



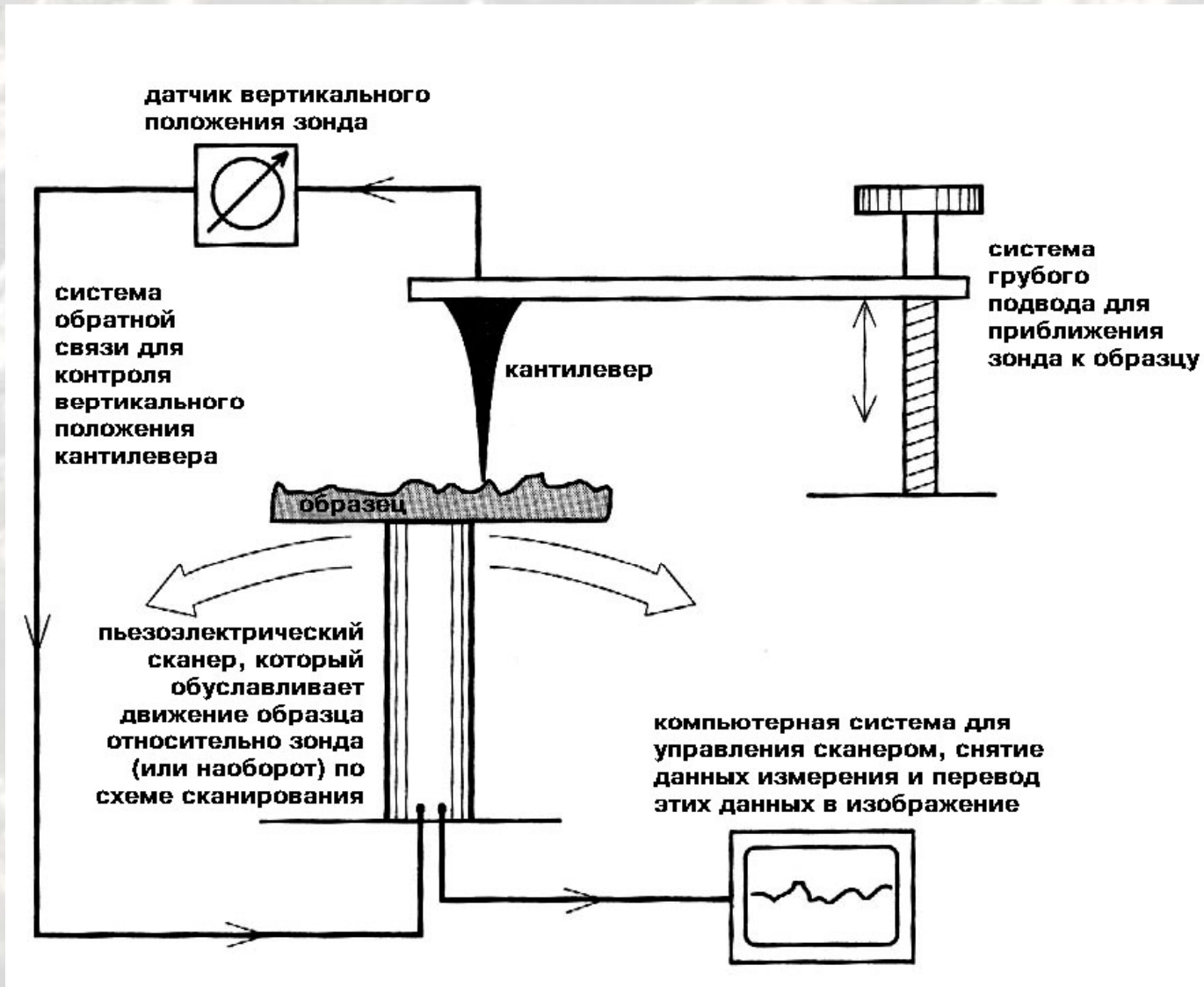
Атомно-силовая микроскопия

А.А.Елисеев, Д.М.Иткис
факультет наук о материалах МГУ

NT-MDT N'Tegra Aura



Сканирующая зондовая микроскопия

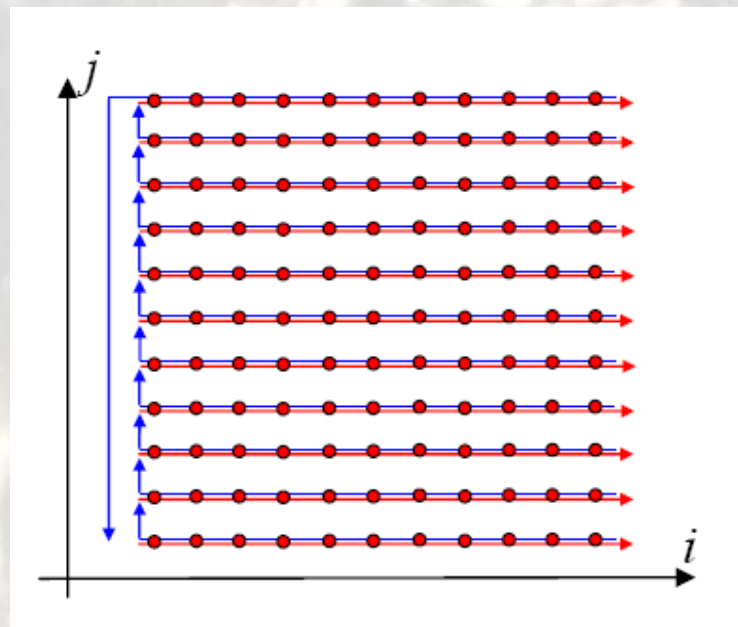
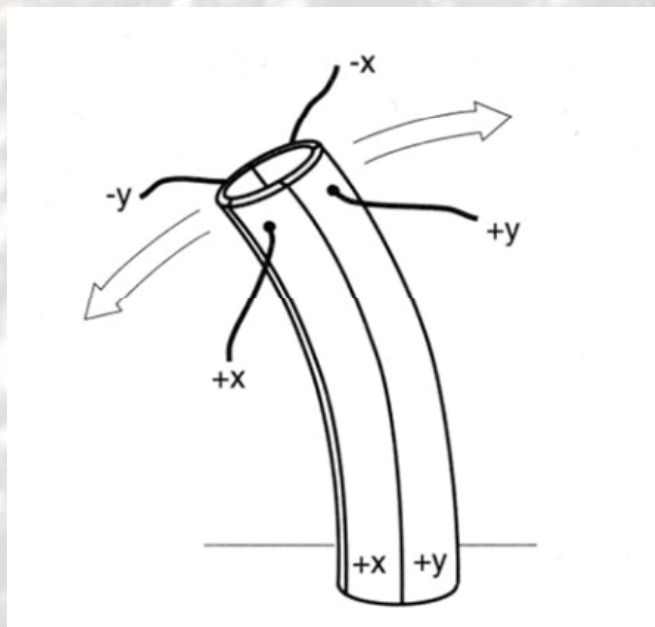


Виды сканирующая зондовой микроскопии

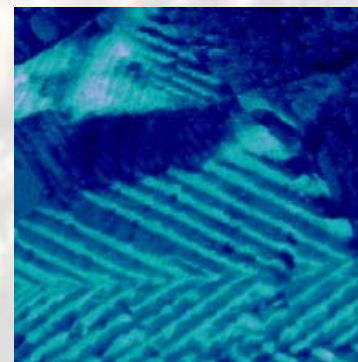
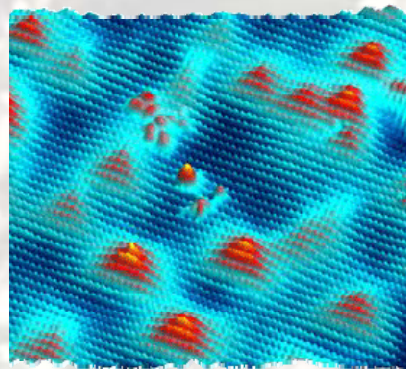
- Сканирующая Туннельная Микроскопия
 - туннельный ток $I \sim \exp[-d]$
- Атомно-Силовая Микроскопия
 - изгиб балки кантилевера $\sim k F_{\text{взаимодействия}}$
- Сканирующая Микроскопия Ближнего Поля
 - оптический сигнал



Устройство и работа сканера



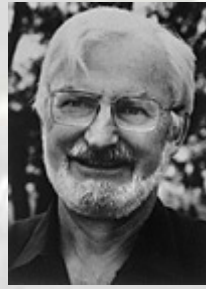
3D и 2D визуализация



История

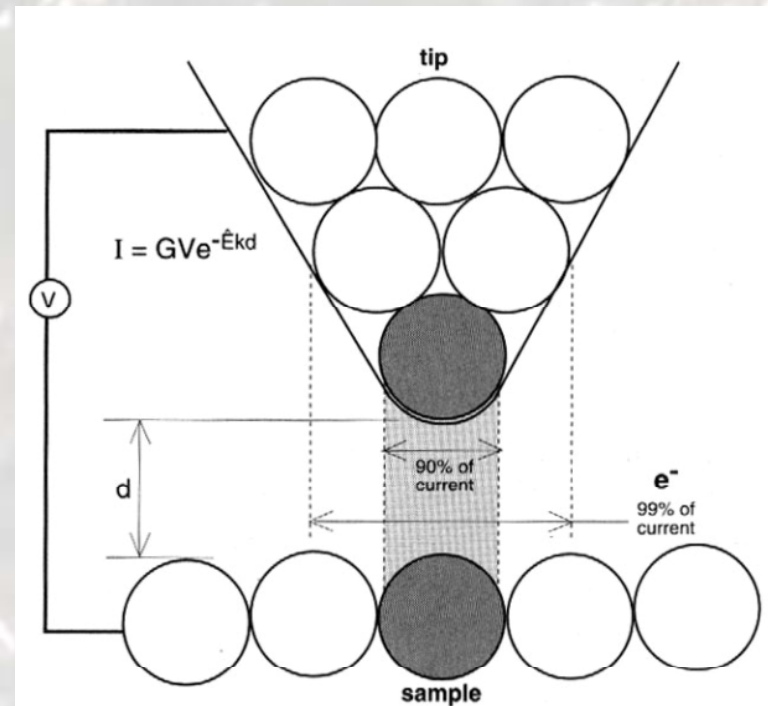
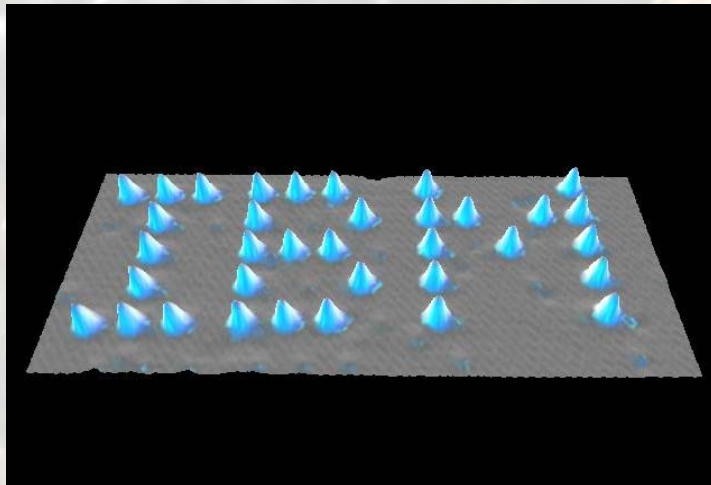


Gerd Binnig

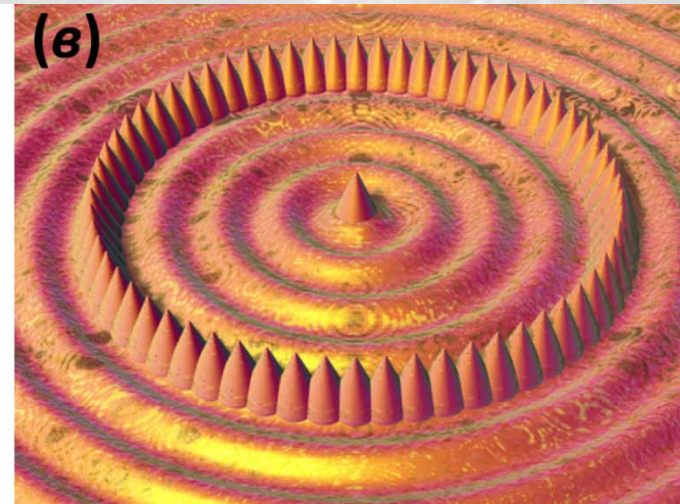
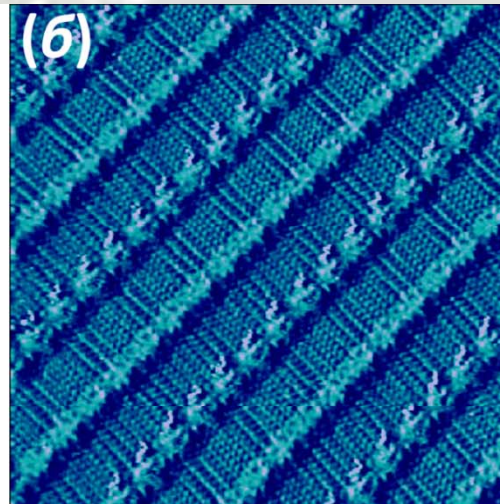
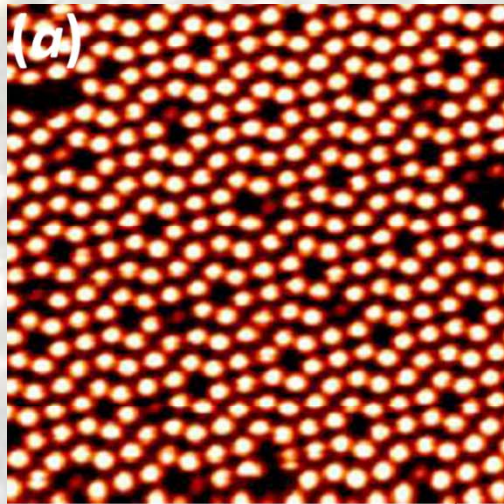


Heinrich Rohrer

- **1981** создание первого СТМ
получение атомарного разрешения
(IBM, Цюрих)
- **1986** Нобелевская премия



Примеры СТМ изображений



СТМ изображение поверхности Si (111) 7*7 (а, Omicron);

Монослоя 1,3-динонадека-бензена (б, К.Ким, А.Матцагер, Veeco);

Квантового коралла 48 атомов Fe на поверхности Cu (111)

(в, IBM Almaden Research Center)

Сканирующая туннельная микроскопия

- Изучение тонких плёнок, квантовых точек, углеродных нанотрубок
- Перемещение отдельных атомов, выстраивание сложных квантовых структур
- Определение атомной поверхности монокристаллов, плёнок Лэнгмюра-Блоджетт, самособирающихся монослоёв
- Определение направления магнитных моментов отдельных атомов

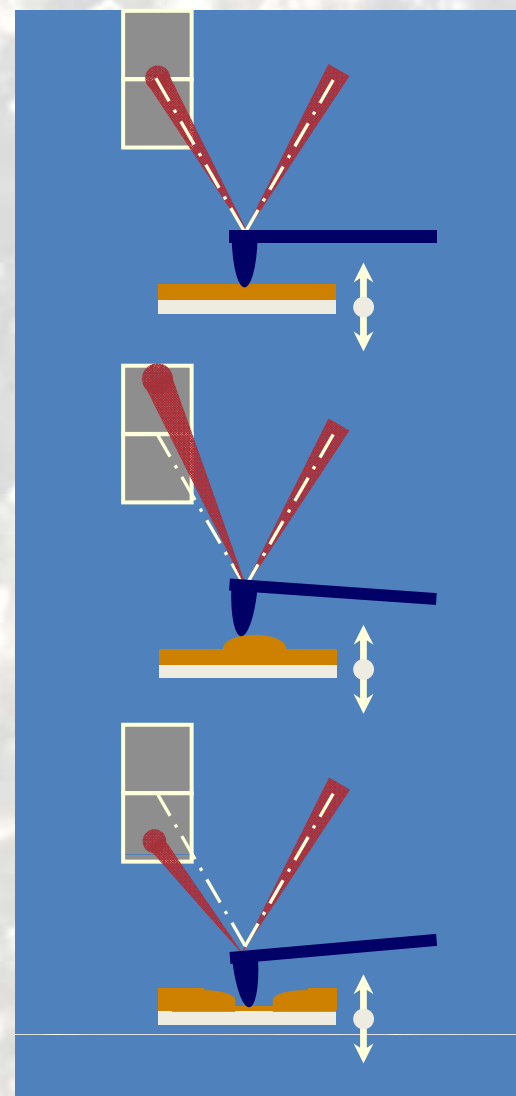
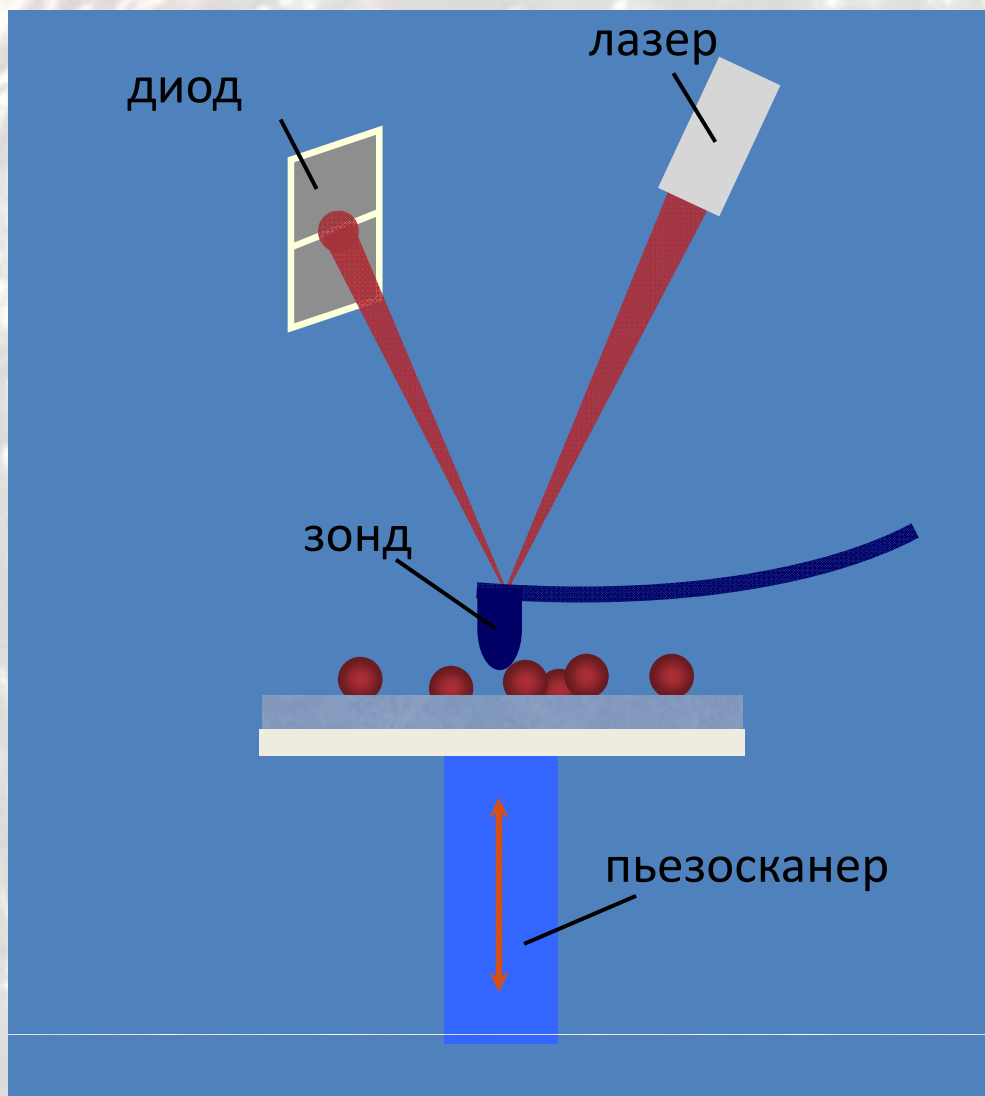


Атомно-силовая микроскопия

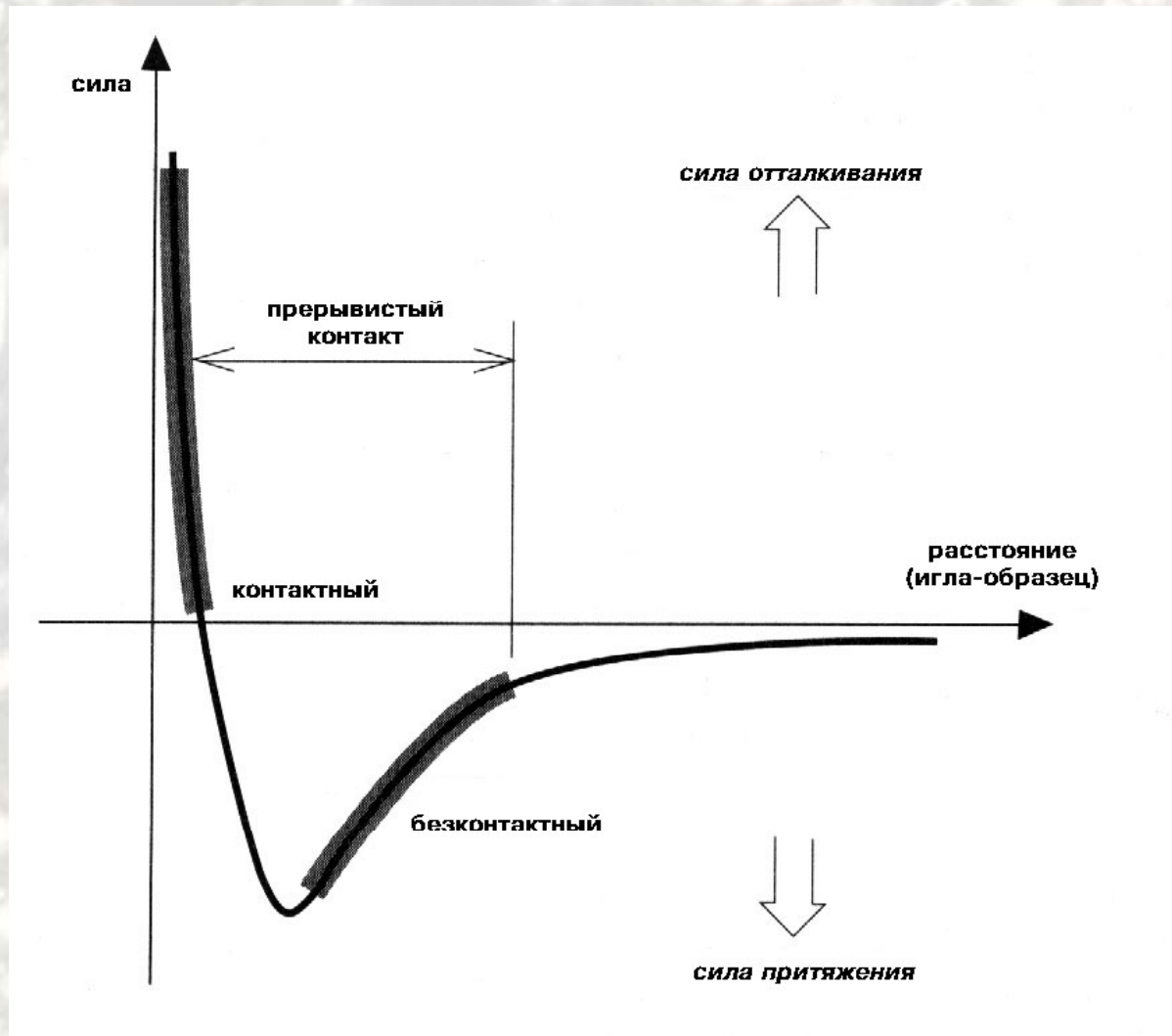
- Морфология кристаллитов (зерен)
- Средний размер кристаллитов (зерен) и их распределение по размерам
- Количественный состав фаз, составляющих нанокомпозит
- Степень однородности распределения наноразмерных фаз в композитном материале
- Фазовый состав покрытия
- Микроструктура покрытия и интерфейса с подложкой
- Электрические параметры структур



Принцип работы атомно-силового микроскопа

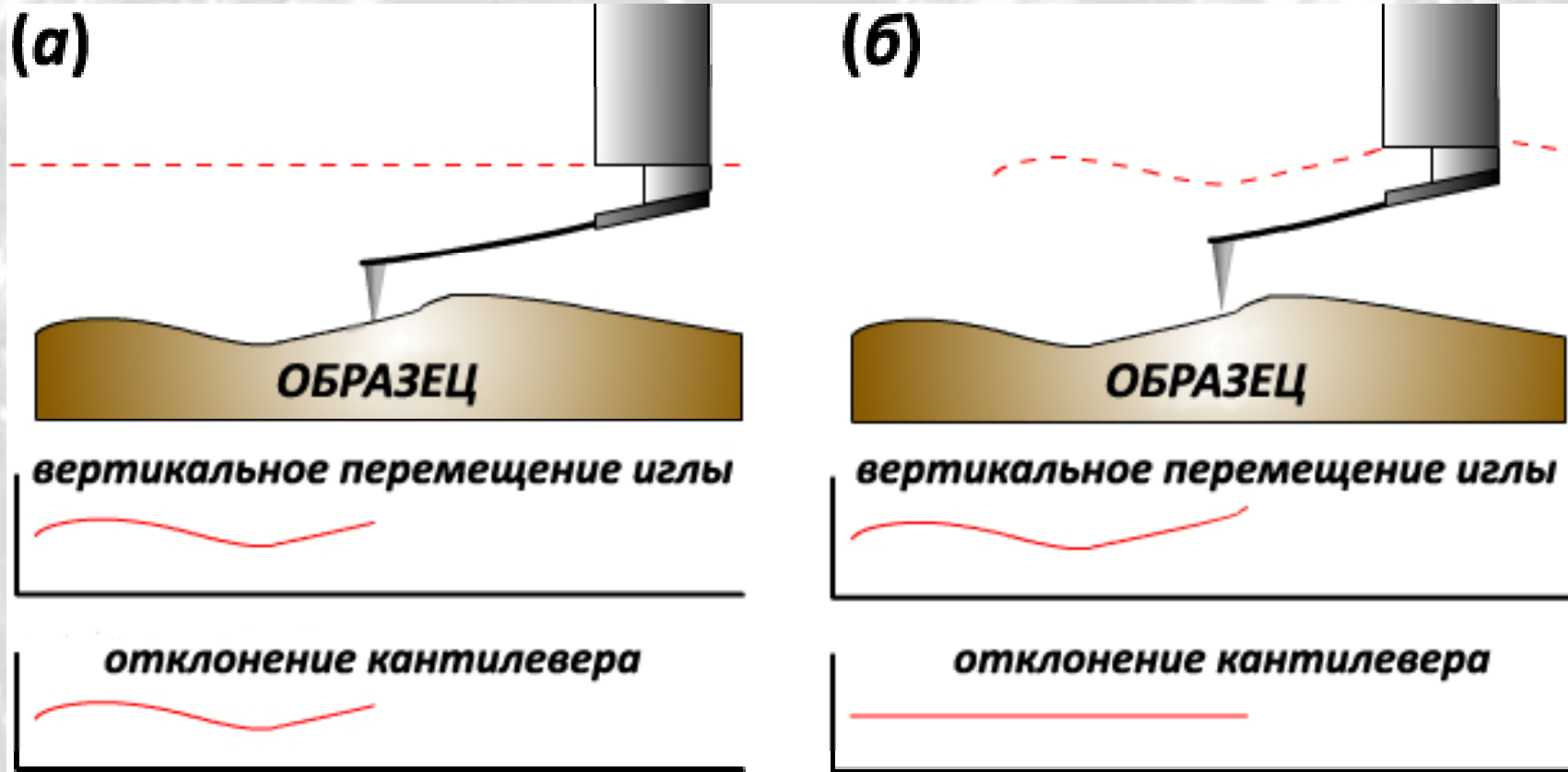


Взаимодействие между зондом и образцом



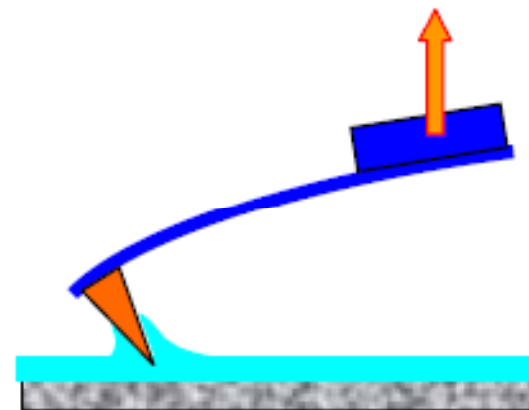
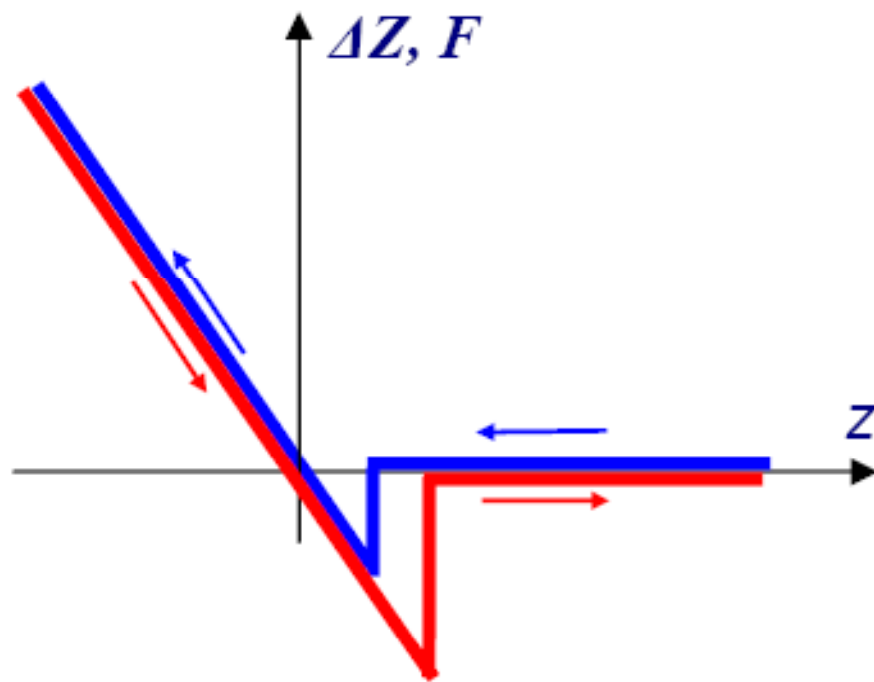
Кривая зависимости силы межатомного взаимодействия от расстояния

Разновидности контактной АСМ

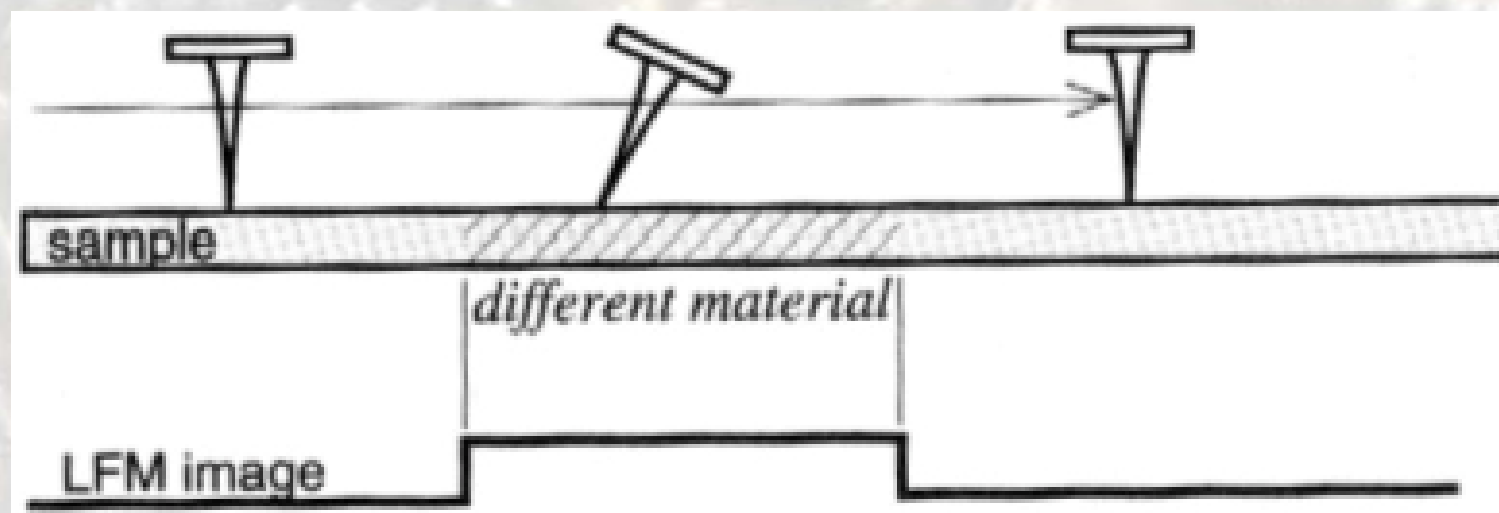
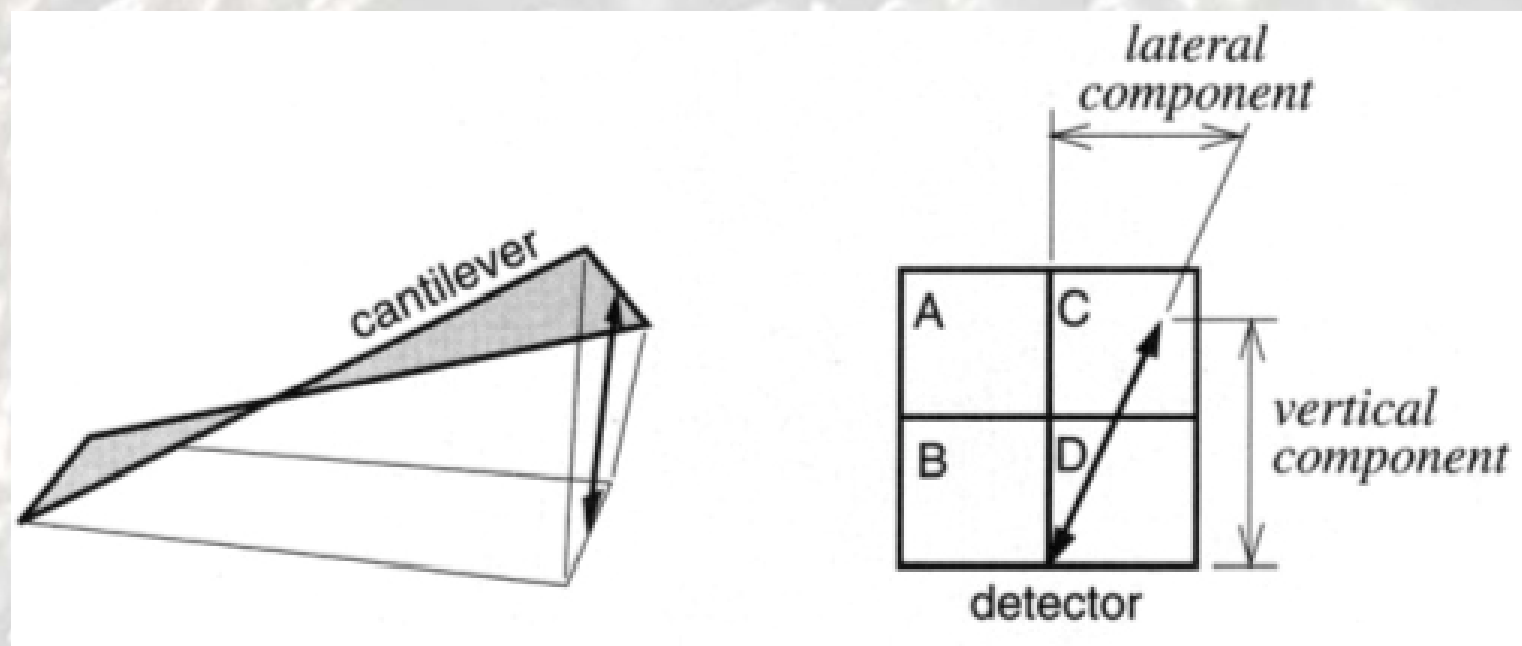


- а) метод постоянной высоты
б) метод постоянного взаимодействия.

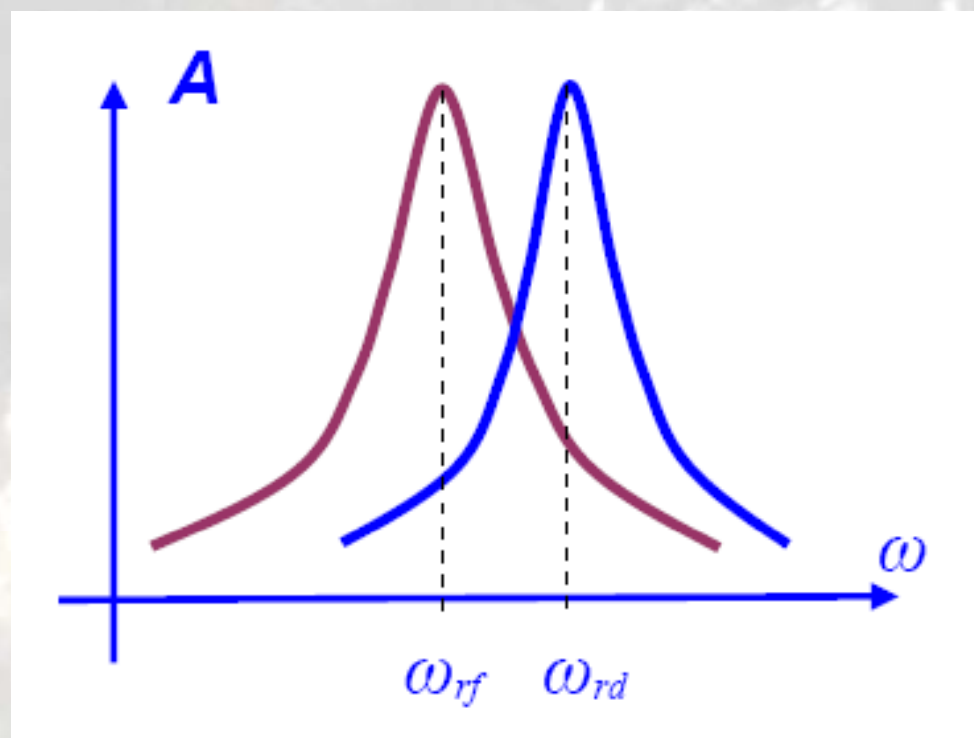
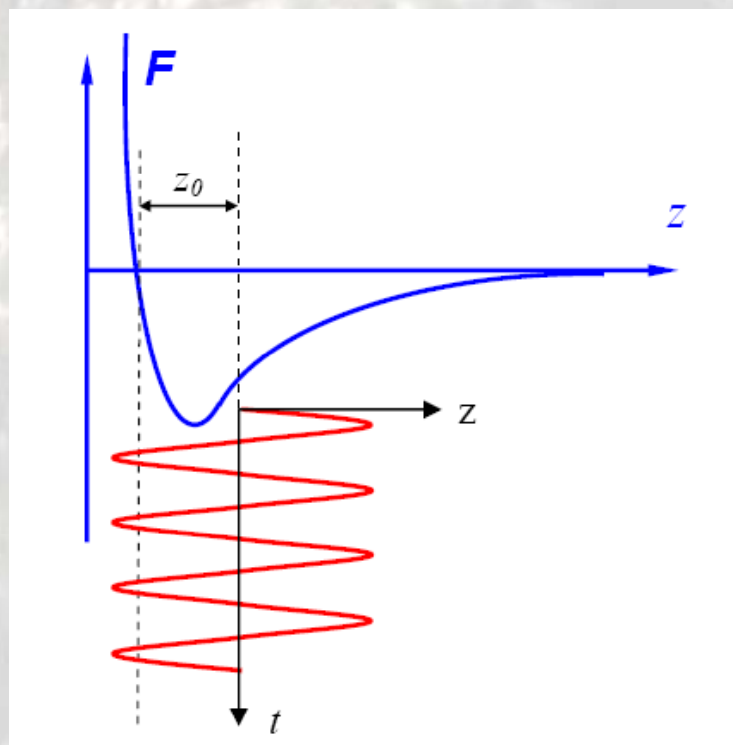
Контактный режим



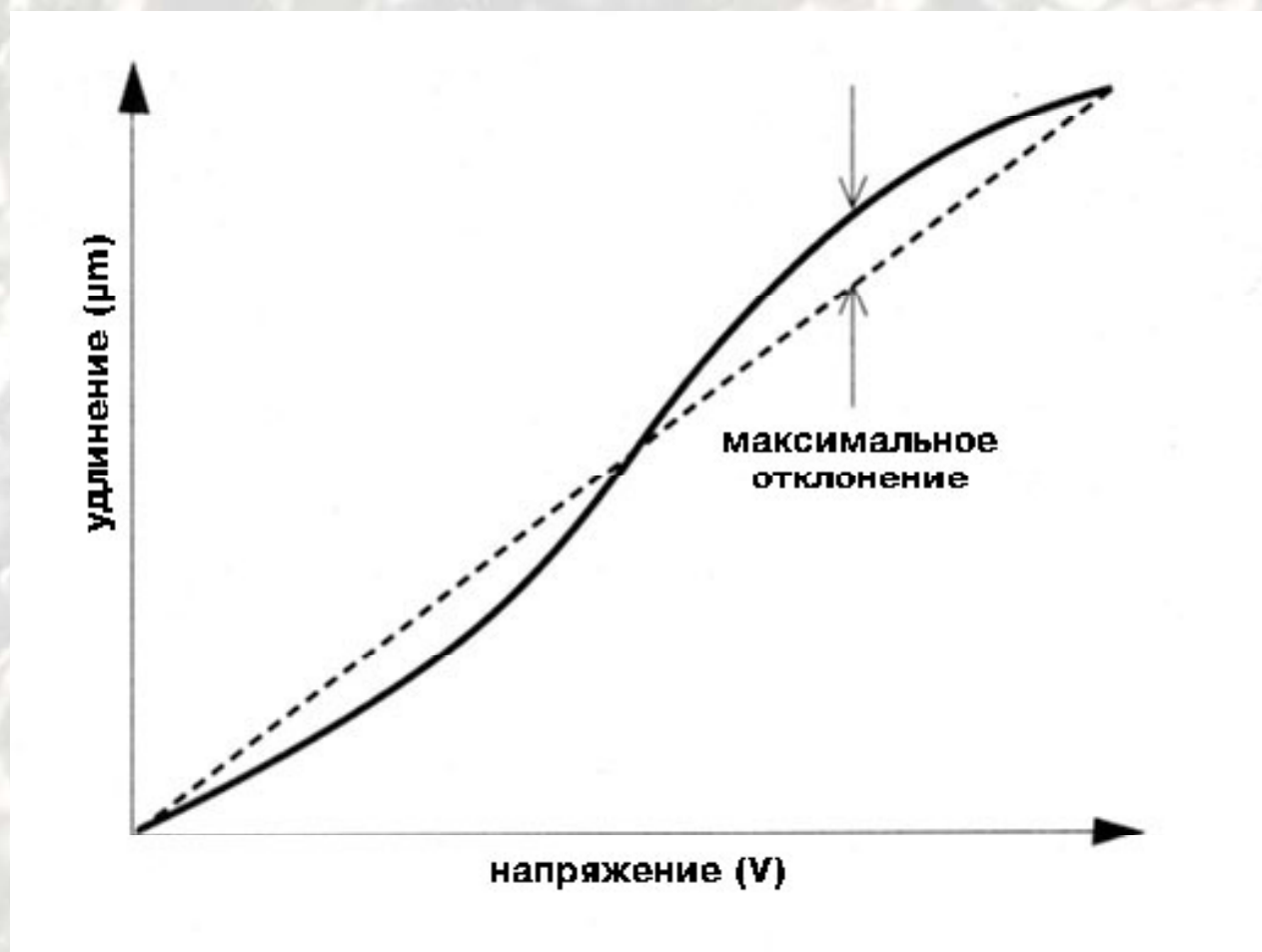
Микроскопия латеральных сил



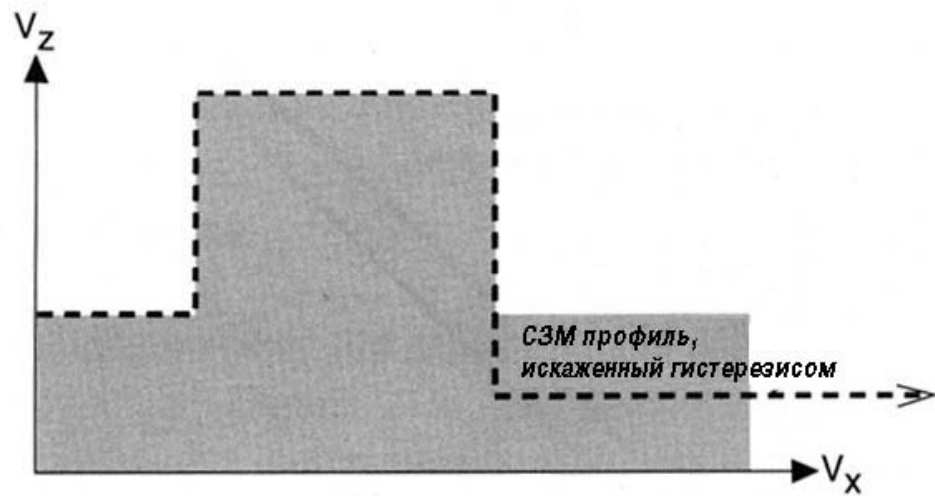
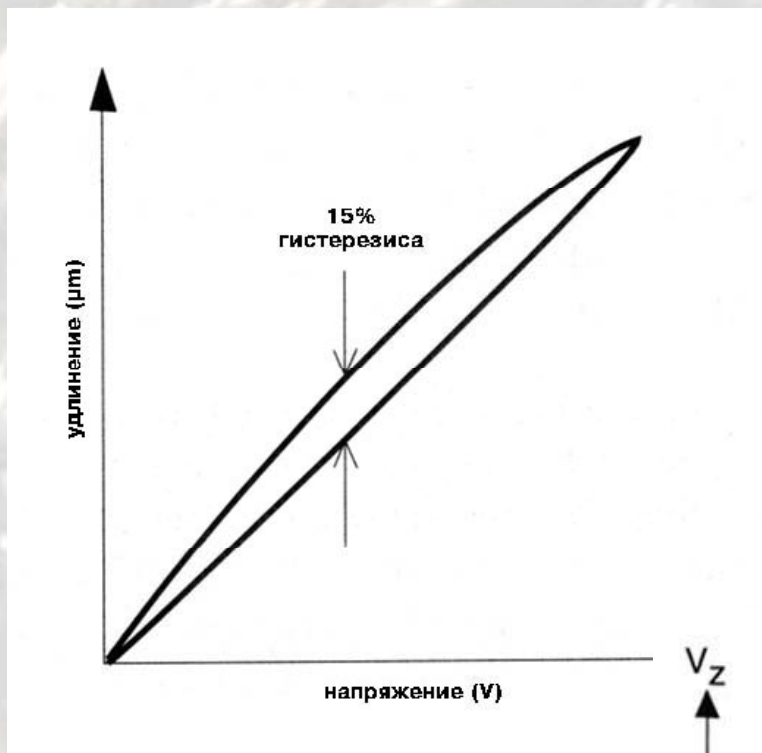
Силовая модуляционная микроскопия



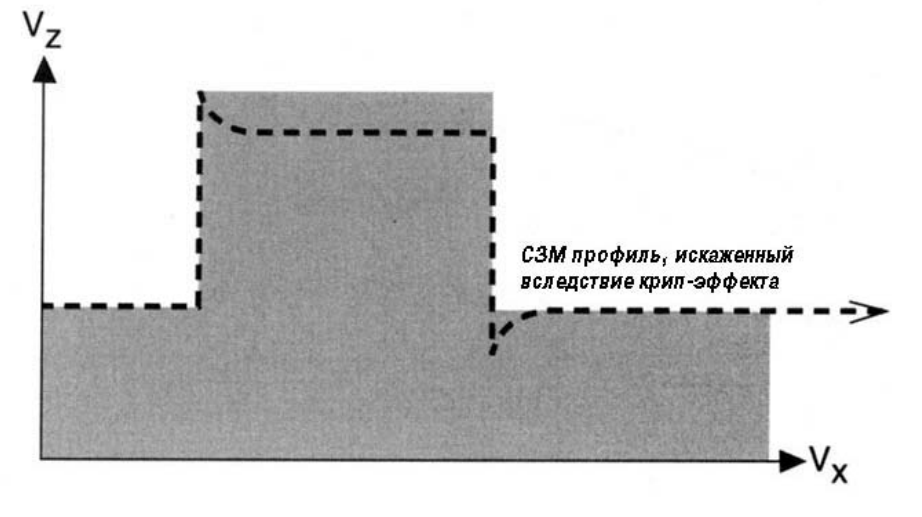
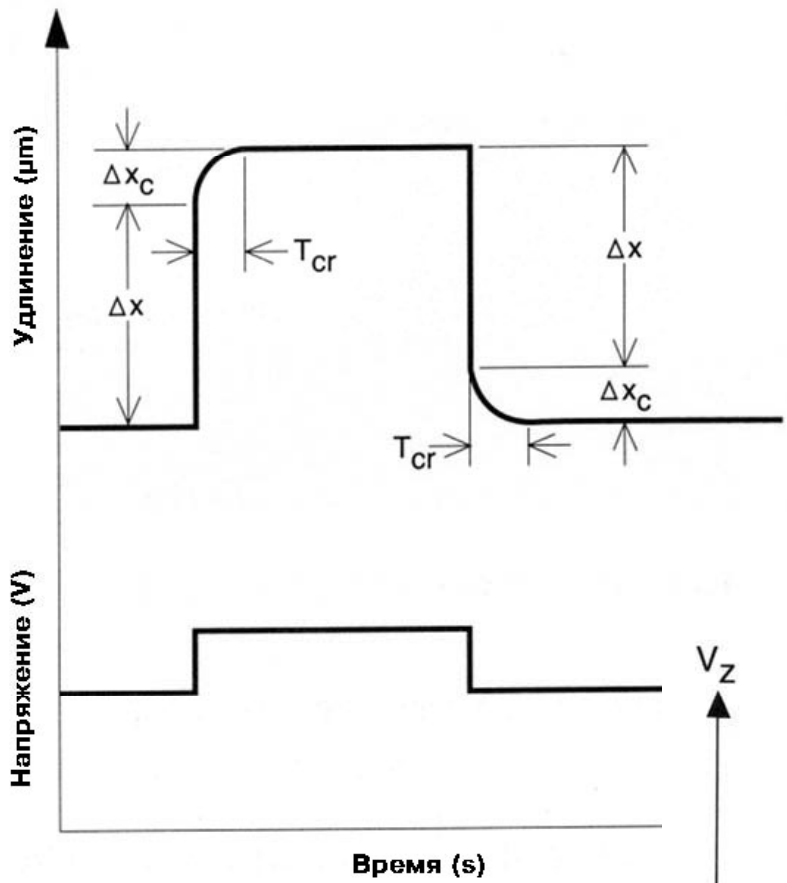
Собственная нелинейность сканера



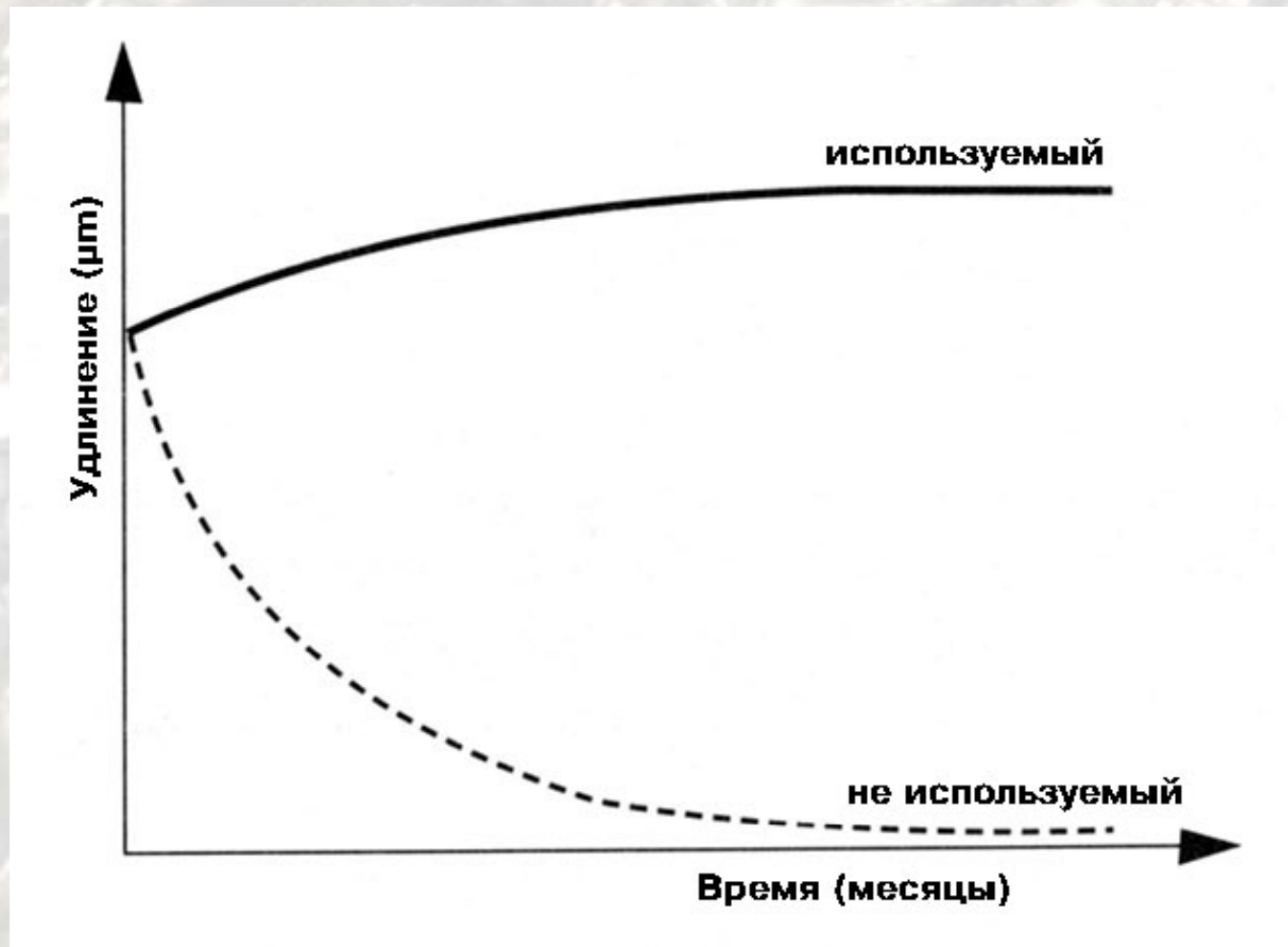
Гистерезис сканера



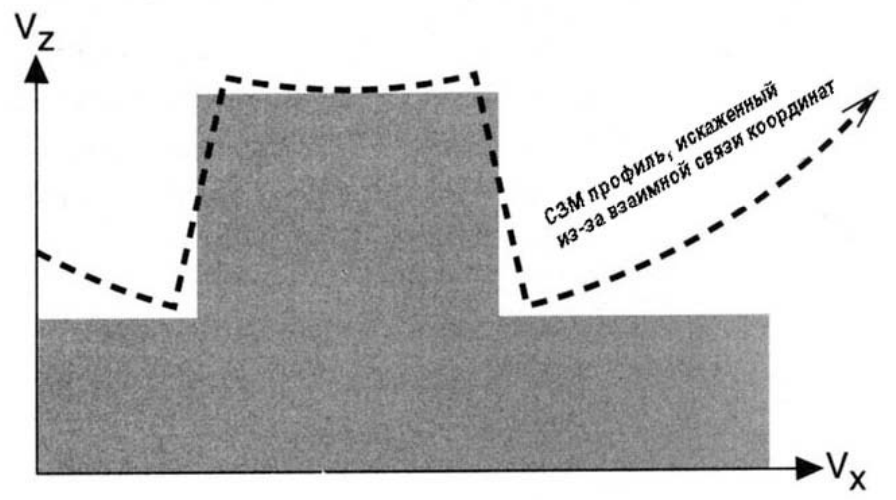
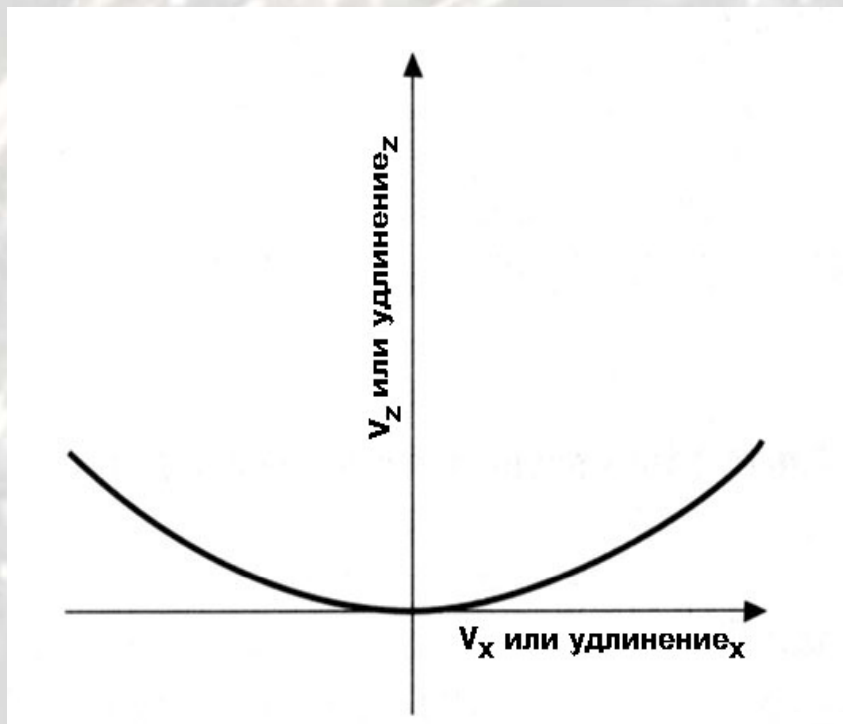
Ползучесть сканера



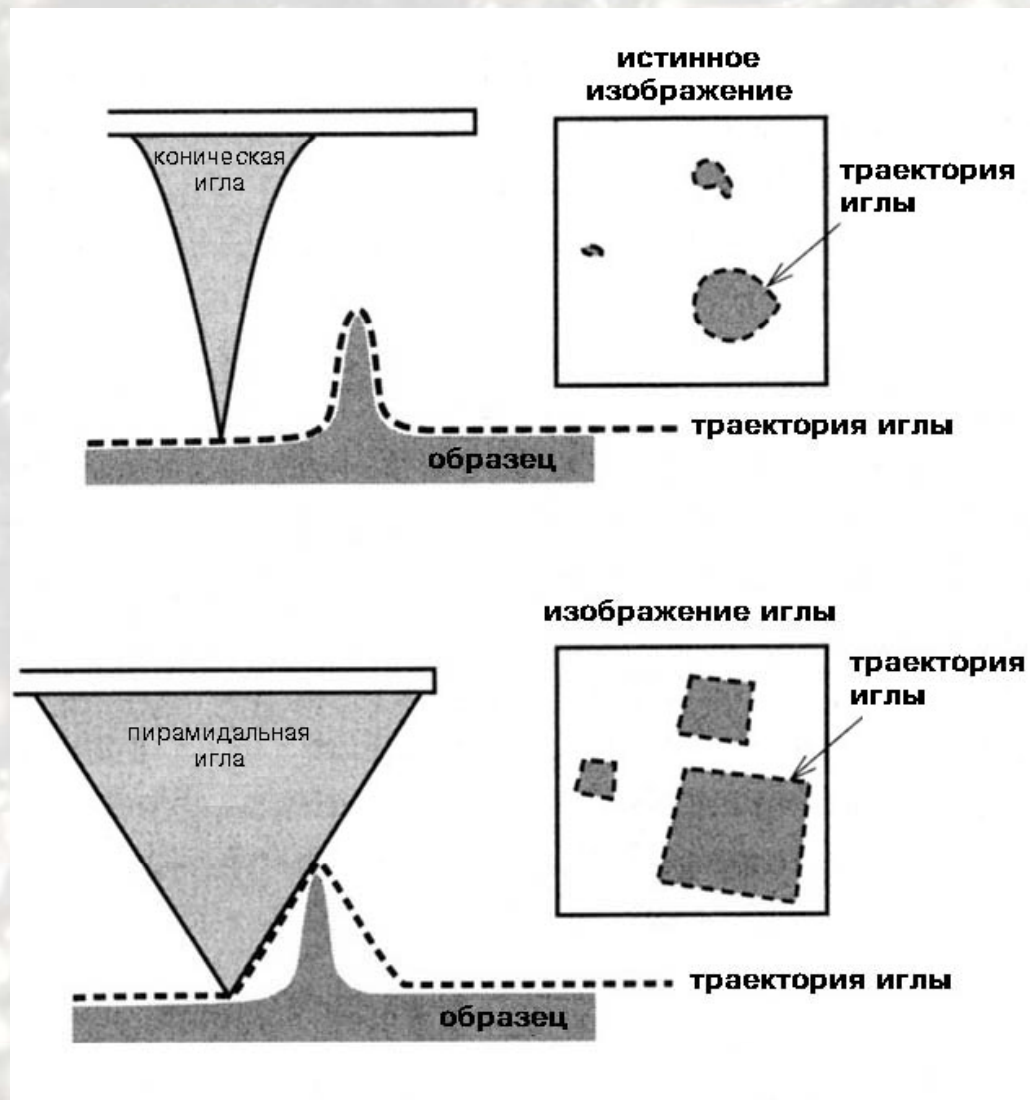
Старение сканера



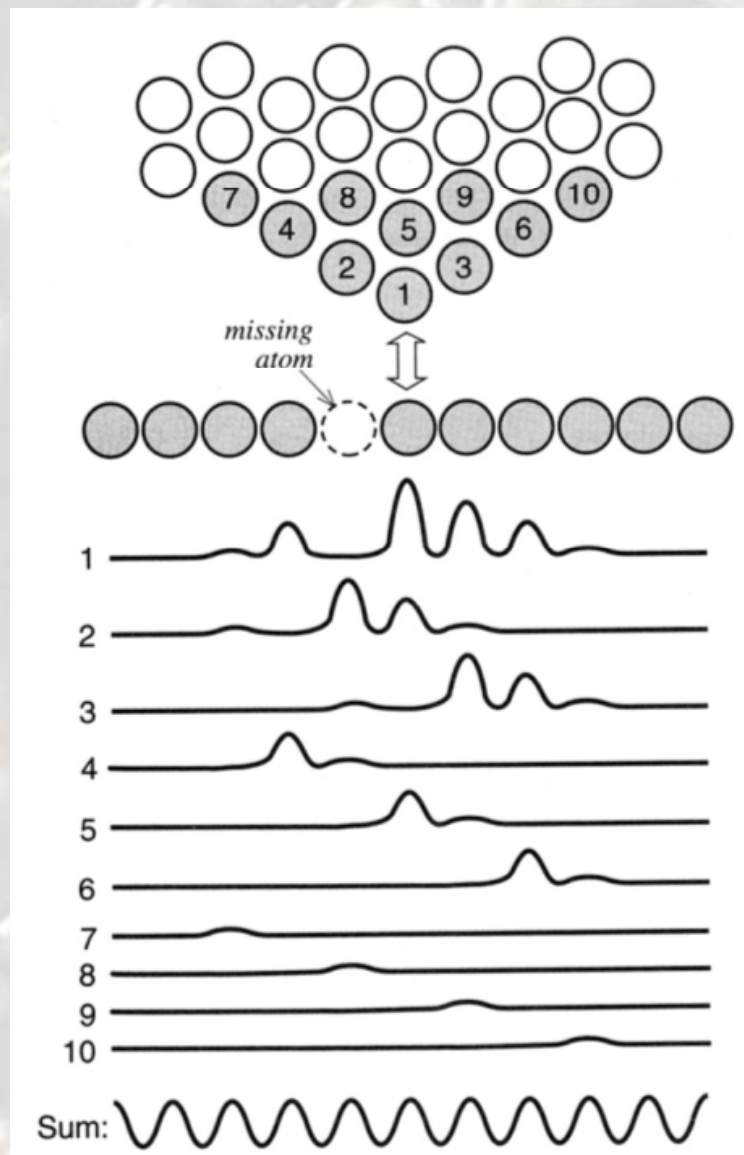
Перекрестные помехи



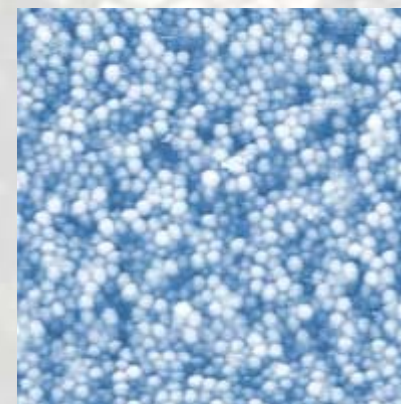
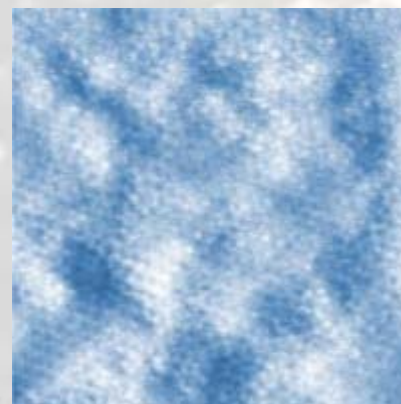
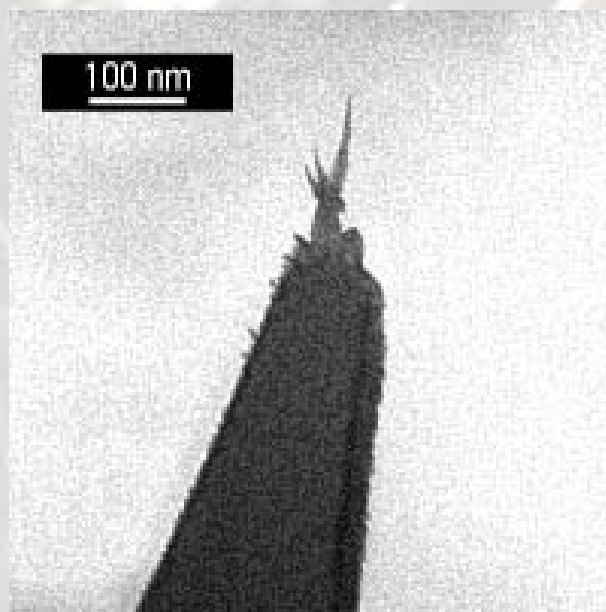
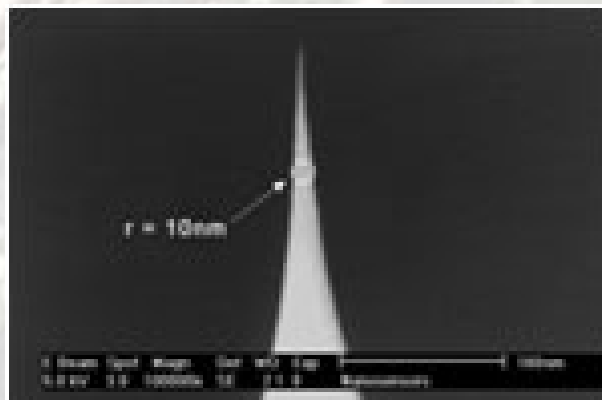
True imaging vs. tip imaging



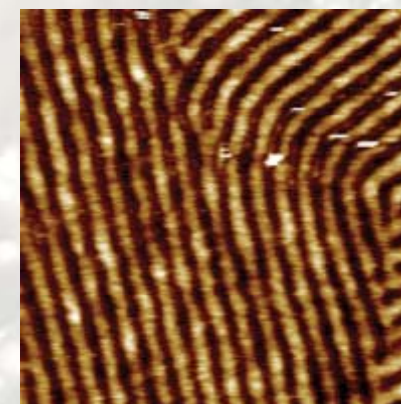
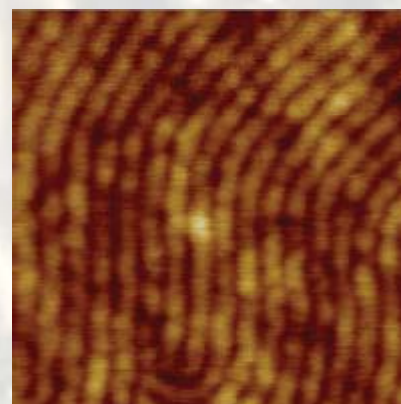
Атомарное разрешение?



АСМ зонды высокого разрешения



дендримеры

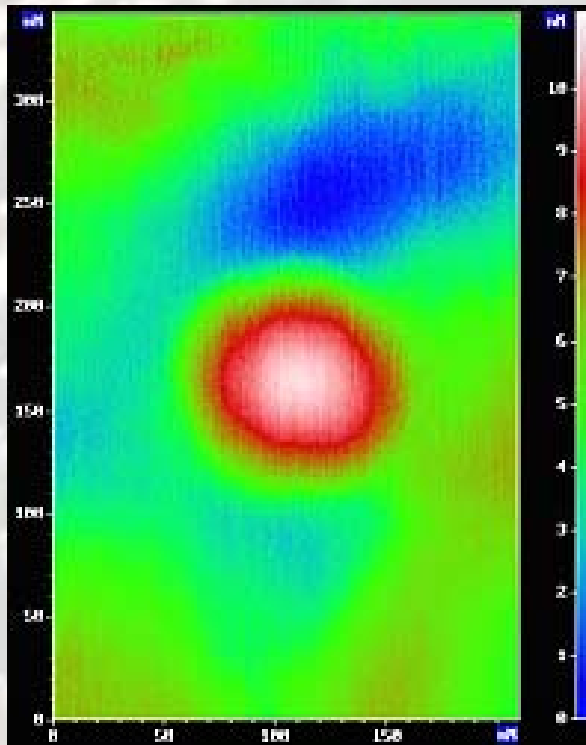


жидкие кристаллы

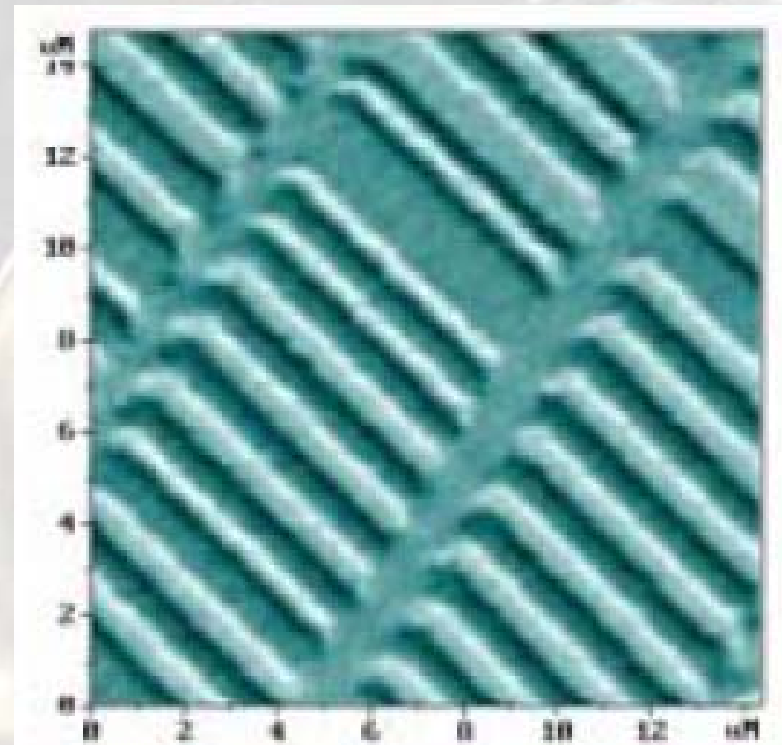


Магнитные АСМ зонды

Co-Cr покрытие
300 – 400 Oe



Co наночастица

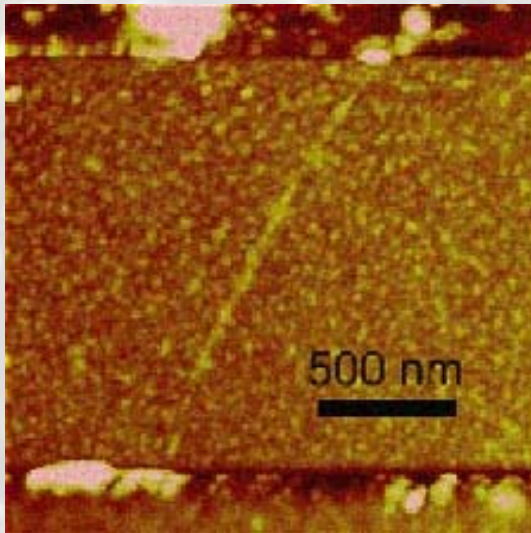


поверхность жесткого диска

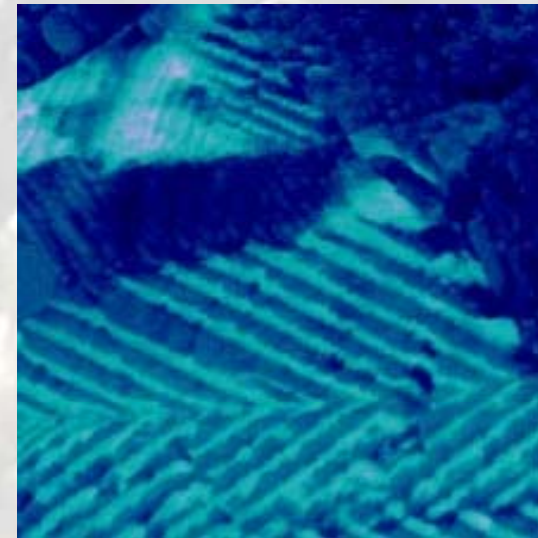
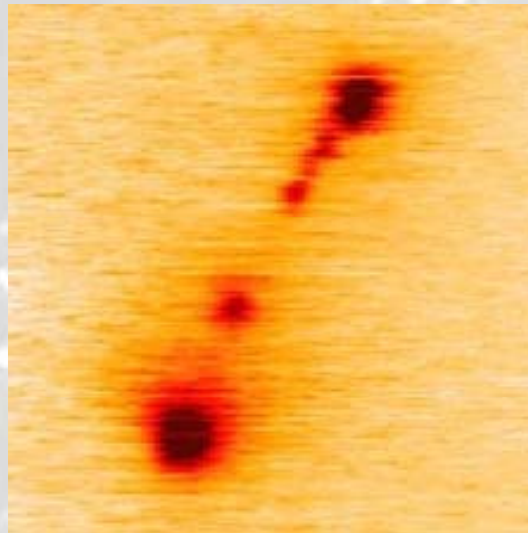


Проводящие АСМ зонды

Ti-Pt, Pt, Cr-Au, PtIr покрытия
зонды из высоколегированного кремния



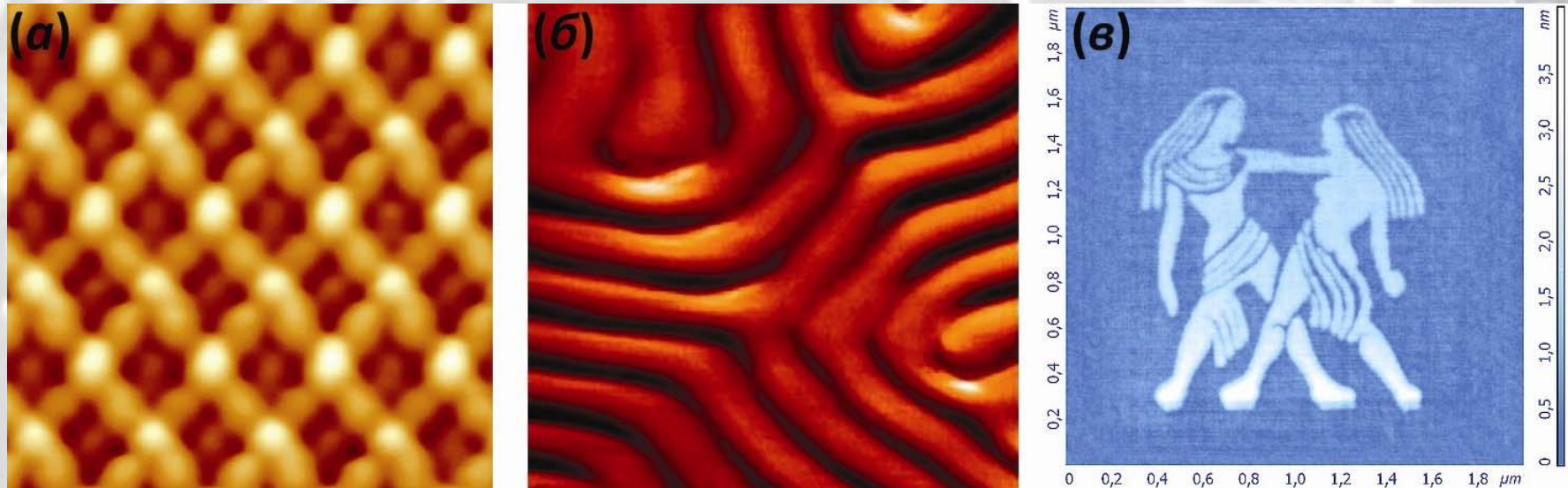
SWNT



BaTiO₃

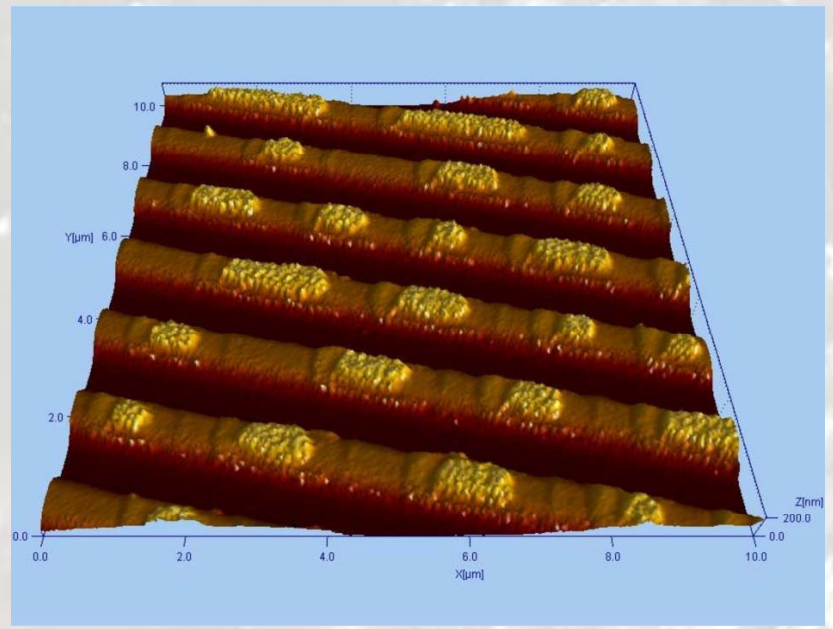
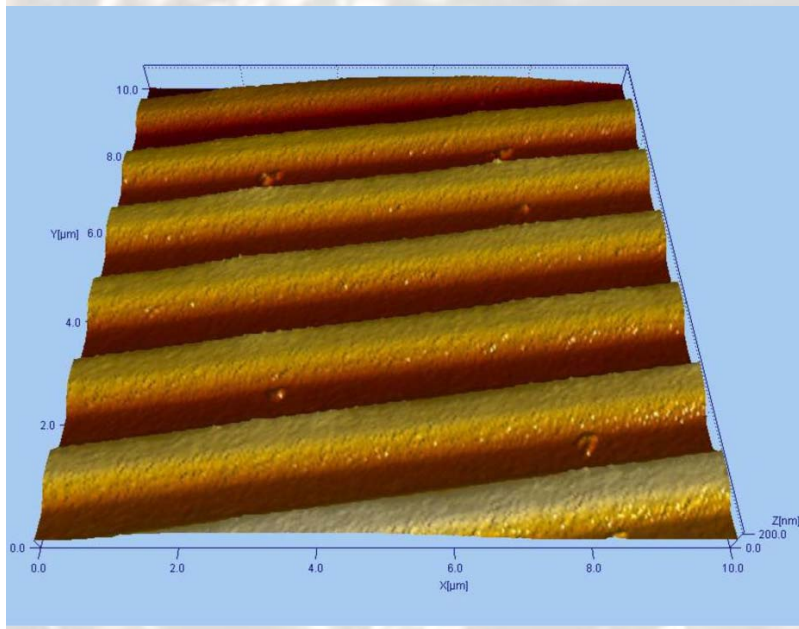


Примеры АСМ изображений



АСМ изображения поверхности Ge/Si(105) (а, Т.Еguchi и др., Omicron);
магнитные домены в монокристалле BaFe₁₂O₁₉ (б, А.Wadas, R.Wiesendanger, Omicron);
локально окисленная тонкая плёнка титана (в, Смирнов В.А., ТИ ЮФУ, НТ-МДТ)

АСМ изображение CD-R до и после записи



Атомно-силовая микроскопия



- Контактная и полуконтактная АСМ
 - Силовая модуляционная микроскопия
 - Электростатическая силовая микроскопия
 - Сканирующая емкостная микроскопия
 - Микроскопия сопротивления растекания
 - Микроскопия пьезоотклика
 - Метод зонда Кельвина
 - Магнитная силовая микроскопия
-
- Нагрев образца до 150°C
 - Контроль атмосферы
 - Внешнее магнитное поле

