

# Нано-порошки

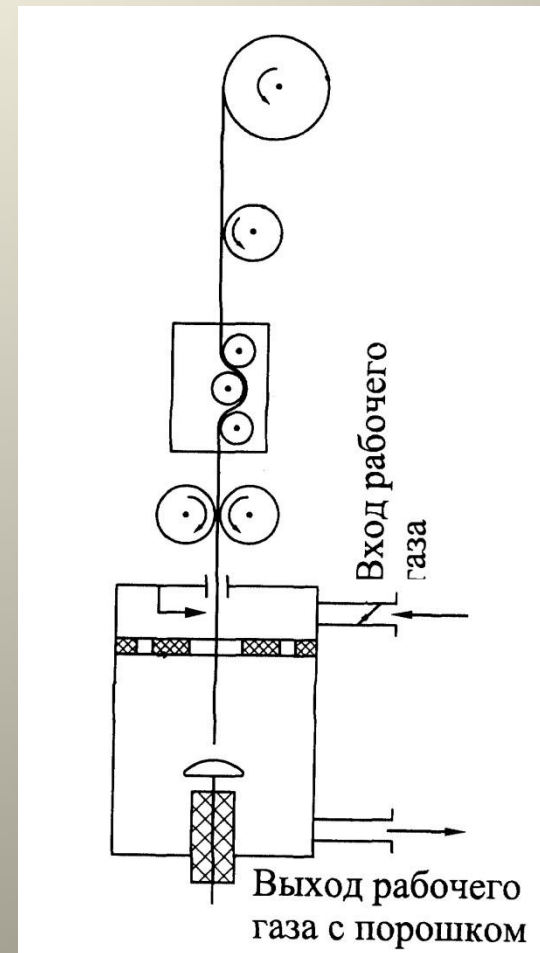
- К нанопорошкам относят частицы размером менее 100 нм
- Общий принцип создания нано-частиц
- Большая скорость образования центров зарождения частиц;
- Низкая скорость роста образовавшихся частиц

# способы получения нано-порошков

- 1) плазмохимический метод,
- 2) электрический взрыв проводников,
- 3) метод испарения и конденсации,
- 4) левитационно-струйный метод,
- 5) метод газофазных реакций,
- 6) разложение нестабильных соединений,
- 7) метод криохимического синтеза,
- 8) золь-гель метод,
- 9) метод осаждения из растворов,
- 10) самораспространяющийся высокотемпературный синтез,
- 11) механосинтез,
- 12) ударно-волновой или детонационный синтез,
- 13) кавитационно-гидродинамический, ультразвуковой, вибрационный методы,
- 14) диспергирование объемных материалов путем фазовых превращений в твердом состоянии,

# Электрический взрыв проволочек

- $J = 10^4 - 10^6 \text{ А/мм}^2$
- $\tau = 10^{-5} - 10^{-7} \text{ с};$
- Размер частиц от 10 нм до 1 мкм;
- Химический состав частиц определяется атмосферой в камере



# Установка электрического взрыва проводочек

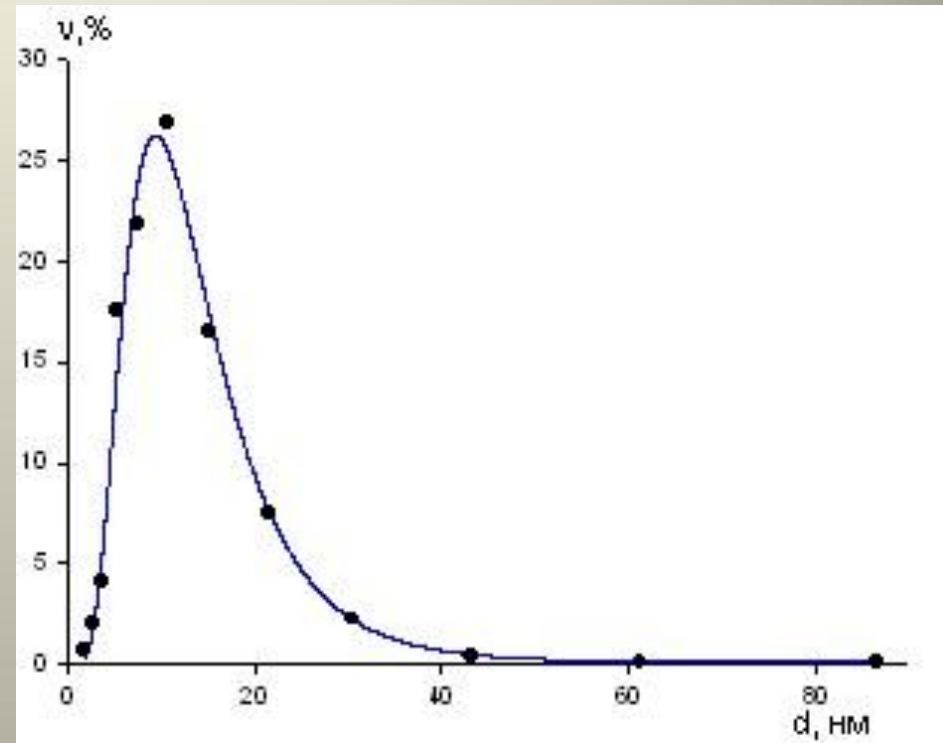
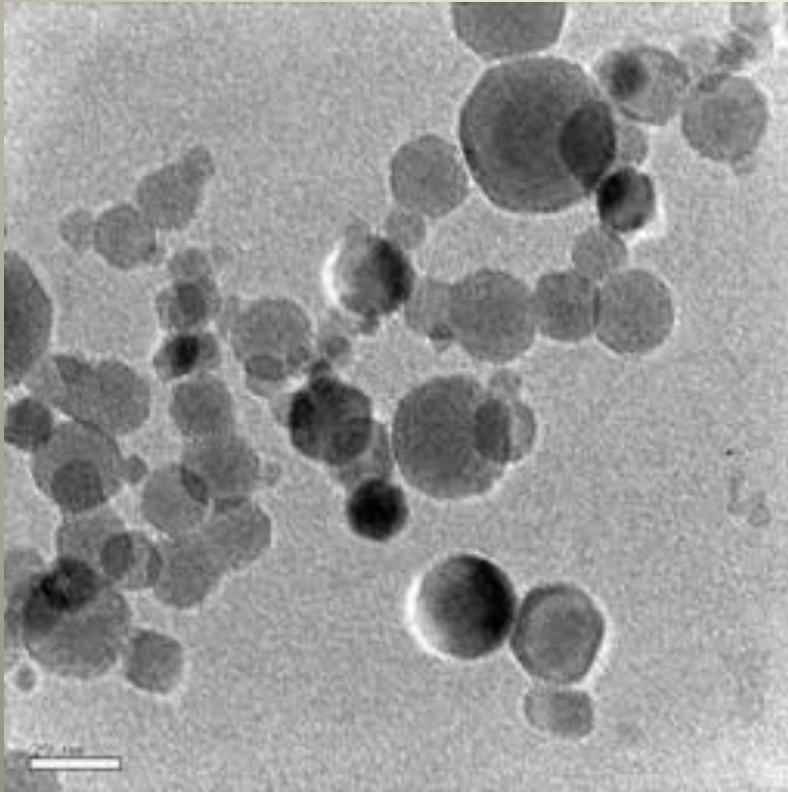
- 1- механизм подачи проволоки;
- 2 - реактор;
- 3 – генератор импульсного тока;
- 4 – вентилятор;
- 5 – циклон;
- 6 – тканевый фильтр;



# Испарение - конденсация

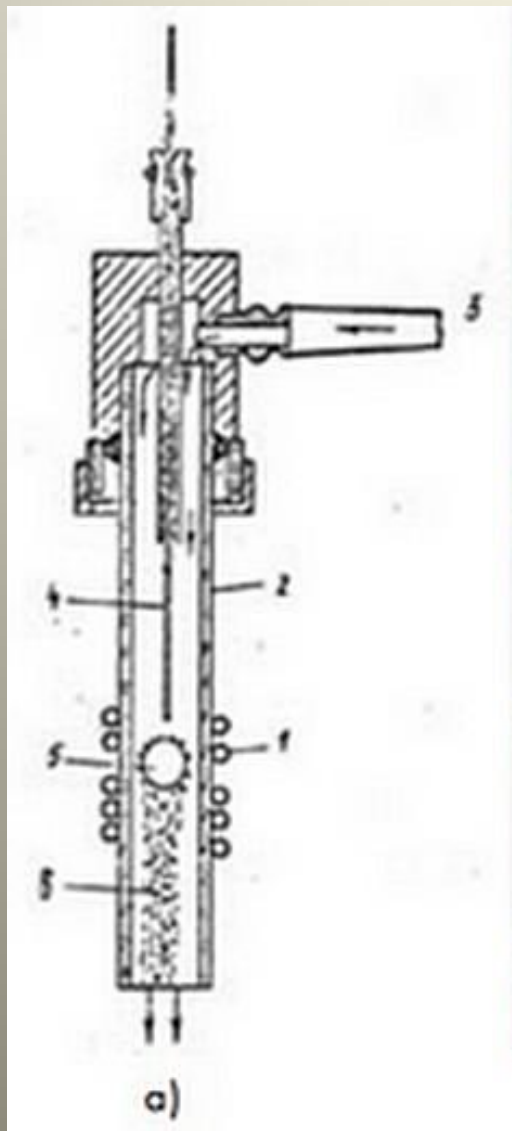


# Нанопорошок $ZrO_2$

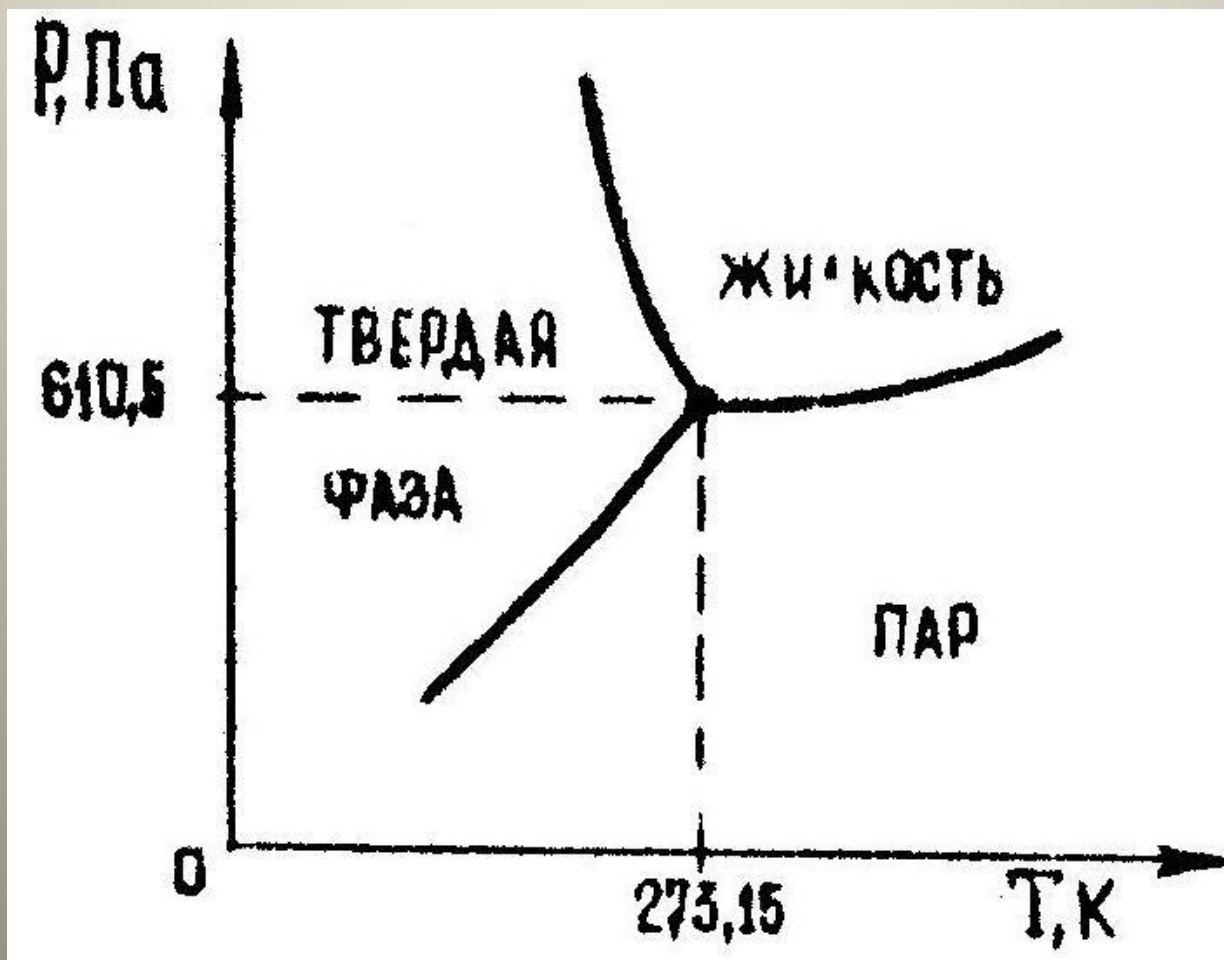


- Преимущества метода: чистота продукции;
- Недостаток – низкая производительность

# Левитационно – струйный метод

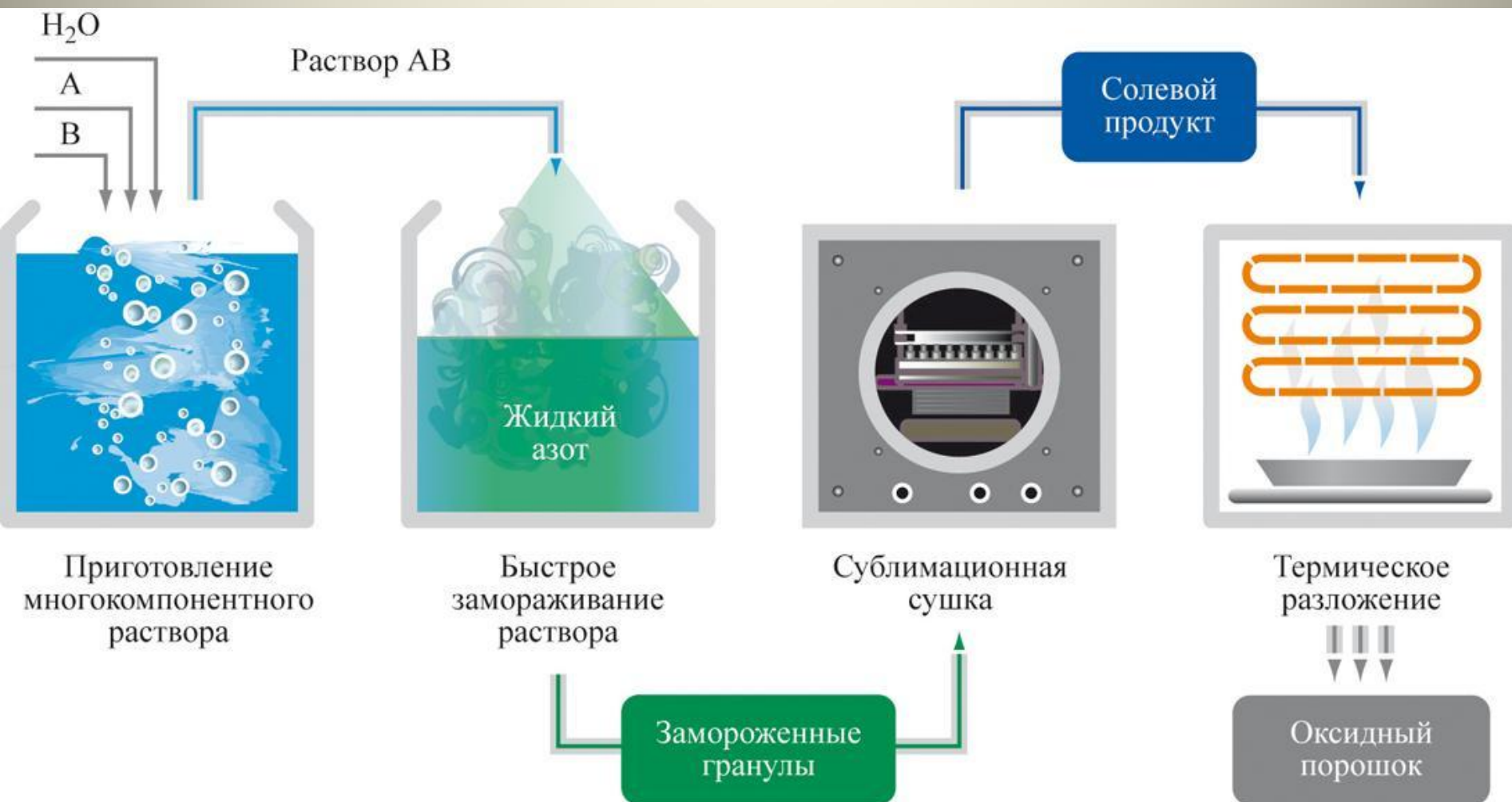


# диаграмма состояния воды

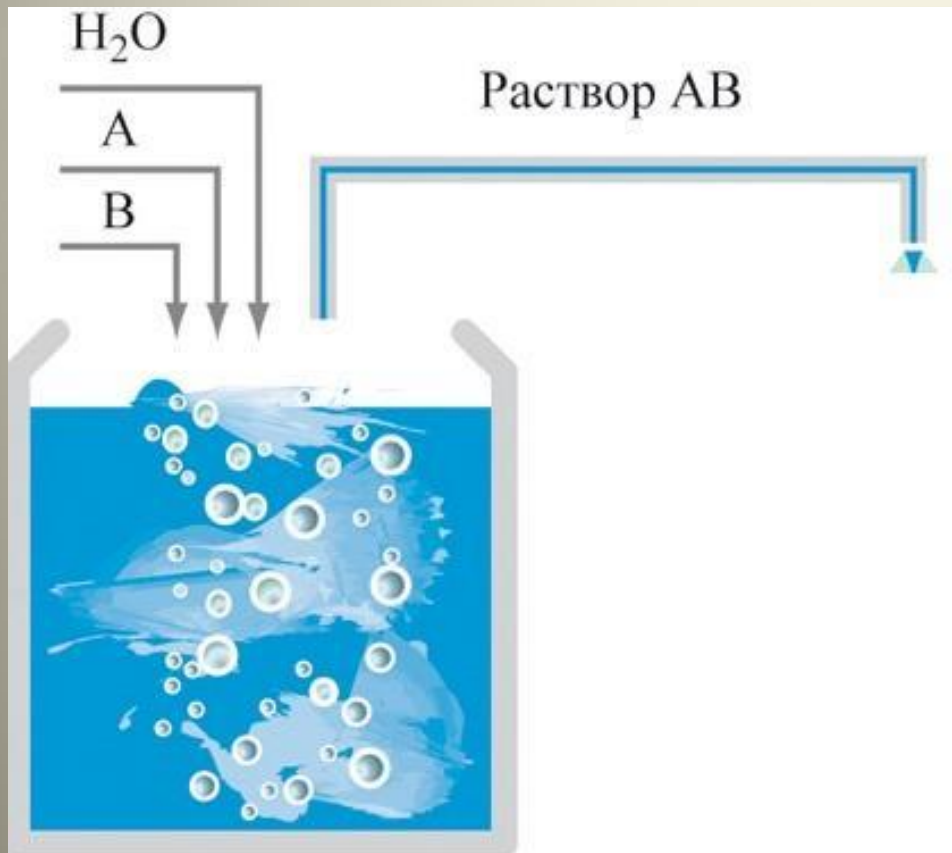




# Криохимический синтез



# Приготовление исходных растворов



Приготовление  
многокомпонентного  
раствора

Чаще всего в качестве растворителя используется **ВОДА**, можно использовать и другие растворители, которые легко замораживаются и сублимируются.



# Криокристаллизация

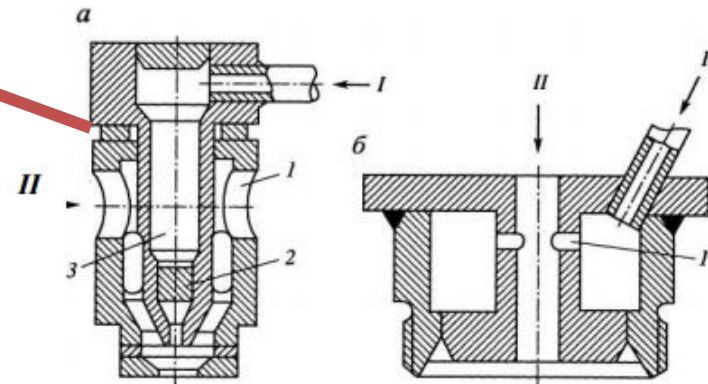
Процесс получения криогранул за счет замораживания раствора в условиях высоких скоростей охлаждения.

Раствор АВ



Быстрое замораживание раствора

Замороженные гранулы



Схемы пневматических форсунок внутреннего (а) и внешнего (б) смешения  
I - отверстия; 2 - штек; 3 - центральный канал; / - жидкость; // - газ

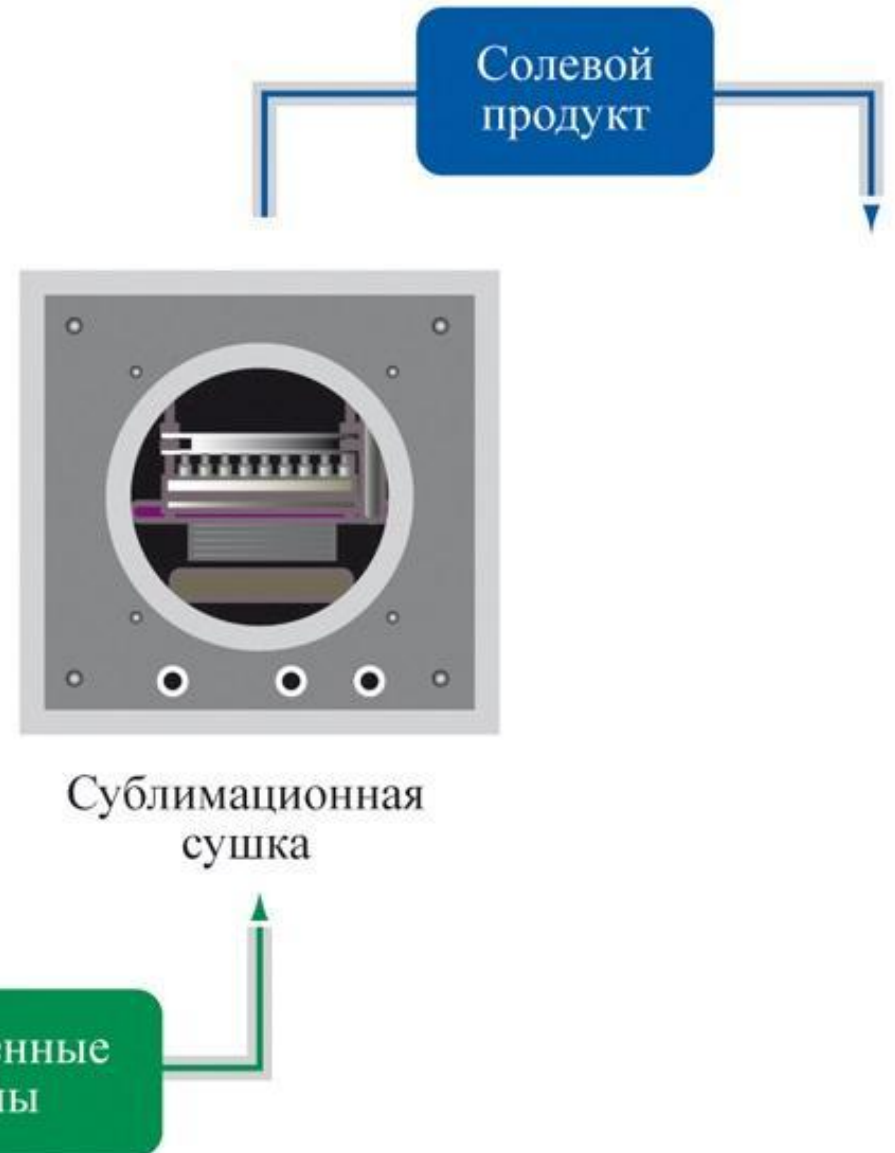
Размер капель 50 – 800 мкм

гексан –  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$

# Сублимационное обезвоживание

Заключается в удалении растворителя из замороженного продукта криокристаллизации, путем его возгонки (сублимации), то есть непосредственного перевода растворителя в парообразное состояние, минуя жидкую фазу.

При сублимационном обезвоживании удается избежать химических изменений компонентов, свести к минимуму потери летучих компонентов материала, высушить продукт без вспенивания, сохранить дисперсность составных частей композиции материала, поддержать стерильность и свести к минимуму окисление продукта.



# Термическое разложение

## Термическое разложение

Процесс получения мелких твердых частиц из газовых смесей.

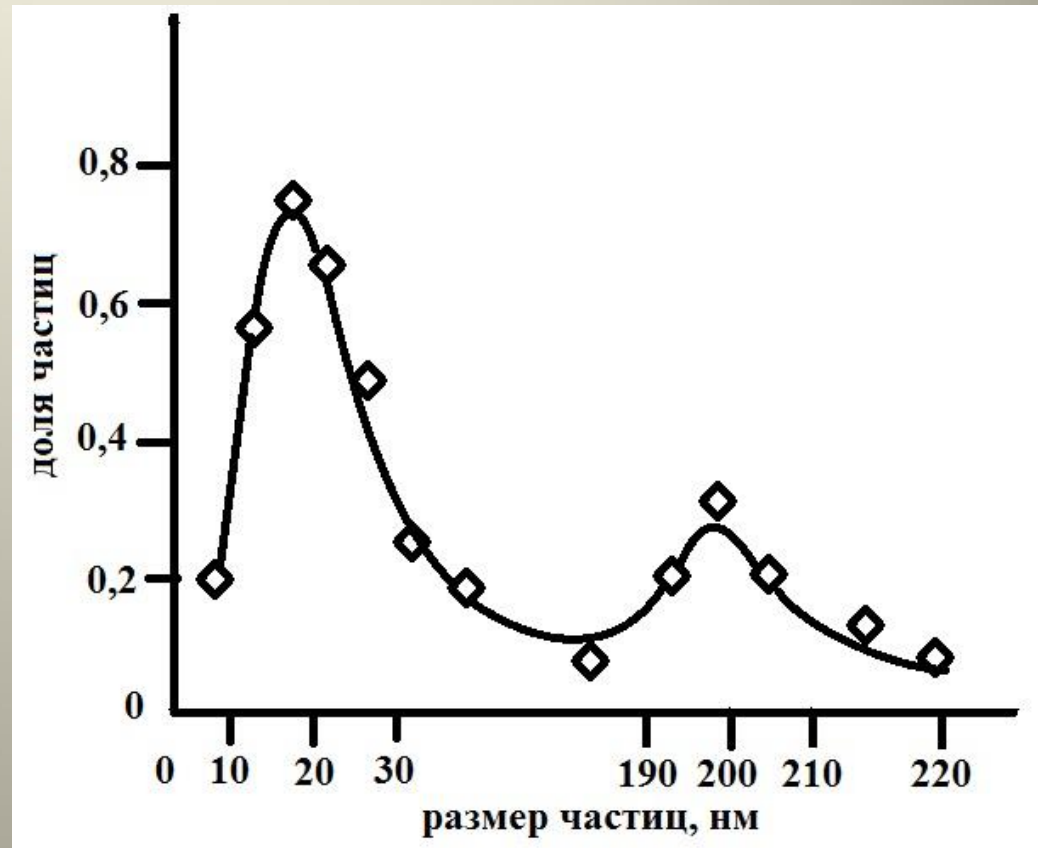
Для продуктов сублимационного обезвоживания реакции начинаются в отдельных дискретных кристаллитах на поверхности пористых гранул (в центрах реакции) и постепенно захватывают весь объем.





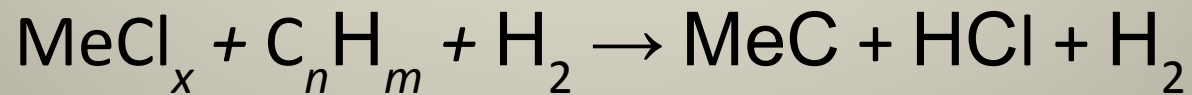
# Разложение нестабильных соединений

- Алкоголяты  
R-OMe
  - $\text{CH}_3\text{ONa}$
- Азиды  $\text{Me}^{n+}(\text{N}_3)_n$ 
  - $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$
- Карбонаты,  
гидрооксиды,  
карбонилы



# Осаждение карбидов из газовой фазы

Используется при производстве порошков высокой степени чистоты в виде nano частиц, готовых изделий особенно сложной конфигурации или плотных покрытий практически на любой подложке

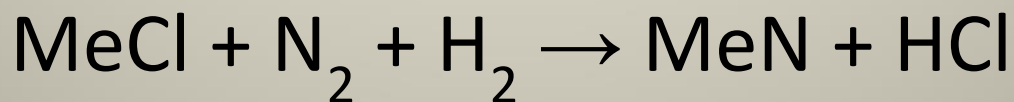


Восстановителем является водород, а углерод, образующийся в результате разложения углеводорода, связывает металл, выделяющийся вследствие восстановления паров хлорида металла водородом, в карбид



# Осаждение нитридов из газовой фазы

Получают продукт высокой степени чистоты из реагентов высшей чистоты

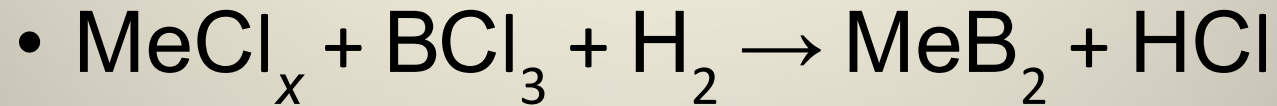


Чаще всего нитриды осаждаются на нагретой вольфрамовой нити. При низких температурах образуются мелкие кристаллы.

# Режимы получения нитридов

Нитрид	Условия получения	
	Температура, °C	Состав газовой фазы
TiN	1100–1700	$\text{TiCl}_4 : 3\text{N}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3 : 2$
ZrN	1100–2700	$\text{ZrCl}_4 : 3\text{N}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3 : 2$
	2800–3000	$\text{ZrCl}_4 : \text{N}_2 = 1 : 2$
TaN	2400–2600	$\text{TaCl}_5 : \text{N}_2 = 1 : 2$

# Осаждение боридов из газовой фазы



# Основные способы производства металлических порошков

Материал порошка	Способ производства
Железо	Восстановление оксидов, распыление, электролиз, карбонильный метод
Медь	Электролиз, восстановление оксидов, распыление
Алюминий	Газовое распыление, механическое измельчение
Никель	Карбонильный метод, электролиз, распыление
Кобальт	Восстановление оксидов, автоклавный метод
Интерметаллиды (Ni-Al и др.)	Газовое распыление, CVC
Титан	Металлотермия, газовое распыление
Тугоплавкие металлы (W и др.)	Восстановление оксидов

# Относительные цены на порошки

