

# Наглядно о наноматериалах

---

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

# Классификация наноматериалов

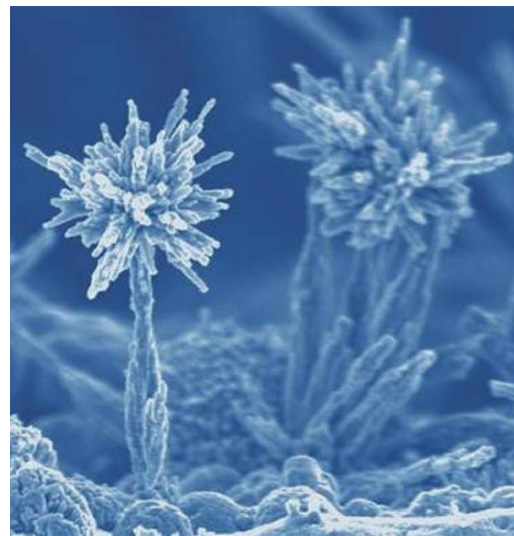
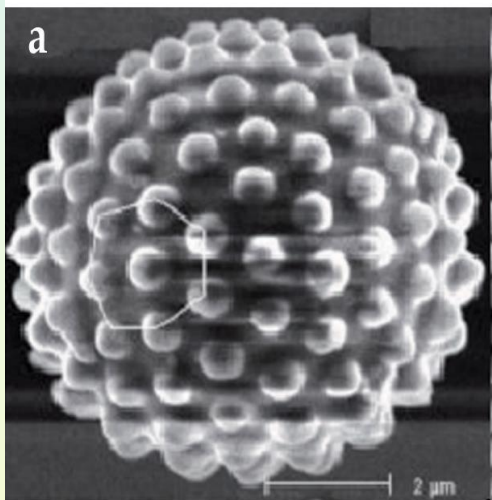
- наночастицы, нанокластеры,
- фуллерены, нанотрубки и нановолокна,
- нанопористые структуры,
- нанодисперсии,
- наноструктурированные поверхности и пленки,
- нанокристаллические материалы.

# Наночастицы. Нанокластеры.

Наночастицами называют частицы, размер которых меньше 100 нм;

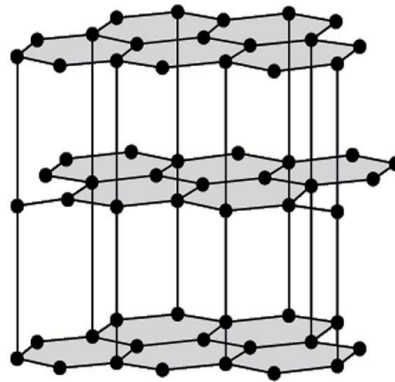
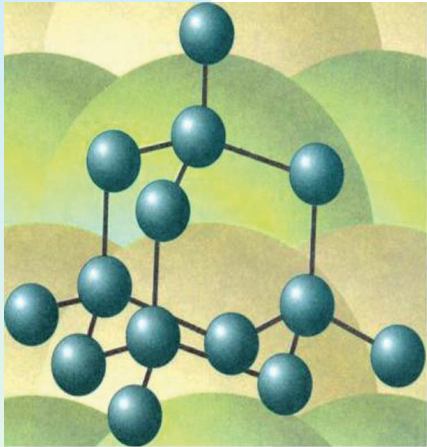
Наночастицы состоят из  $10^8$  или меньшего количества атомов, их свойства отличаются от свойств объемного вещества.

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

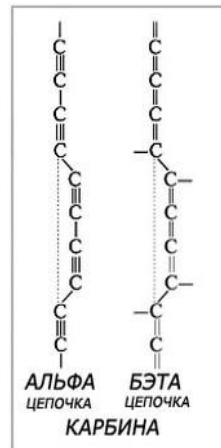
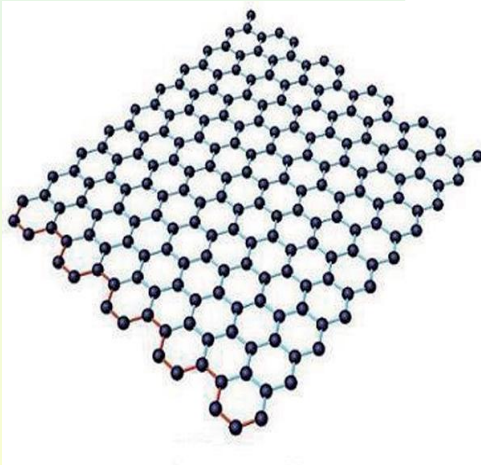


Примеры реальных нанокластеров (а, в) и живого цветка (б).

# Углеродные наноструктуры



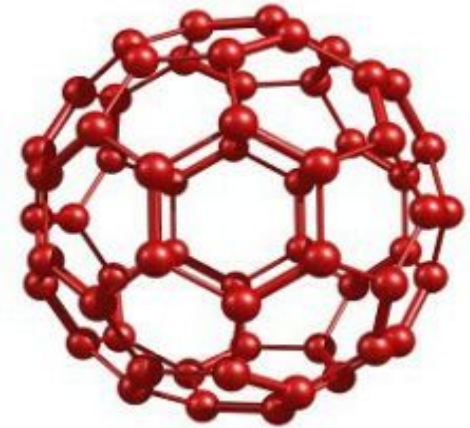
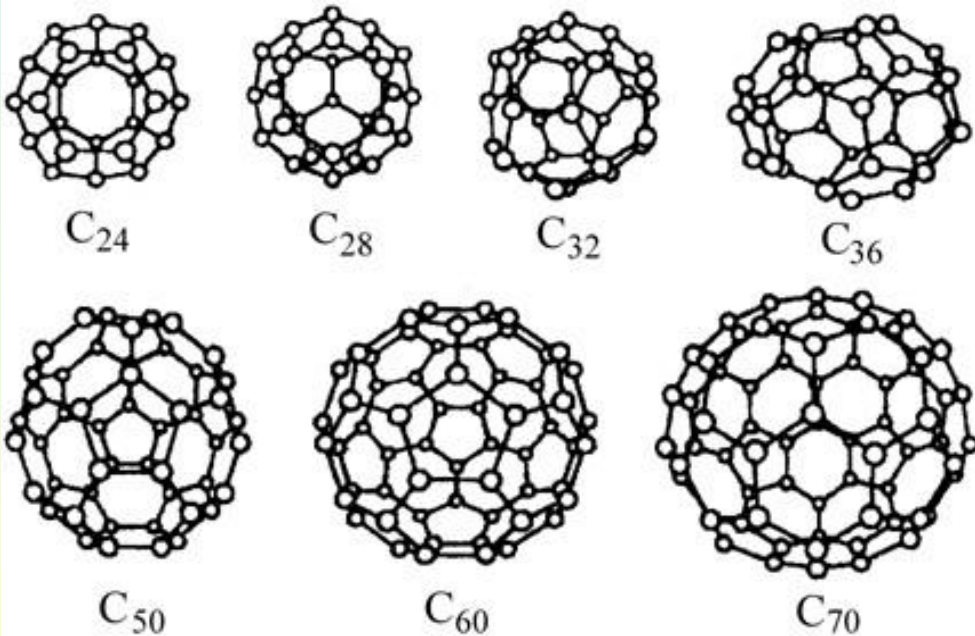
Кристаллическая структура алмаза (а) и графита (б).



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

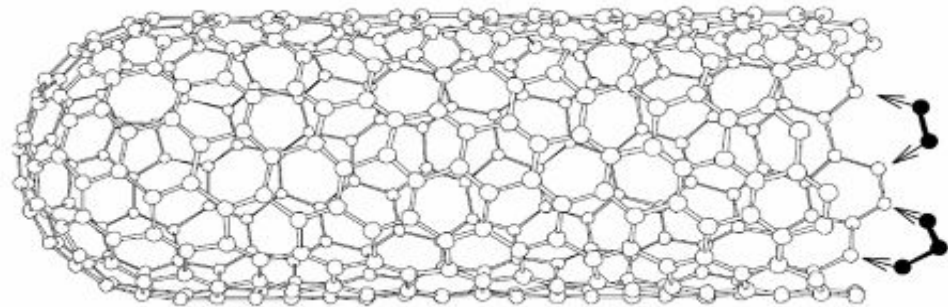
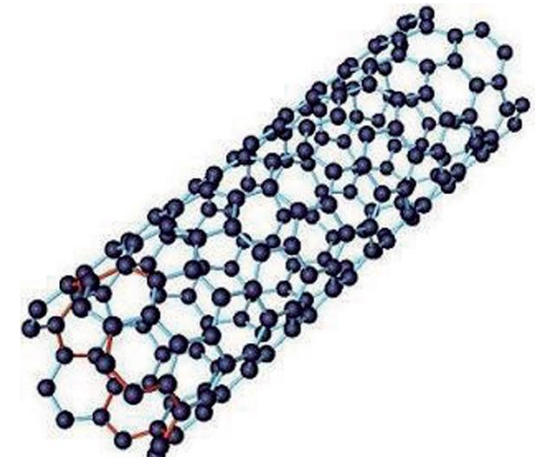
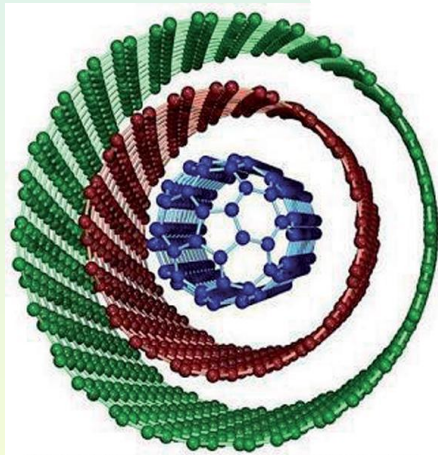
# Фуллерены.

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



# Нанотрубки и нановолокна.

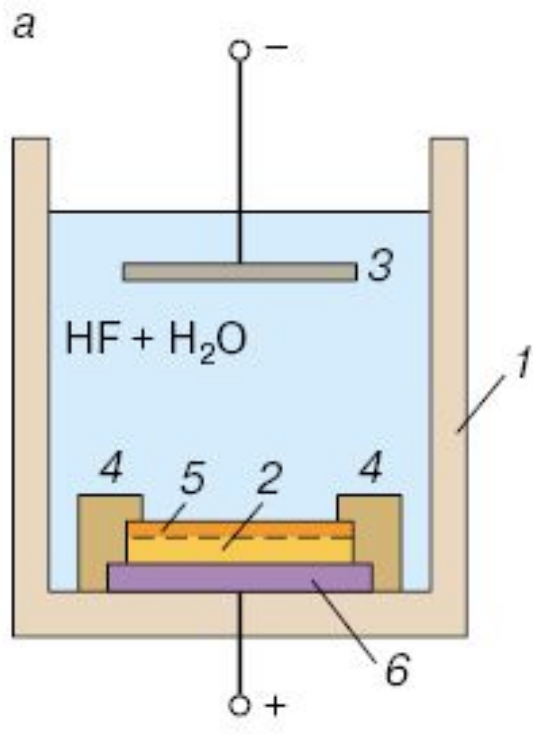
- В 1991 году были обнаружены длинные углеродные структуры, получившие название **нанотрубок**.



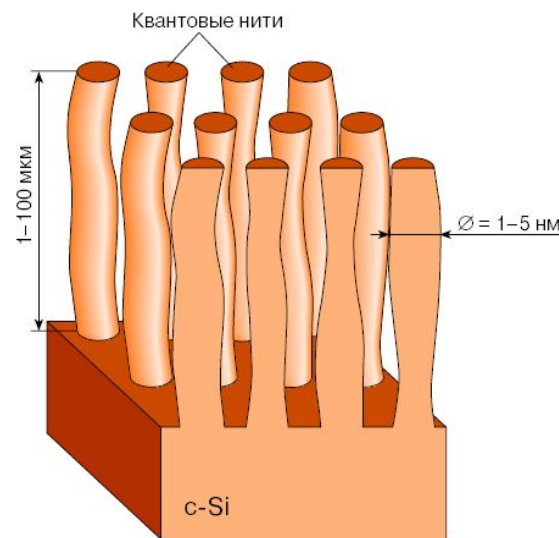
Модели одностенных и многостенной УНТ

# 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



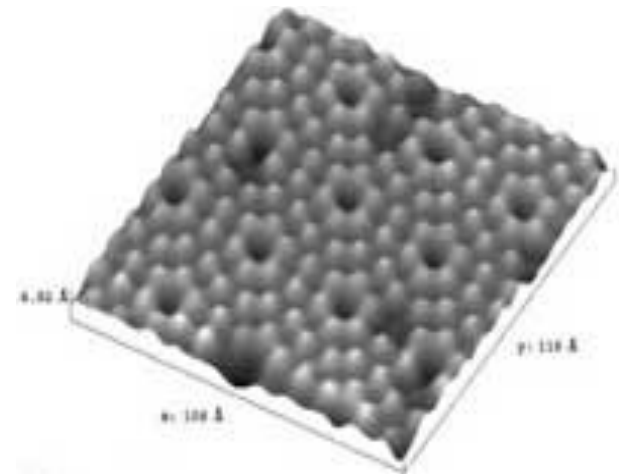
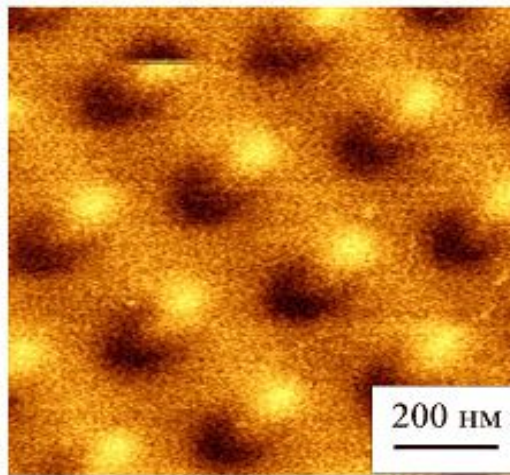
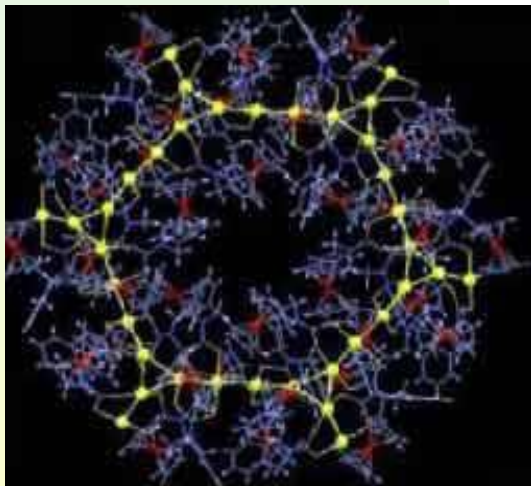
Модельное представление пористого кремния

# 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

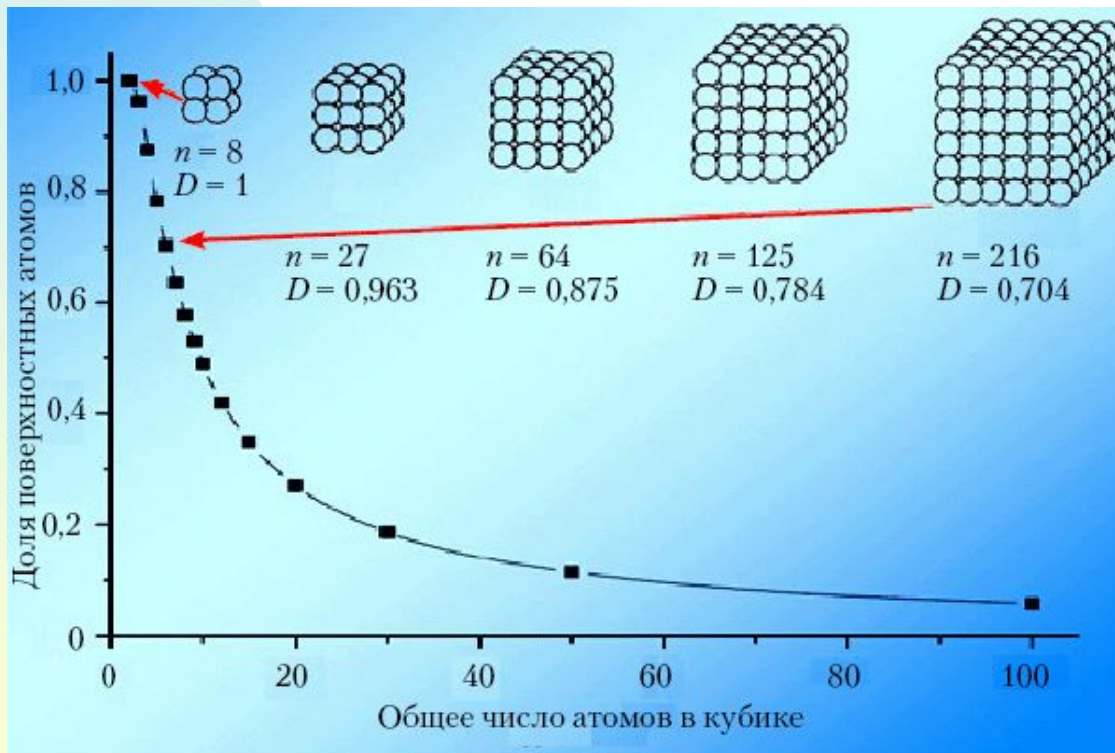




# Роль поверхностных атомов

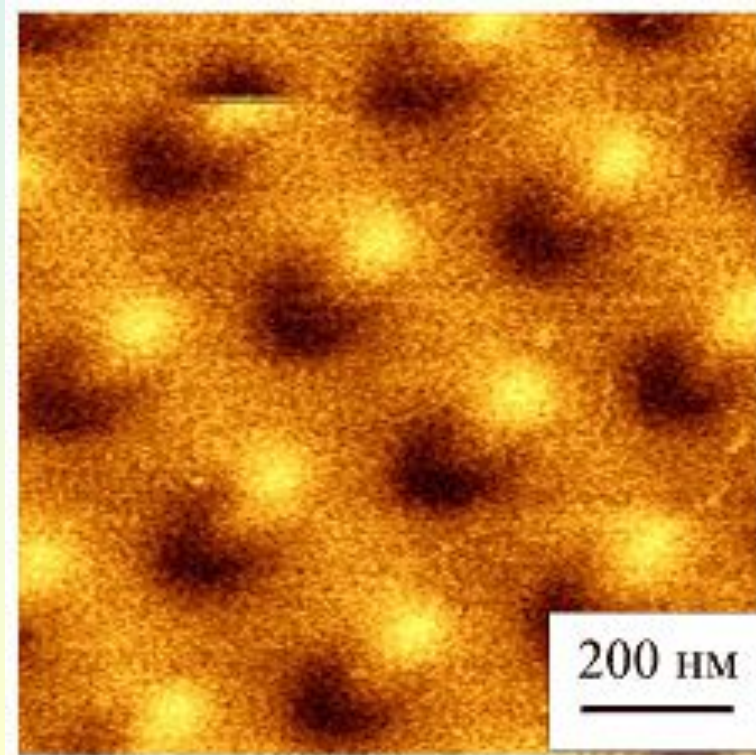
$$D = \frac{n_s}{n}, \quad n = a^3, \quad n_v = (a - 2)^2$$

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



# Технология «сверху-вниз»

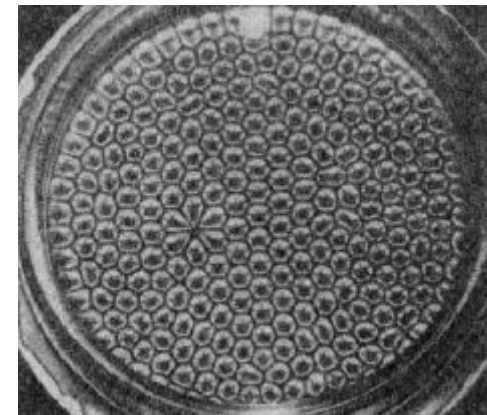
Технология «сверху-вниз» основана на уменьшении размеров тел механической или иной обработкой, вплоть до получения объектов нанометрового размера. Так, например, наночастицы можно получить перемалывая в специальной мельнице материал макроскопических размеров.



Структура, полученная при помощи литографии

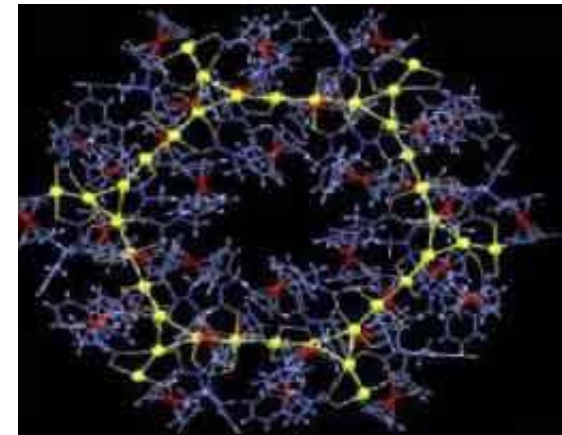
# Самоорганизация и самосборка

- **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 .

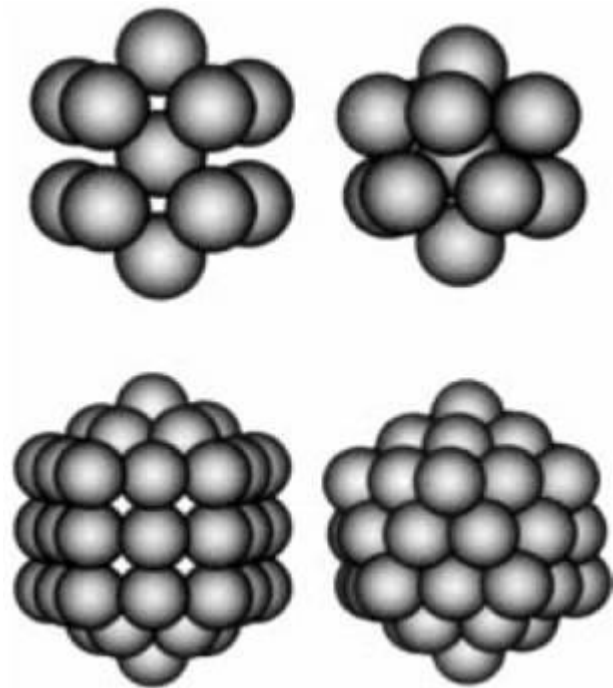


# Методы получения кластеров, магические числа

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.

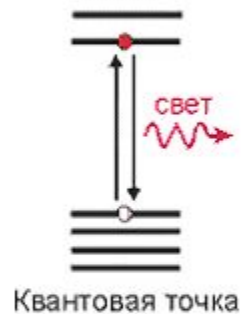
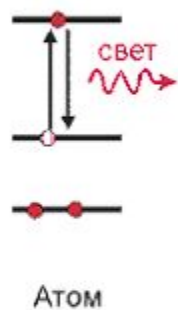


Структура  
нанокластеров:

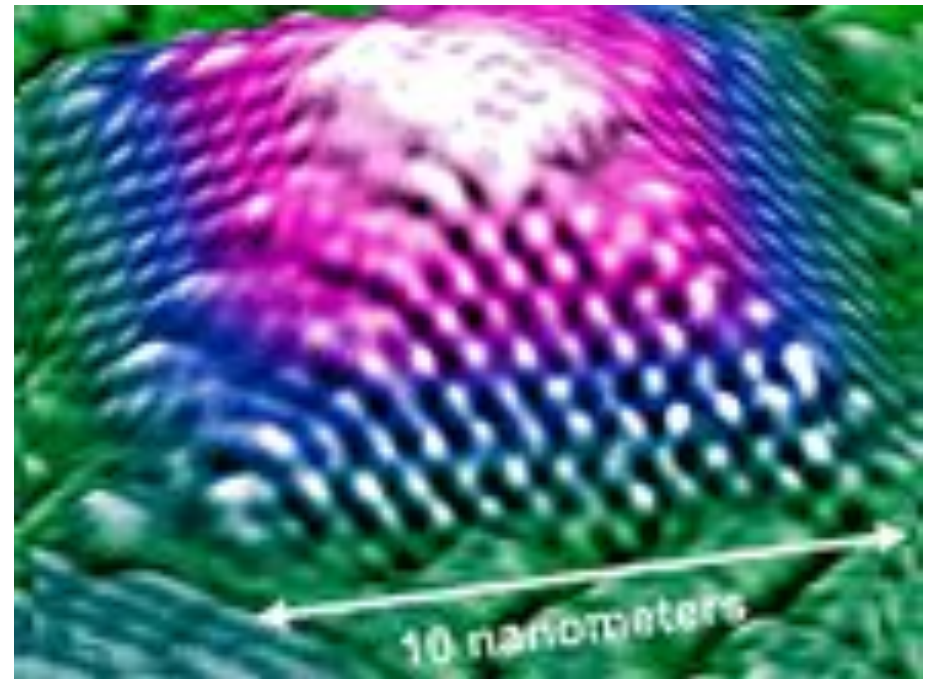
слева - додекаэдр;  
справа - икосаэдр

# Квантовые точки. Роль процессов самоорганизации

## Квантовая точка - искусственный атом



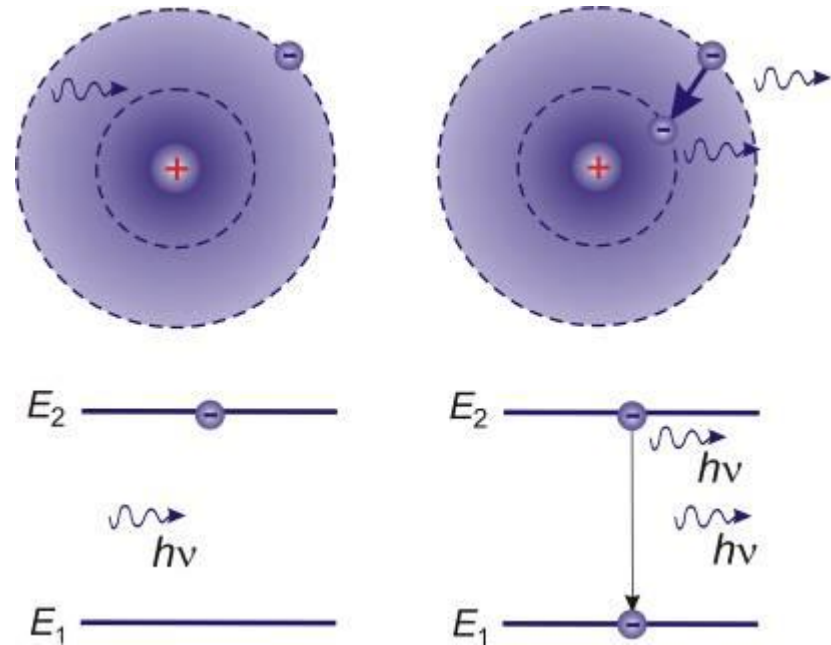
- Гигантское усиление
- Температурная стабильность



# Лазеры

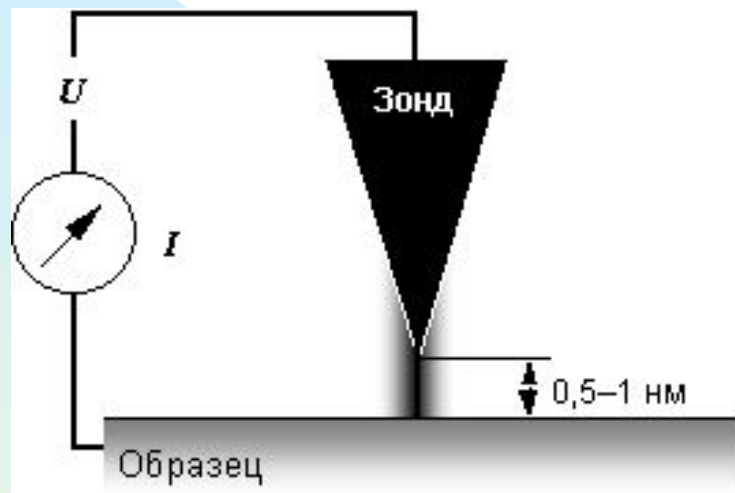
*Лазер* – устройство, использующее квантовомеханический эффект вынужденного (стимулированного) излучения для создания когерентного потока света.

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



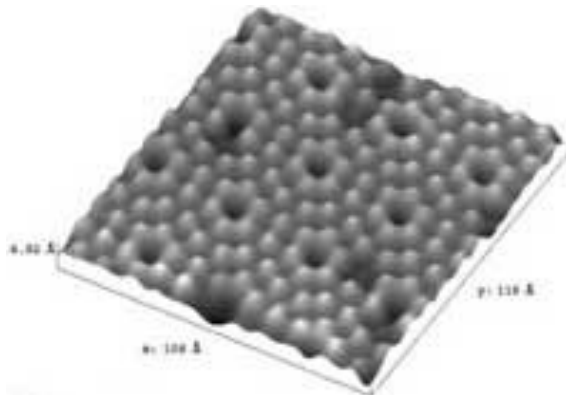
Вынужденное излучение

# Сканирующий туннельный микроскоп



*Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа*

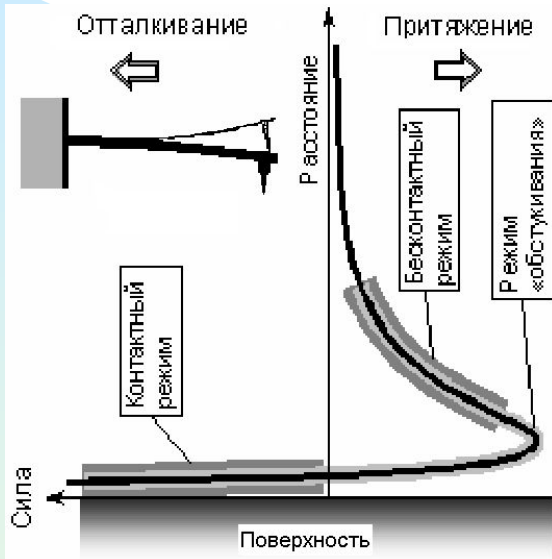
Туннельный ток, протекание которого описывается законами квантовой механики, очень сильно зависит от расстояния между зондом и образцом, сканируя поверхность образца можно обнаружить возвышения, соответствующие отдельным атомам.



*Поверхность кремния в СТМ*



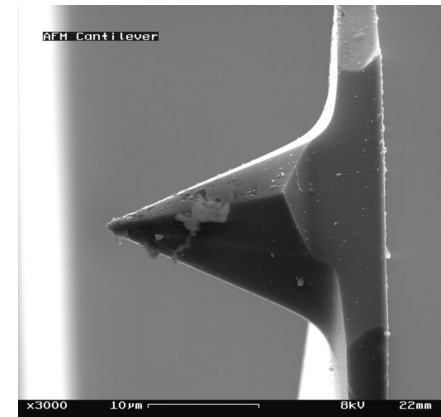
# Атомно-силовой микроскоп



## 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