

# ***Основные классы методов получения наночастиц***



# Получение наночастиц в газовой фазе

## 1. Получение наночастиц в процессе «испарение – конденсация»

В газовой фазе наиболее часто проводят следующие процессы: испарение - конденсация (испарение в электрической дуге и в плазме); осаждение; топохимические реакции (восстановления, окисления, разложение частиц твердой фазы).

В процессе «испарение - конденсация» жидкие или твердые вещества испаряют при контролируемой температуре в атмосфере инертного газа низкого давления с последующей конденсацией пара в охлаждающей среде или на охлаждающих устройствах (рис. 1). Этот способ позволяет получать частицы размером от двух до нескольких сотен нанометров. Наночастицы с размером менее 20 нм обычно имеют сферическую форму, а у более крупных может появляться огранка.

---

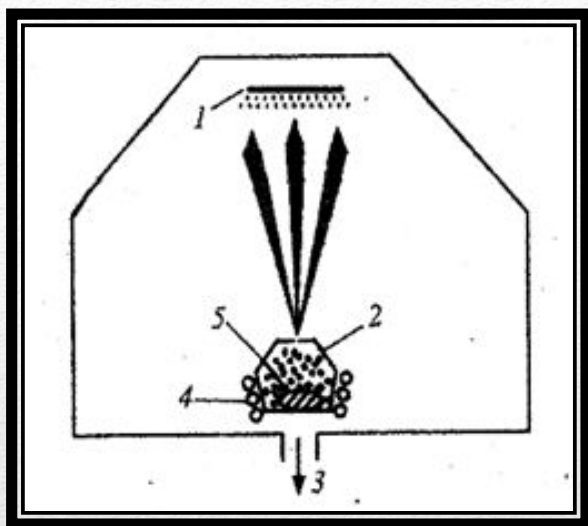


Рис. 1 Схема получения нанопорошков в процессе испарение – конденсация

Обычно испаряемое вещество 5 помещают в нагревательную камеру 2 с нагревателем 4 и отверстием (диафрагмой), через которое испарившиеся частицы вещества попадают в вакуумное пространство (с давлением около  $0,10-0,01\text{Па}$ ), где происходит формирование молекулярного пучка. Частицы, двигаясь практически прямолинейно, конденсируются на охлаждаемой подложке 1. Откачка газа из аппарата осуществляется через клапан 3.

## 2. Газофазное получение наночастиц

Для газофазного получения наночастиц применяются установки, различающиеся способами подвода и нагрева испаряемого материала, составом газовой среды, методами осуществления процесса конденсации и отбора получаемого порошка. Например, порошок осаждают на охлаждаемый вращающийся цилиндр или барабан и счищают с него скребком в приемную емкость.

Схема конструкции аппарата для газофазного синтеза металлических нанопорошков включает (рис. 2) рабочую камеру 1, охлаждаемый барабан 2, скребок 3, воронку 4, приемную емкость для порошка 5, нагреваемый трубчатый реактор 6, устройство 7 для регулируемой подачи испаряемого материала и несущего газа. В трубчатом реакторе 6 испаряемый материал смешивают с несущим инертным газом и переводят в газофазное состояние.

---

Полученный непрерывный поток кластеров или наночастиц поступает из реактора в рабочую камеру 1 аппарата, в которой создается давление порядка 1 – 50 Па. Конденсация наночастиц и осаждение их в виде порошка происходит на поверхности охлаждаемого вращающегося барабана 2. с помощью скребка 3 порошок удаляют с поверхности барабана; затем он через воронку 4 поступает в приемную емкость 5 и направляется на дальнейшую переработку.

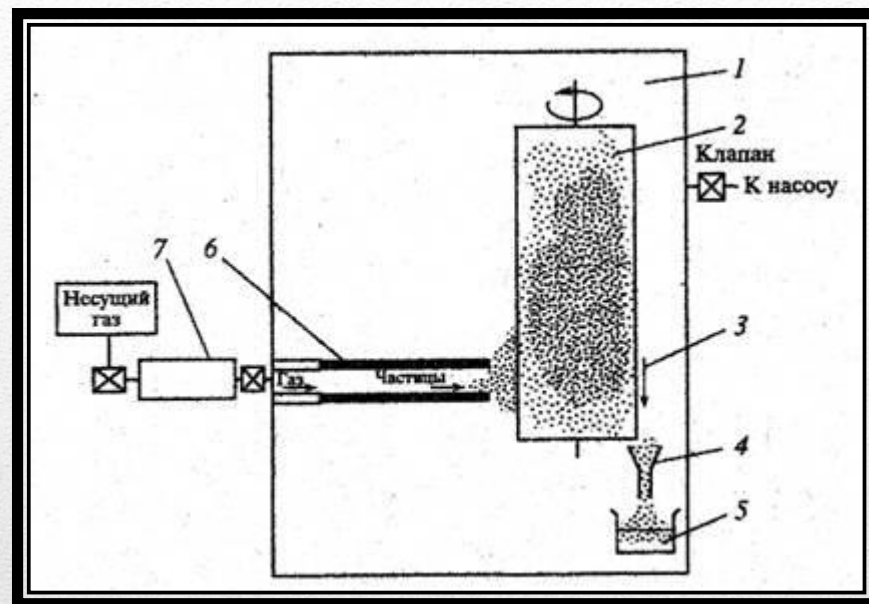


Рис. 2 Схема аппарата для газофазного синтеза металлических нанопорошков

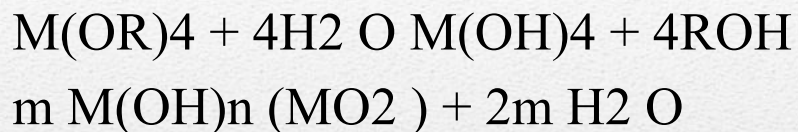
# Получение наночастиц в жидкой фазе

## 1. Химическая конденсация

Химические методы получения наночастиц и ультрадисперсных систем известны достаточно давно. Коллоидный раствор золя золота (красного) с размером частиц 20 нм был получен в 1857г. М. Фарадеем. Агрегативная устойчивость золя объясняется образованием двойного электрического слоя на поверхности раздела твердое тело-раствор и возникновением электростатической составляющей расклинивающего давления, являющегося основным фактором стабилизации данной системы.

---

Реакцию гидролиза проводят в органических растворителях. Последующая полимеризация приводит к образованию геля:



Этот метод обладает чрезвычайно широкими возможностями и позволяет получать материалы, содержащие и биологически активные макромолекулы.



## 2. Осаждение в растворах и расплавах

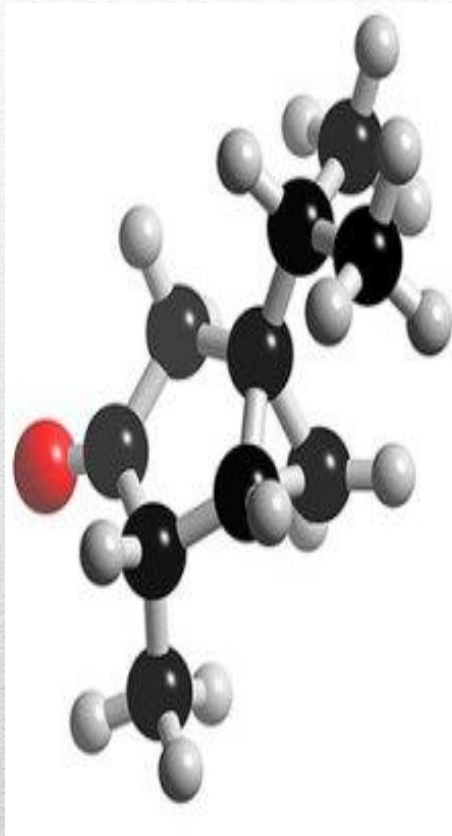
Осаждение в растворах. Общие закономерности образования наночастиц в жидких средах зависят от множества факторов: состава и свойств исходного вещества (раствора, расплава); характера диаграммы равновесия фаз рассматриваемой системы; способа создания пересыщения раствора или расплава; используемого оборудования и режимов его работы.

В случае синтеза необходимых фаз проводят термообработку порошка после его сушки или эти фазы объединяют в одну. После термообработки проводят дезагрегацию агрегатов до размеров наночастиц.

Методом осаждения можно получать оксидные металлические и металлоксидные материалы, композиции на их основе, различные ферриты и соли.

---





Осаждение в расплавах. При этом способе жидкой средой являются расплавы солей или металлов (чаще всего используют расплавы солей). Образование твердой фазы происходит при достаточно высокой температуре, когда диффузионные процессы вызывают высокую скорость роста кристаллов. Основной проблемой при этом является исключение захвата синтезируемым порошком компонентов побочных соединений. Для выделения синтезированного порошка после охлаждения соль растворяют в подходящих растворителях.

Более перспективен этот метод для получения наночастиц растворением исходных более крупных частиц. В этом случае можно сразу получать нанокompозит, если растворяющаяся среда, например стеклообразная, будет играть роль матрицы для наночастиц.

### 3. Электрохимический метод получения наночастиц

Электрохимический метод связан с выделением на катоде вещества в процессе электролиза простых и комплексных катионов и анионов. Если в цепь постоянного электрического тока включить систему, состоящую из двух электродов и раствора (расплава) электролита, то у электродов будут протекать реакции окисления-восстановления. На аноде (положительный электрод) анионы отдают электроны и окисляются; на катоде (отрицательный электрод) катионы присоединяют электроны и восстанавливаются. Образующийся на катоде осадок в результате, например, электрокристаллизации, в морфологическом отношении может быть как рыхлым, так и плотным слоем из множества микрокристаллитов.

---

Одним из перспективных научных направлений является использования электрохимического синтеза для конструирования наноструктурных материалов. Суть его заключается в формировании в ходе кинетически контролируемого электровосстановления двухмерных (лэнгмюровских) монослоев металлических наночастиц под монослойными матрицами ПАВ.

Основными достоинствами метода являются экспериментальная доступность и возможность контроля и управления процессом получения наночастиц.



# Методы диспергирования

## 1. Механохимическое диспергирование

Метод диспергирования в мельницах различной конструкции выглядит весьма привлекательно для получения дисперсных систем. Однако, существует предел механического измельчения твердых тел, препятствующий в ряде случаев устойчивому достижению измельчения до наноразмеров с узким распределением; к тому же высокие энергетические нагрузки на измельчаемый материал приводят к интенсивному взаимодействию образующихся наночастиц со средой диспергирования. Отдельные примеры успешного использования механохимического диспергирования для получения магнитных наночастиц приведены ниже.

---

## 2. Электроэрозия

Метод позволяет нанодиспергировать металлы и сплавы, процесс проходит внутри диэлектрической жидкости, продукты трансформации которой покрывают образующиеся наночастицы; метод не позволяет получать частицы с узким распределением по размерам: в зависимости от условий проведения процесса, природы металла и среды диспергирования разброс частиц колеблется в интервале 2,5-20 нм, но при этом присутствуют отдельные частицы с размерами до 100 нм; считается, что мелкие частицы образуются при закалке паров металла, а крупные – из расплавленных капель. Показано, что метод с успехом применим для получения наночастиц сложных по составу постоянных магнитов.

---



### 3. Электрохимическое генерирование

Этот метод получения наночастиц выглядит достаточно привлекательным для получения значительных количеств небольших по размерам (1-2 нм) наночастиц с узким распределением по размерам [40]. В стандартной электрохимической ячейке, содержащей раствор тетраалкиламмоний галогенида в спирте, при пропускании тока происходит растворение кобальтового анода и образование наночастиц в приэлектродном слое катода (стеклоуглерод).

---



Средний размер наночастиц обратно пропорционален плотности тока. Образующаяся в результате электролиза коллоидная взвесь наночастиц стабильна при хранении в течение нескольких месяцев в аргоновой атмосфере. Испарение растворителя приводит к образованию кристаллитов, из которых легко вновь приготовить коллоидную суспензию.

Электрохимическим методом были получены также наночастицы (3-8 нм)  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; частицы стабильны в органических растворителях за счет адсорбции катионных сурфактантов.

**Спасибо за  
внимание!**

---