

# **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	наноплётки и нанослои

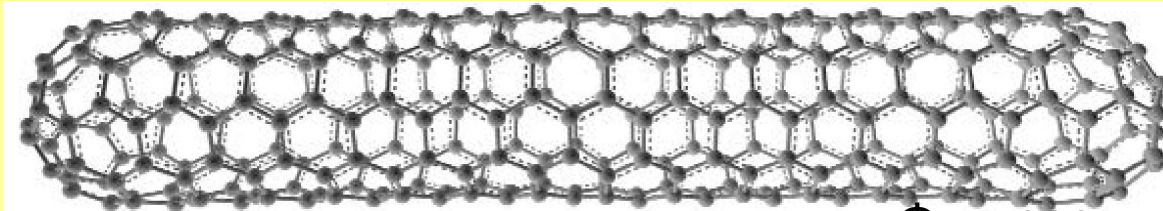
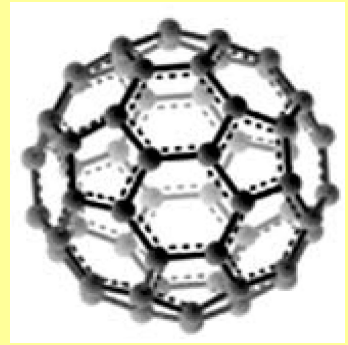
# ОБЪЕКТЫ НАНОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

<b>Наночастицы</b>	<b>Наносистемы</b>
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

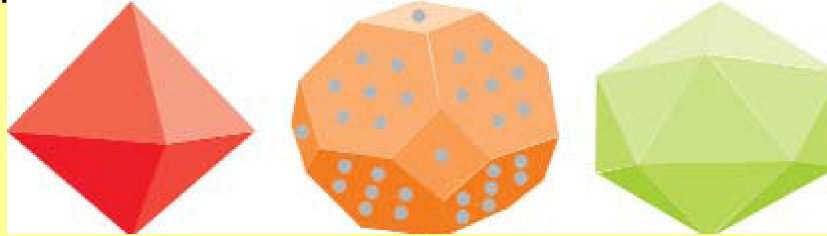
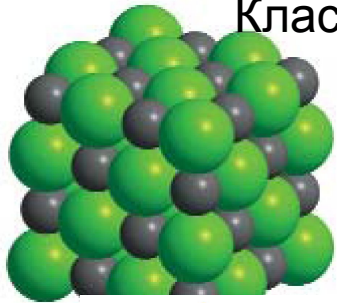


Наночастица из 16 атомов аргона

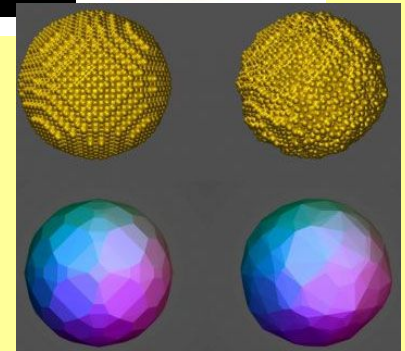
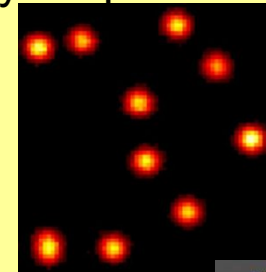


Фуллерен и нанотрубка

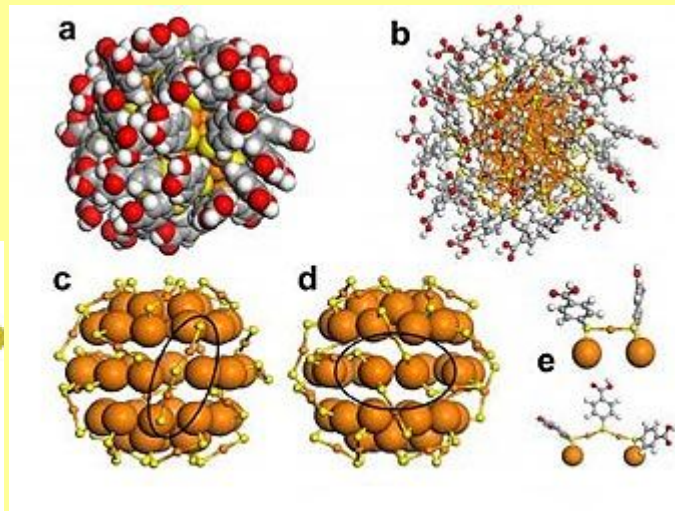
Кластеры



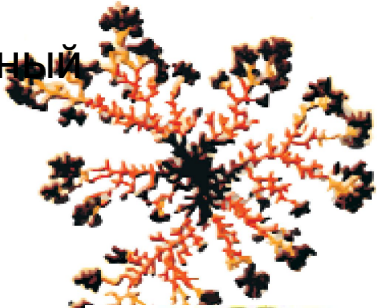
Формы металлических наночастиц



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

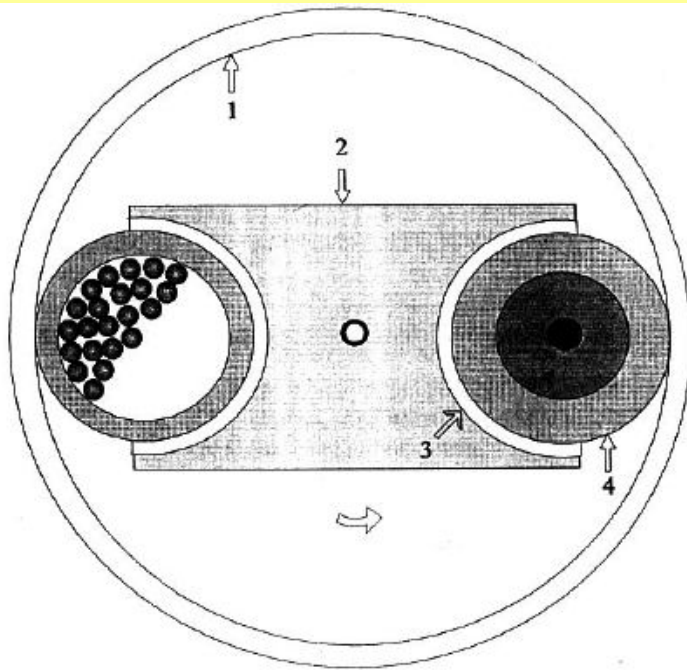


молекулярный

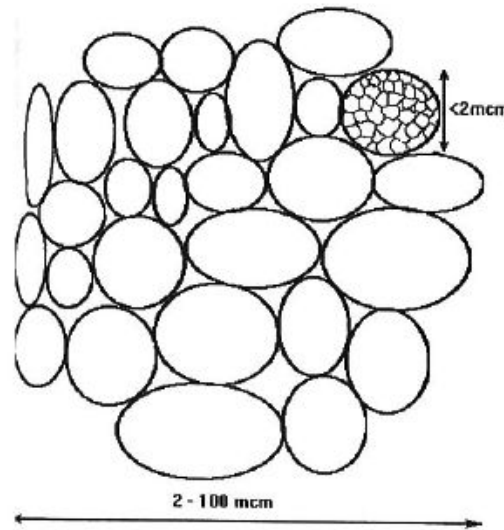
# **СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ**

- **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**

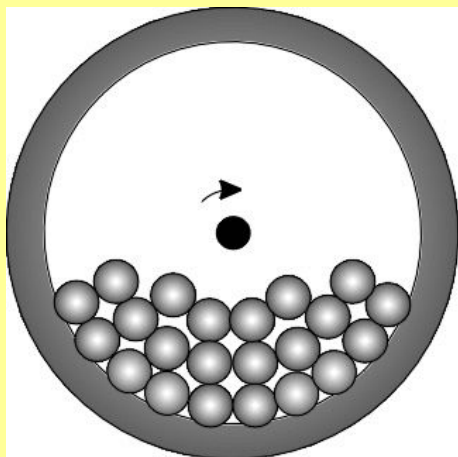


**Структура агрегатов субмикронных частиц после помола: деагрегация + активация = агрегация**

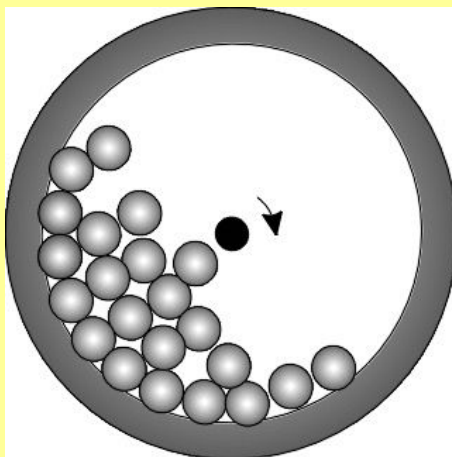
Перемешивание + истирающие / сдвиговые + ударные + (термические) + (электрические) воздействия + ... (загрязнения материалом барабана)



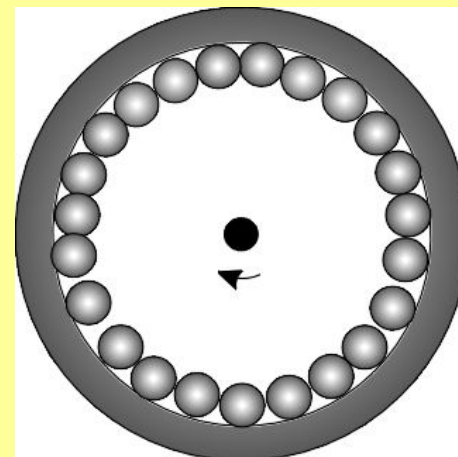
# Шаровая барабанная мельница



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

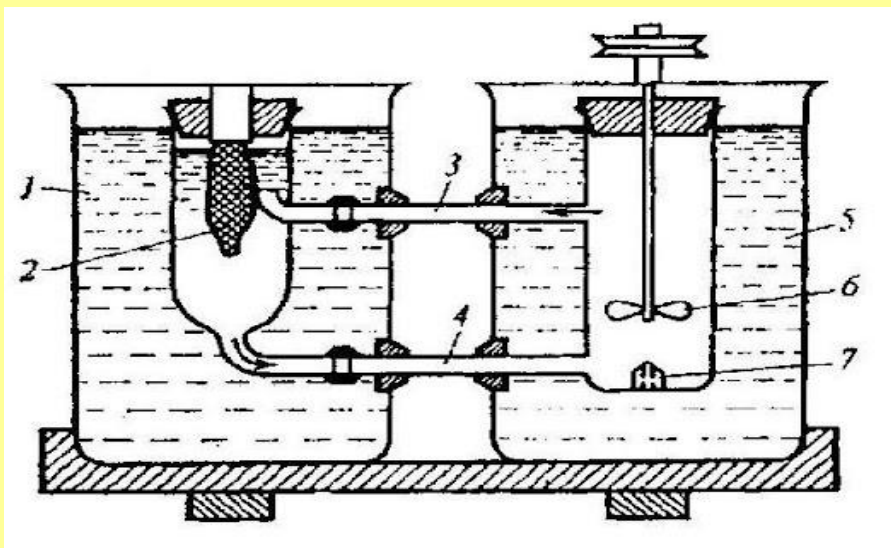


При высоких скоростях шары прижимаются к стенке центробежными силами и истирания почти не происходит

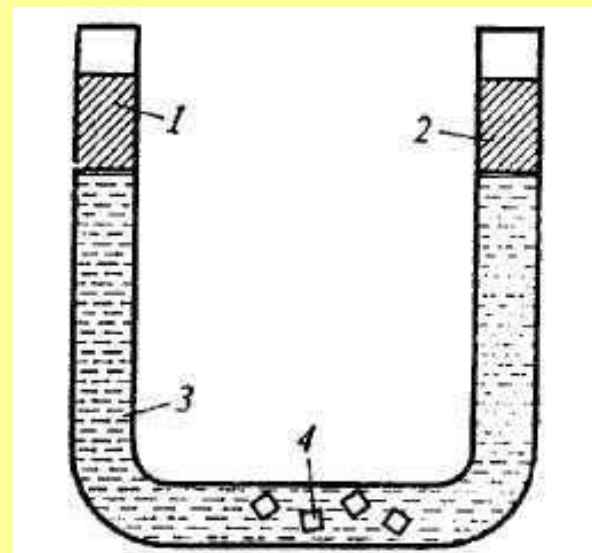


# ОБРАЗОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

За счет изменения температуры  
За счет изменения состава  
При химической реакции



Метод температурного перепада

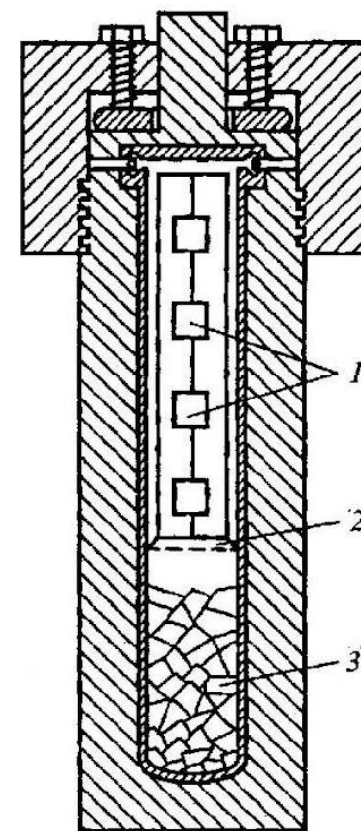


Образование наночастиц в гелях

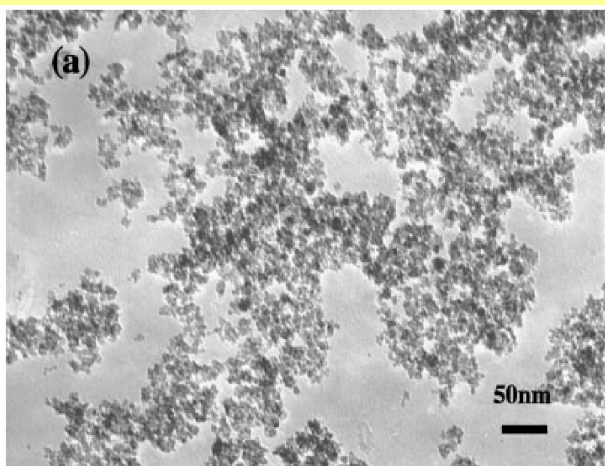
# ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ

## Преимущества гидротермального метода

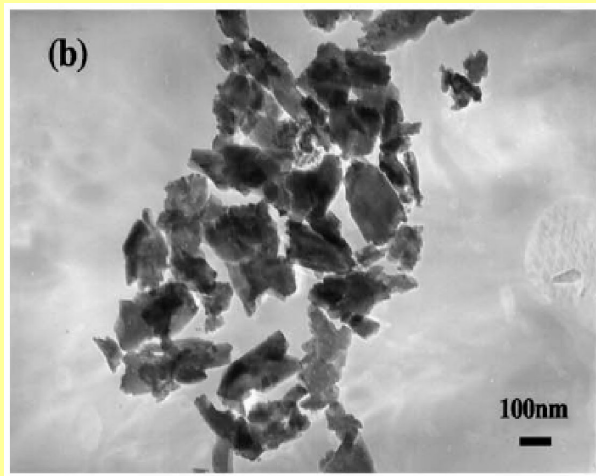
- одностадийный метод;
- высокая степень смешения реагентов;
- относительно мягкие условия синтеза (температура  $< 350^{\circ}\text{C}$ );
- возможность контроля морфологии, размера частиц и фазового состава получаемых продуктов.



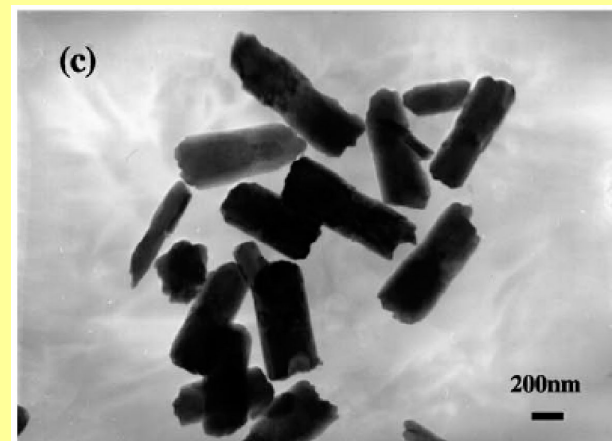
24 ч 5M NaOH



150°C  
t-ZrO<sub>2</sub>,  
сферические  
частицы, 20-30 нм



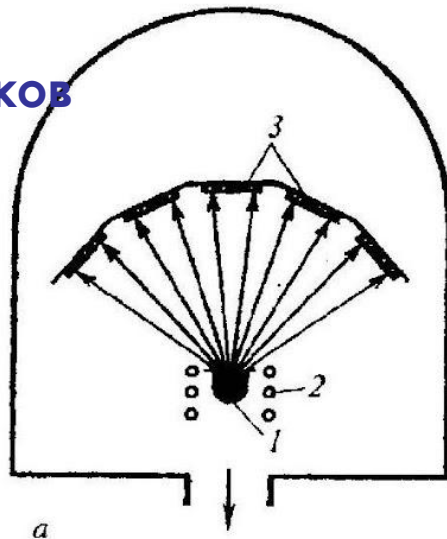
200°C  
m-ZrO<sub>2</sub>,  
палочкообраз  
ные частицы,  
200 нм



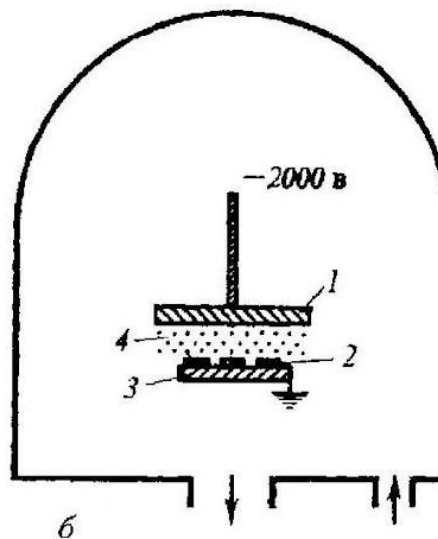
250°C  
m-ZrO<sub>2</sub>,  
палочкообраз  
ные частицы,  
500 нм

# ВЫРАЩИВАНИЕ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

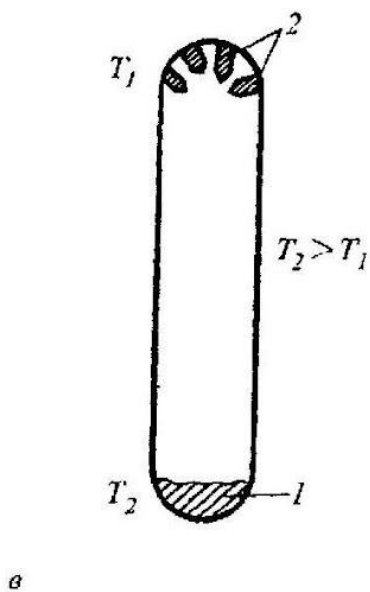
Метод молекулярных пучков в вакууме



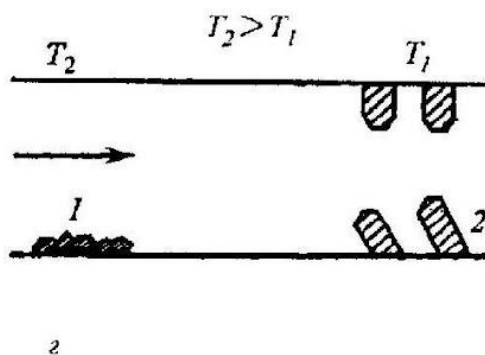
Метод катодного распыления



Метод объемной паровой фазы



Метод в потоке инертного газа



# Пустотелые «нанопружинины» $\text{TiO}_2$ , полученные

## газо-конденсационным методом

