

Atomi és molekuláris kölcsönhatások. Pásztázó tűszondás mikroszkópia.

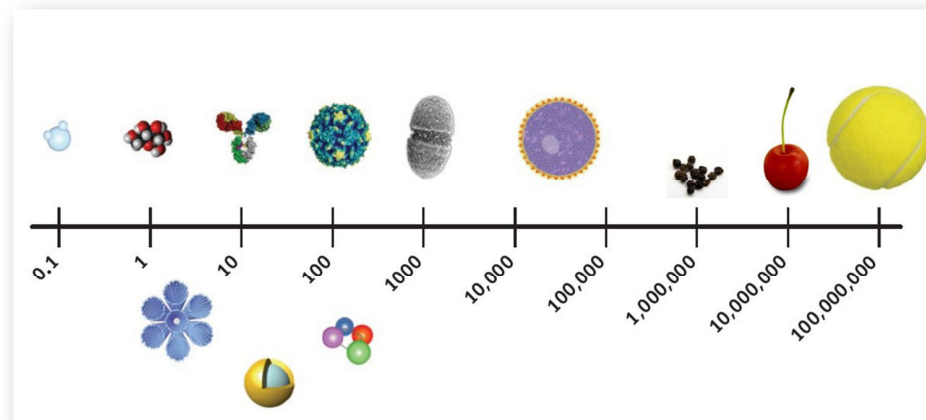
Kiss Balázs



Nanobiotechnológia és Egyedi Molekula
Kutatócsoport,
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

2012. november 28.

Nanoskála



Probléma: Abbé-elv

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

fénymikroszkóp

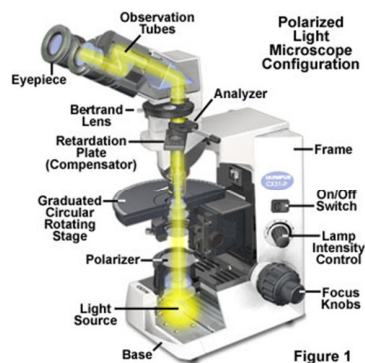
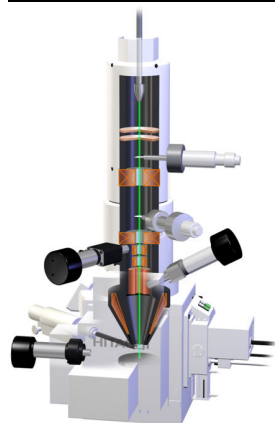


Figure 1

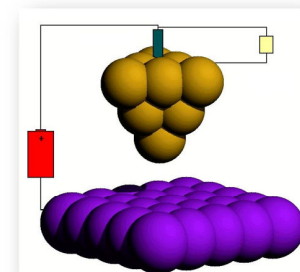
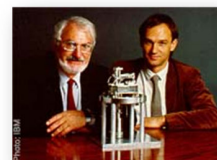
elektronmikroszkóp



Tűszondás mikroszkópia - történet

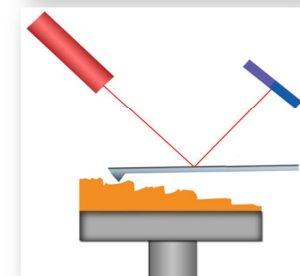
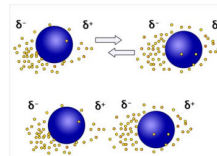
1981: Young, Binning, Rohrer – IBM

- pásztázó alagútmikroszkóp



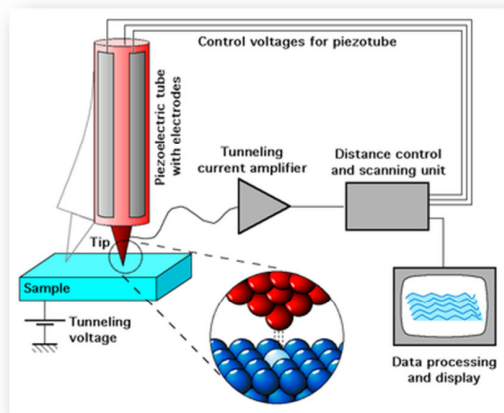
1986: Binning, Quate

- atomerő-mikroszkóp



Pásztázó alagútmikroszkóp

alagúteffektus: elektromos áram 2 egymáshoz közel levő vezető tulajdonságú atom között



$$I \sim e^{-\kappa z}$$

z: távolság (Z-tengely)

κ : $2,2 \text{ \AA}^{-1}$

$I \sim \text{nA}$



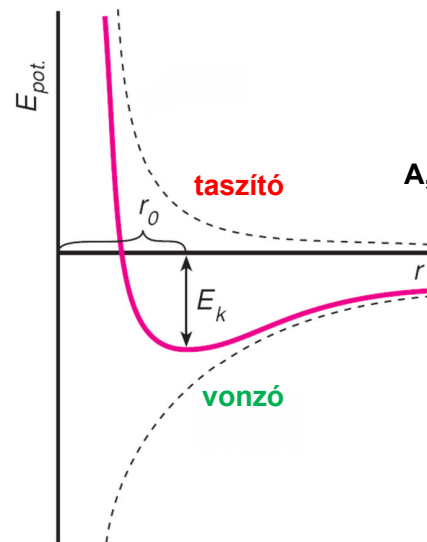
Atomi kölcsönhatások

TK. 44. oldal

Lennard-Jones potenciál:

$$E_{pot} = E_{vonzó} + E_{taszító}$$

$$E_{pot} = -\frac{A}{r^n} + \frac{B}{r^m}$$



A, B: kölcsönhatásra jellemző állandók

n (vonzó) < m (taszító)

r_0 : kötéstávolság

E_k : kötési energia



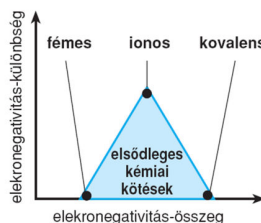
Kötéstípusok 1

intramolekuláris
erős
elsődleges

↔

intermolekuláris
gyenge
másodlagos

- kovalens: közös elektronpályák
- (fémes kötés: sokatomos rendszer)
- elektrosztatikus
 - ionos kötés: ponttöltések közötti Coulomb-erők
 - dipólus jellegű töltéeloszlás

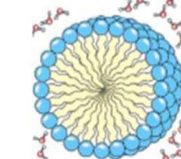
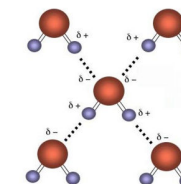
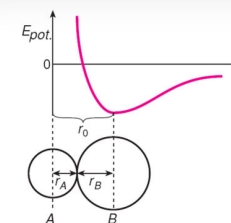


Kölcsönhatás	E_{pot} távolságfüggése	Átlagos kölcsönhatási energia (eV)
Ion-ion	$1/r$	2-3
Ion-dipólus	$1/r^2$	0,1-0,2
Dipól-dipól	$1/r^3$	0,02
diszperziós	$1/r^6$	0,02



Kötéstípusok 2

- Van der Waals: dipólusmomentum nélküli atomok (apoláris)
 - ideiglenesen kialakulhat dipólus, mely egy szomszédos molekulában dipólus kialakulását indukálja
- H-kötés: a H-atom 2 nagy elektronegativitású atom (F, O, N) között létesít kapcsolatot
 - $E \sim 0,2 \text{ eV}$
- hidrofób kölcsönhatás: gyenge Van der Waals kölcsönhatás lehetne, de ezt a hőmozgás felszakítaná ($kT \sim 0,025 \text{ eV}$)!
 - rendezett vízmolekulák az apoláris molekula körül (minimális határfelület)



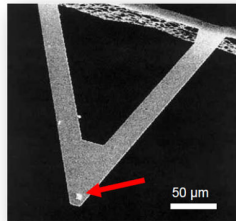
Atomerőmikroszkóp

TK. 573. oldal

- **cél:** kihagyni a leképező lencserendszert és a fényt a közvetlen képalkotásból

„do it yourself”:

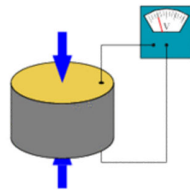
- vékony, lágy tű („pontdetektor”)



- sima felszín



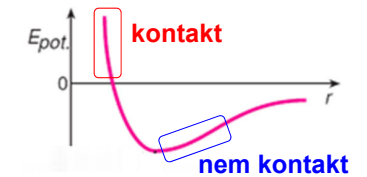
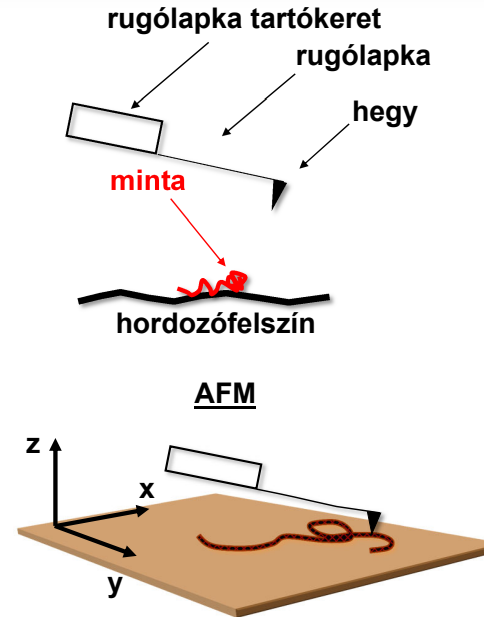
- asztal: XYZ irányú mozgítás atomi lépésekben



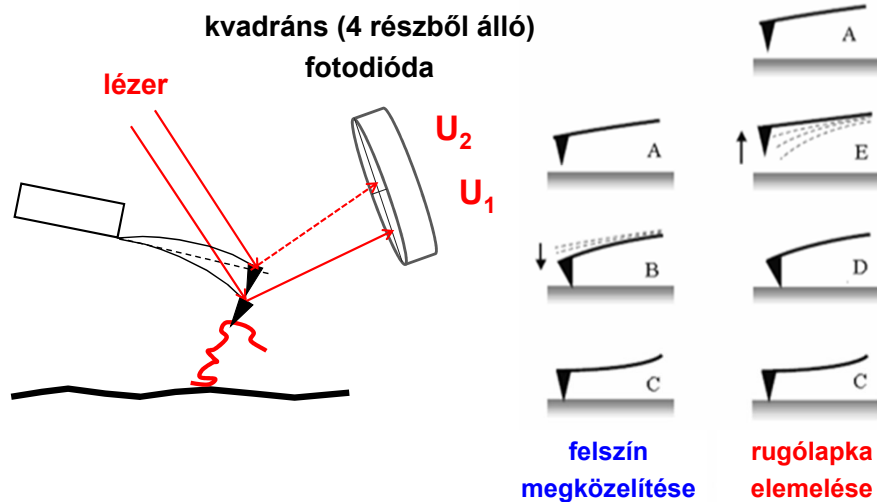
Atomerőmikroszkóp

üzemmódok

- **kontakt:** a hegy hozzáér a mintához
- **nem kontakt:** a hegy a mintától távolabb található
- **oszcillációs:** a rugólapka a rezonanciafrekvenciájához közel rezeg

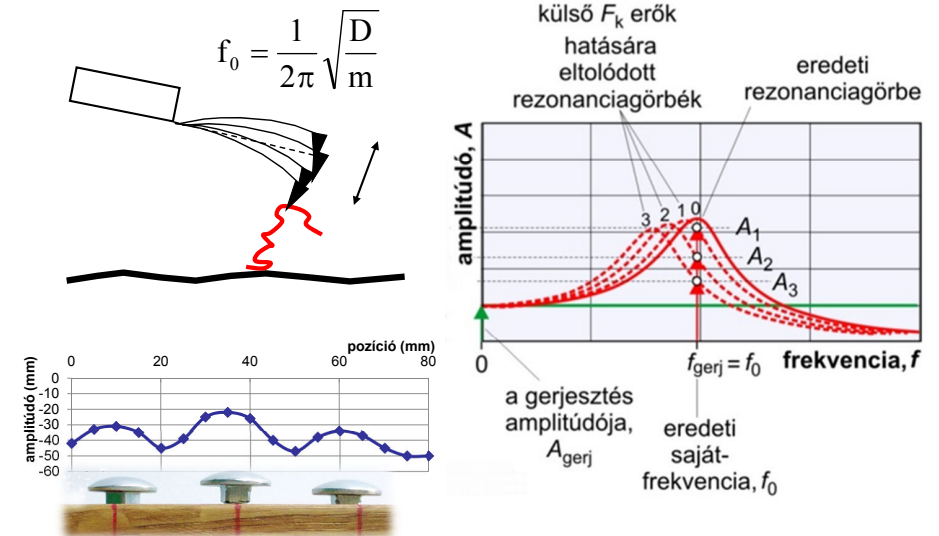


Az AFM működése 1 kontakt és nem kontakt üzemmód



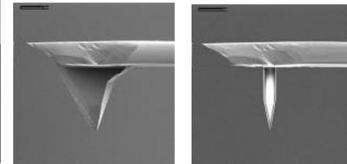
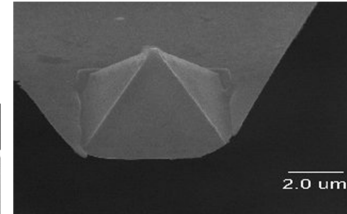
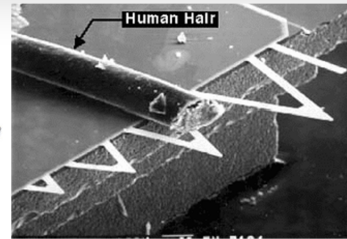
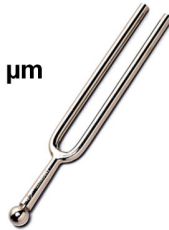
Az AFM működése 2 oszcillációs üzemmód

Rezonancia gyak.

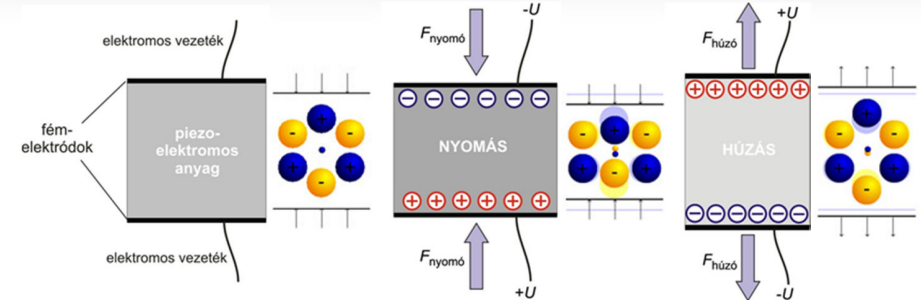


Rugólapkák

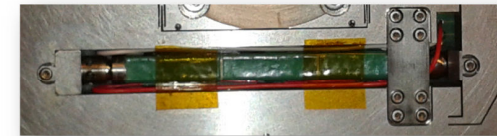
- anyag: szilícium-nitrid (lehet funkcionalizált)
- görbületi sugár: 0,1 nm- 100 μm
- $D \sim 0,1\text{-}10 \text{ N/m}$
- $f_o \sim 50\text{-}500 \text{ kHz}$



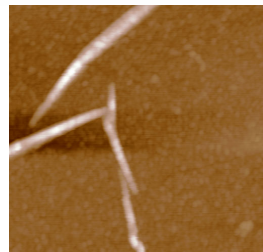
Pásztázás elve: piezoelektromosság



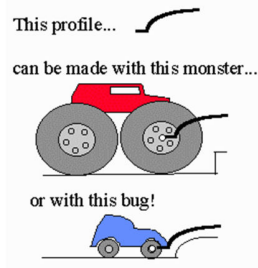
- **direkt piezoelektromos hatás: deformáció \rightarrow feszültség**
- **inverz piezoelektromos hatás: feszültség \rightarrow deformáció**
- X, Y, Z irányú piezo: pl. 150 V \rightarrow 40 μm



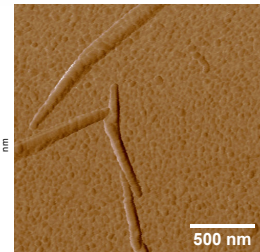
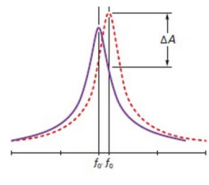
Képkotás, felbontás



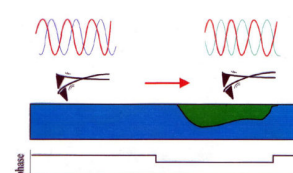
magasság kontraszt



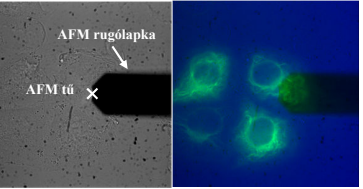
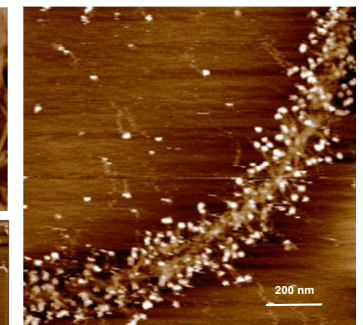
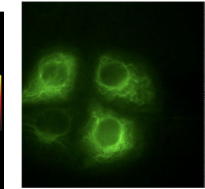
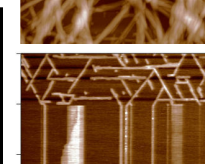
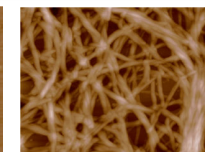
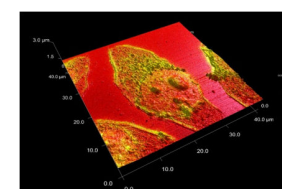
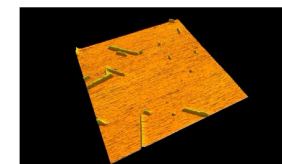
amplitúdó kontraszt



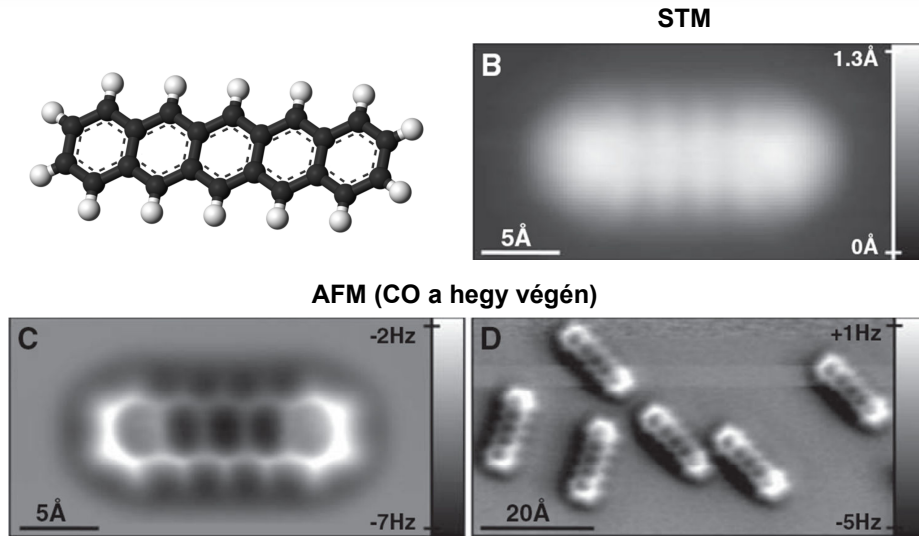
fázis kontraszt



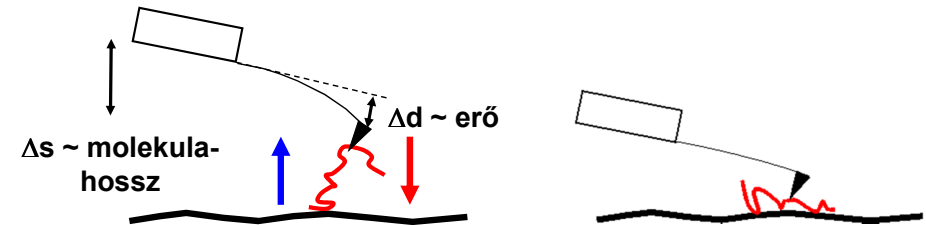
Intézetünkben született képek...



Pentacén molekula



AFM-es rugalmasságmérés



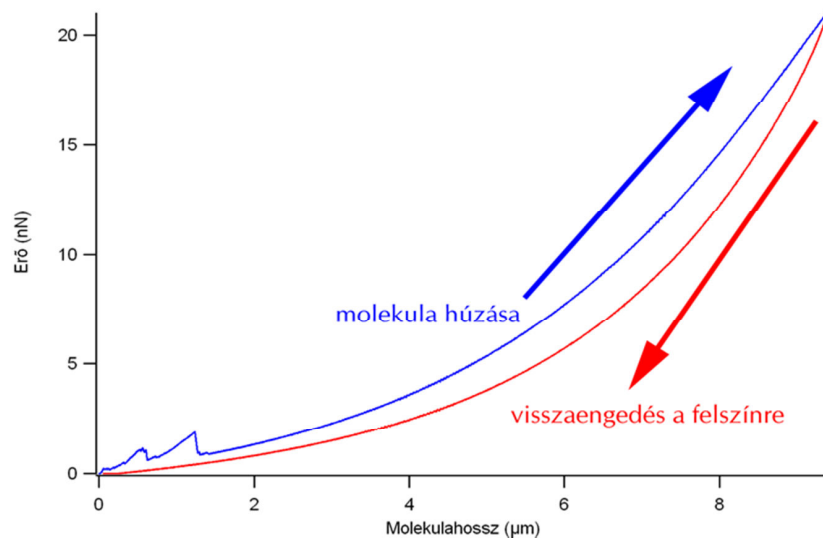
$$F = \text{erő} = k \Delta d$$

$\Delta d = \text{elhajlás}$

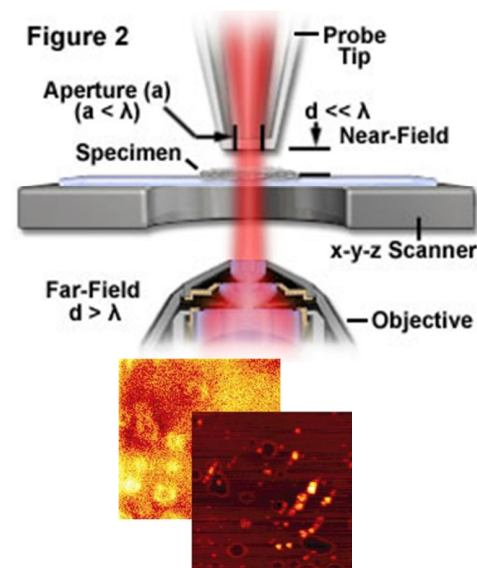
$\Delta s = \text{rugólapka emelkedése}$



AFM-es rugalmasságmérés



NSOM (Near Field Scanning Optical Microscopy)



- üvegszál optika (tű)
- lézeres megvilágítás (gerjesztés)
- nyálábátmérő: $a < \lambda$
- tűhöz közel („közeli mező”) nem kell számolni a diffrakcióval
- 30-100 nm-es felbontás
- detektor (hagyományos objektív) a „távoli mezőben”



Pásztázó mikroszkópok családfája

Scanning Thermal Microscopy (SThM)

Scanning Capacitance Microscopy (SCM)

Near Field Scanning Optical Microscopy (NSOM)

Scanning Force Microscopy (SFM)

Atomic Force Microscopy (AFM)

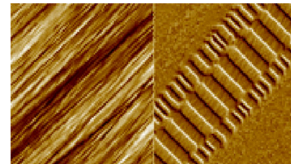
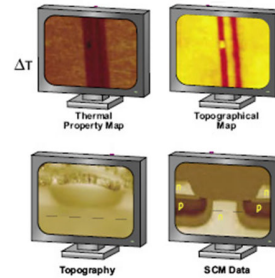
Lateral Force Microscopy (LFM)

Electrical Force Microscopy (EFM)

Chemical Force Microscopy (CFM)

Magnetic Force Microscopy (MFM)

Scanning Tunneling Microscopy (STM)



MFM: sáv egy merevlemezén



Köszönöm a figyelmet!

