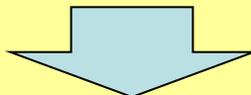


ОСНОВЫ НАНОИНЖЕНЕРИИ

**Классификация
наночастиц**

ОБЪЕКТЫ НАНОХИМИИ



Фазовое состояние	Единичные атомы	Кластеры	Наночастицы	Компактное вещество
Диаметр, нм	0,1 – 0,3	0,3 – 10	10 – 100	> 100
Количество атомов	1 – 10	10 – 10 ⁶	10 ⁶ – 10 ⁹	> 10 ⁹

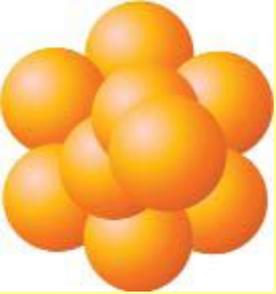
КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НАНОХИМИИ

Характеристики объекта	Количество измерений менее 100нм	Количество измерений более 100нм	Примеры
Все три размера (длина, ширина и высота) менее 100 нм	3-мерный объект	0-мерный объект	фуллерены, квантовые точки, коллоидные растворы, микроэмульсии
Поперечные размеры менее 100 нм, а длина сколь угодно велика	2-мерный объект	3-мерный объект	нанотрубки, нановолокна, нанокапилляры и нанопоры
Только один размер (толщина) менее 100 нм, а длина и ширина сколь угодно велики	1-мерный объект	2-мерный объект	наноплёнки и нанослои

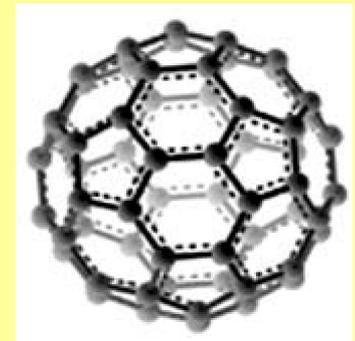
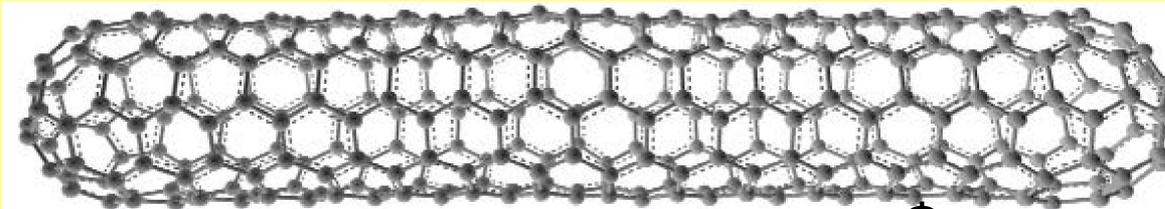
ОБЪЕКТЫ НАНОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наночастицы	Наносистемы
Фуллерены	Кристаллы, растворы
Нанотрубки	Агрегаты, растворы
Молекулы белков	Растворы, кристаллы
Полимерные молекулы	Золи, гели
Неорганические нанокристаллы	Аэрозоли, коллоидные растворы
Мицеллы	Коллоидные растворы
Наноблоки	Твердые тела
Пленки Ленгмюра—Блоджетт	Тела с пленкой на поверхности
Кластеры в газах	Аэрозоли
Наночастицы в слоях веществ	Наноструктурированные пленки

НАНООБЪЕКТЫ

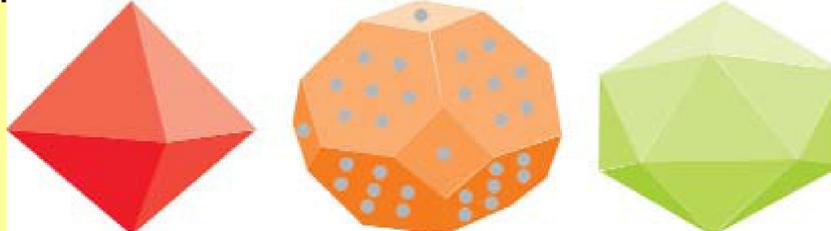
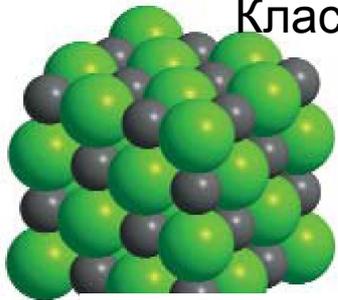


Наночастица из 16 атомов аргона

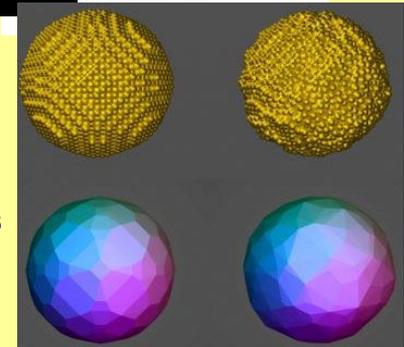
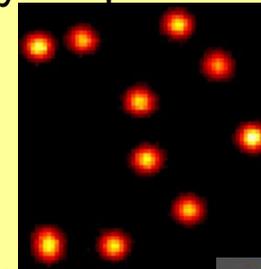


Фуллерен и нанотрубка

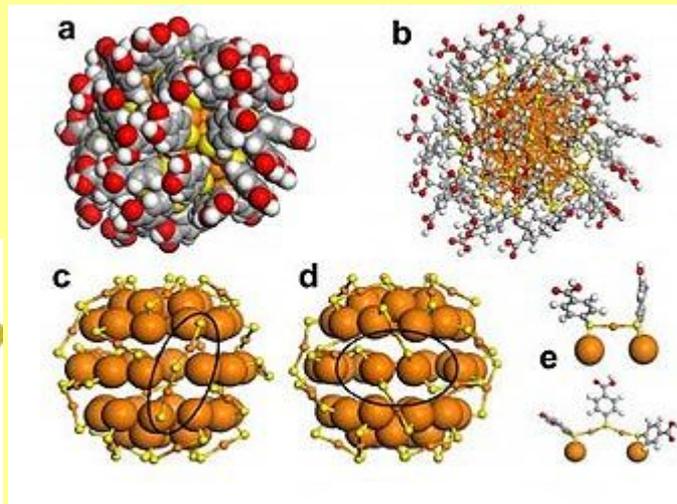
Кластеры



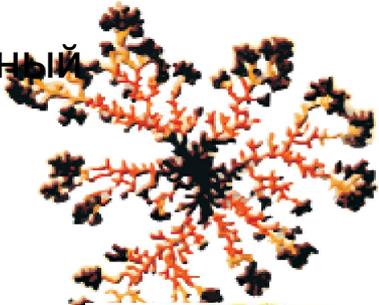
Формы металлических наночастиц



а, б - структура наночастицы из 102 атомов золота; с, д - структура наночастицы из 102 атомов золота; е - вид связей атомов внешнего слоя с атомами серы.



ИОННЫЙ



фрактальный



молекулярный

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ

- **диспергационные методы, или методы получения наночастиц путем измельчения обычного макрообразца;**
- **конденсационные методы, или методы “выращивания” наночастиц из отдельных атомов**

ПОМОЛ И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ

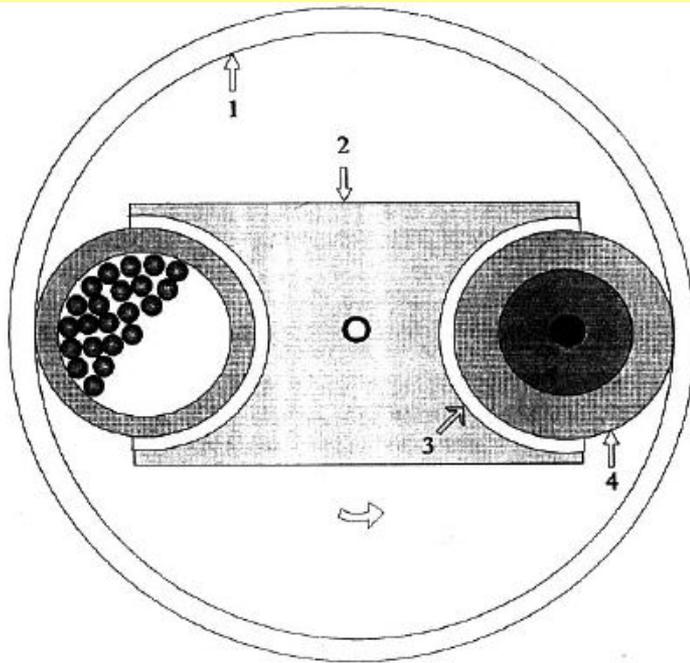
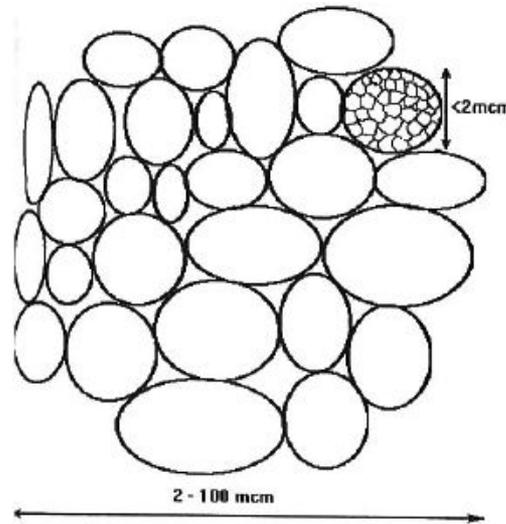


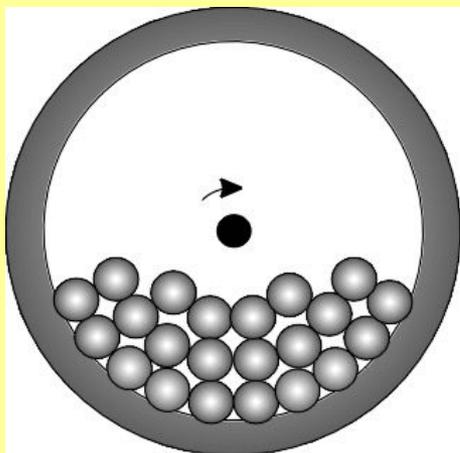
Схема мельницы планетарного типа



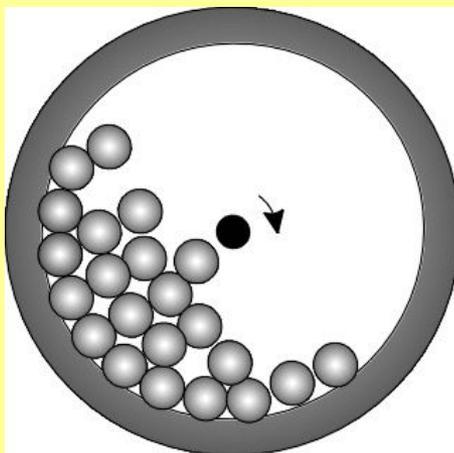
Структура агрегатов субмикронных частиц после помола: деагрегация + активация = агрегация

Перемешивание + истирающие / сдвиговые + ударные + (термические) + (электрические) воздействия + ... (загрязнения материалом барабана)

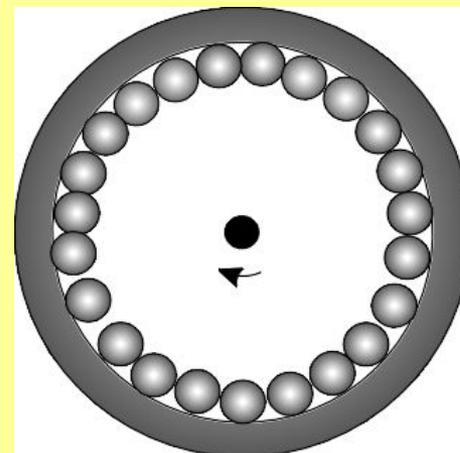
Шаровая барабанная мельница



При низких скоростях вращения шары катятся и измельчение вещества происходит за счет трения



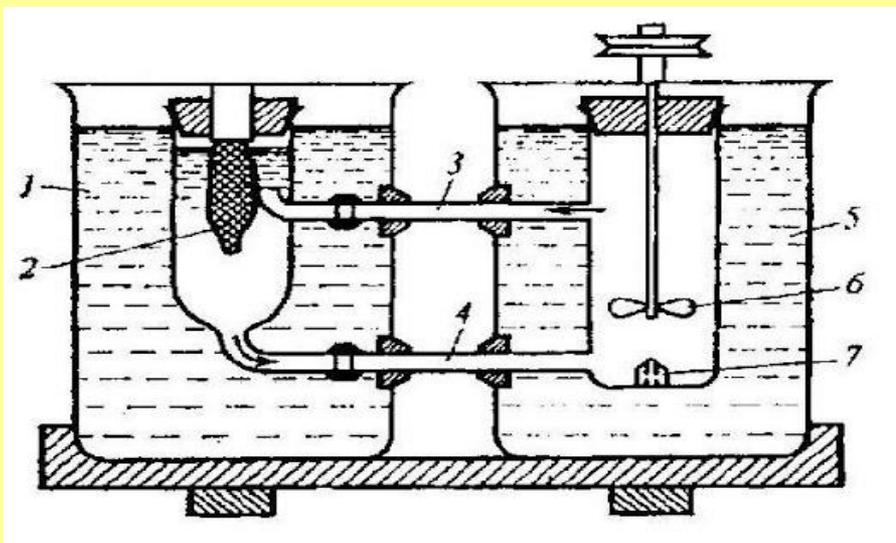
При средних скоростях вращения шары и катятся и падают. Измельчение происходит и за счет удара и за счет истирания



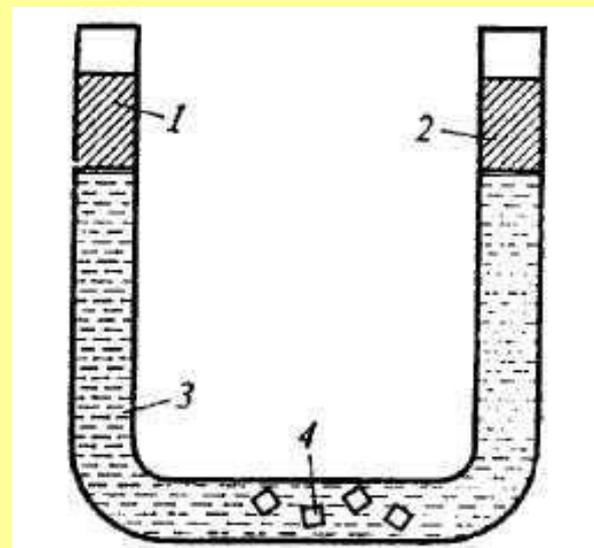
При высоких скоростях шары прижимаются к стенке центробежными силами и истирания почти не происходит

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

За счет изменения температуры
За счет изменения состава
При химической реакции



Метод температурного перепада

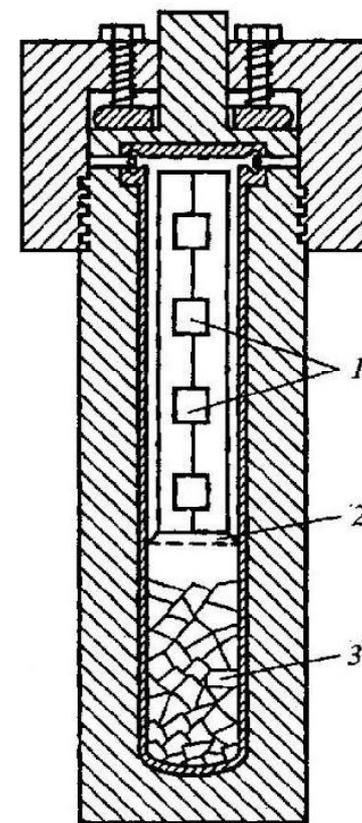


Образование наночастиц в гелях

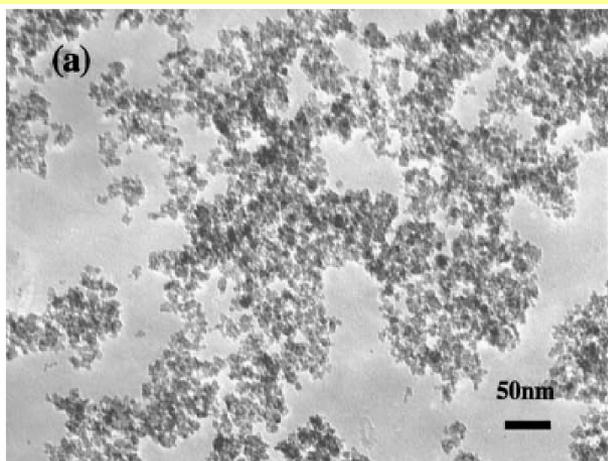
ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ

Преимущества гидротермального метода

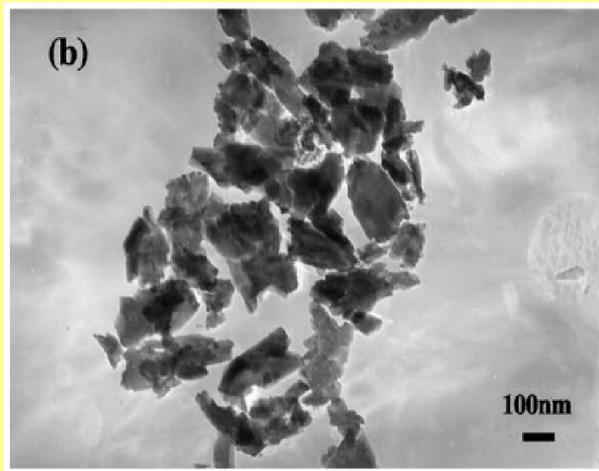
- одностадийный метод;
- высокая степень смешения реагентов;
- относительно мягкие условия синтеза (температура <math>< 350^{\circ}\text{C}</math>);
- возможность контроля морфологии, размера частиц и фазового состава получаемых продуктов.



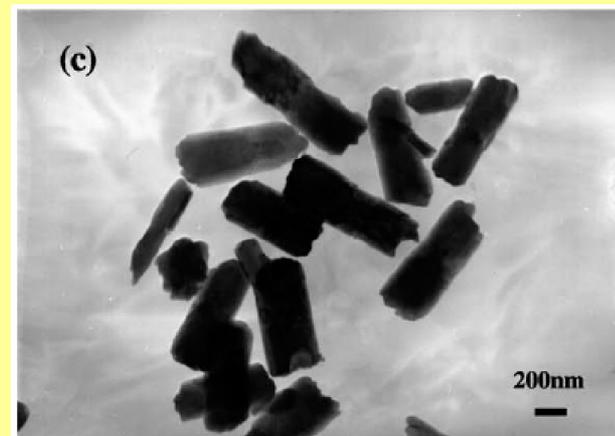
24 ч 5M NaOH



150°C
t-ZrO₂,
сферические
частицы, 20-30 нм



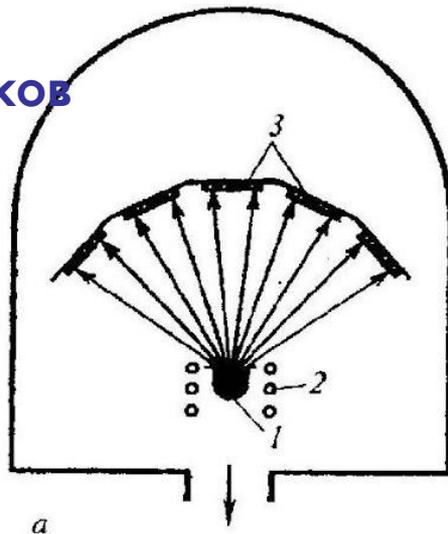
200°C
m-ZrO₂,
палочкообраз
ные частицы,
200 нм



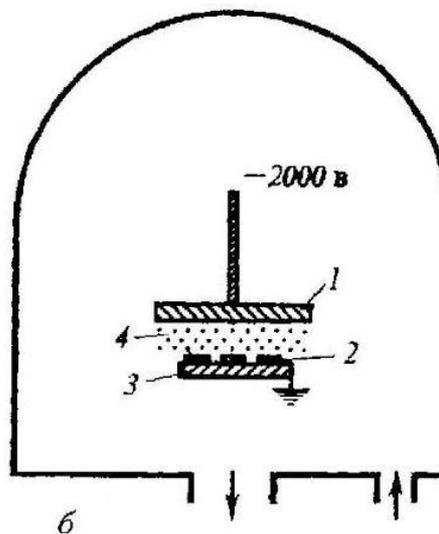
250°C
m-ZrO₂,
палочкообраз
ные частицы,
500 нм

ВЫРАЩИВАНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

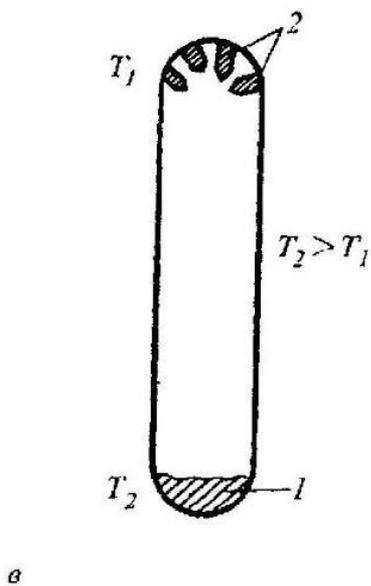
Метод молекулярных пучков в вакууме



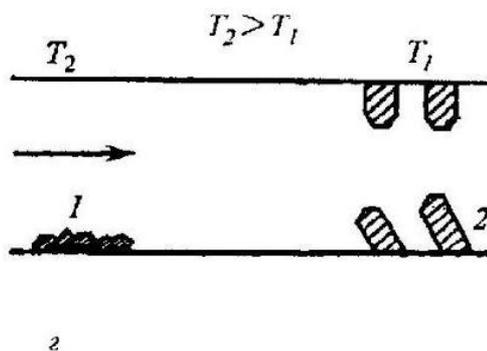
Метод катодного распыления



Метод объемной паровой фазы



Метод в потоке инертного газа



Пустотелые «нанопружинины» TiO_2 , полученные

газо-конденсационным методом

