

## Технологии наноструктур

8 сентября 2016

Классификация наноструктур и их фрагментов по конфигурации и химическому составу → принципы выбора технологии

Размерно-зависимые свойства веществ

Гетерогенные наноразмерные системы

Общие принципы прогнозирования возможности протекания химических реакций и их скоростей

Источники нанотехнологической информации

[tsir@elch.chem.msu.ru](mailto:tsir@elch.chem.msu.ru)

8-917-523-3243; 939-1321

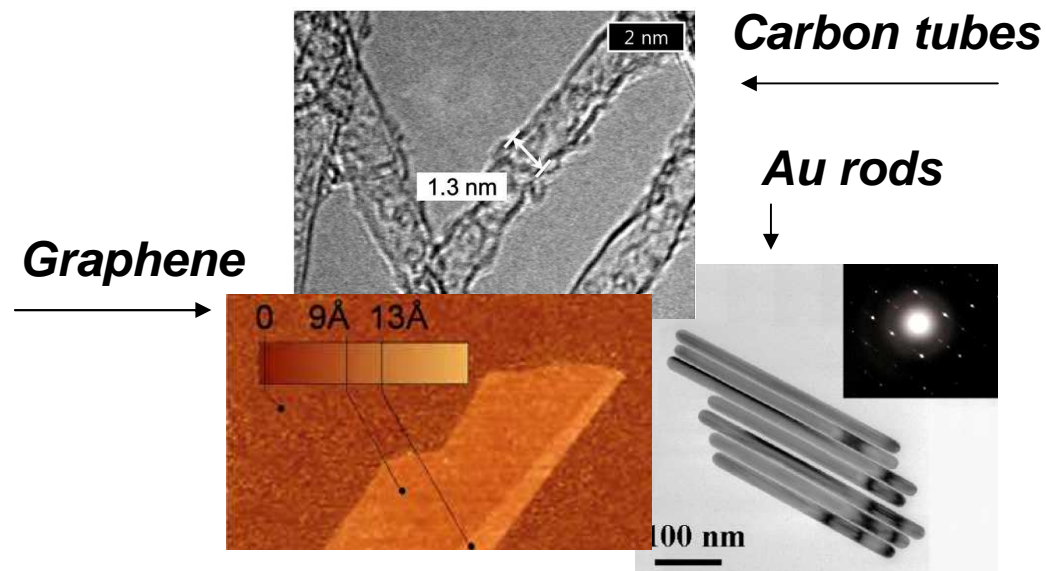
## Классификация

**I. Элементы наноструктур** - искусственные (синтетические) **низкоразмерные** объекты (*однородные по составу объекты с характерными размерами менее ~0.1 мкм в одном или более измерениях, если их свойства или свойства включающих их материалов (структур) существенно отличаются от свойств более крупных объектов того же состава*)

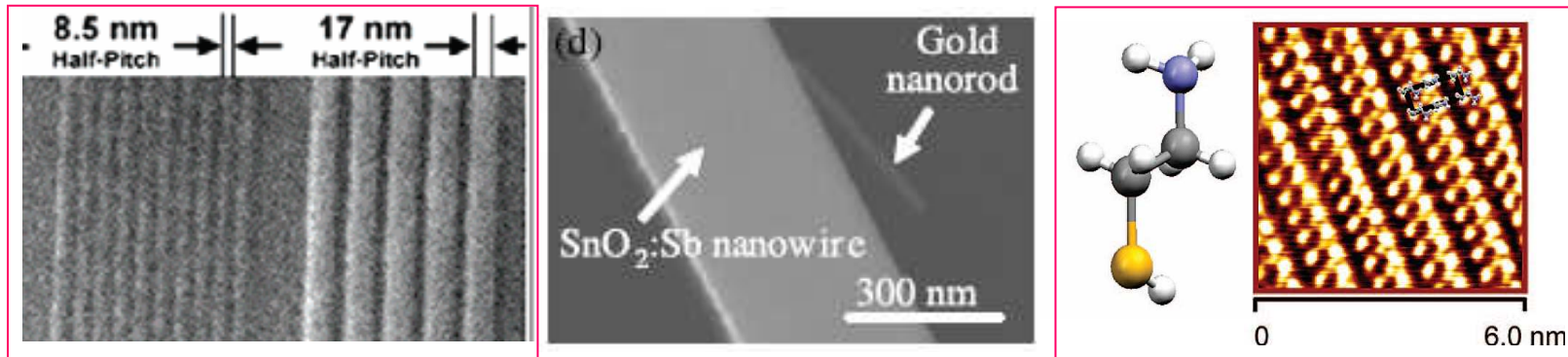
**I.1. Нанокристаллы и наночастицы**

**I.2. Нанотрубки и нанопроволоки**

**I.3. Двумерные нанобъекты** с характерными толщинами порядка размеров молекул



## Классификация



**II. Наноструктуры** – комбинации элементов **I.1 – I.3**, для которых наблюдаемые физические свойства (отклики) непосредственно определяются размерно-зависимыми свойствами элементов.

**II.1. Упорядоченные ансамбли** (многослойные и многополосные структуры и сетки) одинаковых твердых элементов на подложках.

**II.2. Твердотельные гибридные и гетероструктуры** на основе полупроводников, металлов и магнетиков

**II.3. Элементы или наборы элементов**, контролируемо **модифицированные** функциональными молекулами, мицеллами или биологическими объектами субмикронных размеров.

## Классификация «по веществу» (по реакционной способности)

### **Твердотельные наноструктуры:**

- Металлы и сплавы \* \*\*
- Углеродные материалы \* \*\* \*\*\*
- Кремний, оксид кремния \*
- Диэлектрические оксиды \* \*\*\*
- Бинарные полупроводники (II-VI, III-V)
- Многокомпонентные оксиды/оксофториды

### **«Soft» наноструктуры**

- Низкомолекулярные органические вещества \*\*\*
- Полимеры (непроводящие, проводящие) \* \*\* \*\*\*
- Полиэлектролиты \*\*\*
- Макромолекулы, содержащие редокс-центры

### **Компоненты «наноматериалов»**

- Цеолиты и слоистые алюмосиликаты
- Аморфные оксигидросиды
- Неорганические и гибридные молекулярные кристаллы

Для технологической  
**совместимости** важны:

- термическая стабильность
- химическая инертность в технологической среде
- температурная зависимость физических свойств
- отсутствие взаимодействий с веществами других элементов

\* Подложки    \*\* Контакты    \*\*\* Маски и матрицы

## Классификация технологических схем

Top-down  
Bottom-up

Формирование элементов → иммобилизация

Формирование наноструктур на подложке:

Локальное формирование элементов

Формирование ансамблей элементов

**Физические**

«Сухие» химические - процессы в газовой фазе, топохимические реакции

«Мокрые химические» (wet) – процессы в жидкостях и растворах

Комбинированные

Контролируемость (управляемость)



Варьируемые параметры  
технологического режима

Возможность мониторинга

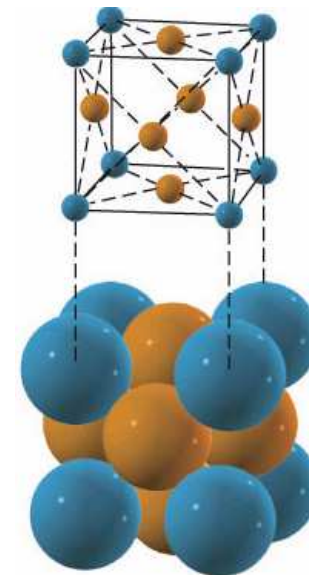
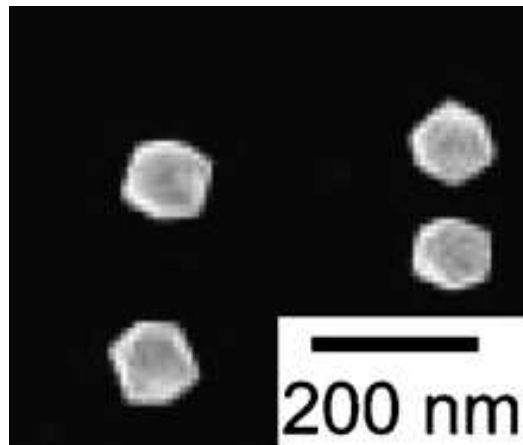
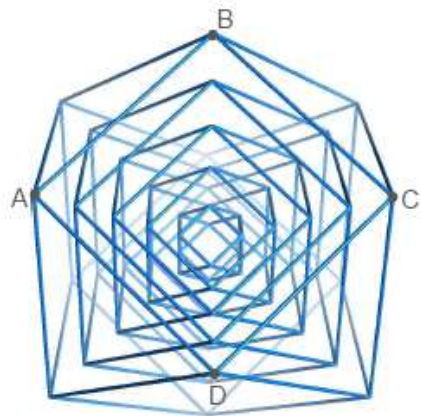


Совместимость с методами  
метрологического контроля

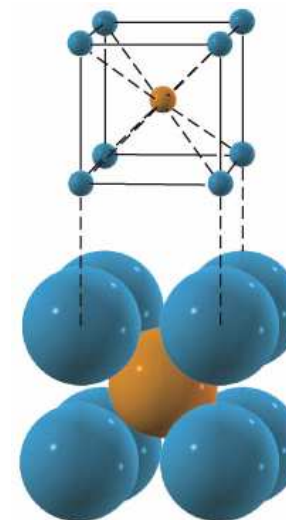
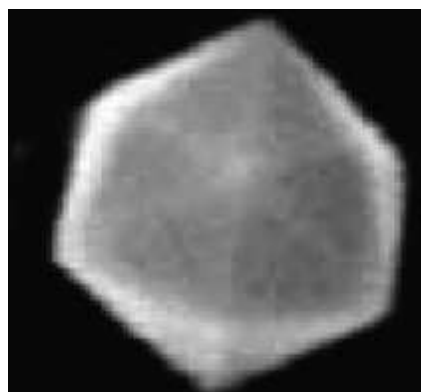
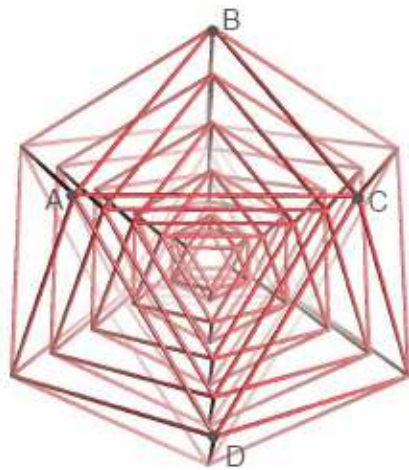
*Температура, время  
+ фото..., электро...*

*Применимость in situ*

**Размерно-зависимые свойства малых частиц.  
1. Геометрия (равновесная форма частицы)**



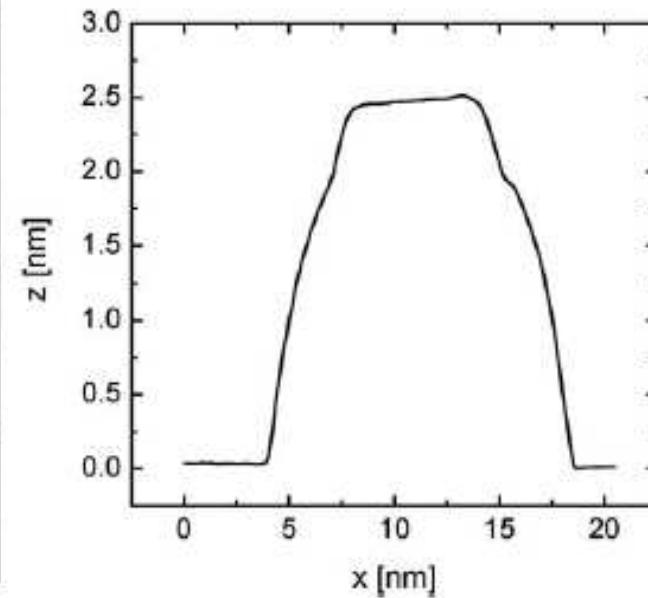
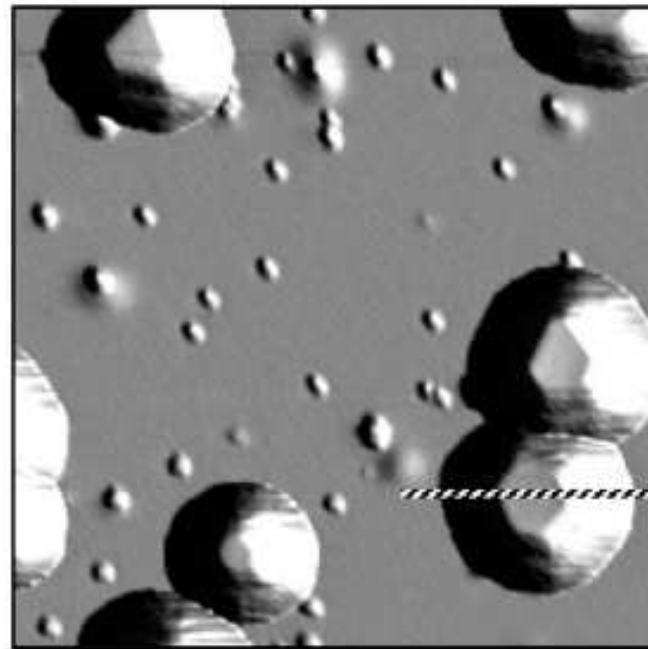
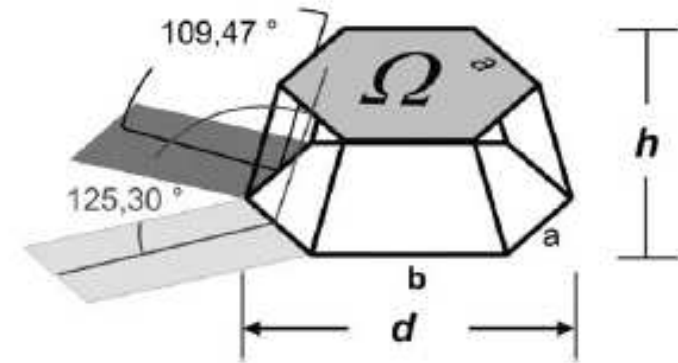
**Кубооктаэдр – кубическая гранецентрированная решетка (fcc)**



**Икосаэдр – кубическая объемноцентрированная решетка (bcc)**

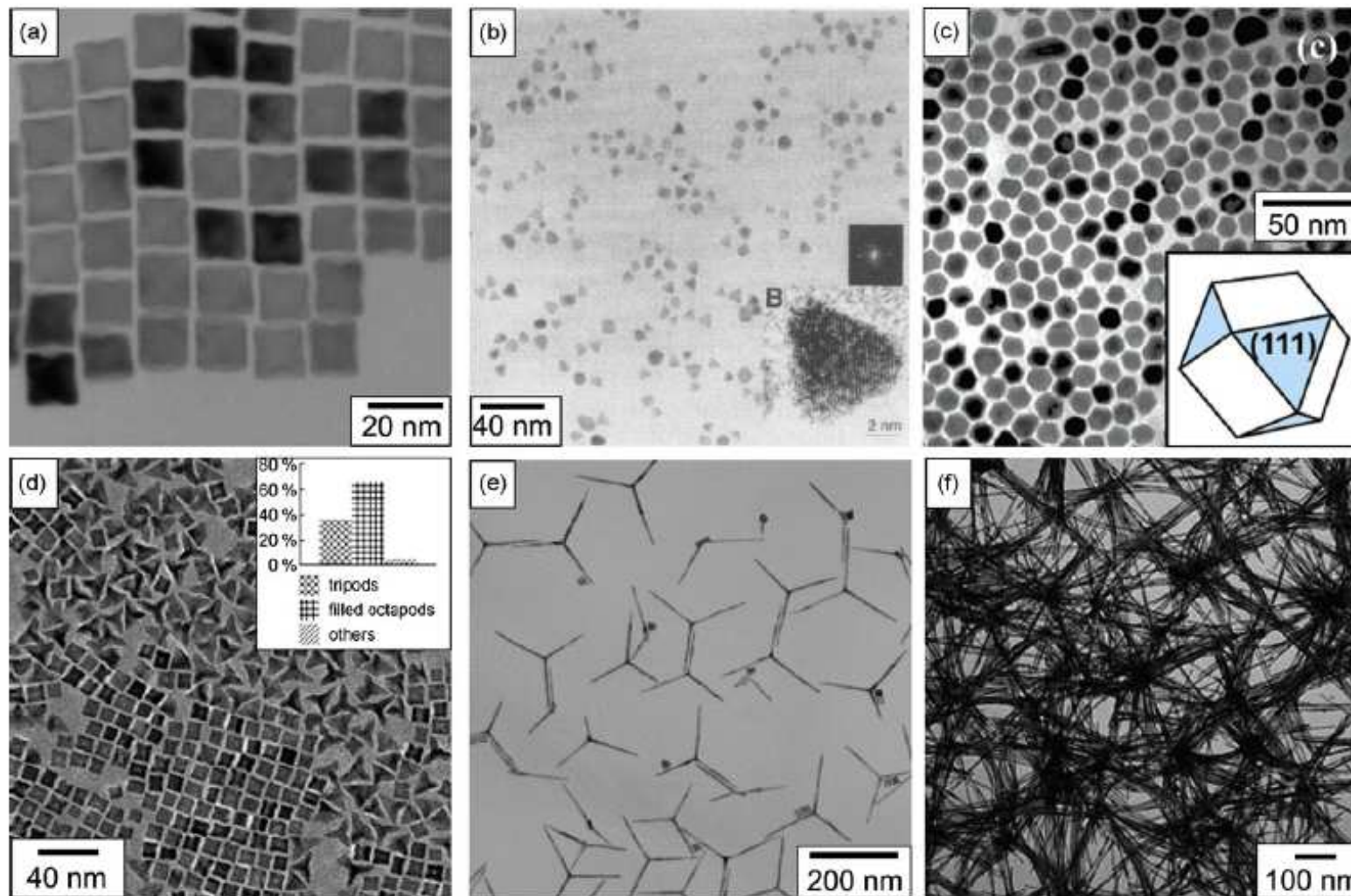
**Фасетирование –**  
**– экспериментальные наблюдения**

Au на базисной грани пирографита  
(highly oriented pyrolytic graphite, HOPG)





**Устойчивые частицы разнообразной формы –  
– экспериментальные наблюдения (Pt)**







# Размерно-зависимые свойства малых частиц.

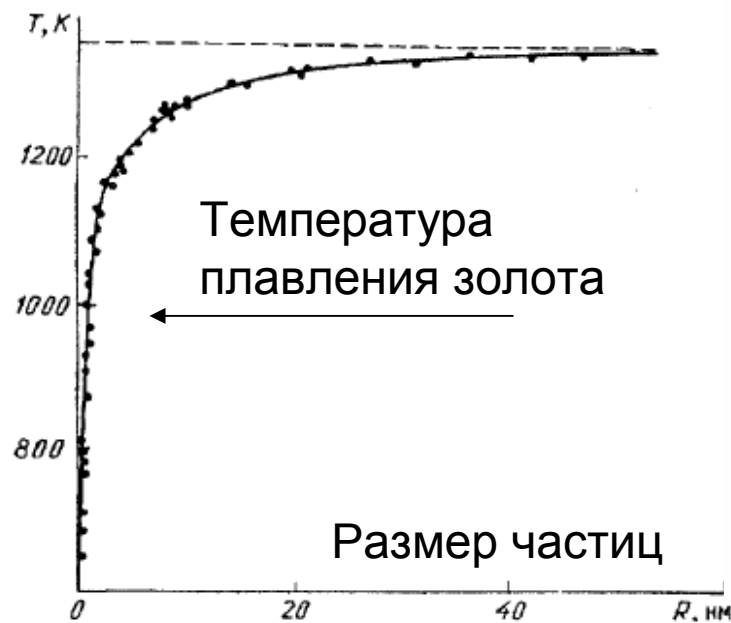
## 3. «Дополнительная» свободная энергия

$$A_{\text{равн}} = 4\pi r^2 \sigma$$

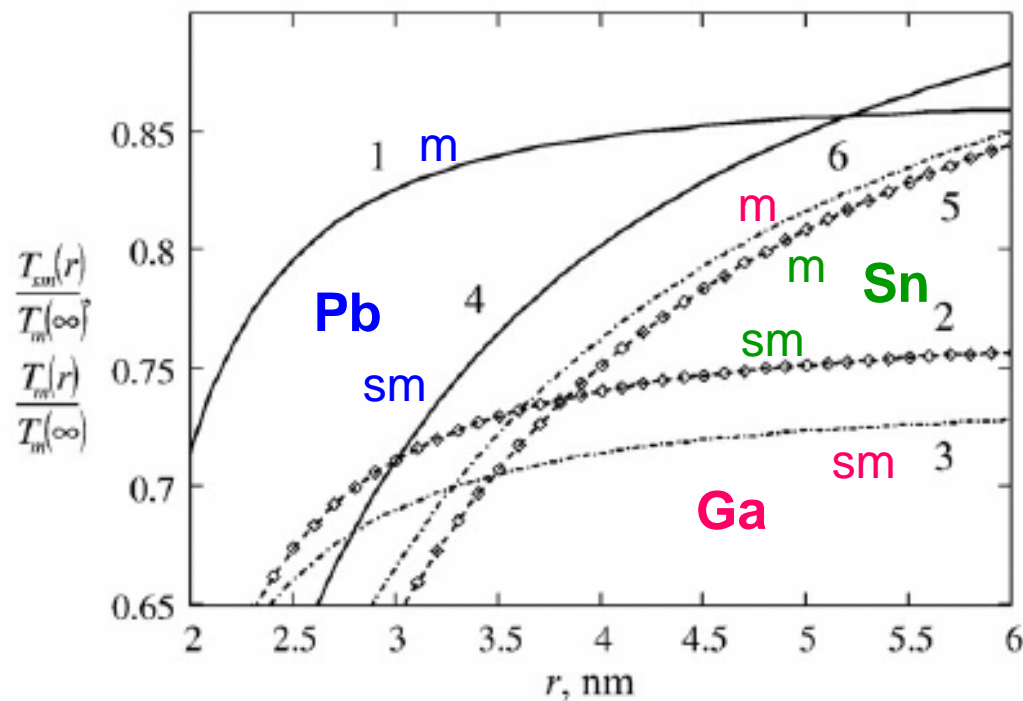
← Поверхностное натяжение  
(~ сотни мН/м)

↑  
Равновесная работа образования новой поверхности **одной** сферической частицы

Плавление (m) и приповерхностное плавление (sm)

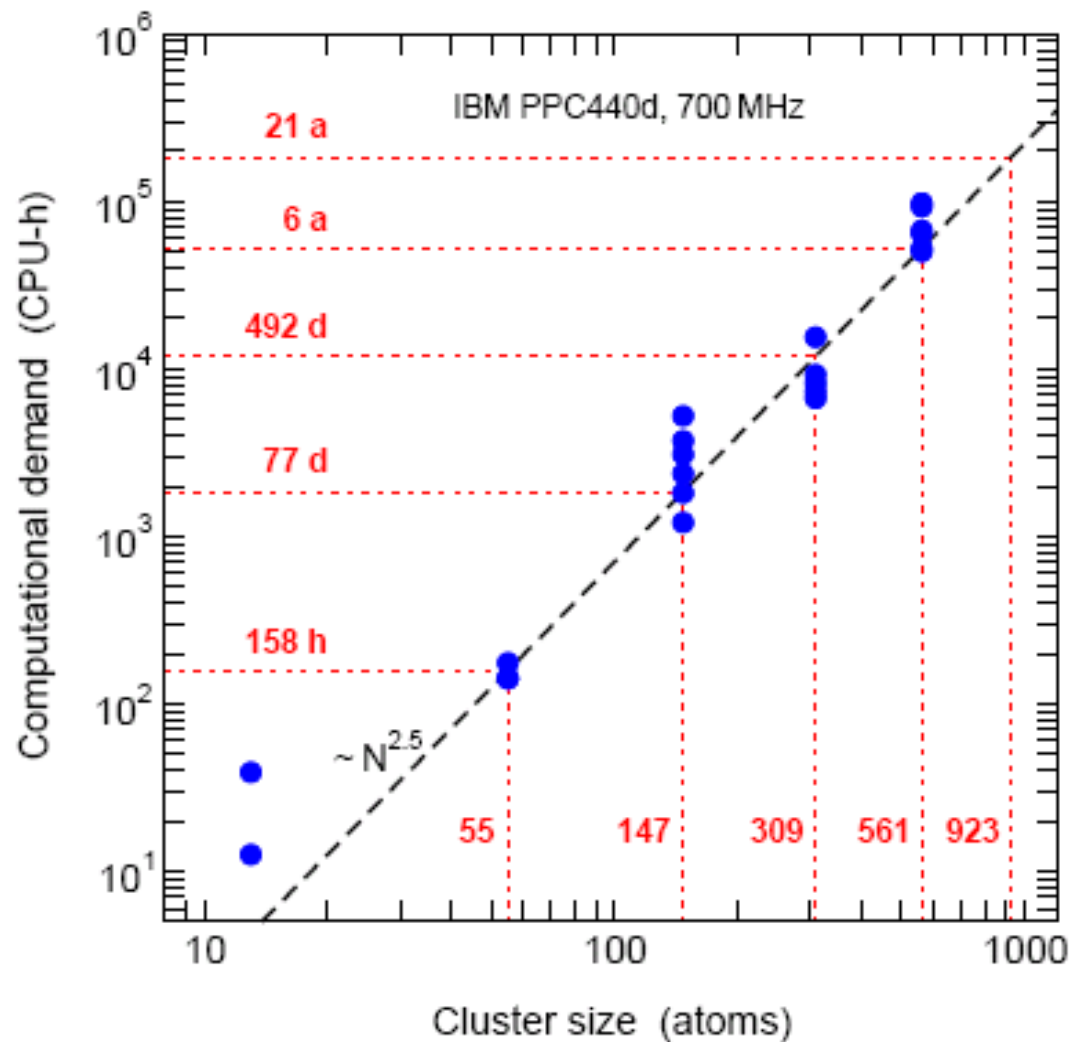


Phys. Rev A 13(1976)2287



Mater. Lett. 63(2009)1525

## Прогнозирование. Моделирование равновесных кластеров (the Density Functional Theory, DFT)



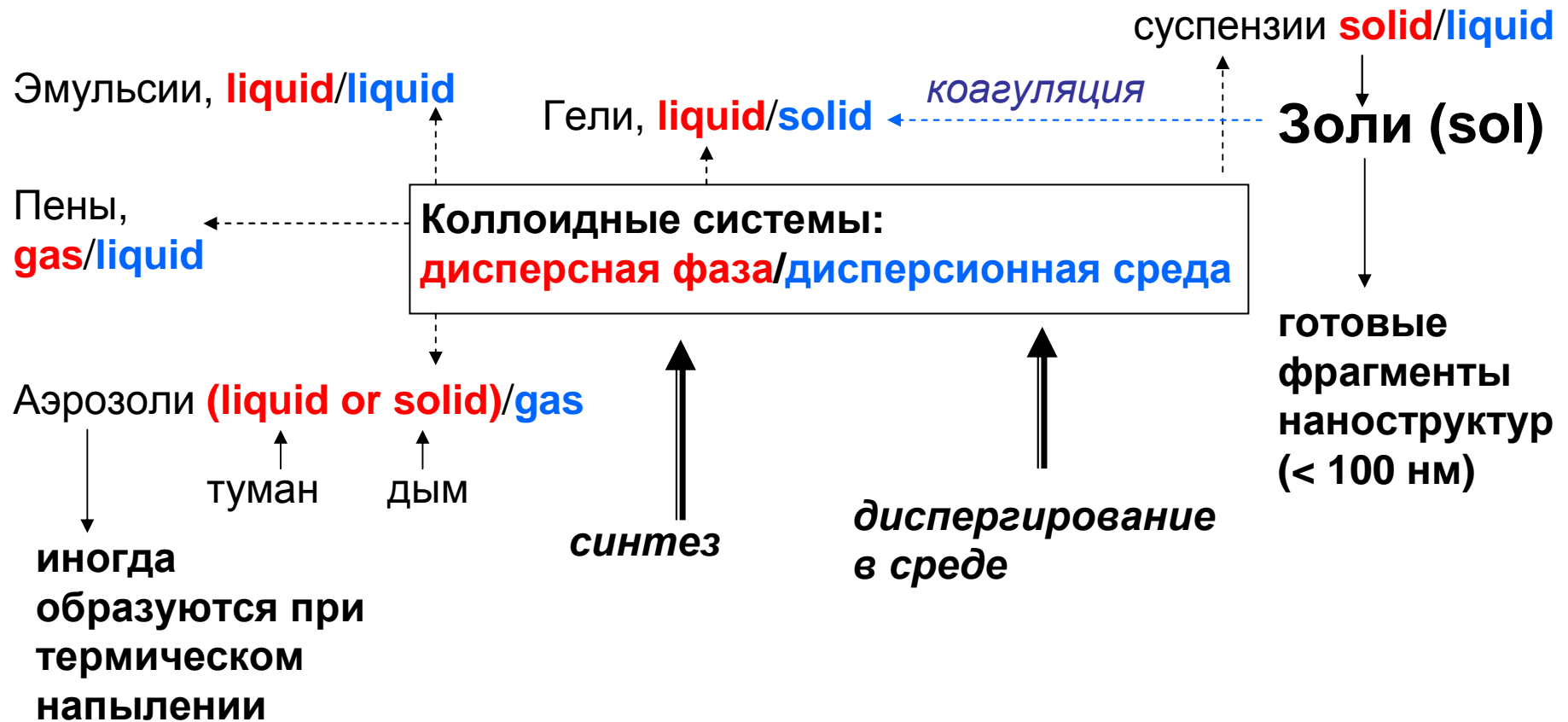
### Проблемы:

- масштабирование
- учет среды
- учет взаимодействия с подложкой

NIC Series, V. 39, pp. 161-168, 2008

<http://www.fz-juelich.de/nic-series/volume39>

## Классификация гетерогенных систем по агрегатному состоянию



### Технологические «стратегии» (в том числе для наноструктур)

Подложка → формирование на ней фрагментов

Фрагменты → иммобилизация их на подложке

- возможность предварительной характеристики фрагментов
- возможность выбора условий синтеза без учета рисков для подложки