

ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ

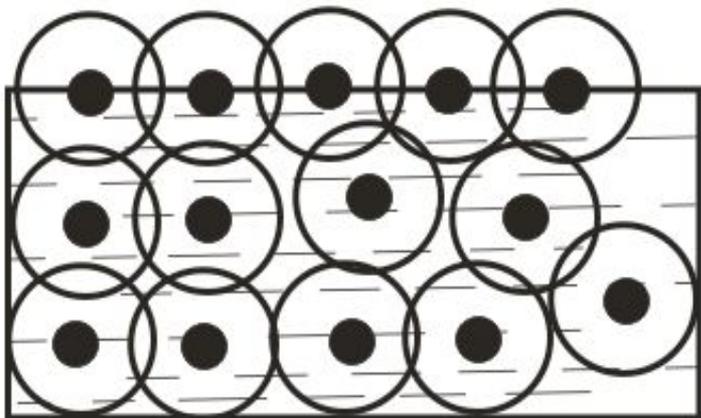
План.

- 1. Поверхностная энергия, поверхностное натяжение; поверхностно-активные вещества (ПАВ).**
- 2. Природа и классификация дисперсных систем.**
- 3. Свойства коллоидных систем.**
- 4. Методы получения дисперсных систем.
Строение мицеллы.**
- 5. Устойчивость коллоидных систем.**
- 6. Наночастицы: способы получения и стабилизации.**

Состояние вещества на границе раздела фаз

**Поверх-
ностные моле-
кулы сильно
не
уравновешены
по действию на
них
межмолекуляр-
ных сил**

ВОЗДУХ



● Частица

○ Зона действия сил



***поверхностная энергия - потенциальная энергия
межфазной поверхности***



$$\Delta G_{\text{пов}} = \Delta H_{\text{пов}} - T\Delta S_{\text{пов}} = \sigma F$$

$\Delta G_{\text{пов}}$ – изменение энергии Гиббса при образовании поверхности, $\Delta H_{\text{пов}}$ – изменение энтальпии и $\Delta S_{\text{пов}}$ – изменение энтропии;
 σ – поверхностное натяжение, Дж/м², F – площадь поверхности, м².

Поверхностное натяжением - работа, затрачиваемая на изотермическое и обратимое образование единицы поверхности раздела фаз: $\sigma = \Delta G_{\text{пов}} / F$

Чем больше σ , тем труднее создать данную поверхность!

σ зависит от природы соприкасающихся фаз, температуры и добавок растворенных веществ.

Жидкость	T, °C	σ , Дж/м ²	Жидкость	T, °C	σ , Дж/м ²
Неполярные			Полярные		
Гелий	-271,6	0,000354	Вода H ₂ O	20	0,07275
Водород	-258,1	0,00283	Серовуглерод	20	0,0324
Бензол	+20	0,02887	CS ₂		
C ₆ H ₆			Этанол	20	0,02203
			C ₂ H ₅ OH		
Ионные расплавы			Металлические		
KNO ₃	380	0,1104	Ртуть Hg	-39	0,478
NaCl	803	0,1138			
			Шарообразные капли		
			Алюминий Al	660	0,914
			Железо Fe	1528	1,840

Все самопроизвольные процессы происходят в направлении уменьшения ΔG !!!



Измельчение вещества



$F \uparrow$ и

$\Delta G_{\text{пов}} \uparrow$



**Процесс не самопроизвольный!
Требует затрат энергии.**

При раздроблении вещества $\Delta G_{\text{пов}}$ и F стремятся самопроизвольно ↓

Как уменьшить ΔG ?

$\downarrow \sigma$

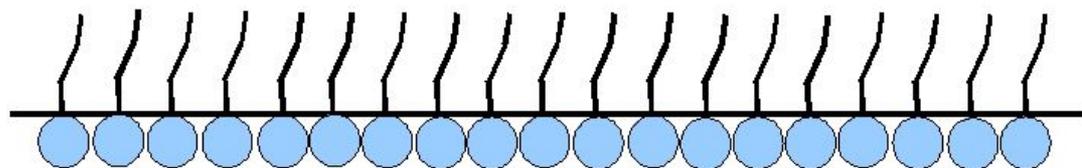
ПАВ – поверхностно-активные вещества

$\downarrow F$

туманы и дождевые облака проливаются дождем, эмульсии расслаиваются, коллоидные растворы разделяются на осадок и жидкость.

Стеарат натрия – наиболее распространенный компонент мыла

менее полярная фаза
воздух



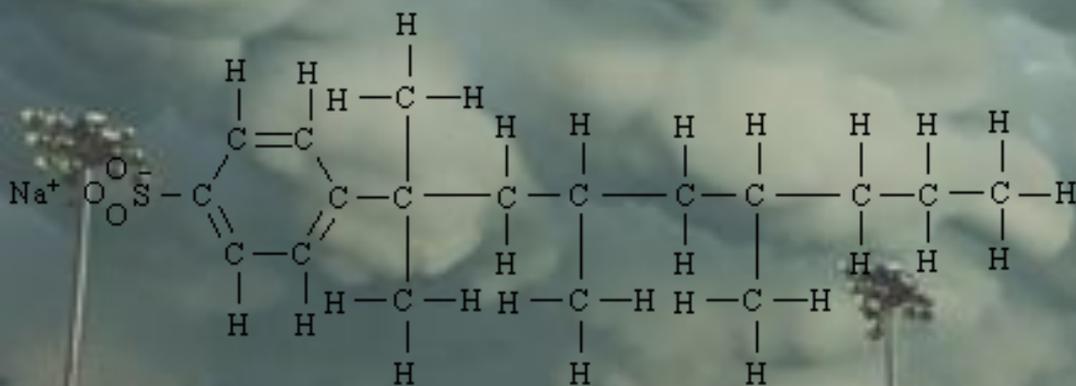
более полярная фаза
вода

молекулы ПАВ

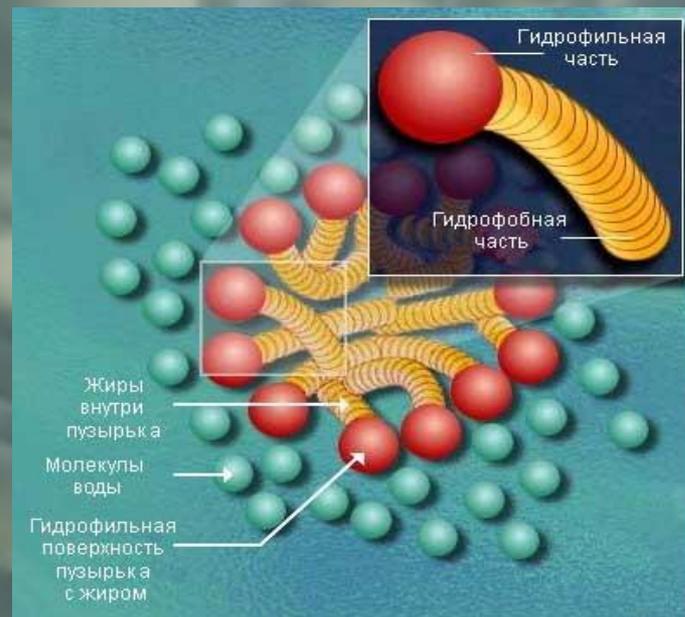
Моющее действие ПАВ заключается в том, что ПАВ постепенно вытесняют с твердой поверхности жирные загрязнения, окружая их и заключая в капсулы. Причина этого в том, что энергия поверхности «масло (жирное загрязнение) – твердое вещество» больше, чем сумма

Типичные представители ПАВ – мыла, синтетические моющие средства (шампуни, гели, опаласкиватели, кондиционеры для белья и др.), белки.

энергий поверхностей «масло - вода» и «вода – твердое тело».

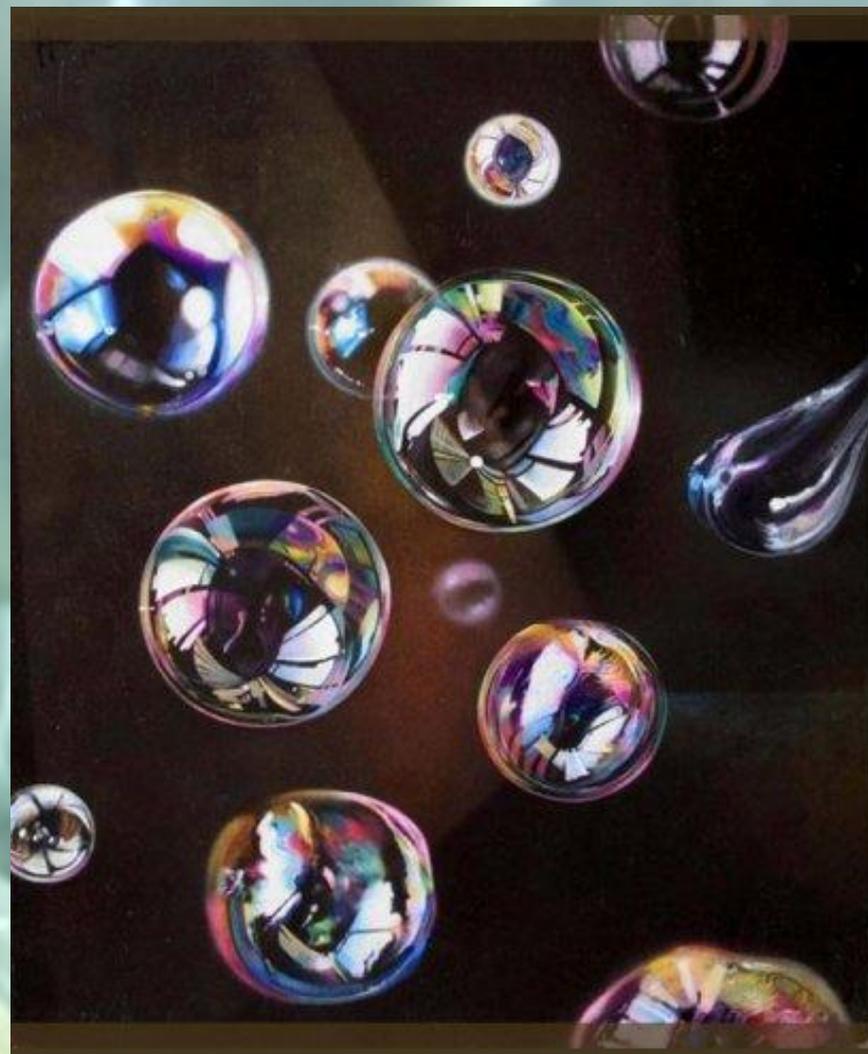


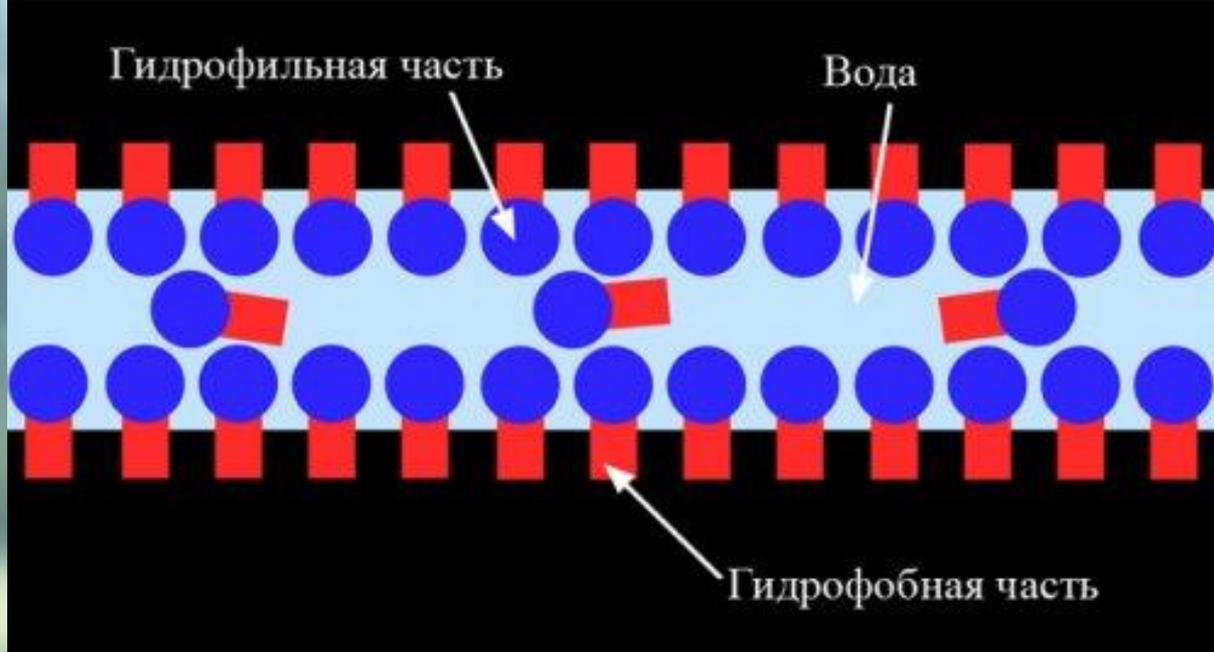
Алкилбензолсульфонат натрия
(II)



Если молекулы растворенного вещества вытесняются из поверхностного слоя внутрь раствора, то их присутствие увеличивает неуравновешенность молекул поверхностного слоя и поверхностное натяжение растет. Такие вещества называли *поверхностно-инактивными веществами (ПИВ)*. К поверхностно-инактивным веществам относятся, прежде всего, сильные неорганические электролиты (NaCl , CaCl_2 , Na_2SO_4 , K_2CO_3 и т.п.).

Мыльный пузырь — тонкая пленка мыльной воды, которая формирует шар с переливчатой поверхностью.





Пленка пузыря состоит из тонкого слоя воды, заключенного между двумя слоями молекул, чаще всего мыла. Эти слои содержат в себе молекулы, одна часть которых является гидрофильной, а другая гидрофобной. Гидрофильная часть привлекается тонким слоем воды, в то время как гидрофобная, наоборот, выталкивается. В результате образуются слои, защищающие воду от быстрого испарения, а также уменьшающие поверхностное натяжение.



Мыло уменьшает σ примерно до трети от σ чистой воды. Когда мыльная пленка растягивается, концентрация мыльных молекул на поверхности уменьшается, увеличивая при этом поверхностное натяжение.

Пузырь существует потому, что поверхность любой жидкости (в данном случае воды) имеет некоторое поверхностное натяжение, которое делает поведение поверхности похожим на поведение чего-нибудь эластичного. Однако, пузырь, сделанный только из воды, нестабилен и быстро лопается. Для стабилизации добавляют ПАВ.

Сферическая форма пузыря также получается за счет поверхностного натяжения. Силы натяжения формируют сферу потому, что сфера имеет наименьшую площадь поверхности при данном объеме.

**Еще примеры
действия
поверхностного
натяжения**

водомерка



Скрепка на воде



Дисперсные системы – гетерогенные системы, которые образуются в результате распределения одного вещества в состоянии тонкого измельчения в другом. Сплошная непрерывная фаза называется *дисперсионной средой*, а находящиеся в этой среде раздробленные частицы определенного размера называются *дисперсной фазой*.

Гетерогенные

Состоят из нескольких фаз с границей раздела между ними

Дисперсионная среда

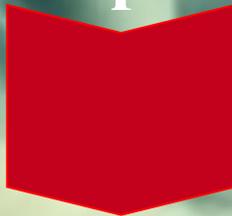
Дисперсная фаза



Истинный раствор—
гомогенная система



Гетерогенная система



Необходимое условие:



Взаимная нерастворимость дисперсной фазы и дисперсионной среды!!!

Количественная характеристика дисперсности (раздробленности) вещества - *степень дисперсности*:

$$D = 1/l,$$

l – размер дисперсной частицы.

Системы	Раздробленность вещества	Поперечный размер частиц, см	Степень дисперсности, см ⁻¹	Число атомов в одной частице
Грубодисперсные	Макроскопическая	$1 - 10^{-2}$	$1 - 10^2$	$> 10^{18}$
Высокодисперсные	Микроскопическая	$10^{-2} - 10^{-5}$	$10^2 - 10^5$	$> 10^9$
	Коллоидная (коллоидные растворы)	$10^{-5} - 10^{-7}$	$10^5 - 10^7$	$10^9 - 10^3$
Истинные растворы	Молекулярная, ионная	$10^{-7} - 10^{-8}$	$> 10^7$	$< 10^3$

Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию

Агрегатное состояние дисперсионной среды	Агрегатное состояние дисперсной фазы	Тип системы	Примеры систем
Газообразное	Твердое	Г – Т	аэрозоли (пыль, дым)
Газообразное	Жидкое	Г – Ж	Аэрозоли (туман, облака)
Жидкое	Газообразное	Ж – Г	Пены
Жидкое	Жидкое	Ж – Ж	Эмульсии
Жидкое	Твердое	Ж – Т	Суспензии (пасты), взвеси, коллоидные растворы (золи)

Твердое

Газообразное

Г – Г

**Твердые пены
(пемза,
пенобетон)**

Твердое

Жидкое

Г – Ж

**Жемчуг (вода
диспергирована
в CaCO_3)**

Твердое

Твердое

Г - Г

**Бетон,
металлокерами
ка, цветные
стекла, эмали,
драгоценные
камни,
минералы.**

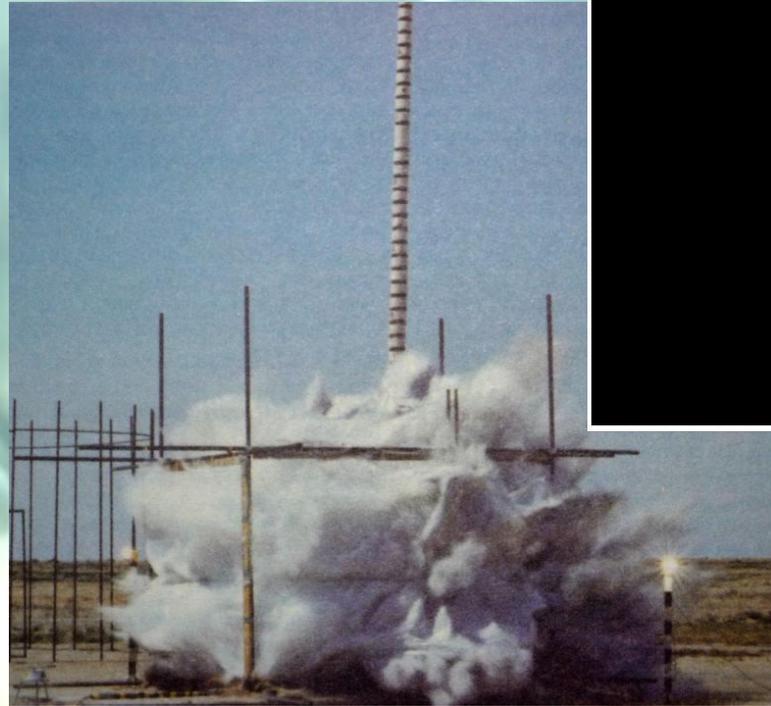
Система газ – твердое:

В земных условиях чаще
всего - воздух

А также пепел

ДЫМ

ПЫЛЬ



Высокодисперсные аэрозоли (частицы размером ~ 1нм) могут находиться в атмосфере месяцами и даже годами!!

Дымы естественные и искусственные:

$\text{CCl}_4 + 2\text{Zn} \rightarrow 2\text{ZnCl}_2 + \text{C} \rightarrow$ конденсация газа **Дымовые шашки**
 $\rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (дым)



Система газ – жидкость:



облака



аэрозоль



туман

**Облака – взвешенные в атмосфере
капли воды и кристаллы льда**

**Образуются при пересыщении
воздуха парами H_2O и
конденсации паров**

**Наличие в атмосфере твердых
частиц (напр. частиц порохового
дыма) ускоряет конденсацию
паров и провоцирует выпадение
осадков**



АЭРОЗОЛИ:
Малый размер
частиц, развитая
межфазная
поверхность



Высокая
химическая
активность



Аэрозоли взрывоопасны!!!

Угольная пыль, пыль
сахара, муки, крахмала
и чая.

Внешняя поверхность пачки спрессованного чая
массой 100г равна 150см^2 . Суммарная поверхность
чайных пылинок размером 2мкм из этой массы
равна 300 м^2 !



Для взрыва достаточно небольшой
электростатической искры

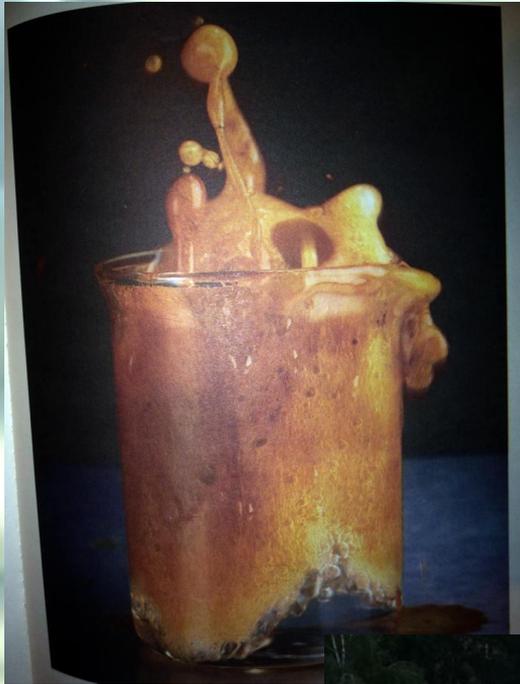


Большой выброс тепловой
энергии за короткое время и
образование газообразных
продуктов окисления.

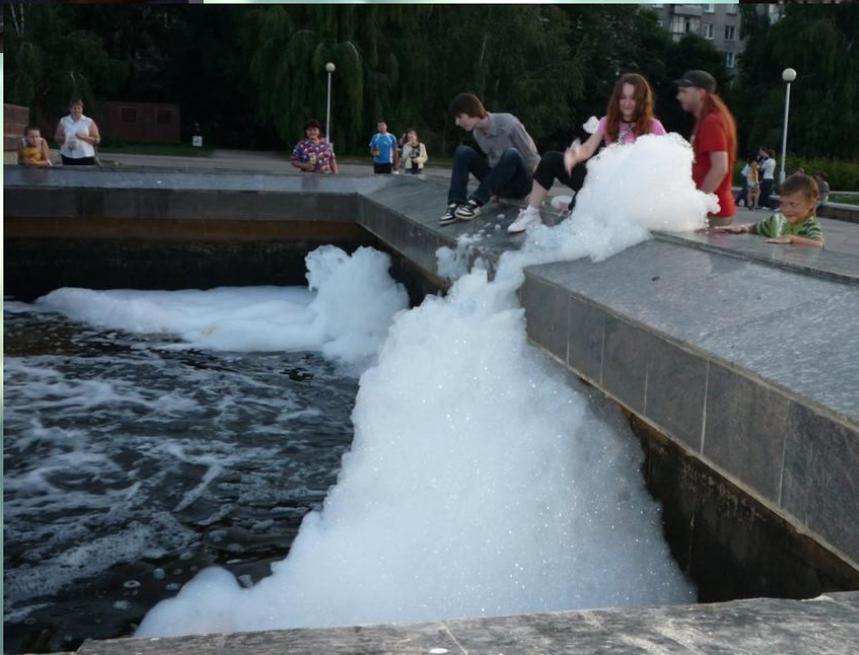
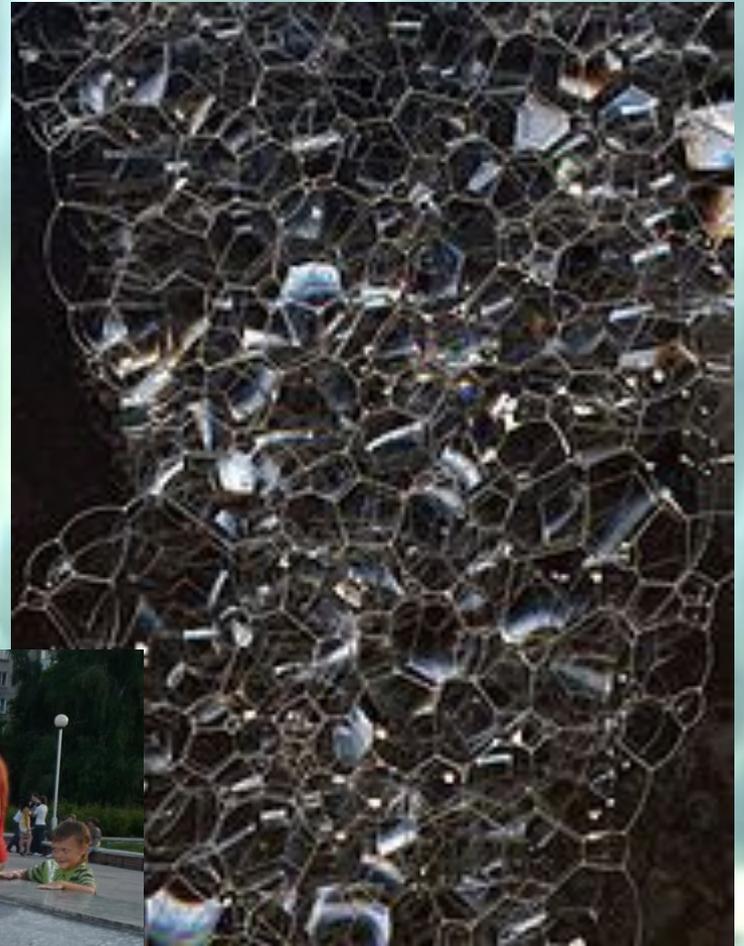
Аэрозоли образуются при взрывах, дроблении и распылении веществ, с помощью химических реакций.

Для аэрозолей характерны особенности, связанные с газообразной дисперсионной средой: перемещение аэрозоля из области с более высокой температурой в область с более низкой; осаждение частиц аэрозоля на холодных поверхностях из-за потери частицами кинетической энергии. Этим объясняется, например, осаждение пыли на стенах и потолке.

Система жидкое – газообразное: Пены -



высококонтри
рованные
гетерогенные
системы - еще
более
неустойчивы, чем
эмульсии.

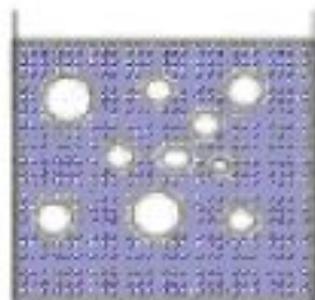


Самые
устойчивые
пены содержат
ПАВ!

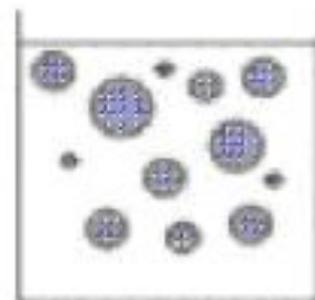
МОЛОКО - Эмульсия жира в воде



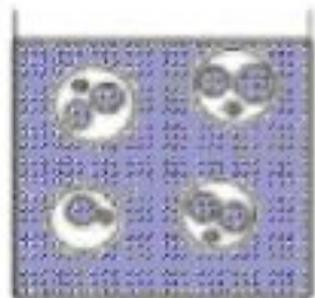
Система жидкое – жидкое: ЭМУЛЬСИИ



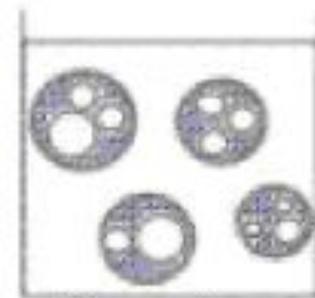
«Масло в воде»



«Вода в масле»



«Вода/масло
в воде»



«Масло/вода
в масле»

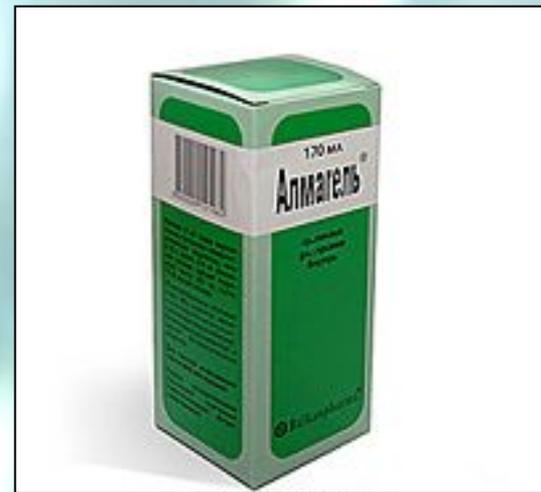
Рис. 1. Различные виды эмульсий

Водоэмульсионные краски

Эмульгаторы стабилизируют эмульсии

Система жидкое – твердое:

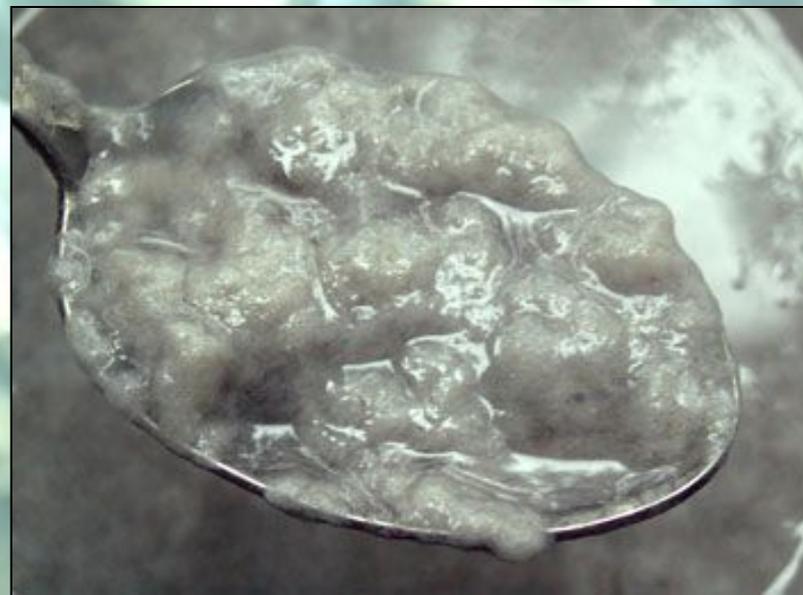
Суспензии



паста

Коллоидные растворы

эмали



Магнитная жидкость - коллоидная система однодоменных магнитных частиц (дисперсная фаза), диспергированных в жидкости (дисперсионная среда): частицы магнетиков размером не более 8 – 15 нм;



для создания магнитных жидкостей необходимо взвесить твердые частицы с плотностью более 5 г/см³ в жидкости с плотностью 1 г/см³ или менее.

поэтому

частицы дисперсной фазы покрывают слоем молекул стабилизатора



Классический опыт:

к магнитной жидкости подносится магнит и при достаточном воздействии его поля на поверхности возникает «ёжик»



Свободная поверхность магнитоуправляемой наножидкости
в магнитном поле



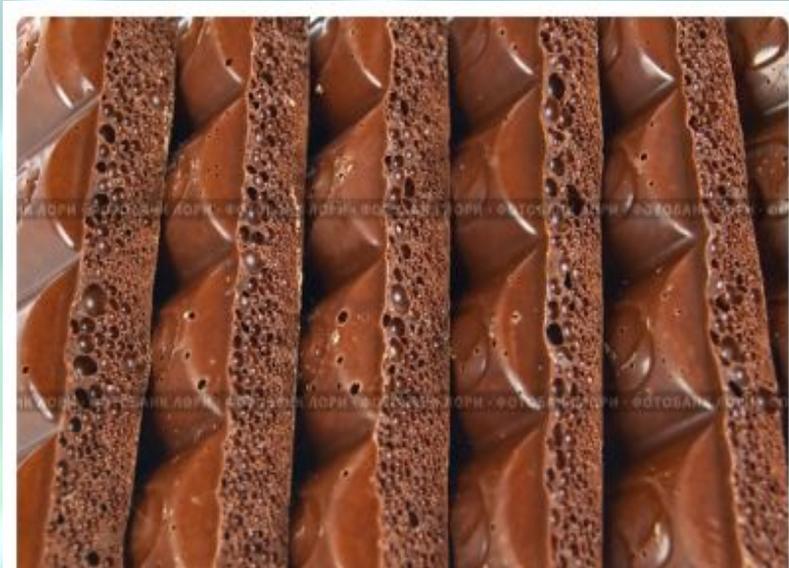
Внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты частиц и форма ее свободной поверхности изменяется.

Система твердое – газообразное:

Твердые пены



поролон



«ВОЗДУШНЫЙ» ШОКОЛАД

кирпич



пемза



Система твердое – жидкое:



крема



гели



Жемчуг – H_2O
в CaCO_3



Система твердое – твердое:

**Минералы,
цветные
стекла,
сплавы**

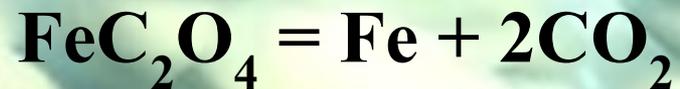


агаты



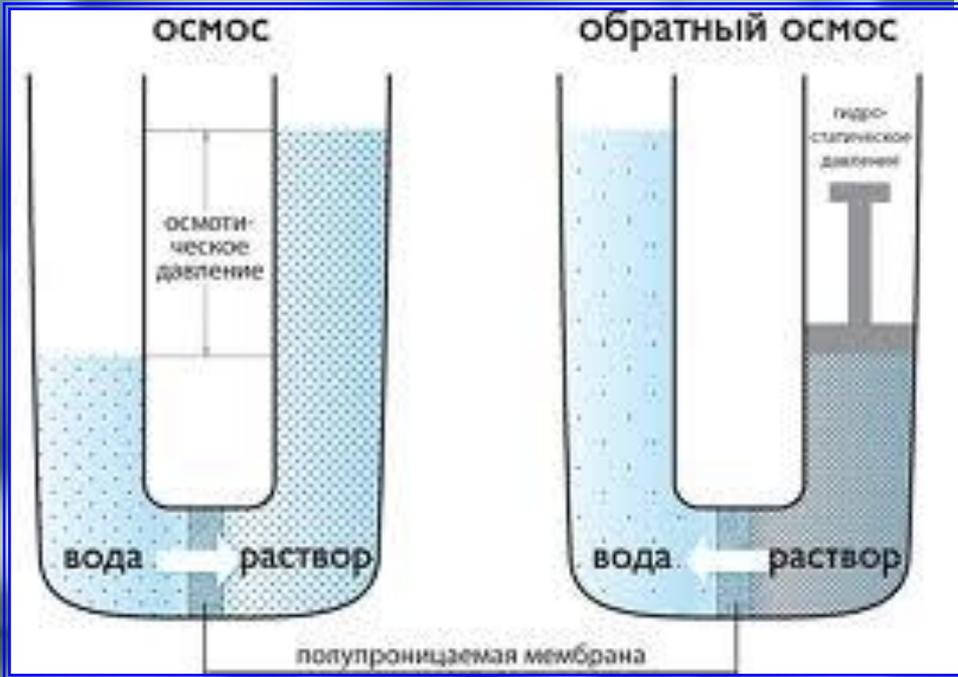
В высокодисперсных системах удельная поверхность и поверхностная энергия Гиббса чрезвычайно велики. Поэтому все явления в таких системах связаны с большой поверхностной энергией. Например, за счет дробления вещества и возрастания удельной поверхностной энергии температура плавления, может снижаться на 150 – 200°. В частности, в этих условиях на поверхности керамики, нагретой до 700°C, серебро будет жидким, в то время как T_{пл} в обычных условиях 960°C.

Также увеличивается и химическая активность веществ:





Степень дисперсность влияет на все основные свойства дисперсных систем: молекулярно-кинетические, реологические, оптические, каталитические, электрокинетические:

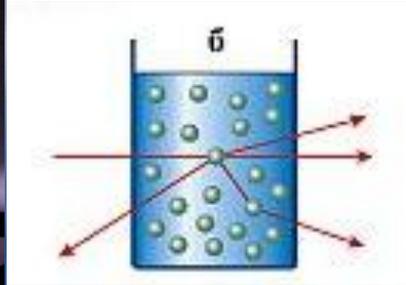


Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем проявляются в явлениях: броуновское движение, диффузия, осмотическое давление, седиментация (оседание).



Грубодисперсные микрогетерогенные системы	и Коллоидные (ультрамикрогетерогенные) системы	Молекулярные и ионные (истинные) растворы
<p>Непрозрачные – отражают свет, светорассеяние</p> <p>Частицы не проходят через бумажный фильтр и задерживаются ультрафильтрами (целлофан, пергамент)</p> <p>Гетерогенные</p> <p>Неустойчивы кинетически и термодинамически</p> <p>Стареют (разрушаются) во времени</p> <p>Частицы видны в оптический микроскоп</p>	<p>Прозрачные</p> <p>опалесцирующие – рассеивают свет</p> <p>Частицы проходят через бумажный фильтр, задерживаются ультрафильтрами</p> <p>Гетерогенные</p> <p>Относительно устойчивы кинетически</p> <p>Стареют во времени</p> <p>Частицы видны в электронный микроскоп, наблюдаются в ультрамикроскоп</p>	<p>Прозрачные</p> <p>неопалесцирующие</p> <p>Частицы проходят через бумажный фильтр, не задерживаются ультрафильтрами</p> <p>Гомогенные</p> <p>Устойчивы кинетически и термодинамически</p> <p>Не стареют</p> <p>Частицы не видны в современные микроскопы</p>

Самое интересное свойство – опалесценция и эффект Тиндаля: рассеяние видимого диапазона света частицами дисперсной фазы



вначале



опалесценция



ПОТОМ

Причина: λ видимого диапазона света (400-800 нм) соизмерима с размерами дисперсных частиц

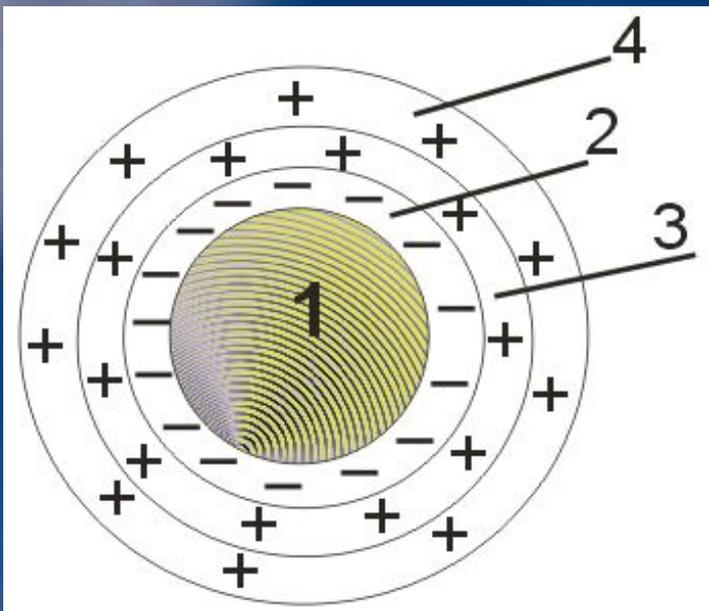
Коллоидная сера

Сумеречные лучи

Эффект Тиндаля в природе



Электрокинетические свойства коллоидных растворов обусловлены особым строением коллоидных частиц – мицелл:

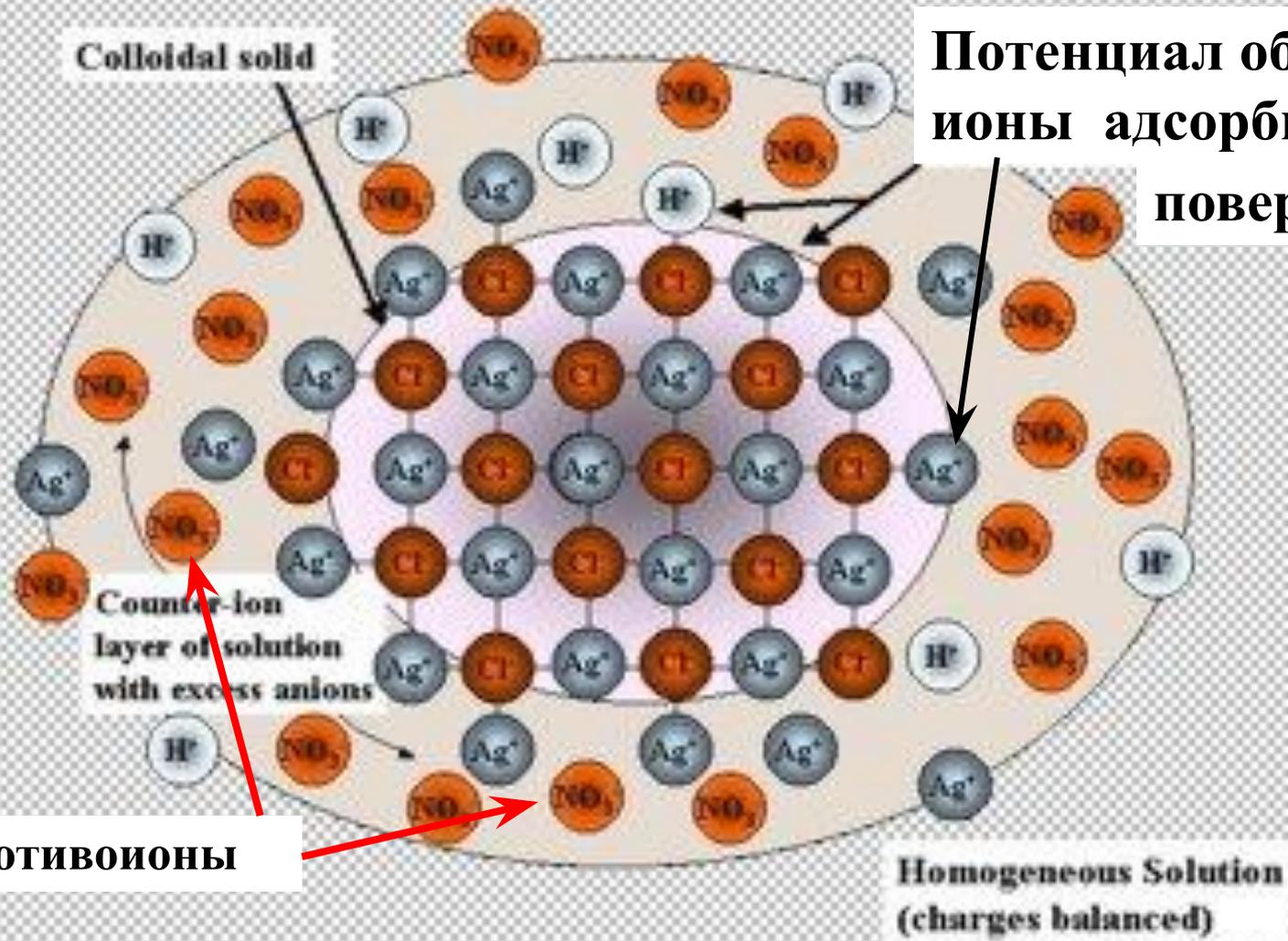


Мицелла золя Au

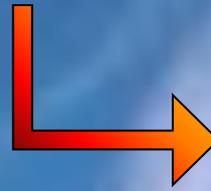
1 – ядро (твердая частица, осадок),
2 – потенциал образующий слой («—» или «+»),
3 – слой противоионов,
4 – диффузный слой.

Гранула – заряжена, мицелла – не заряжена

Диффузный
слой
предотвращает
слипание
мицелл и
разрушение
коллоида



Гранула электрически заряжена

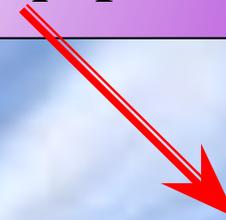


Может направленно
перемещаться в электрическом
поле

**Электрокинетические явления:
электроосмос и электрофорез**



**Перемещение
дисперсионной среды
относительно
неподвижной
дисперсной фазы в
постоянном
электрополе**



**Перемещение
частиц дисперсной
фазы в
постоянном
электрополе**

Устойчивость коллоидных систем - постоянство во времени их состояния и основных свойств.

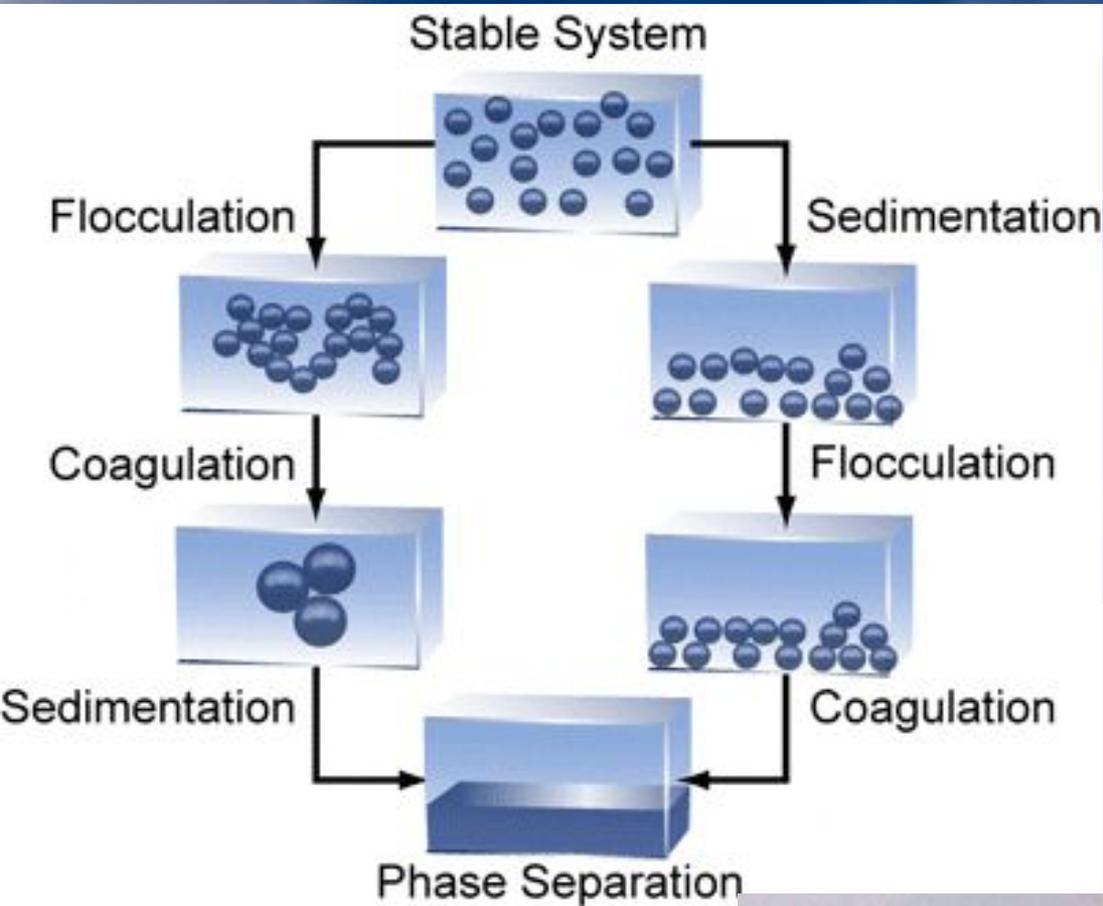
Основные факторы устойчивости:

- 1) Электростатические силы отталкивания благодаря ионной оболочке;**
- 2) уменьшение σ и энергии Гиббса благодаря адсорбции ионов и молекул воды;**
- 3) броуновское движение дисперсных частиц;**
- 4) защитные слои на поверхности дисперсных частиц;**
- 5) гидродинамический – вязкость и плотность дисперсионной среды.**

Отсутствие факторов устойчивости



Коллоидные р-ры разрушаются: коагулируют и оседают (седиментация)



Коагуляция – слипание ч-ц дисперсной фазы



Седиментация – оседание ч-ц дисперсной фазы под действием силы тяжести или всплывание



Факторы, вызывающие коагуляцию:

- 1) Изменение температуры;**
- 2) механическое воздействие (интенсивное встряхивание, перемешивание);**
- 3) действие электрических разрядов;**
- 4) действие излучений;**
- 5) действие электролитов – разрушается диффузный слой и слой противоионов: чем больше заряд иона (напр. Al^{3+} , SO_4^{2-}), тем быстрее и сильнее коагуляция.**

$Al_2(SO_4)_3$ – очистка питьевой воды от коллоидных частиц

Методы получения дисперсных систем

диспергирование

конденсация

Работа (энергия) на измельчение материала, равна сумме работы деформации твердого тела и работы образования новой поверхности:

$$W = kV + \sigma\Delta S,$$

k – коэффициент деформирования единицы объема твердого тела; V - объем тела; ΔS – новая поверхность, образующаяся при разрушении вещества.

Чем больше дисперсность, тем больше расход энергии на диспергирование!!!

1. Испарение и конденсация.

При сварке стали под водой в зоне сварки образуется красно-коричневое облако – коллоидный $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Железо, испаряющееся в дуге, конденсируется в мельчайшие частицы, которые тут же реагируют с водой



2. Смена растворителя.

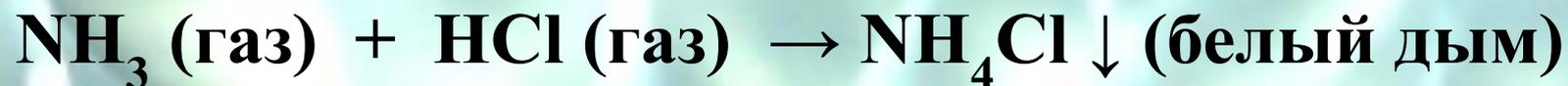
Истинный + Дисперсионная → Дисперсная
раствор среда система

Р-р
канифоли в
 C_2H_5OH + H_2O → Коллоидный р-р
канифоли в воде

И коллоидные растворы
других высокомолекулярных
органических соединений в
воде.

3. Химические реакции с образованием малорастворимых в дисперсионной среде веществ:

гидролиз, ОВР, осаждение осадков.



Кипящая
вода

Водный
р-р

Прозрачный коллоидный р-р
ярко коричневого цвета

Реакция восстановления золота:



Золь красного цвета

Получение геля кремневой кислоты обменной реакцией:



Нанотехнологии: в сферу этой деятельности попадают объекты с характерными размерами (хотя бы вдоль одной координаты), измеряемыми нанометрами ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10 \text{ \AA}$).

Наноструктура – совокупность связанных друг с другом наночастиц определенного размера.

Наночастица – частица, имеющая размер хотя бы в одном направлении не более 10 нм.

**Характерное свойство наночастиц - избыточная
поверхностная энергия и высокая химическая активность!!!**

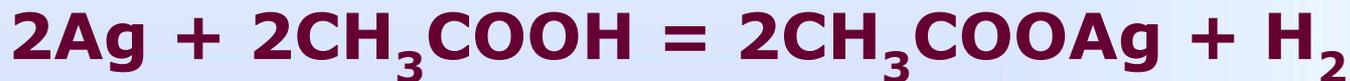
значительная доля атомов на поверхности частицы

Размерный эффект -

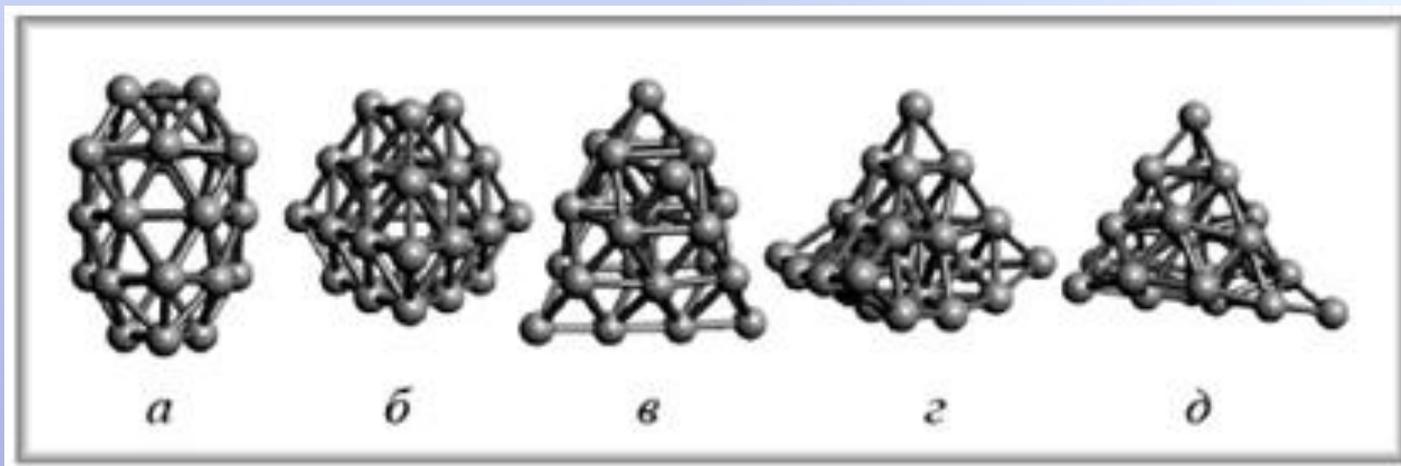
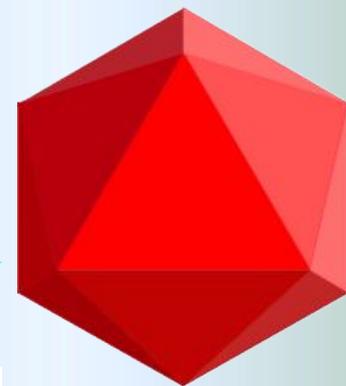
**размер наночастицы влияет на: $T_{пл}$, T полиморфного
превращения, растворимость, сдвиг химического
равновесия.**

**Например, высокая активность наночастиц металлов приводит к
тому, что их существование без взаимодействия с окружающей
средой возможно только в вакууме.**

обычно Ag не реагирует с разбавленными кислотами (кроме HNO₃). Однако совсем маленькие наночастицы серебра (не более 5 атомов) будут растворяться даже в слабых кислотах, для этого достаточно создать кислотность раствора pH = 5:

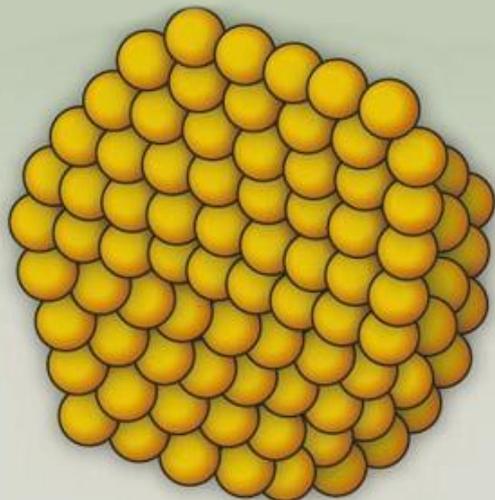


Каталитическое поведение частиц Au обнаруживается только после достижения диаметра менее 3-5 нм, потому что такие кристаллы имеют особенную (икосаэдрическую) форму.

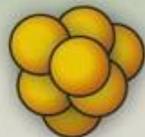


Нано-
кластеры
Au₂₄

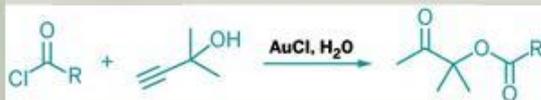
обычный нанокластер Au



Diameter ~ 2 to 5 nm



Diameter ~ 350 pm



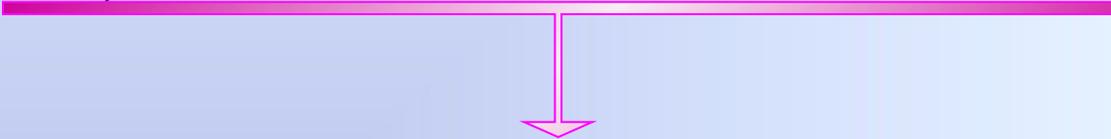
субнанокластер
(пикокластер)

При размере наночастиц 3-5 нм реакция протекает очень резко: в течение часа на одном золотом кластере конвертируется 100 000 молекул исходного алкина.

В случае пикокластеров частота циклов на пять порядков величины больше и реакция протекает при комнатной температуре!!!

Иллюстрация Science

Вместе с уменьшением размеров уменьшается и характерное время протекания разнообразных процессов в наносистеме, т.е. возрастает ее потенциальное быстродействие, что очень важно для электроники и вычислительной техники. В настоящее время одна элементарная операция в серийно производимых компьютерах происходит за время около 1 нс (10^{-9} с).



Широко применяются тонкопленочные наноструктуры состава $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (т.н. GST состав)

в перезаписываемых оптических дисках формата DVD повышенной плотности записи.

Получение наночастиц.

Диспергирование

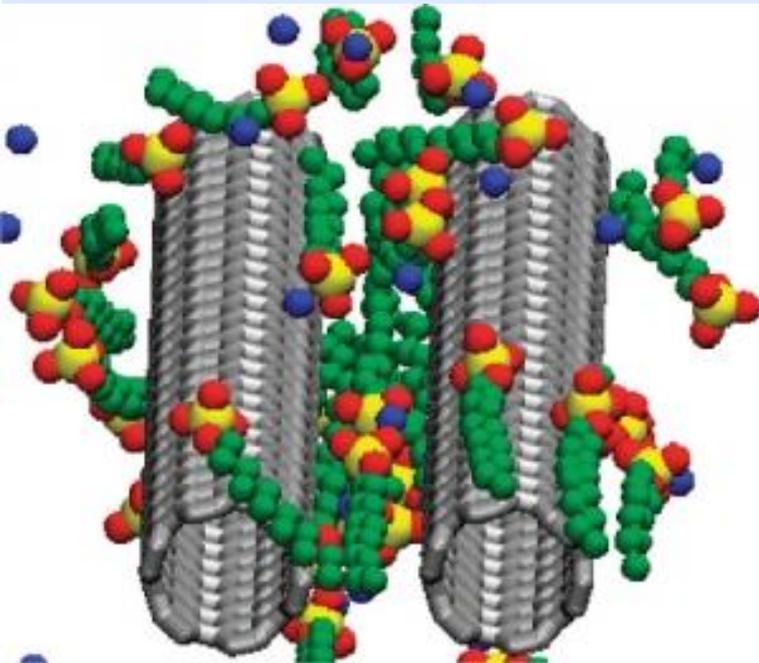
подход «сверху»:
**механохими-
ческое
дробление,
плазмохими-
ческие методы.**
**(сохраняется структура
исходного компактного
материала)**

Методы конденсации

подход «снизу»: в
**контролируемых условиях
происходит формирование
ансамблей из атомов и
ионов, например,
конденсация при
сверхнизких температурах,
химическое,
фотохимическое и
радиационное
восстановление, лазерное
испарение.**

**(надмолекулярная структура может
меняться)**

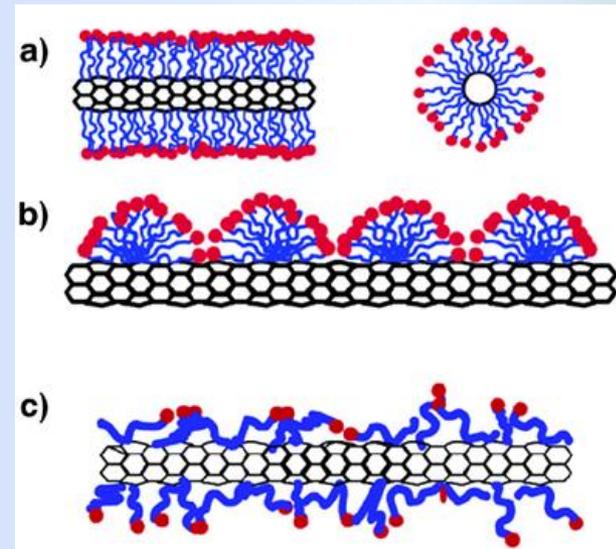
Наночастицы
обладают высокой
поверхностной ΔG



модель, полученная в результате
вычислительного эксперимента:
молекулы ПАВ адсорбированы на
поверхности одностенной
углеродной нанотрубки диаметром
около 1 нм.

Для предотвращения
обратной кристаллизации
добавляют стабилизаторы

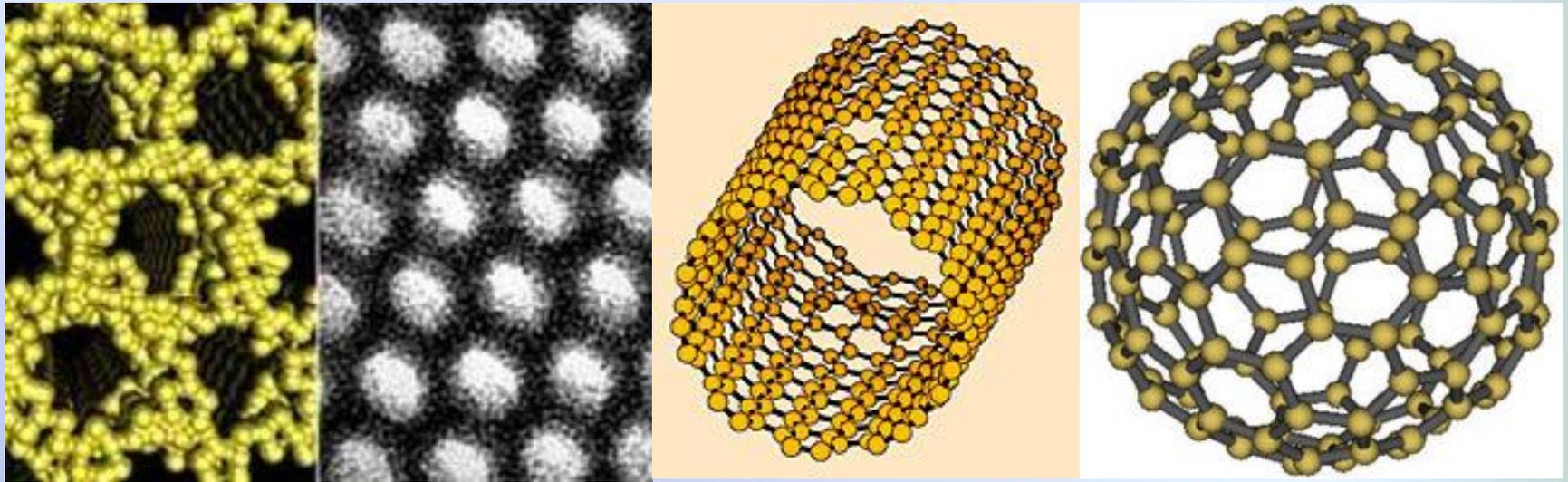
(молекулярный
раствор белков,
полимеров или ПАВ)



«<http://nano-edu.ulsu.ru/w/index.php>»

Т.В.Судакова СамГТУ

Некоторые наночастицы могут быть стабильны сами по себе. Например, для щелочных металлов устойчивы частицы с числом атомов 8, 20 и 40, для благородных металлов – 13, 55, 137 и 255, для углеродных кластеров – 60, 70, 90. Все атомы таких стабильных наночастиц крепко связаны между собой, что придает им необходимую стабильность.



а

б

в

Наночастицы с «магическими числами»:

а) наночастицы Pt (<http://tesla2.ru> Наночастицы с «магическими числами»:

(<http://tesla2.ru>);

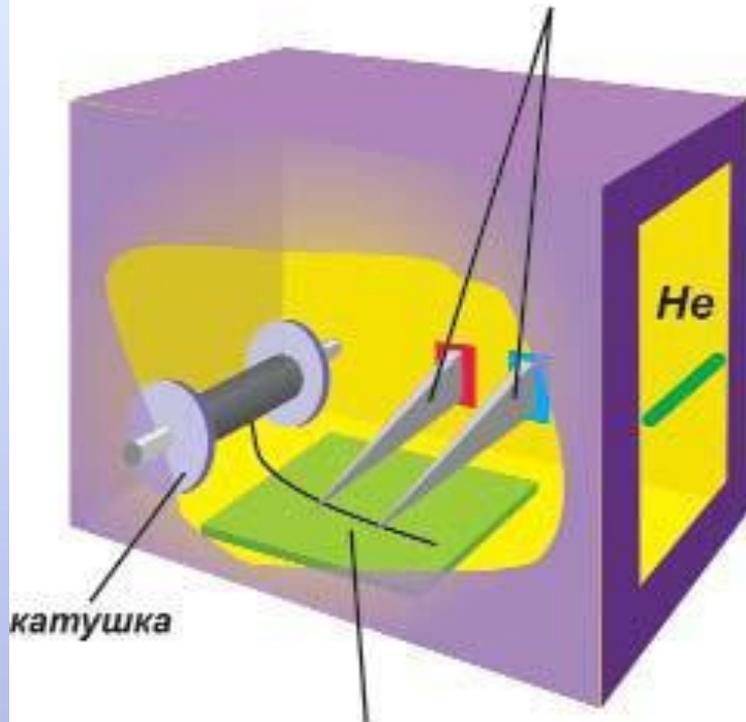
б) однослойная

нанотрубка (<http://www.computer-museum.ru> Наночастицы с

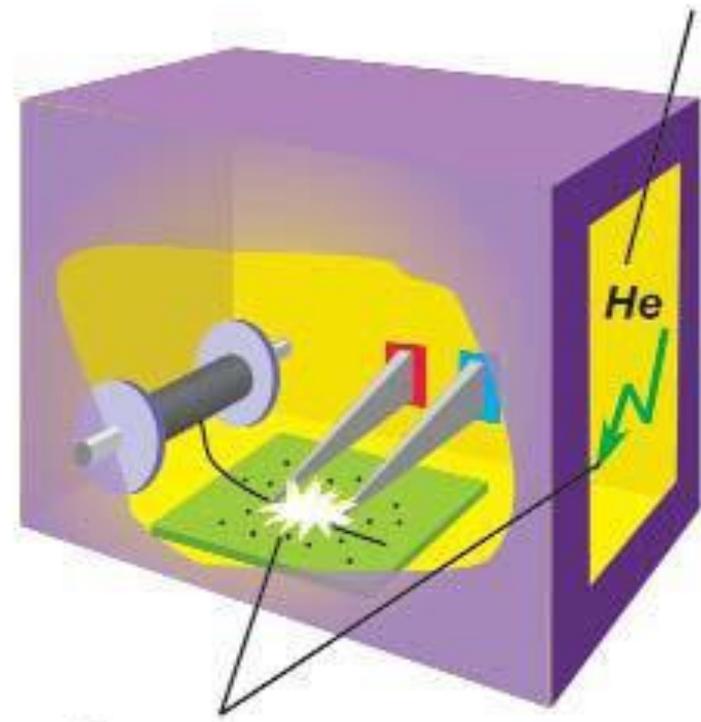
Измельчение вещества в наночастицы взрыванием металлической нити мощным импульсом тока :

*большие тугоплавкие электроды
(чтобы они сами не сгорели
вместе с проволочкой)*

*все происходит в атмосфере
инертного газа (чтобы
частицы не окислились)*



*сначала металлическая проволочка
закрепляется между электродами*



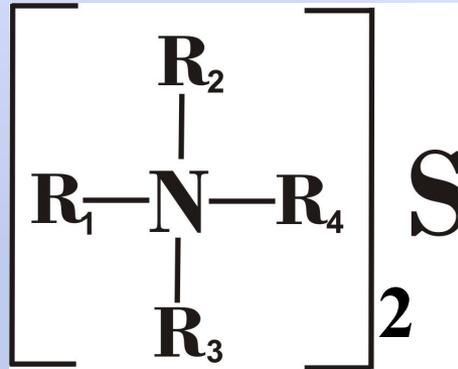
*при подаче тока проволочка
разлетается на наночастицы*

Конденсационные методы:

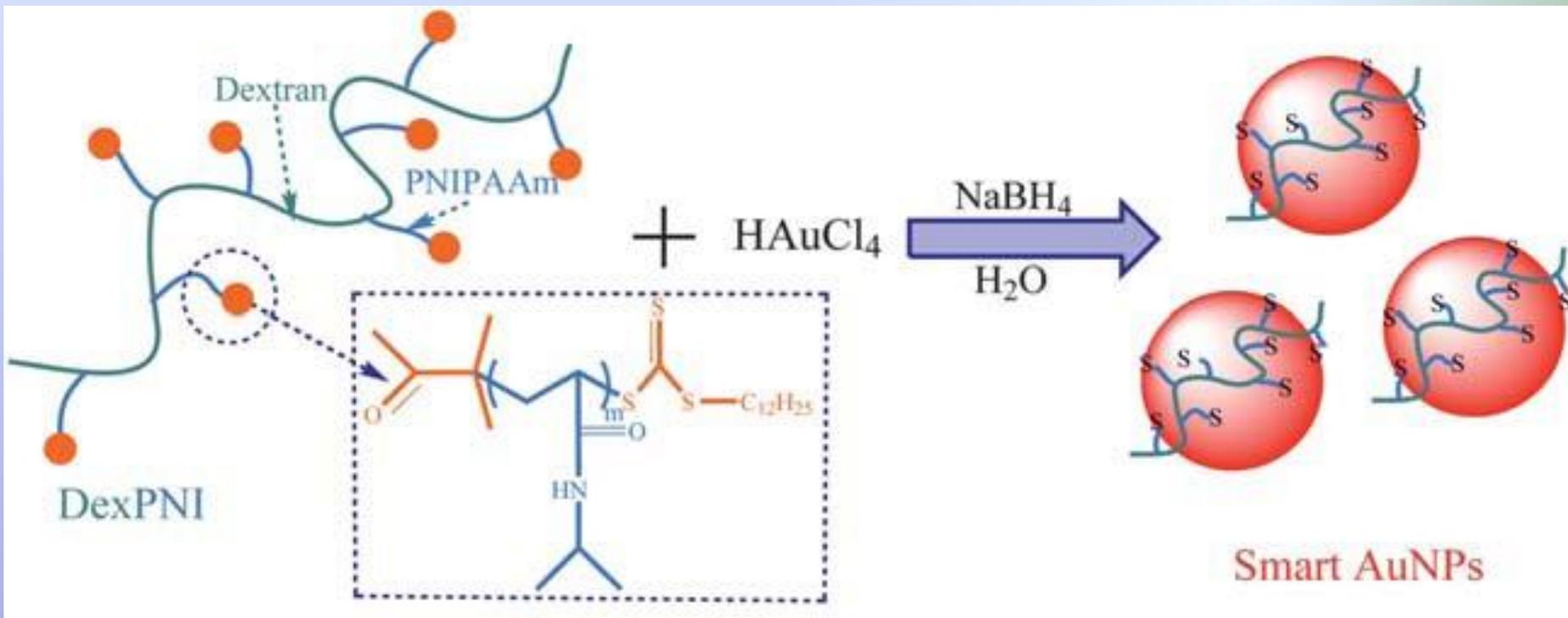
1) Химическое восстановление.

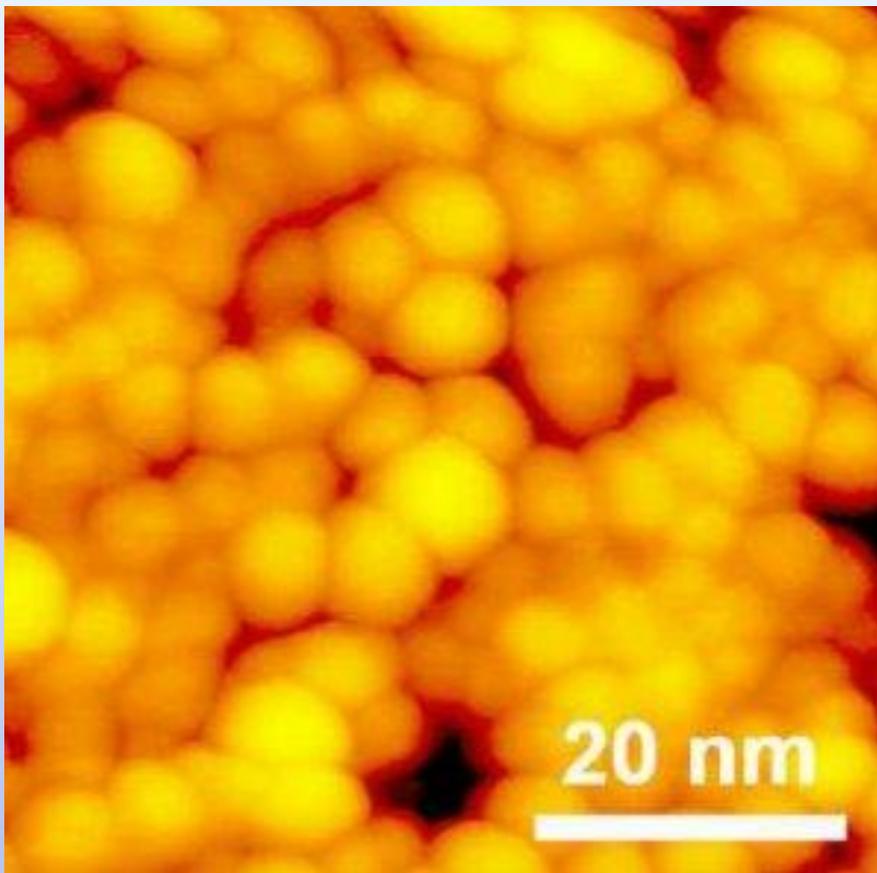


Для стабилизации наночастиц используют четвертичную соль дисульфида аммония:



Стабилизация наночастиц золота модифицированным декстраном (DexPNI). Декстран – природный полисахарид, часто используемый в биомедицинских целях. Его значительным свойством является сильно разветвленная структура, что может обеспечить большую стабилизацию наночастиц. В качестве источника золота использовали HAuCl_4 , а в качестве восстановителя – NaBH_4 . Образующиеся наночастицы связываются с DexPNI за счет взаимодействия с тиольными группами:





Электронная микрофотография

За счет того, что наночастицы окружены макромолекулами DexPNI, они демонстрируют длительную стабильность при нагревании, высокой концентрации соли и большом диапазоне pH. Кроме того, когда температура выше 350°C, прекращается каталитическое действие наночастиц золота. Такие материалы могут найти применение в качестве не только катализаторов, но и сенсоров.

Фото- и радиационно-химическое восстановление:



Энергии
до 60 эВ



энергии –
103-104 эВ.

на химическую систему воздействуют либо световым излучением либо радиацией и генерируют высокоактивные сильные восстановители типа \bar{e} , радикалов, возбужденных частиц.

Под воздействием света из молекулы воды образуются активные частицы:



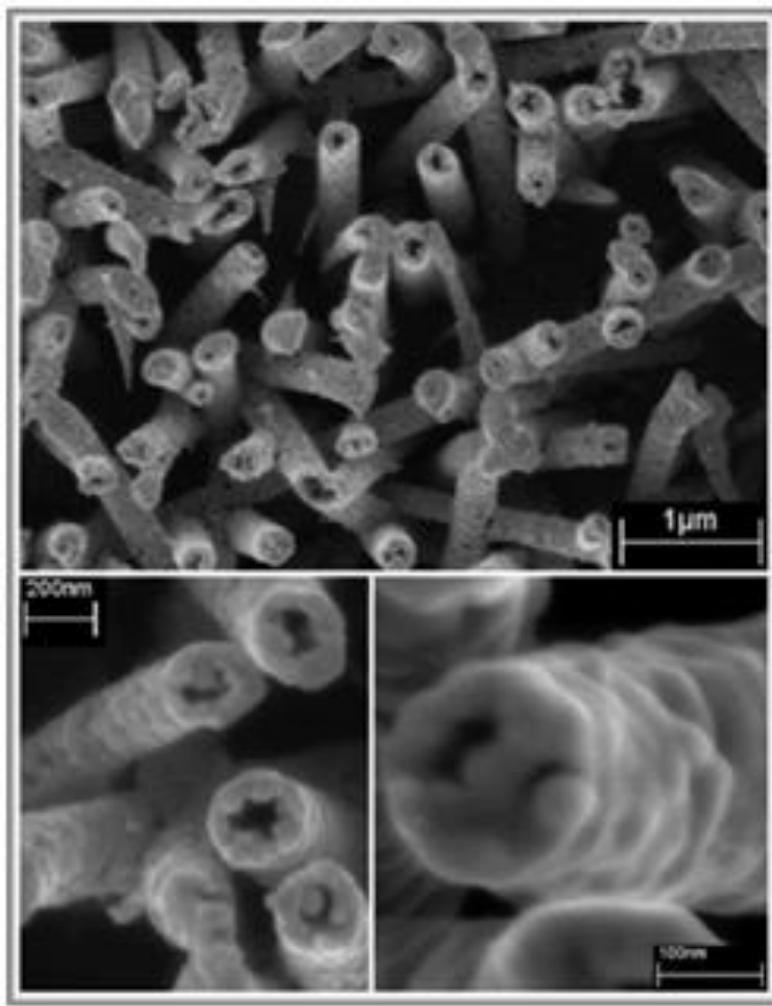
Гидратированный \bar{e} взаимодействует с катионом металла, например,



H и радикал $\text{OH}\cdot$ реагируют с молекулами воды или органического растворителя.

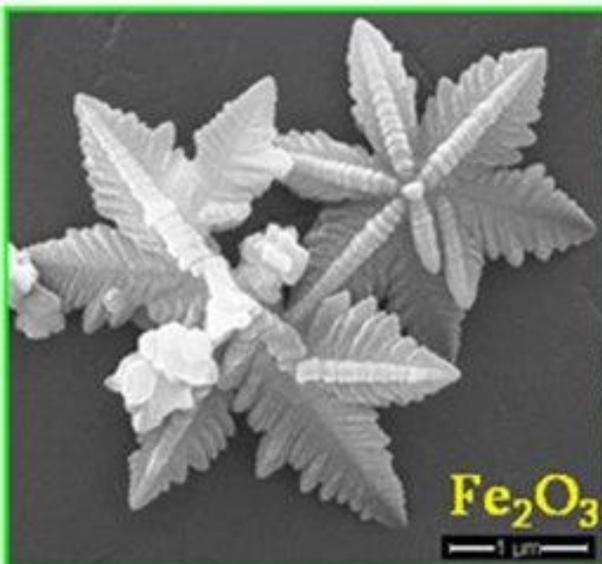
В кавитирующую жидкость опускают электроды и вызывают между ними пробой, что приводит к образованию относительно стабильной плазмы при напряжениях около 50 В. При горении плазмы в кавитирующей жидкости происходит эрозия и диспергирование материала электродов.

Дисперсность получаемых частиц высока – они имеют микро- и наноразмеры. Используя различные материалы для изготовления электродов (металлы и их сплавы, графит и т.д.), можно получить наночастицы с различными физикохимическими свойствами.



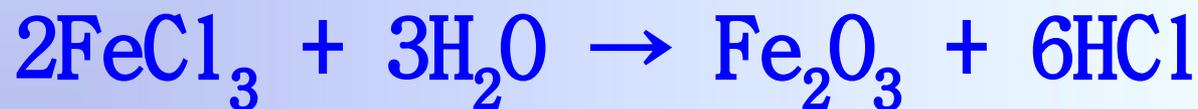
Микрофотографии
золотых нанотрубок

Через колонку, заполненную пористым Al_2O_3 пропускают коллоидный раствор Au с размером частиц 14 нм. При этом кластеры золота застревают в порах, имеющих в структуре Al_2O_3 , объединяясь друг с другом в нанотрубки. Чтобы освободить образовавшиеся нанотрубки от оксида алюминия, порошок обрабатывают кислотой – оксид алюминия растворяется, а на дне сосуда оседают нанотрубки золота, на микрофотографии напоминающие водоросли.



Трёхмерные наночастицы оксидов металлов, полученных под воздействием микроволнового излучения. Polshettiwar, Baruwati & Varma, *ACS Nano*, 3, 728 (2009)

Электромагнитное излучение микроволнового диапазона (0,3–300 ГГц) можно активно использовать для синтеза: полярные молекулы вещества под действием микроволнового излучения стараются сориентироваться по переменному электромагнитному полю. В итоге происходит нагрев и селективная передача энергии микроволнового излучения определённым молекулам вещества. В 2009 году исследователям удалось получить наночастицы оксидов металлов, имеющих разветвлённую форму (рис. 2). Для синтеза использовались лишь соли, содержащие исходные металлы, вода и микроволновое излучение.



Наноккомпозит - многокомпонентный твердый материал, в котором один из компонентов в одном, двух или трех измерениях имеет размеры, не превышающие 100 нанометров;

также под наноккомпозитами понимаются *структуры, состоящие из множества повторяющихся компонентов-слоев (фаз), расстояние между которыми измеряется в десятках нанометров.*



Наноккомпозиты на основе керамической матрицы улучшают оптические и электрические свойства первоначального материала (керамического).



В наноккомпозитах на основе металлической матрицы так называемым усиливающим материалом (нанокомпонентом) часто служат углеродные нанотрубки, повышающие прочность и электрическую проводимость.



Полимерные наноккомпозиты содержат полимерную матрицу с распределенными по ней наночастицами или нанонаполнителями.

Интернет-ресурсы

www.nanometer.ru – информационный сайт,
посвященный нанотехнологиям;

www.nauka.name – научно-популярный портал;

www.nanojournal.ru – российский электронный
«Наножурнал».