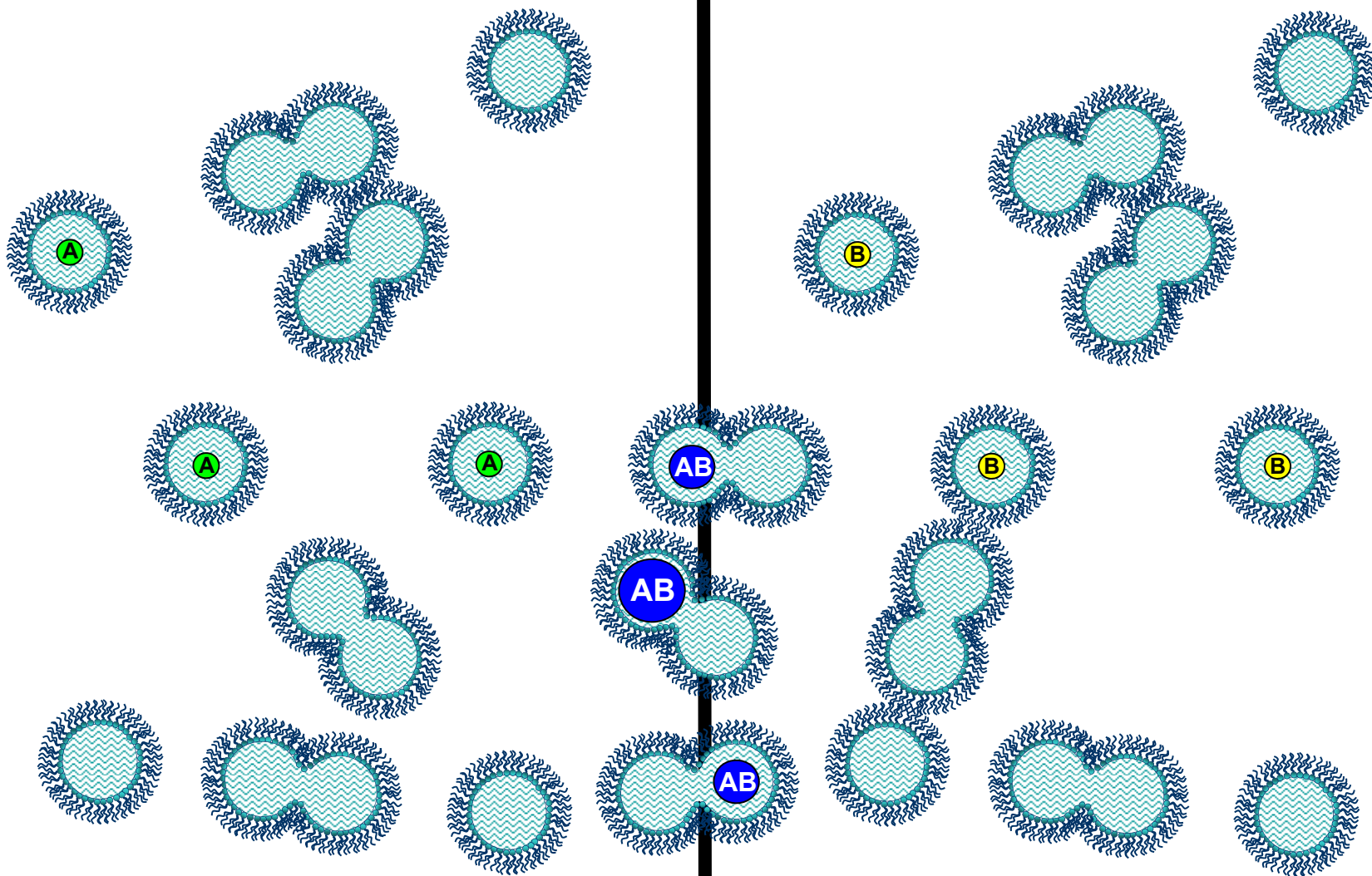
$$= \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{2} \int (\nabla\varphi)^2 dV + kT \int c \ln cdV$$

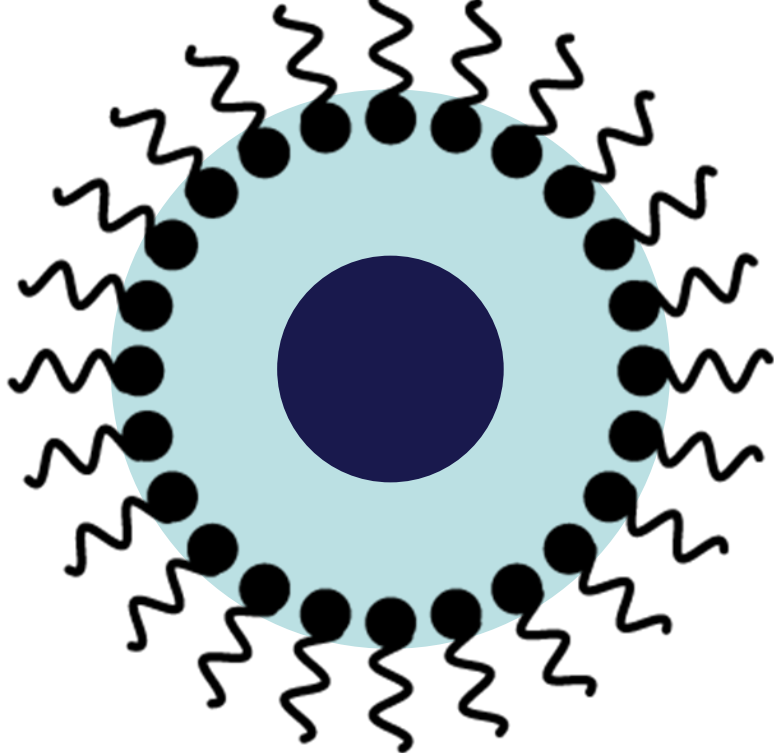
$$\frac{G}{kTN_{\text{ion}}} + \ln(v e W_0) = y_0 \cot y_0 - 2 \ln \sin y_0,$$

$$W_0 = 2kT(a_0 / q)2\varepsilon\varepsilon_0 / v_{\text{H}_2\text{O}} \quad y_0 \operatorname{tg} y_0 = W / W_0$$

$$\frac{G}{kTN_{\text{ion}}} + \ln(vW_0e) = \ln\left(1 + \frac{\alpha W_0}{W}\right) + \frac{\beta}{W} \ln\left(1 + \frac{\gamma W_0}{W}\right),$$

Формирование НЧ происходит в результате химической реакции внутри пулов с ограниченным объемом и контролируется процессами межмицеллярного обмена. Полученные НЧ ограничены размерами водного пула, а мицеллярные оболочки предотвращают их агрегацию.



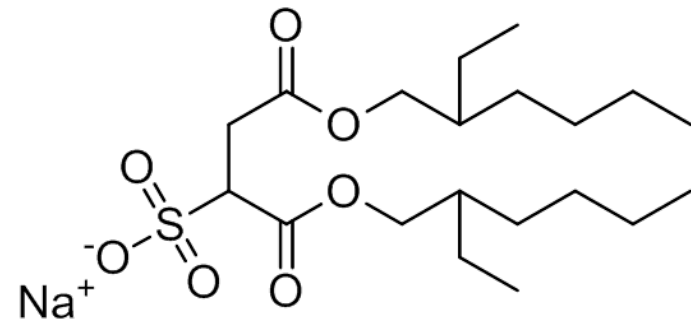
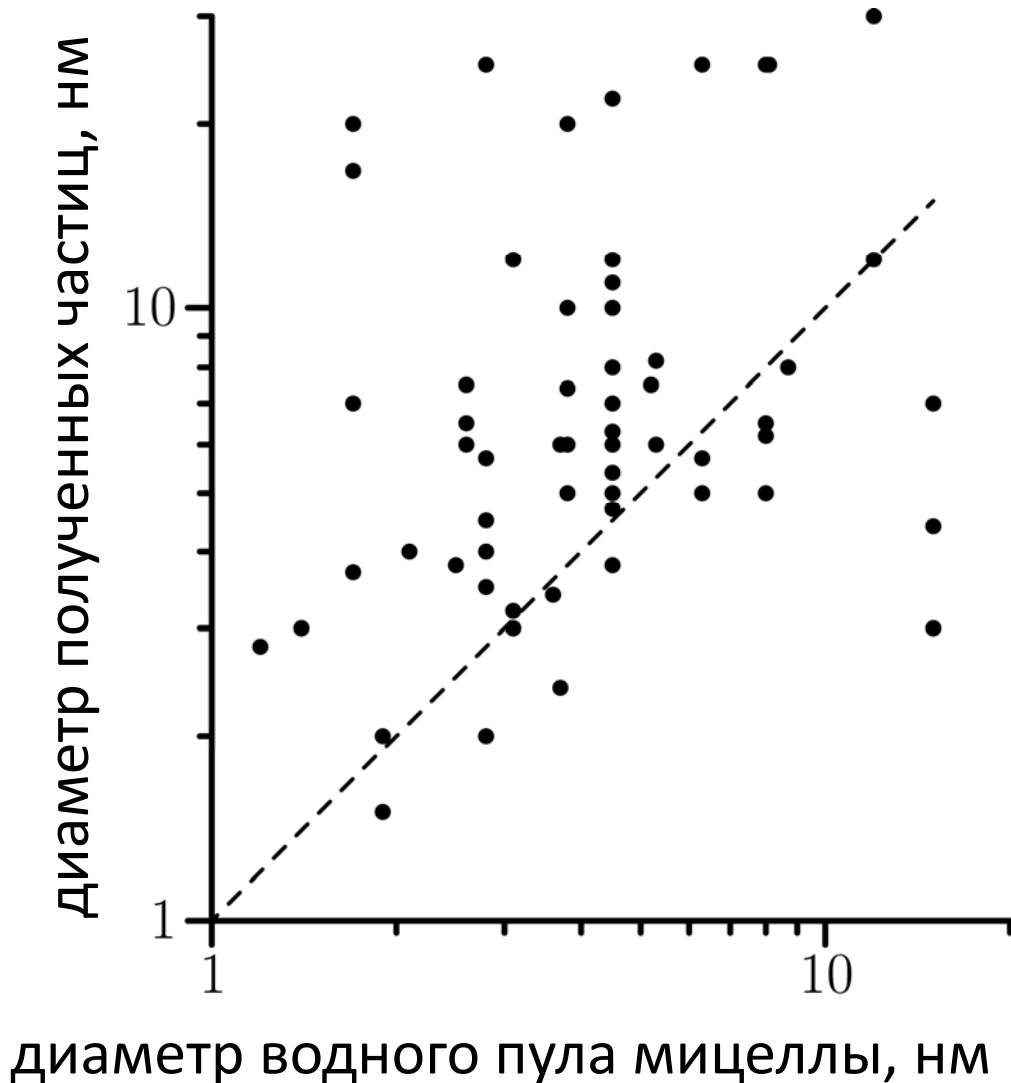


**Упрощенное традиционное
представления о
«жестком» ограничении
роста наночастицы
оболочкой обратной
мицеллы оказалось
принципиально
неправильным**

Вещество	Предельное пересыщение	Типичное пересыщение
CdS	13	10^4
AgCl	19	10^4
BaSO ₄	1724	10^4

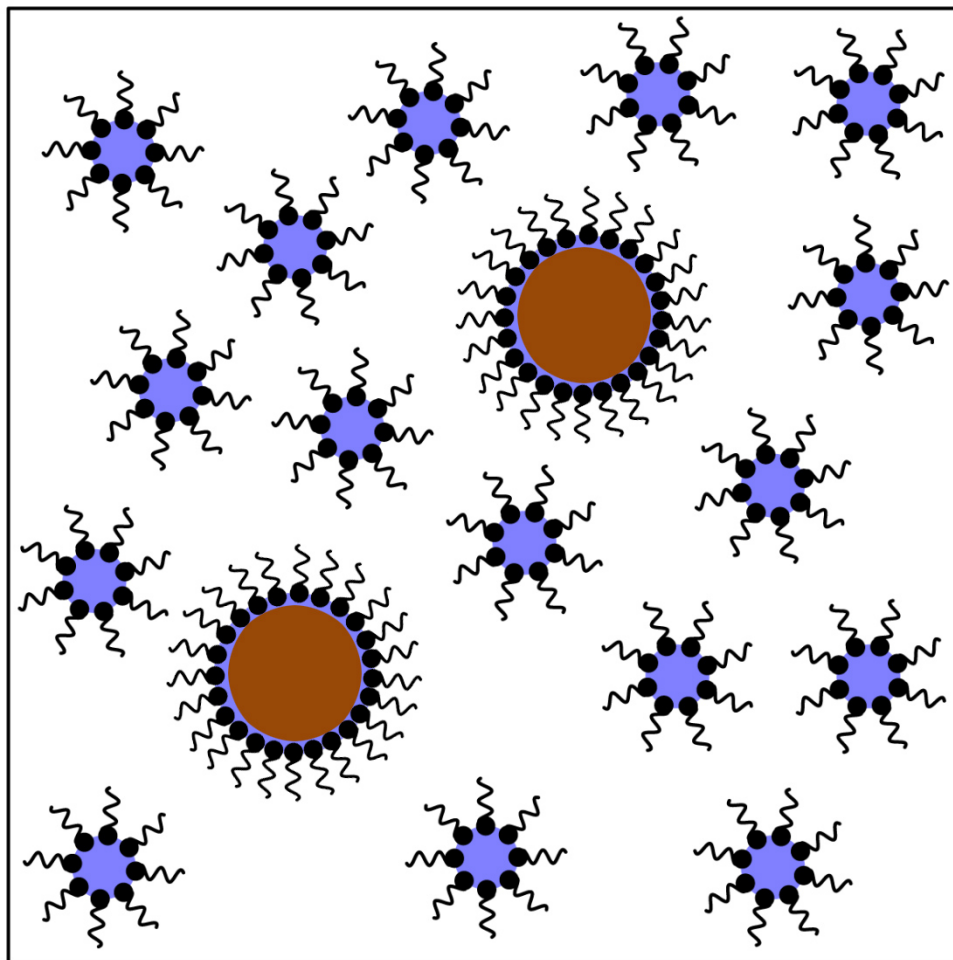
Размер частиц – Размер пулов

Эксперименты для АОТ

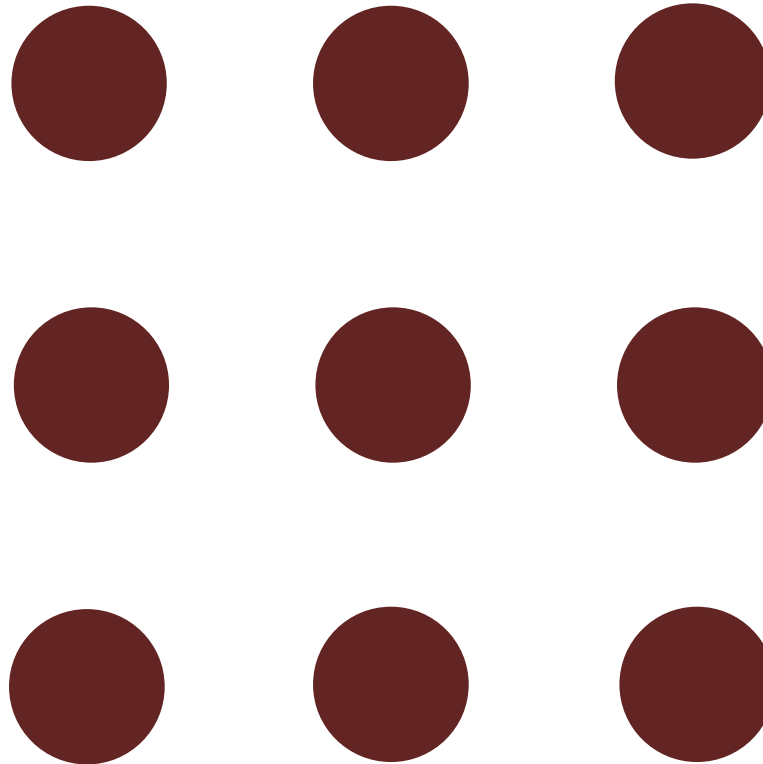


С.А.Товстун, В.Ф.Разумов.
«Получение наночастиц в обратных микроэмульсиях»
Успехи химии. Том 80, №10, 2011 г, с.996

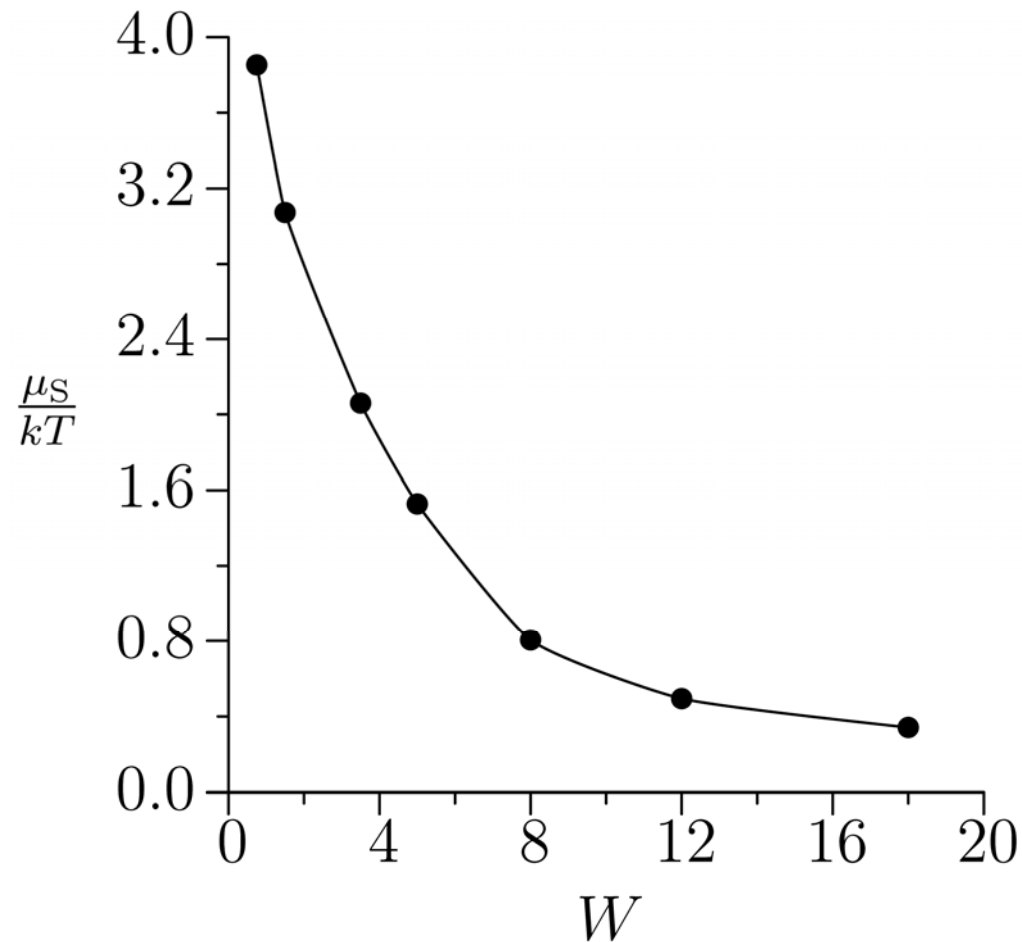
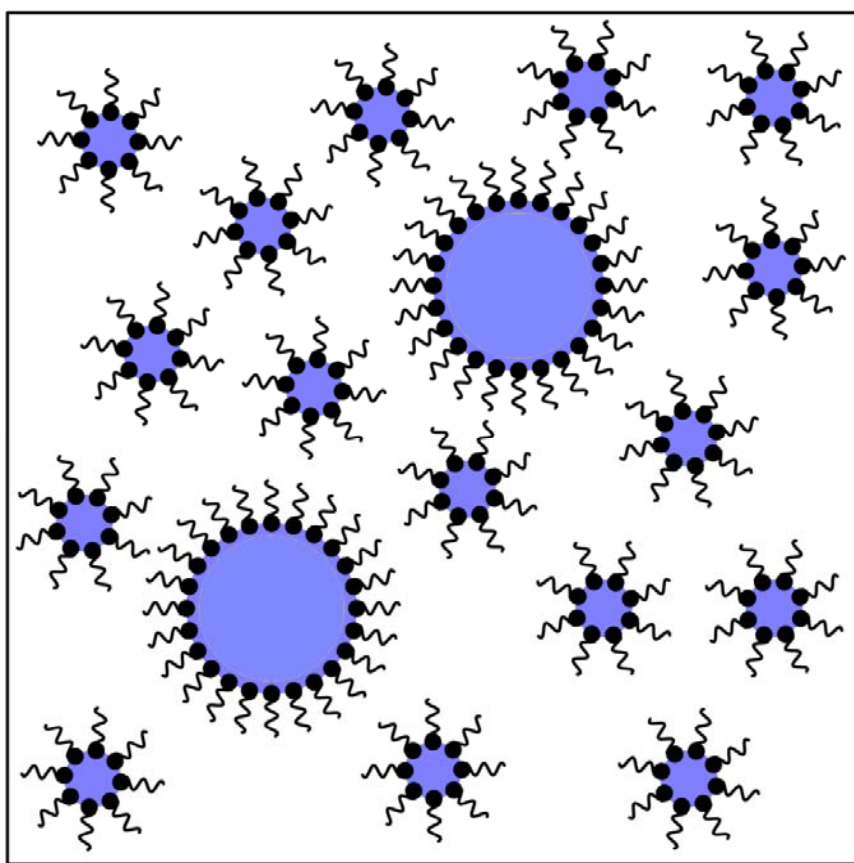
Поот



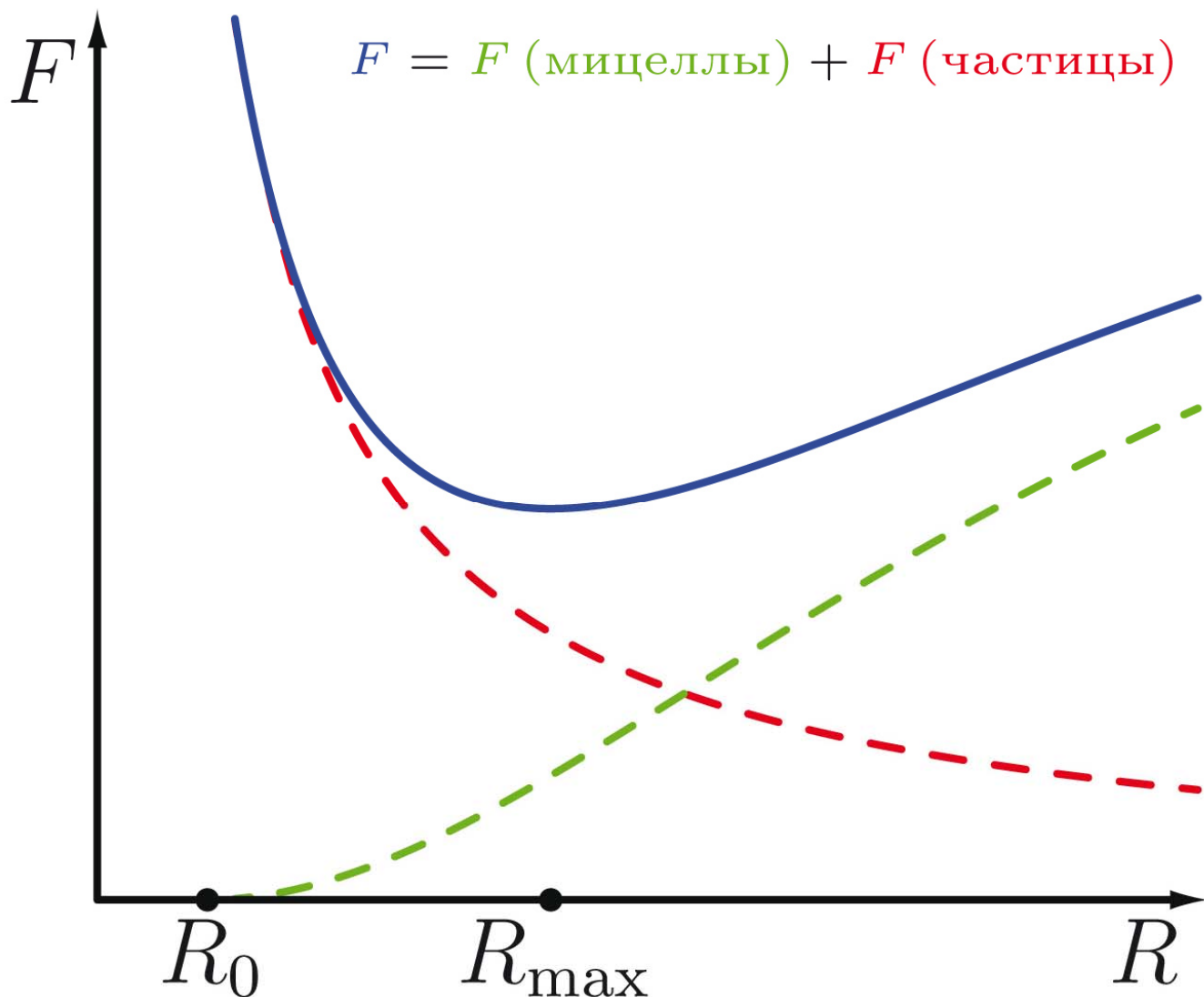
**Движущей силой роста частиц является
уменьшение поверхностной энергии
растущей наночастицы**



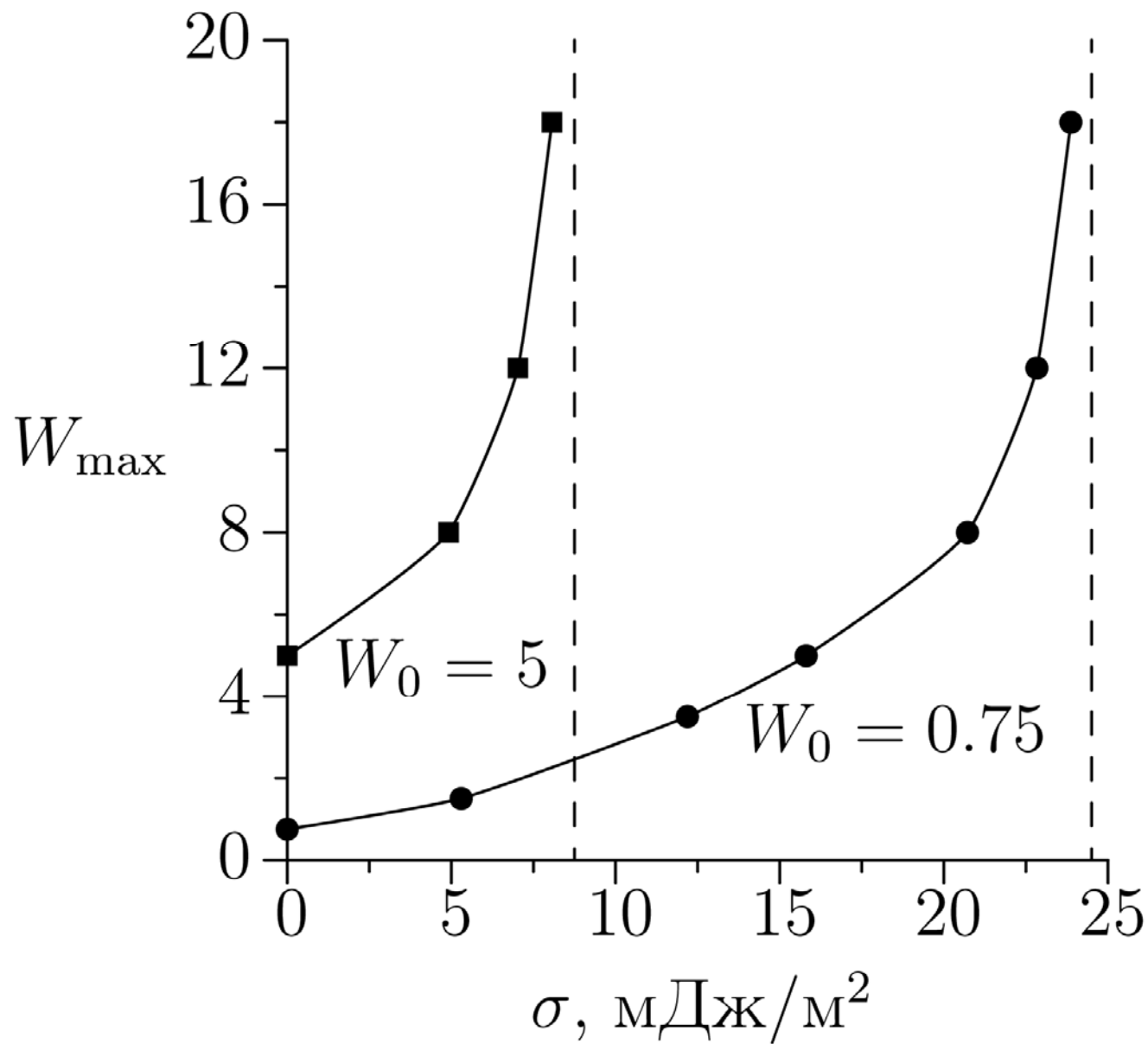
Зависимость химического потенциала молекул ПАВ от размера мицелл



Минимум свободной энергии



С.А.Товстун, В.Ф.Разумов. «О возможности ограничения роста наночастиц оболочками обратных мицелл» Известия РАН, сер. хим. 2011, №6, С.1177



Зависимость размера наночастиц, стабилизируемых в обратных мицеллах, от величины их поверхностной энергии.

$$\mu_{\text{ПАВ}}(W_0) - \mu_{\text{ПАВ}}(W) > \sigma a$$

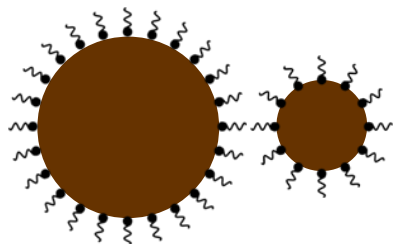
- $\mu_{\text{ПАВ}}(W)$ – хим. потенциал ПАВ
- $W = [\text{вода}]/[\text{ПАВ}]$
- W_0 – для исходных мицелл
- σ – поверхностное натяжение частиц
- a – площадь на одну молекулу ПАВ

Ограничение роста частиц возможно только при $\sigma < 30$ мДж/м²

С.А.Товстун, В.Ф.Разумов. «О возможности ограничения роста наночастиц оболочками обратных мицелл» Известия РАН, сер. хим. 2011, №6, С.1177

Коагуляционный рост частиц в растворах обратных мицелл

Приближение Дерягина



$$\frac{dc_i}{dt} = \sum_{0 < j < i} k_{j,i-j} c_j c_{i-j} - 2c_i \sum_{0 < j} k_{i,j} c_j$$

$$k_{i,j} = k_0 \exp\left(\frac{-E_A(i,j)}{kT}\right)$$

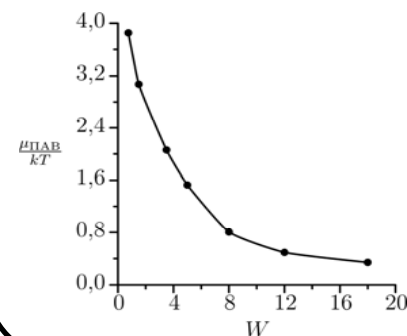
$$E_A = C \frac{2R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad E_A = CR$$

$$\frac{dR}{dt} \cong V_0 \exp\left(-\frac{CR}{kT}\right)$$

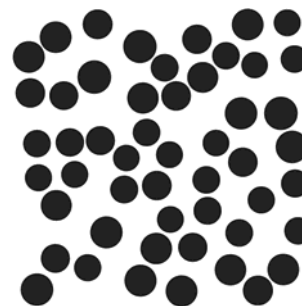
$$R = \frac{kT}{C} \ln\left(\frac{CV_0}{kT} t + \exp\left(\frac{CR_0}{kT}\right)\right)$$

$$C \sim \frac{1}{W} \Rightarrow R_{\text{fin}} \sim W$$

$$\mu = \mu^0 + kT \ln c$$



$E_A \gg kT$
9%

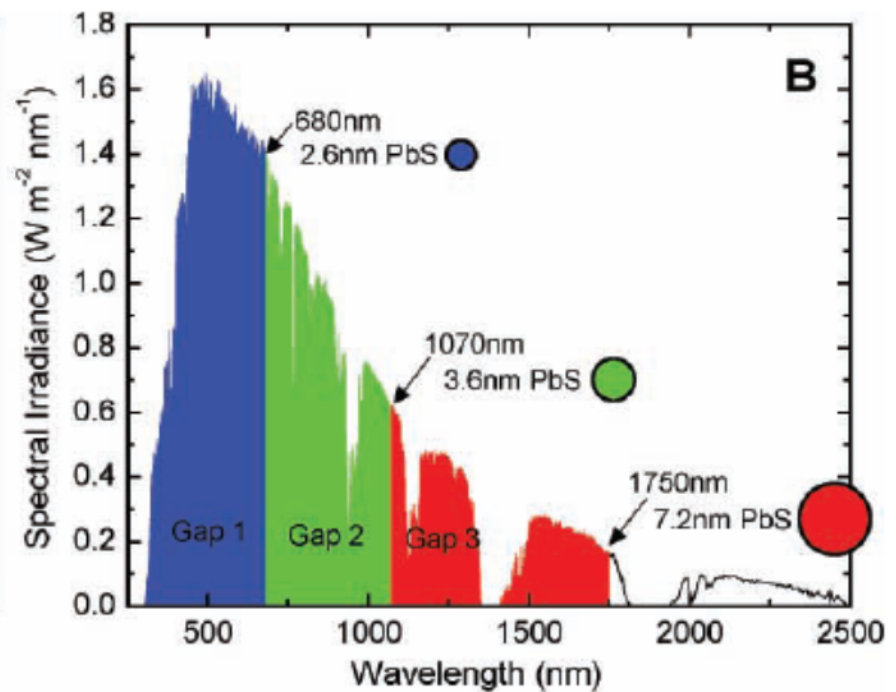
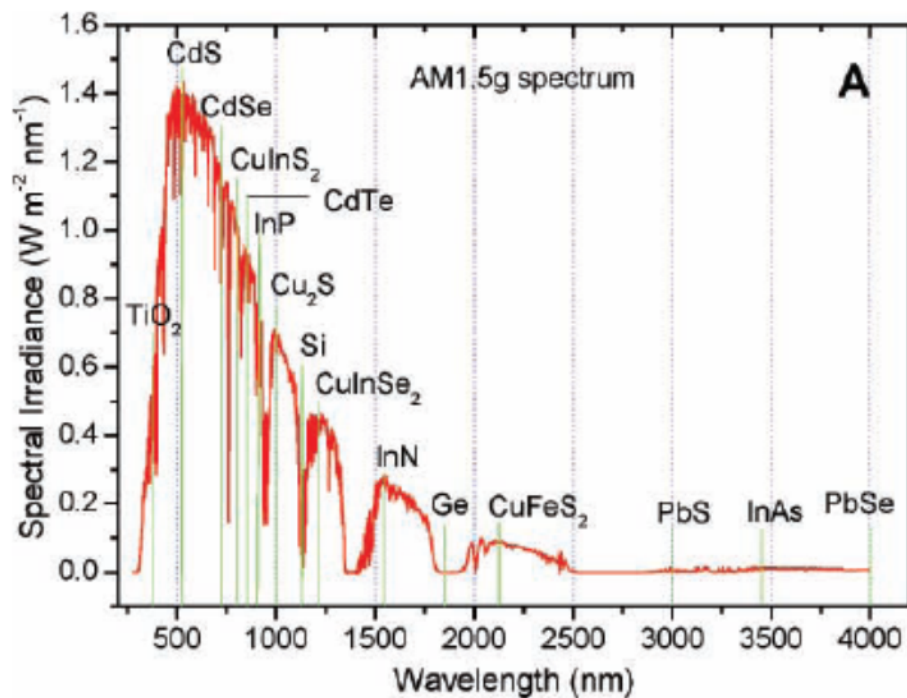


$E_A = 0$
36%

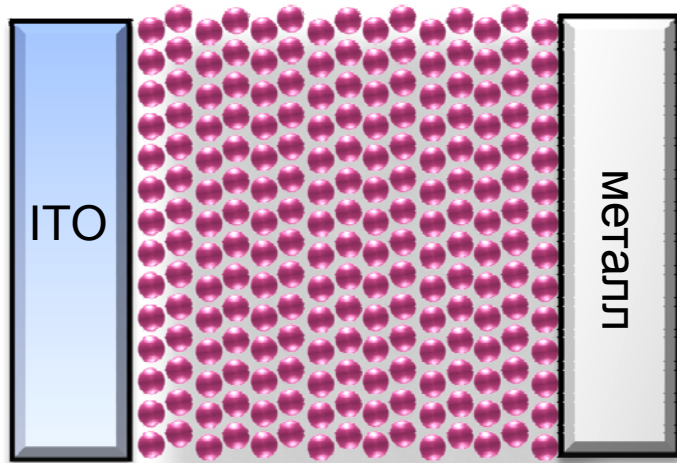


С.А.Товстун, В.Ф.Разумов. «Получение наночастиц в обратных микроэмульсиях» Успехи химии. Том 80, №10, 2011 г, с.996

Солнечные батареи на квантовых точках



Солнечные батареи на контакте Шоттки «металл-полупроводник»



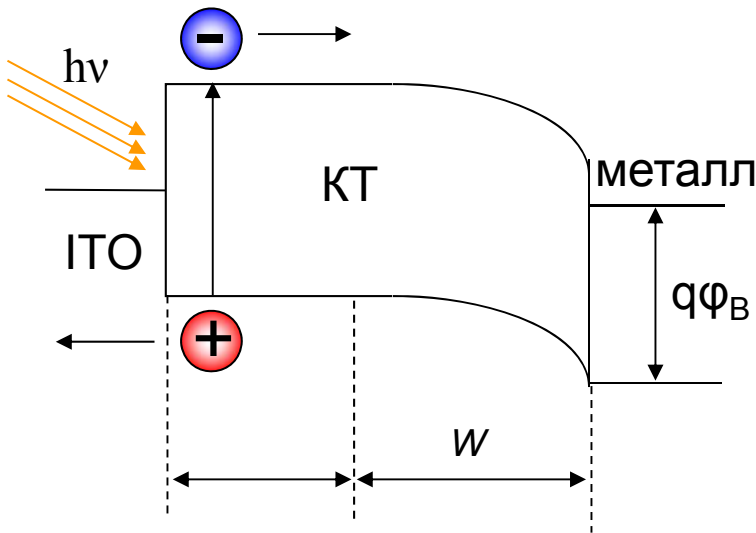
Слой КТ р-типа

Используемые КТ

PbS, PbSe, PbS_xSe_{1-x} , Si
CdTe nanorods

$$V_{oc} \sim q\phi_B = E_g - q(\phi_M - \chi)$$

E_g – ширина запрещенной зоны КТ,
 χ – сродство к электрону КТ,
 ϕ_M – работа выхода металла.

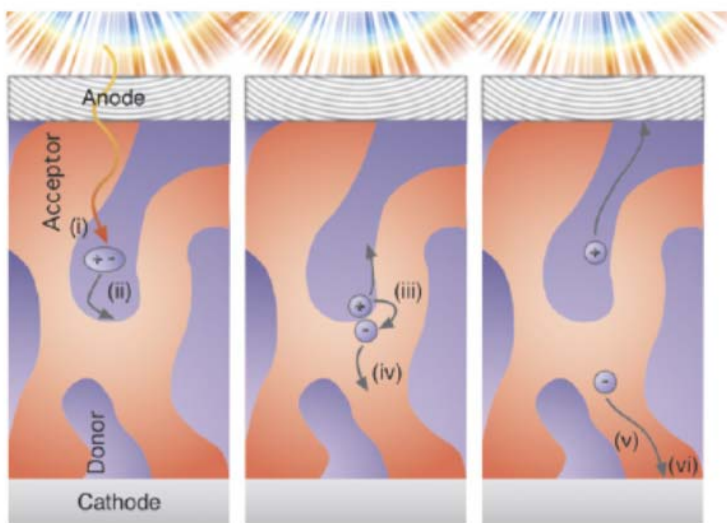
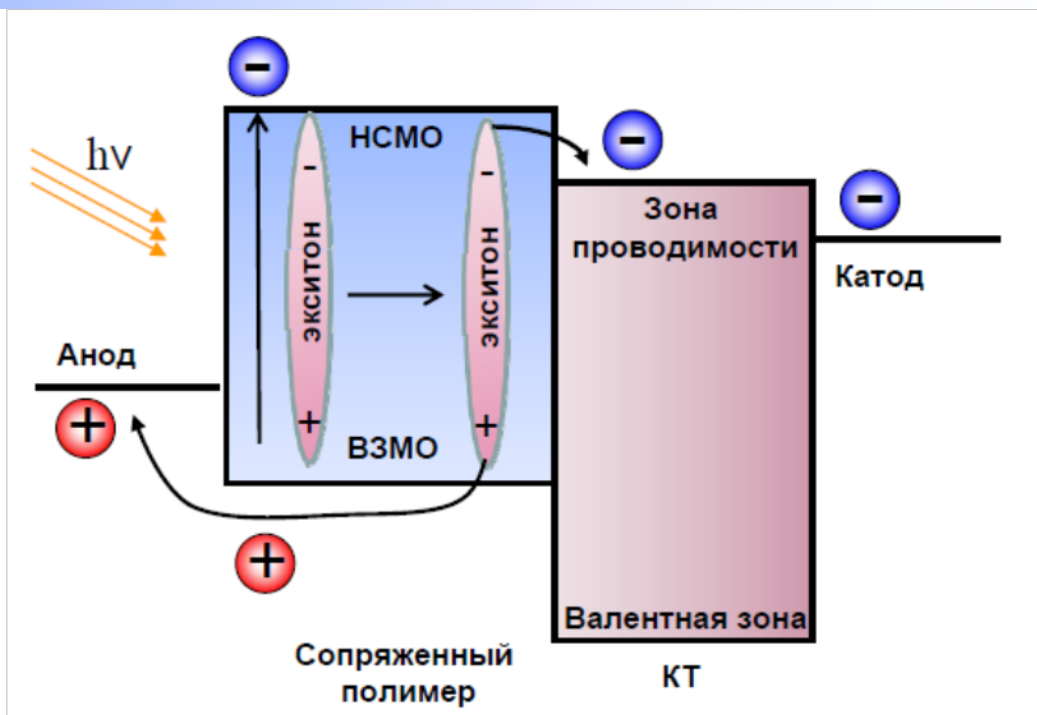


Структура солнечной ячейки	η , %
glass/ITO/КТ PbS /LiF/Al/Ag	3.6
ITO/ КТ PbSe/ Mg/ Ag	3.6
ITO/ КТ PbS /LiF /Al	3.8
ITO/ КТ $PbS_{0.7}Se_{0.3}$ / Al	3.3
ITO/наностержни CdTe/ Al	5

Солнечные батареи с объемным гетеропереходом «полисопряженный полимер-КТ»

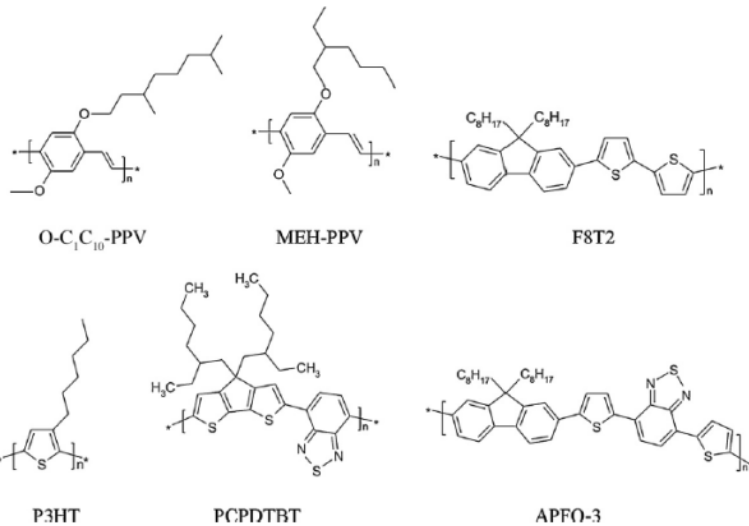


Морфология объемного гетероперехода



ITO/PEDOT-PSS/КТ CdSe-PCPDTBT ^a /Al	2.7
ITO/PEDOT-PSS/КТ PbS-PDTPBT /Al	3.78
ITO/PEDOT-PSS/КТ PbS-PDTPQ _x /Al	0.55
ITO/PEDOT-PSS/наностержни CdSe-РЗНТ /Al	2.65
ITO/PEDOT-PSS/тетраподы CdSe-PCPDTBT /LiF-Al	3.13
ITO/PEDOT-PSS/гиперразветвленные CdSe-РЗНТ /Al	2.2
ITO/PEDOT-PSS/тетраподы CdSe-OC ₁ C ₁₀ -PPV /LiF-Al	2.8
ITO/PEDOT-PSS/КТ CdS-нанопровода	4.1
РЗНТ/дырочноблокирующий слой/Mg-Ag	

Поиск новых комбинаций «полимер – КТ» и контроль морфологии объемного гетероперехода

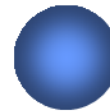


CdSe, CdS,
PbS, PbSe,
ZnS, SnS₂, SnSe
TiO₂, ZnO
CuInS₂, GaAs

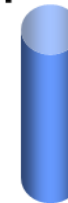
Условия нанесения активного слоя

- выбор растворителя
- влияние добавок
- отжиг
- обработка парами растворителя
итд

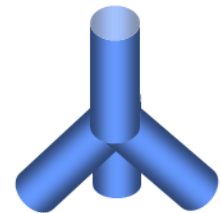
Форма КТ



сферические



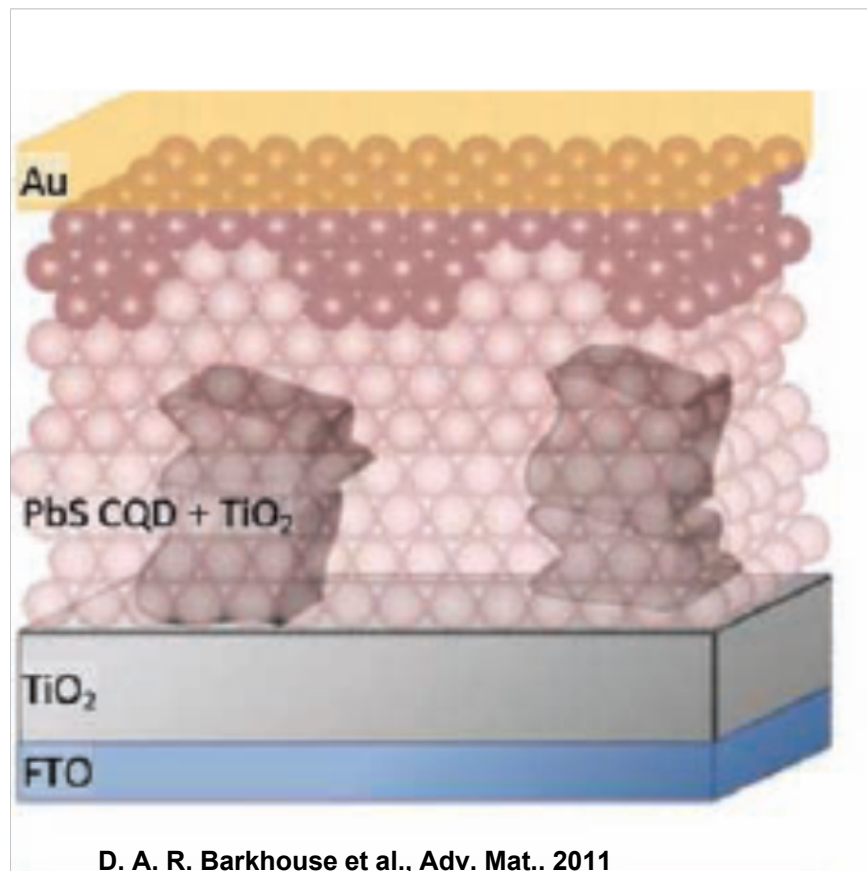
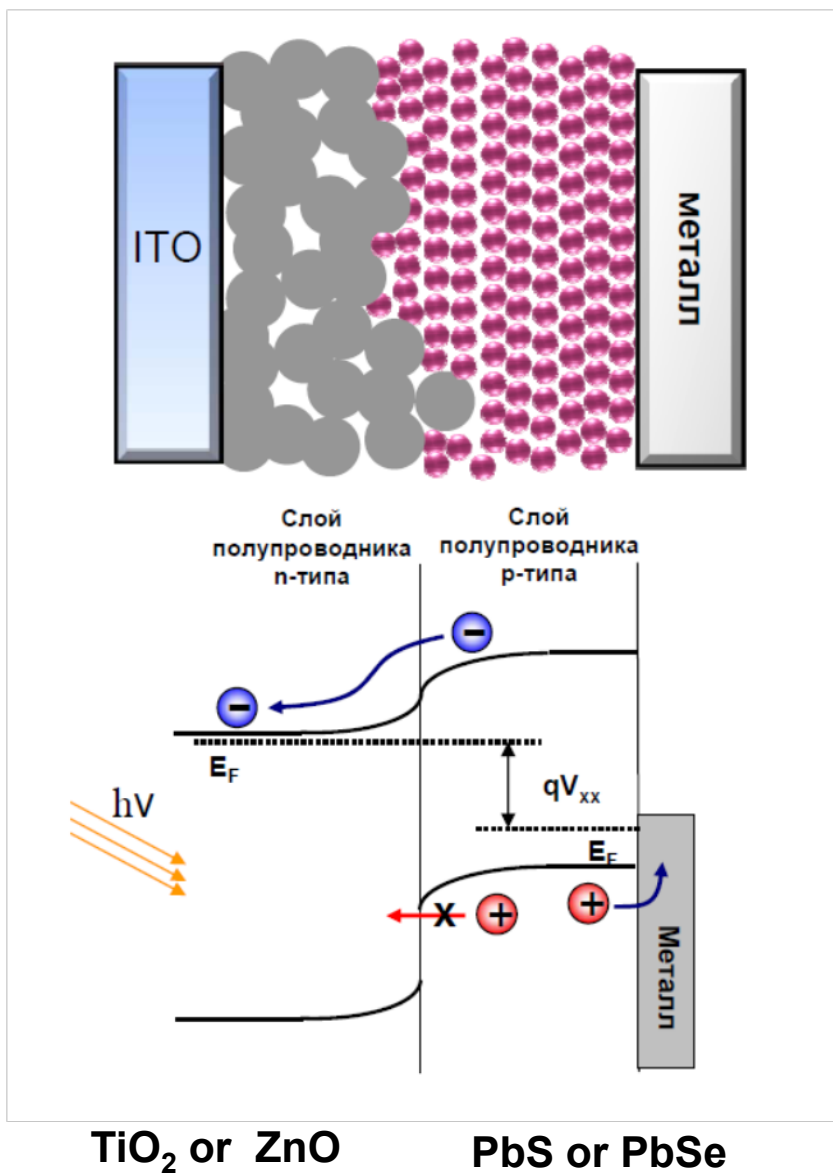
наностержни



тетраподы

Размер и концентрация КТ

Объемно-обедненный гетеропереход «полупроводник-полупроводник»

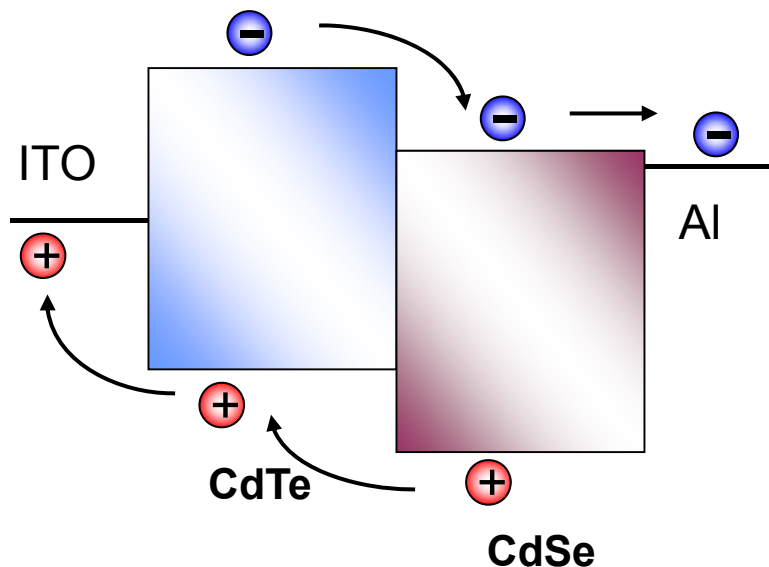
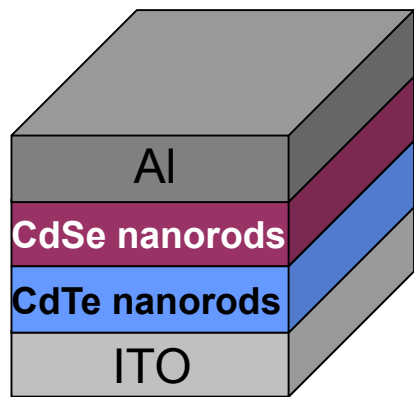


Одно из самых высоких значений PCE для солнечных батарей на КТ

5.5%

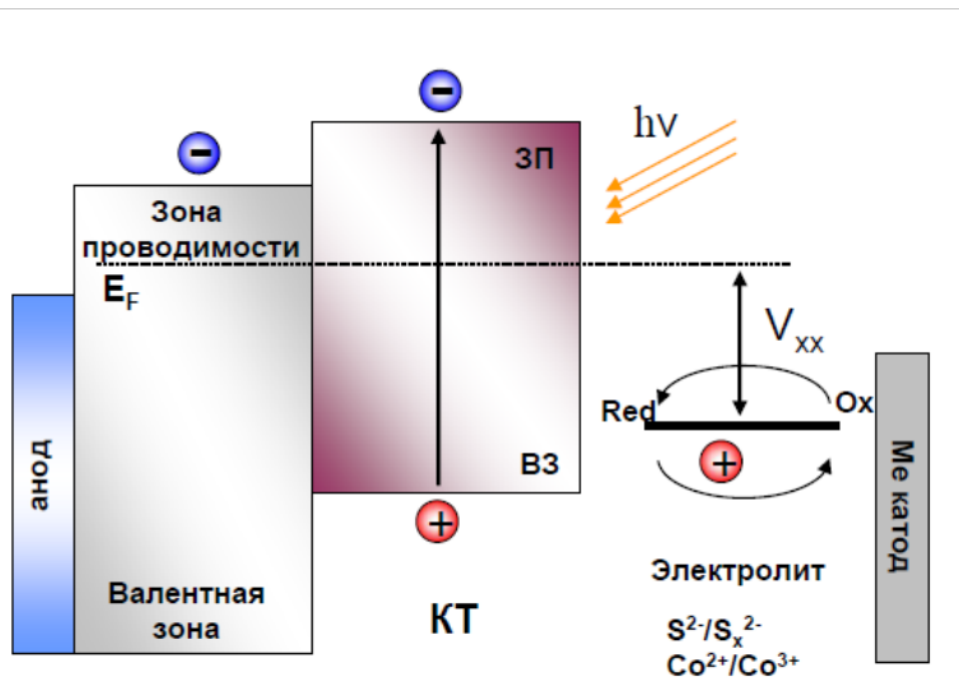
Объемно-обедненный гетеропереход «полупроводник-полупроводник»

Наностержни CdTe/CdSe



FTO/TiO ₂ /КТ PbS/Au	5.1
ITO/НК ZnO/НК PbS/Au	2.94
ITO/PEDOT PSS/ НК PbSe / НК ZnO /Al	3.4
FTO/TiO ₂ / КТ PbS/Au	5.5
ITO/наностержни CdTe/наностержни CdSe/Ca-Al	2.9
FTO/Zr-допированный TiO ₂ /КТ PbS/Au/Ag	5.69
FTO/ «нанокolonны» TiO ₂ /КТ PbS/Au/Ag	5.6
FTO/Zr-допированный TiO₂/КТ PbS с оболочкой из ионов Br/Au	6

Солнечные батареи Гретцеля, сенсibilизированные КТ



КТ, используемые в качестве сенсibilизаторов

PbS, CdS, CdSe, CdTe,

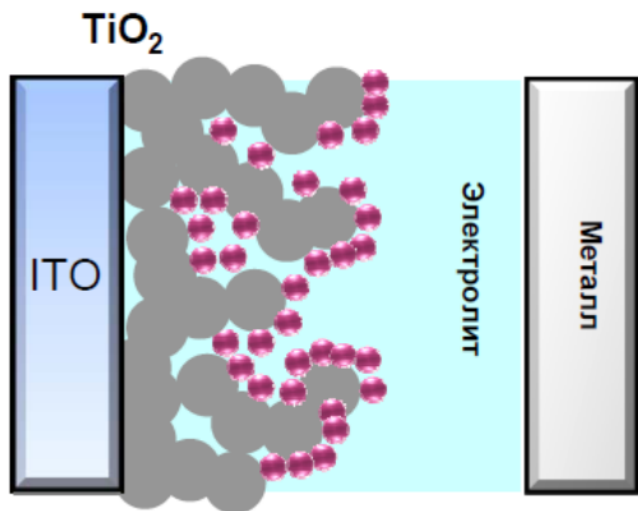
Ag₂S, Ag₂Se, SnS,

InAs, InP

CdTe@CdS, PbS@CdS,

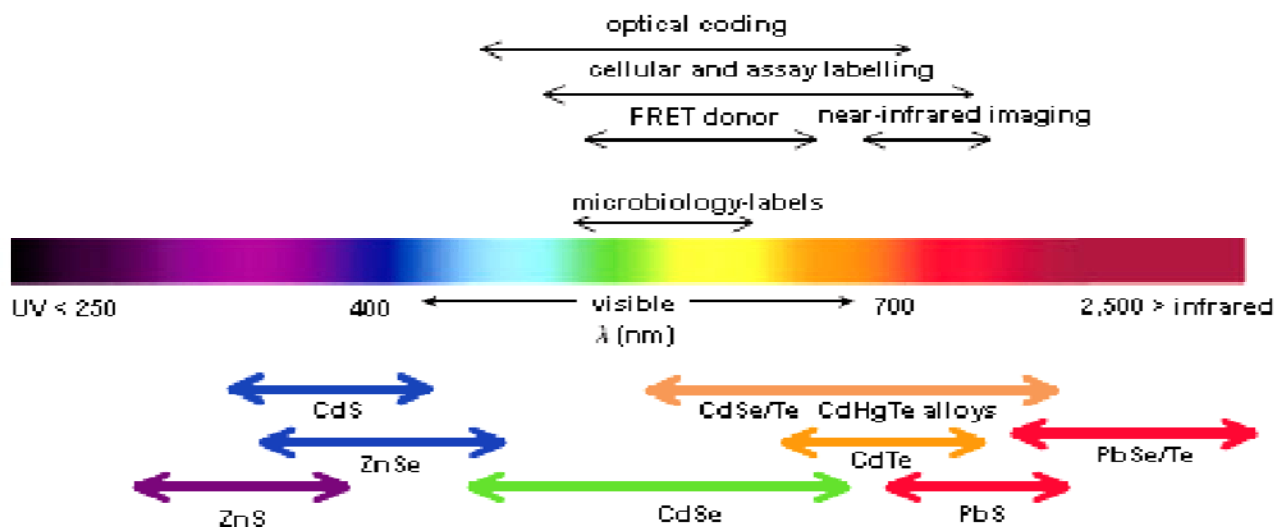
ZnSe@CdS, CuInS₂@ZnS,

CdHgTe

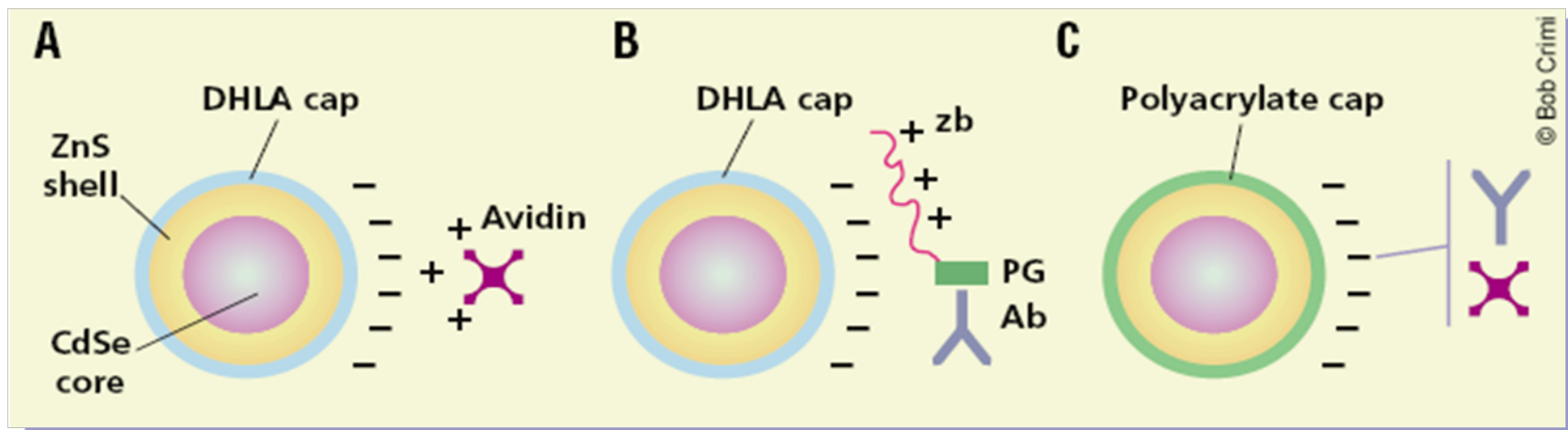


FTO/TiO ₂ /Sb ₂ S ₃ / PЗНТ /Au	5.13
FTO/TiO ₂ /CdS–CdSe/полисульфидный электролит/ Cu ₂ S	4.92
FTO/TiO ₂ /CdTe@CdS/ полисульфидный электролит/Au	3.8
ITO-полиэтилентерфталат (гибкий электрод)/TiO ₂ /КТ CdS-CdSe/ полисульфидный электролит/Cu ₂ S	3,47
TiO ₂ /CdSe рутениевый сенсibilизатор/кобальтовый электролит/ Pt	4.76
FTO/TiO ₂ /CdSe/ полисульфидный электролит/наноструктурный сферический углерод	3,9
FTO/TiO₂/CdS-CdSe, допированные Mn/полисульфидный электролит/ Cu₂S/восстановленный оксид графена	5.42

Биомедицинская нанодиагностика

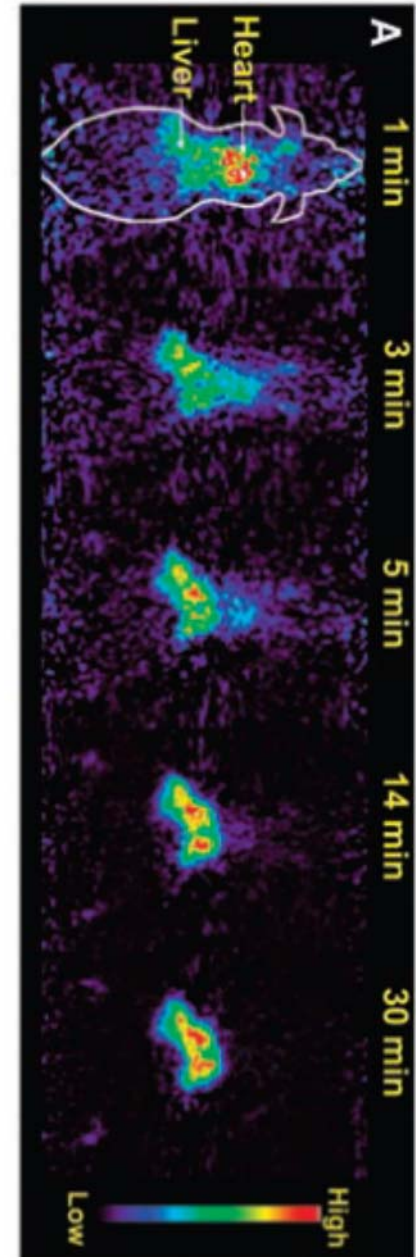
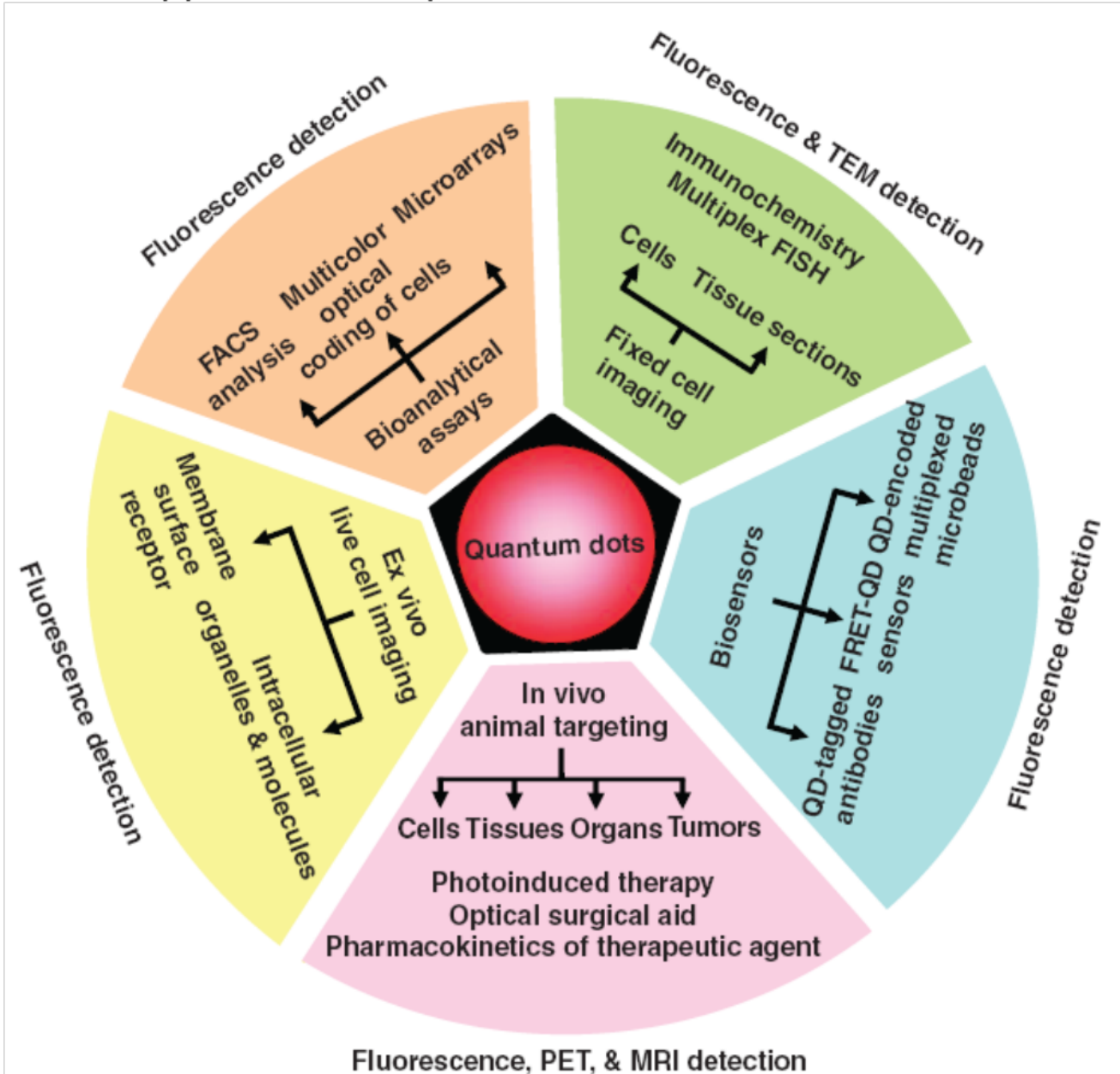


Коллоидные квантовые точки (CdSe, CdTe, Si, C, TiO₂ и т.д.), обладают необходимыми для биоимиджинга оптическими и физико-химическими свойствами



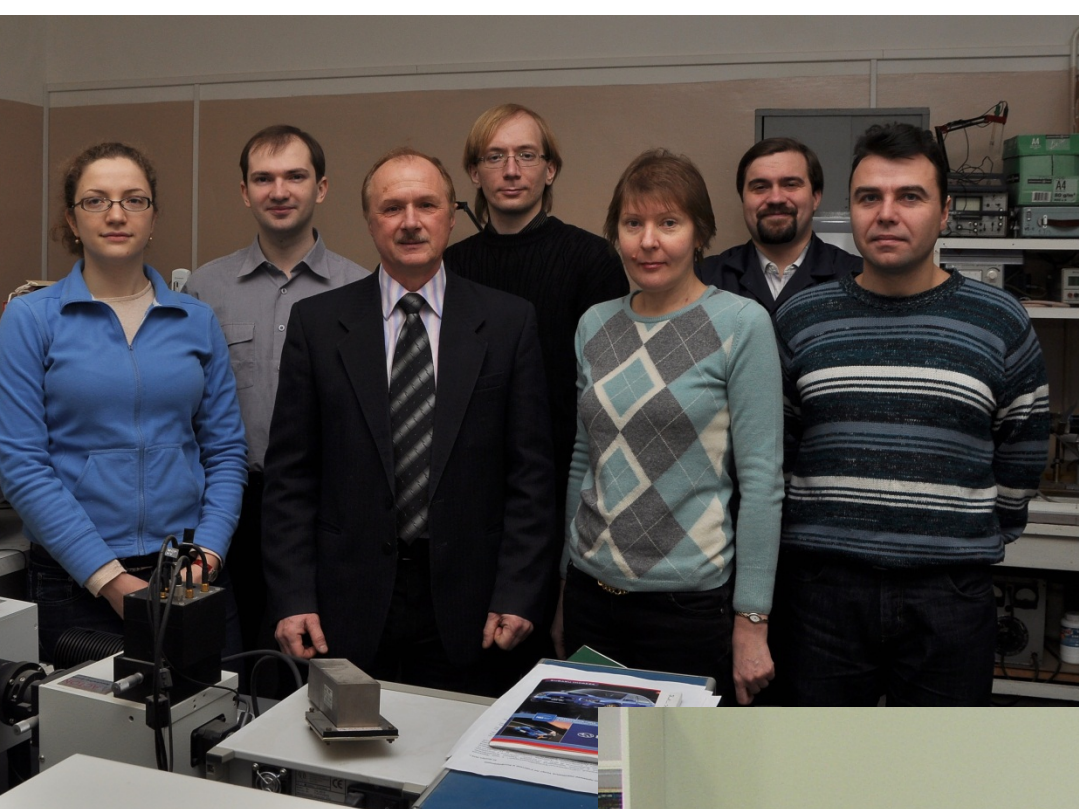
DHLA – дигидролипоевая кислота

Applications of quantum dots as multimodal contrast agents in bioimaging.



X. Michalet et. al., SCIENCE VOL 307 28 JANUARY 2005, P.538.
 "Quantum Dots for Live Cells, in Vivo Imaging, and Diagnostics"

*Лаборатория фотоники
наноразмерных структур*



**Бричкин С.Б.,
Спирин М.Г.,
Николенко Д.Ю.,
Николенко Л.М.,**

**Товстун С.А.,
Невидимов А.
Иванчихина А.В.,
Гак В.Ю.,
Сивак М.**



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**

