

Наглядно о наноматериалах

Лекция по основам нанофизики
проф. УЛГУ Семенцов Д.И.

Классификация наноматериалов

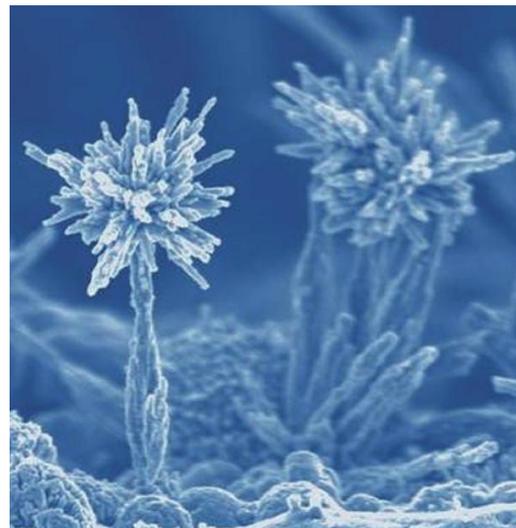
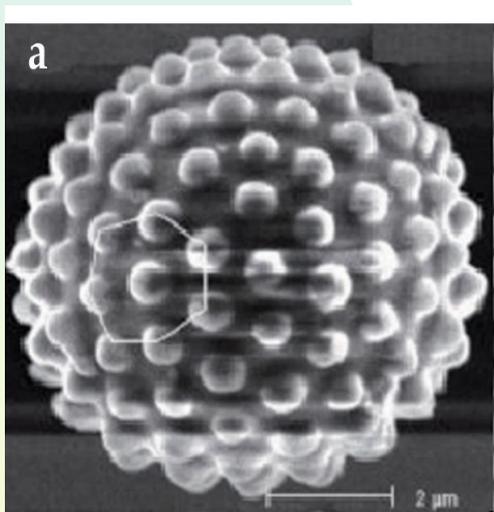
- наночастицы, нанокластеры,
- фуллерены, нанотрубки и нановолокна,
- нанопористые структуры,
- нанодисперсии,
- наноструктурированные поверхности и пленки,
- нанокристаллические материалы.

Наночастицы. Нанокластеры.

Наночастицами называют частицы, размер которых меньше 100 нм;

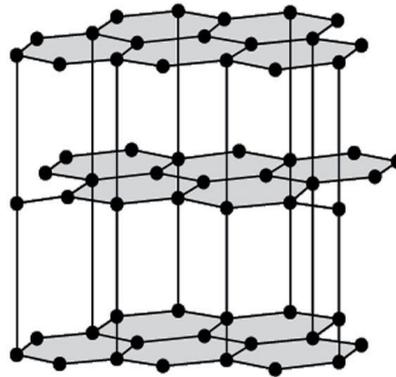
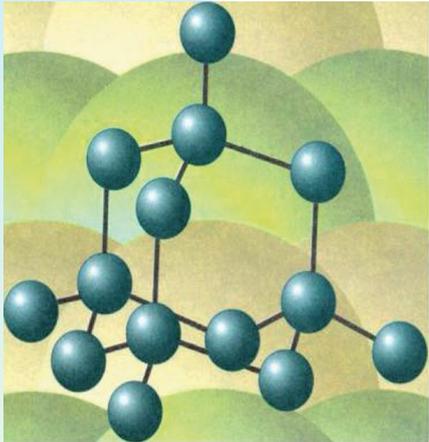
Наночастицы состоят из 10^8 или меньшего количества атомов, их свойства отличаются от свойств объемного вещества.

Наночастицы, размеры которых по каждому из трех направлений не превышают 10 нм, называют **нанокластерами**

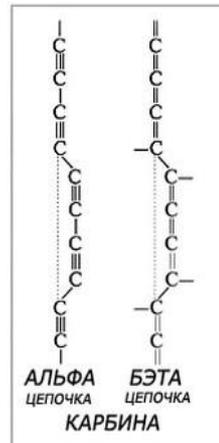
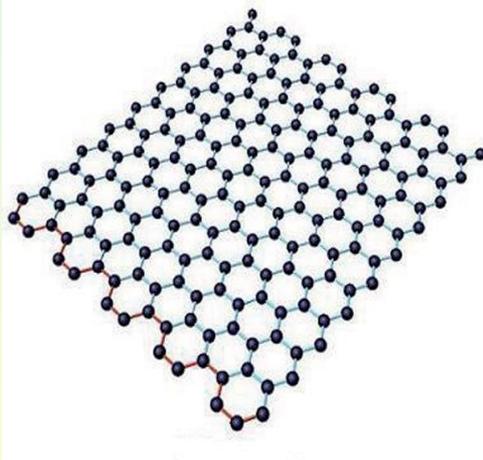


Примеры реальных нанокластеров (а, в) и живого цветка (б).

Углеродные наноструктуры



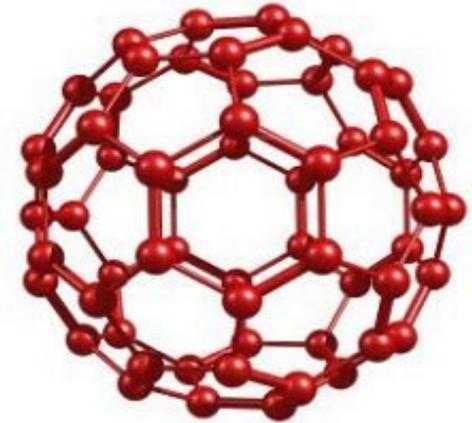
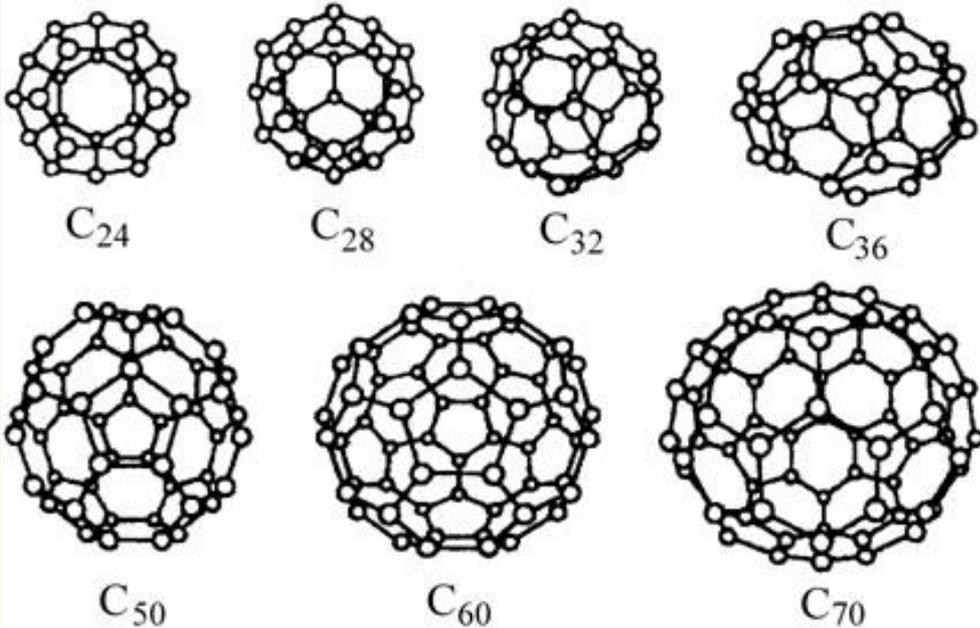
Кристаллическая структура алмаза (а) и графита (б).



Модель графена в виде двухмерной гексагональной решетки и углеродные цепочки - две модификаций карбина

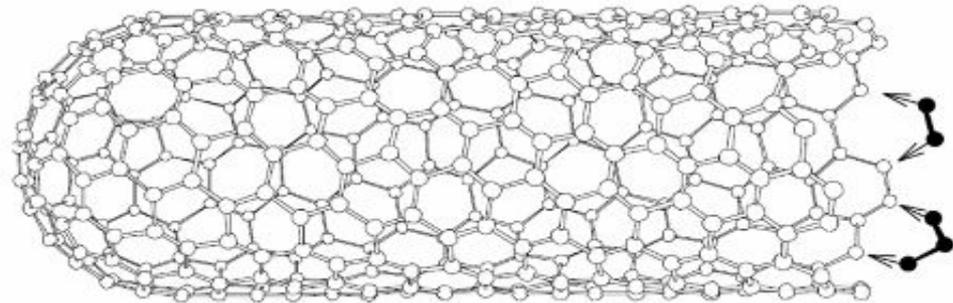
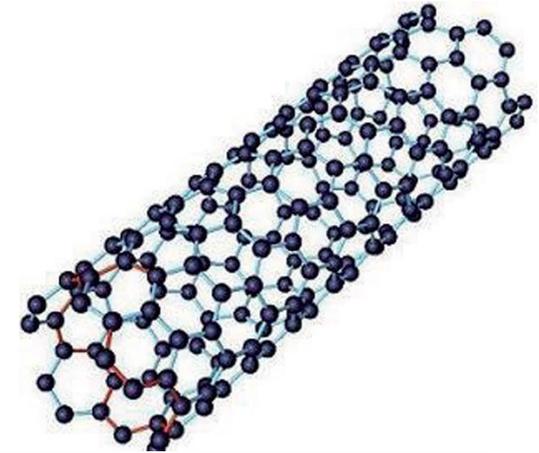
Фуллерены.

Фуллерены – кластеры из атомов углерода, по форме представляющие шароподобные каркасные структуры.



Нанотрубки и нановолокна.

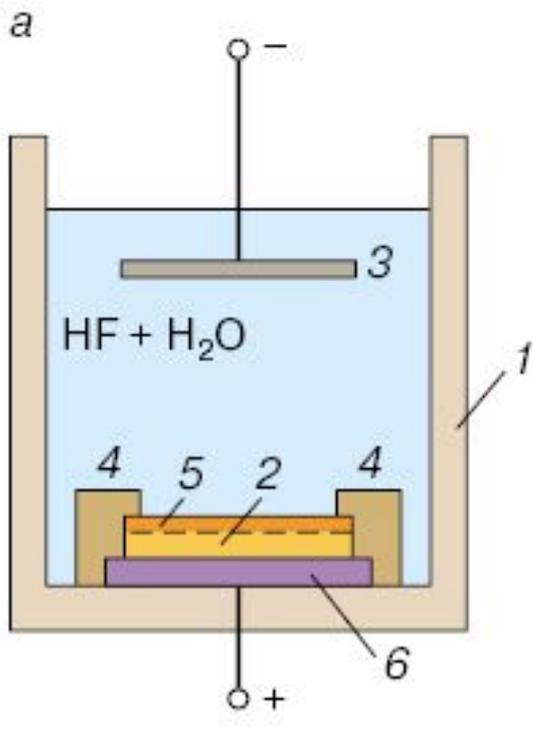
- В 1991 году были обнаружены длинные углеродные структуры, получившие название **нанотрубок**.



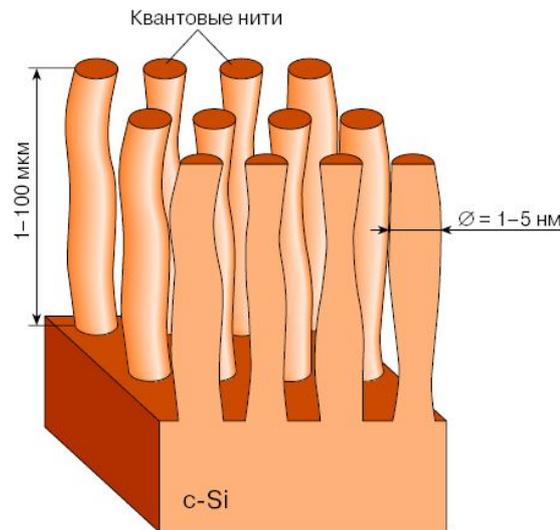
Модели одностенных и многостенной УНТ

Нанопористые вещества

- Нанопористые вещества представляют собой пористые вещества с нанометровым размером пор. Размеры нанопор находятся в пределах 1-100 нм.



Анодное получение пористого кремния
1-корпус, 2-пластина кремния, 3-катод, 4-изолятор, 5 –растущий пористый слой, 6-анод



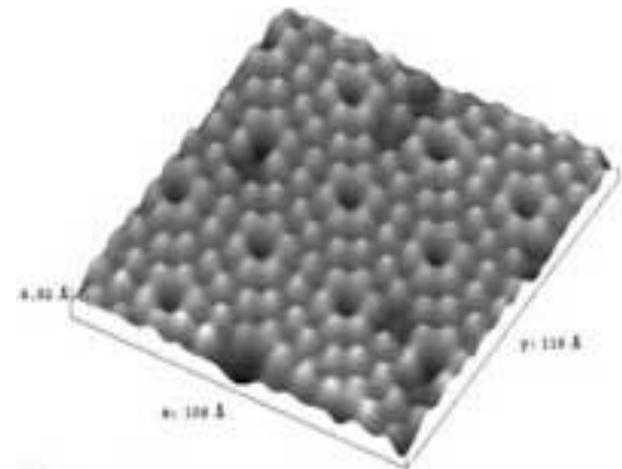
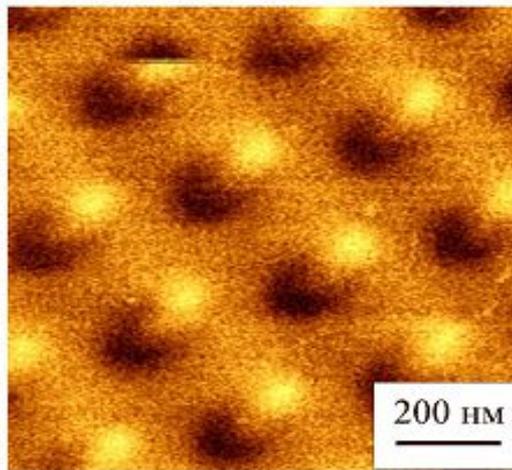
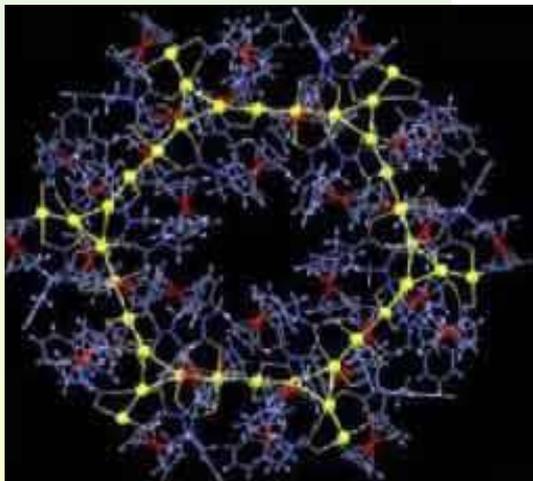
Модельное представление пористого кремния

Наноматериалы и их свойства

Наноматериалы - материалы, структурные элементы которых (кристаллиты, волокна, слои, поры) не превышают 100 нм (по крайней мере в одном направлении).

Уникальные свойства наноматериалов обусловлены:

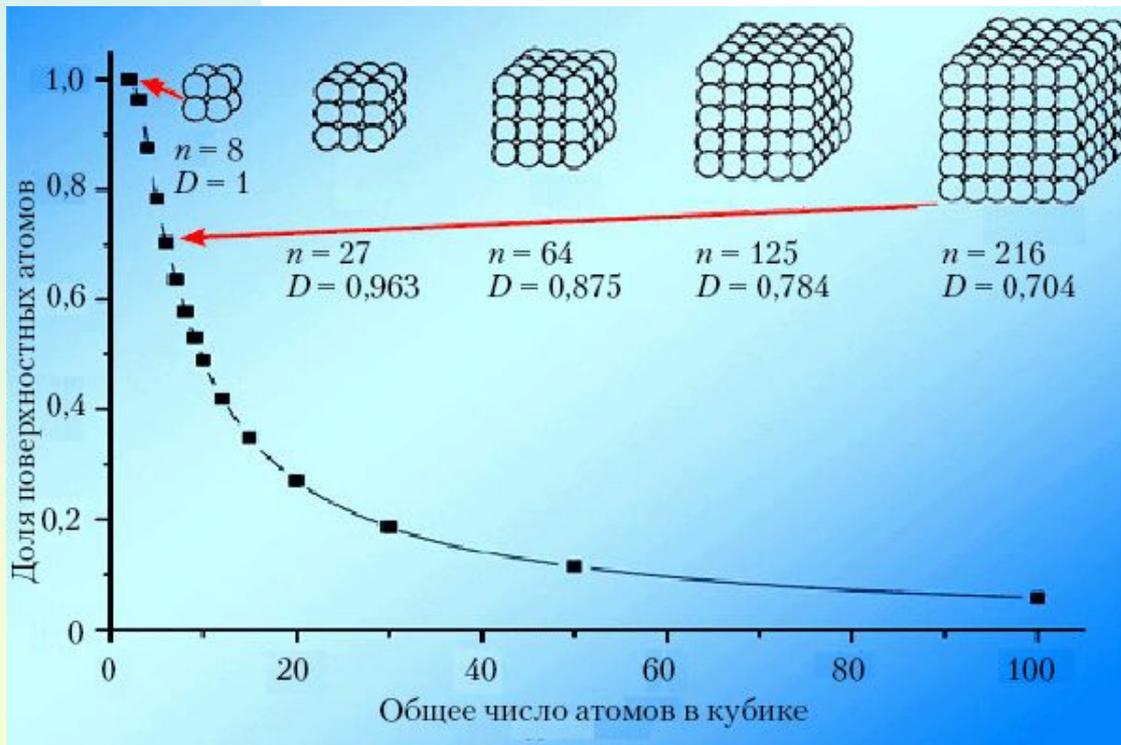
- 1) Увеличением доли поверхности
- 2) Квантовыми эффектами



Роль поверхностных атомов

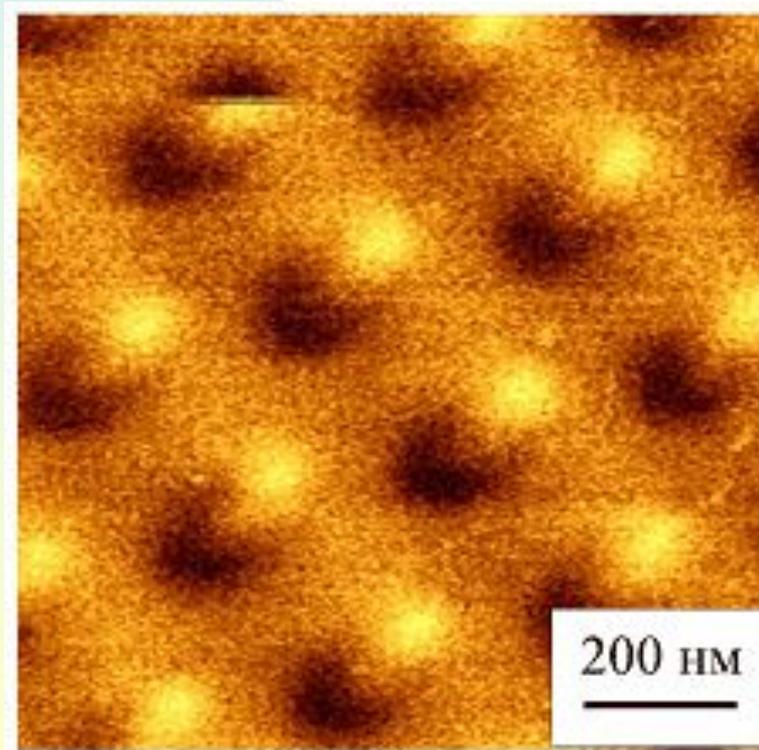
$$D = \frac{n_s}{n}, \quad n = a^3, \quad n_v = (a - 2)^2$$

$$n_s = n - n_v = 6a^2 - 12a + 8, \quad D = \frac{6a^2 - 12a + 8}{a^3}$$



Технология «сверху-вниз»

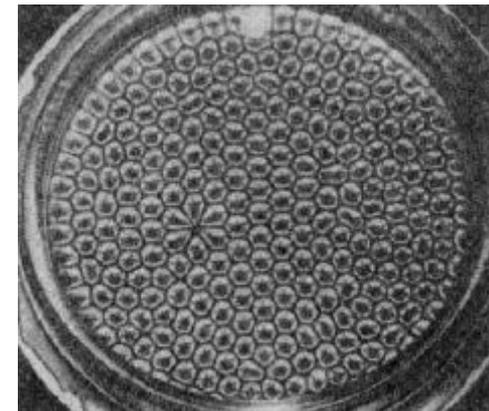
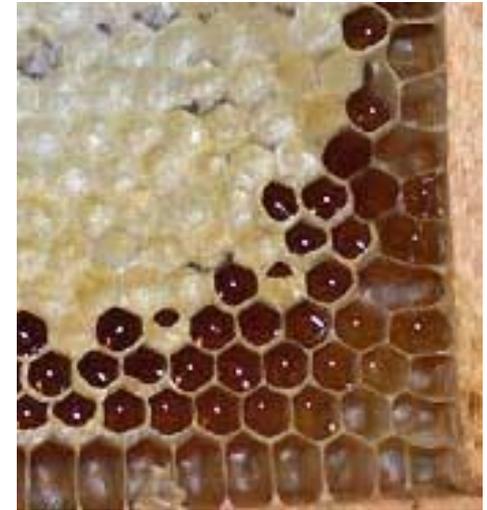
Технология «сверху-вниз» основана на уменьшении размеров тел механической или иной обработкой, вплоть до получения объектов нанометрового размера. Так, например, наночастицы можно получить перемалывая в специальной мельнице материал макроскопических размеров.



Структура, полученная при помощи литографии

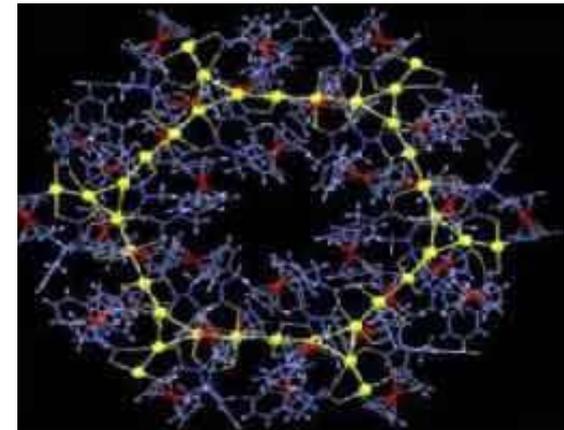
Самоорганизация и самосборка

- **Самоорганизация** - процесс возникновения сложных упорядоченных структур из более простых.
- **Синергетика** - наука о самоорганизующихся системах называют (греч. *sinergetike* – совместное действие). Главная идея синергетики – возможность возникновения порядка и организации из беспорядка и хаоса в результате процесса самоорганизации.



Использование самоорганизации в нанотехнологиях

- Одна из важнейших проблем, стоящих перед нанотехнологией, – заставить молекулы группироваться определенным способом, самоорганизовываться, чтобы в итоге получить новые материалы или устройства.
- Примером сборки сложнейших биологических объектов - ДНК .

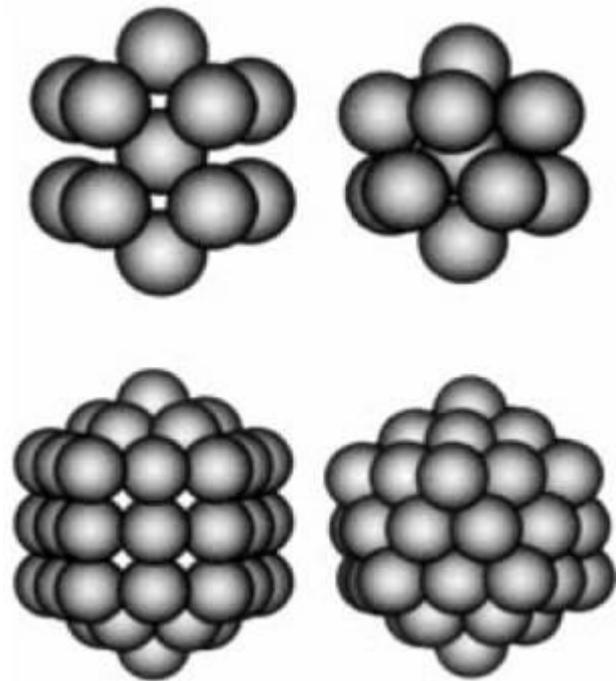


Методы получения кластеров, магические числа

Примером структуры устойчивых кластеров служит плотная упаковка одинаковых сфер, при которой они касаются друг друга. Первому магическому числу – 13 – соответствует внутренняя сфера, окруженная 12 сферами того же радиуса. Число частиц N_n в оболочке № n можно подсчитать по формуле $N_n = 10n^2 + 2$. Таким образом, в первой оболочке вокруг одного атома находится 12 атомов, во второй оболочке – 42 атома и т.д.

Структура кластера при этом оказывается наиболее стабильной, а кластер имеет структуру икосаэдра.

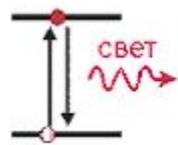
В некоторых случаях кластеры «упаковывались» из частиц, образуя структуру додекаэдра. Набор магических чисел при этом: 7, 29, 66, 118 и т.д.



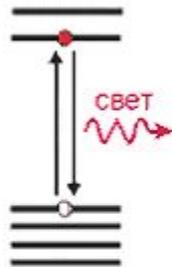
Структура
нанокластеров:
слева - додекаэдр;
справа - икосаэдр

Квантовые точки. Роль процессов самоорганизации

Квантовая точка - искусственный атом



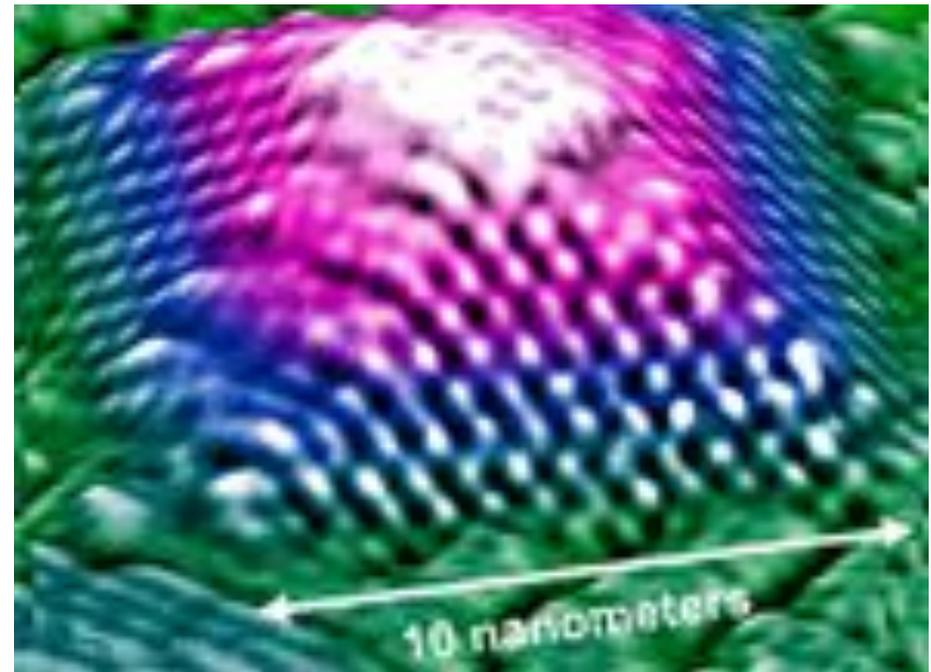
Атом



Квантовая точка



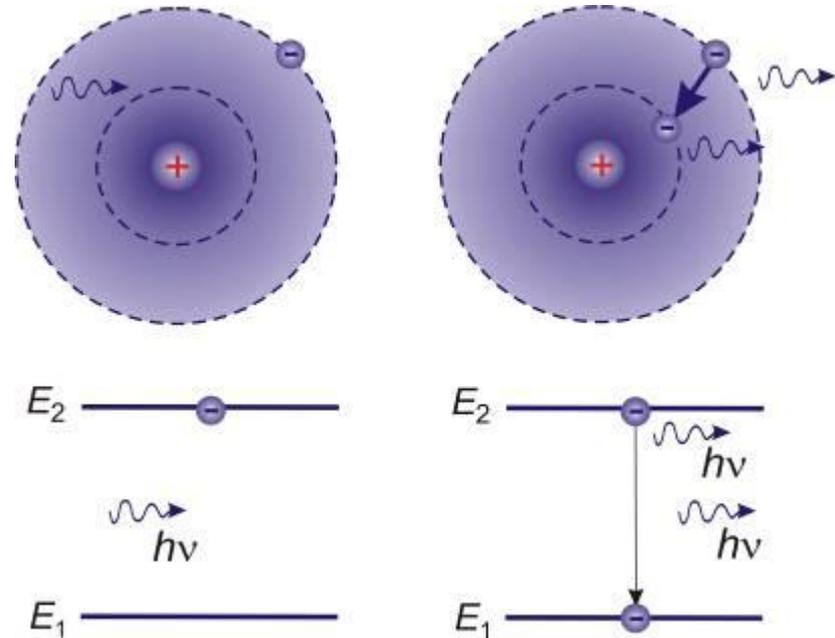
- Гигантское усиление
- Температурная стабильность



Лазеры

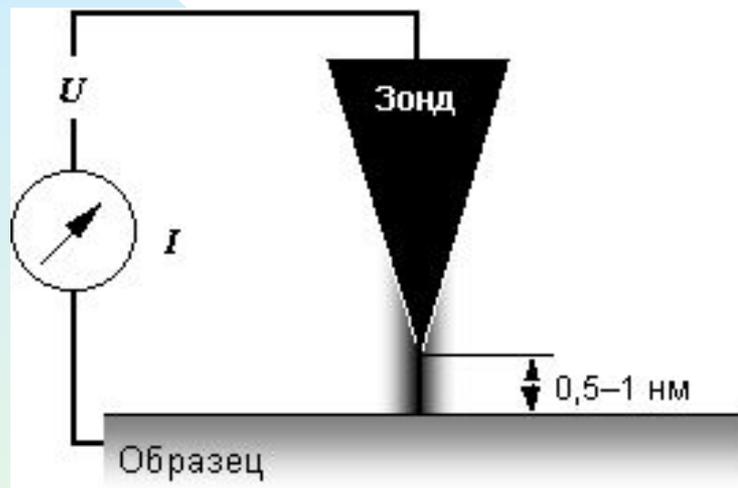
Лазер – устройство, использующее квантовомеханический эффект вынужденного (стимулированного) излучения для создания когерентного потока света.

Вынужденное излучение возникает при совпадении частоты электромагнитного поля с собственной частотой излучения возбужденного атома, возникающего при переходе на более низкий энергетический уровень



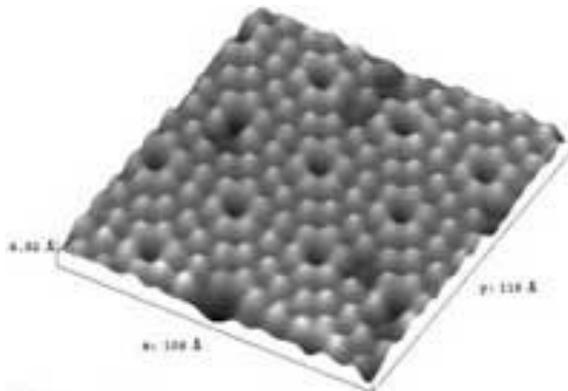
Вынужденное излучение

Сканирующий туннельный микроскоп



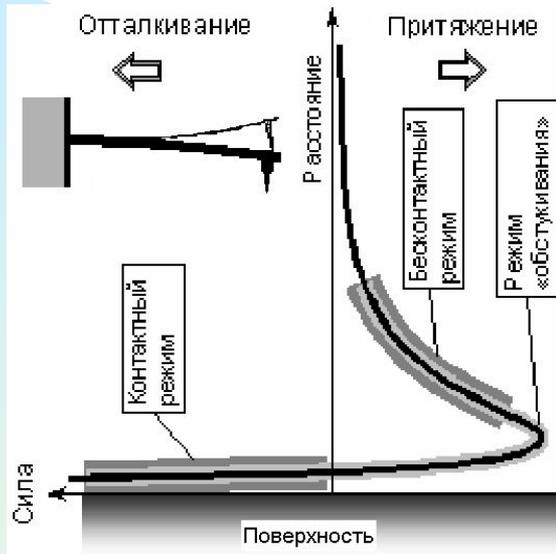
Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа

Туннельный ток, протекание которого описывается законами квантовой механики, очень сильно зависит от расстояния между зондом и образцом, сканируя поверхность образца можно обнаружить возвышения, соответствующие отдельным атомам.



Поверхность кремния в СТМ

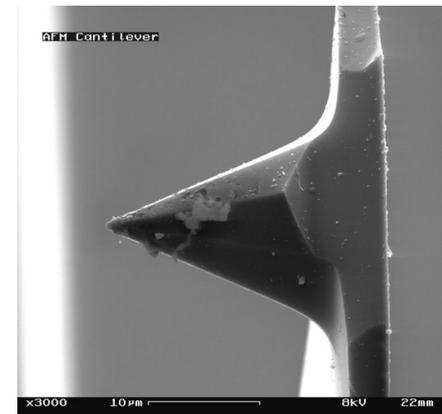
Атомно-силовой микроскоп



Принцип работы

Атомно-силовой микроскоп измеряет непосредственное силовое взаимодействие атомов на острие зонда с атомами образца

Игла закреплена на конце тонкой упругой консоли. Измеряя прогиб консоли (кантилевера) по известному модулю Юнга вычисляется сила взаимодействия



Кантилевер атомно-силового микроскопа