

## Anyagszerkezet, anyaghullám, atomi illetve molekuláris kölcsönhatások. Atomi erő mikroszkópia (AFM).

Kiss Balázs  
kissb3@gmail.com

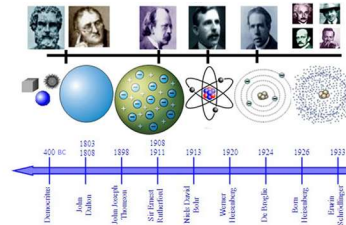


Nanobiotechnológia és Egyedi Molekula Kutatócsoport és  
Vékony Filamentum Mechanobiofizika Laboratórium,  
Semmelweis Egyetem,  
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet.

2019. Október 10.

## Atommodellek

Tankönyv: 23-37. oldal



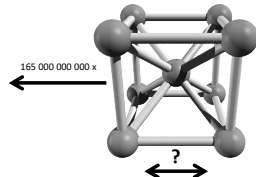
- Démokritosz (i.e. 400 körül): az anyag atomos szerkezetű
- Dalton (1803): súlyviszony-törvény: az elemek azonos atomokból épülnek fel
- Thomson (1897): elektron felfedezése (katódsugárzás); „mazsolás puding” modell
- Rutherford (1909-1911): atommag (nukleonok:  $p^+$  és  $n_0$ ) és elektronok
- Bohr (1913): diszkrét atomi energiaállapotok

2

## Hogyan jöhetnek létre stabil szerkezetek?



makroszkopikus méretskála: Atomium



nanovilág: vas tércentrált köbös kristályrácsa

Általános vezérlő elv:

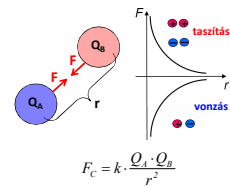
következmény: RENDEZETLENség    **taszító kölcsönhatás**     $\longleftrightarrow$     **vonzó kölcsönhatás**    következmény: RENDEZETTSÉG

3

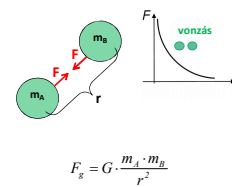
## Alapvető kölcsönhatások a fizikában

| Kölcsönhatás              | Mire hat?                         | Hatótávolság (m)          | Relatív erősség |
|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|
| gravitáció                | minden részecskére                | végtelen ( $\sim 1/r^2$ ) | $10^{-40}$      |
| elektromágneses (Coulomb) | elektromosan töltött részecskékre | végtelen ( $\sim 1/r^2$ ) | $10^{-2}$       |
| erős nukleáris            | nukleonok                         | $10^{-15}$                | 1               |
| gyenge nukleáris          | minden részecskére                | $10^{-18}$                | $10^{-13}$      |

### Coulomb-kölcsönhatás

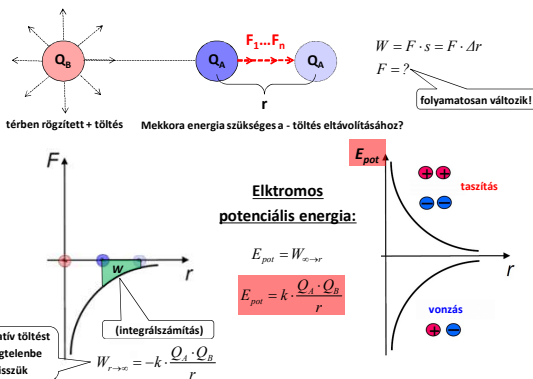


### Gravitáció



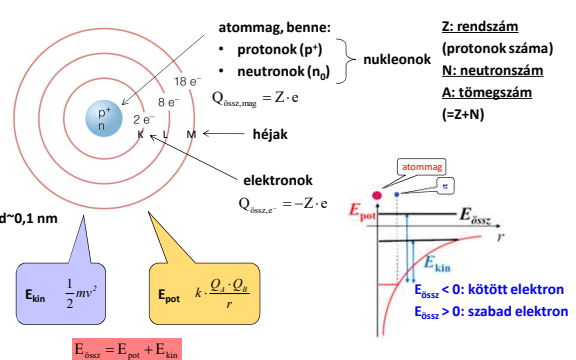
4

## Elektromos potenciális energia ( $E_{pot}$ )

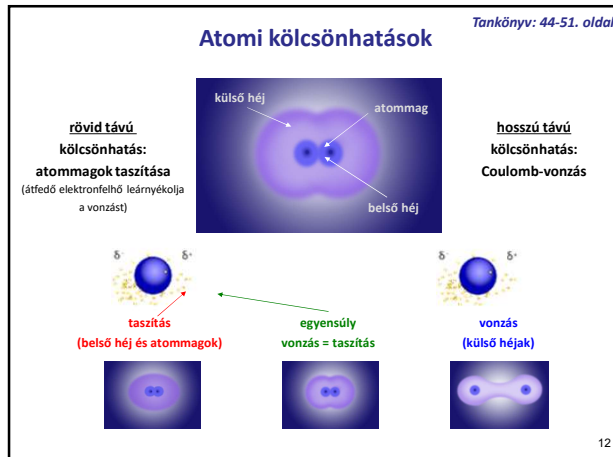
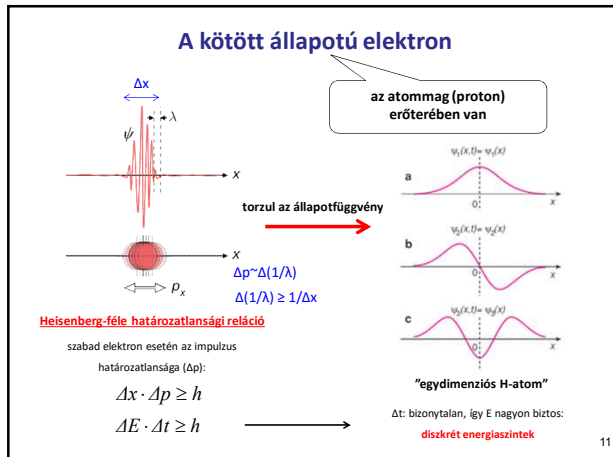
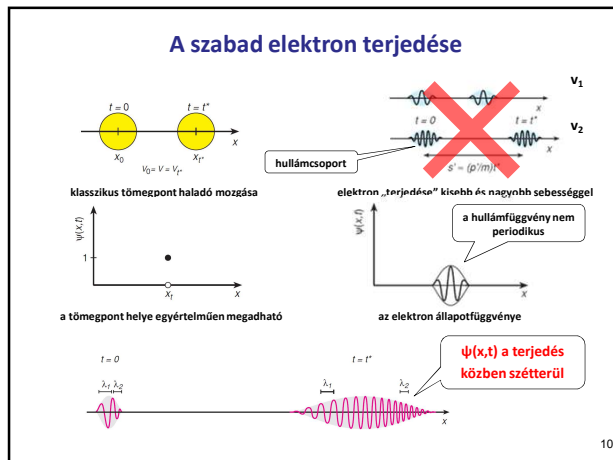
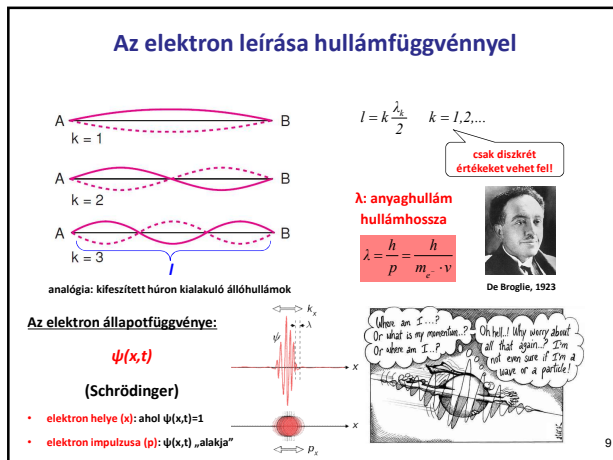
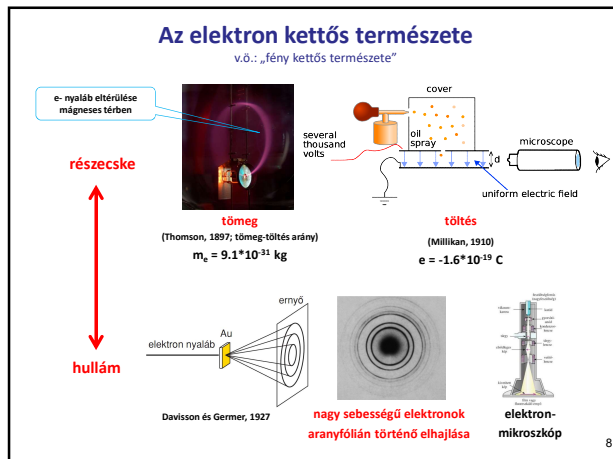
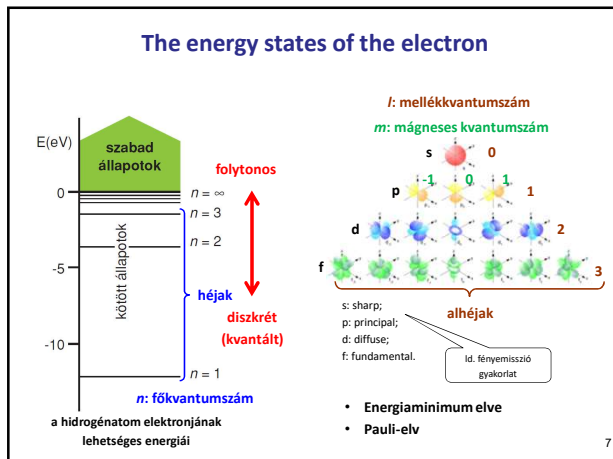


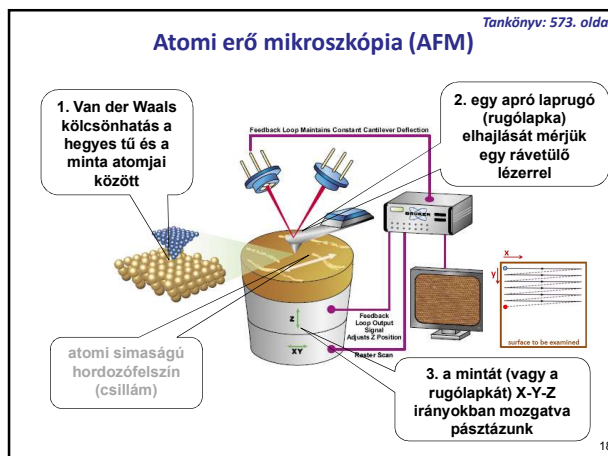
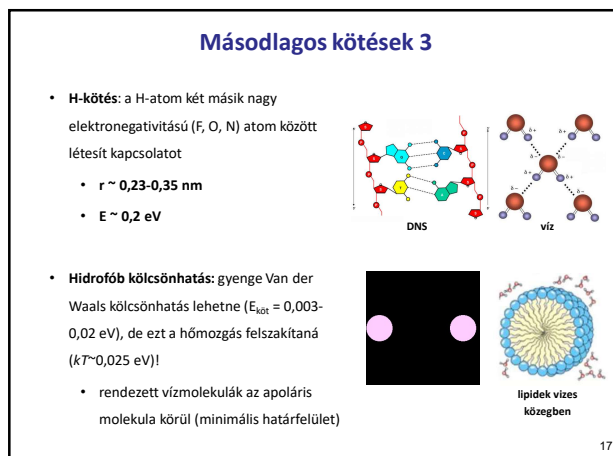
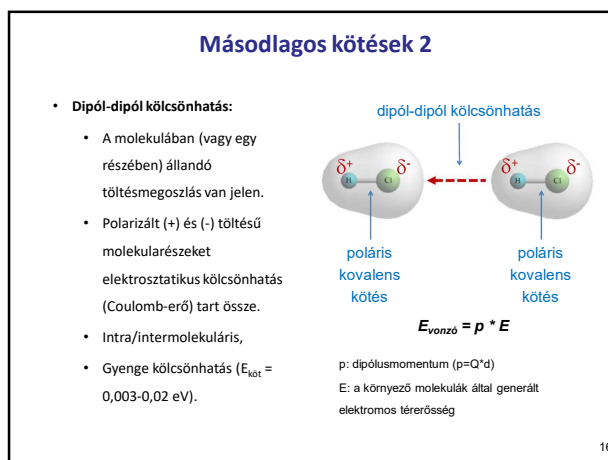
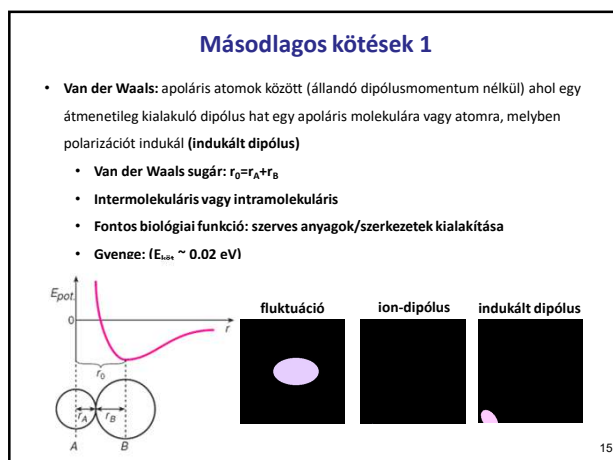
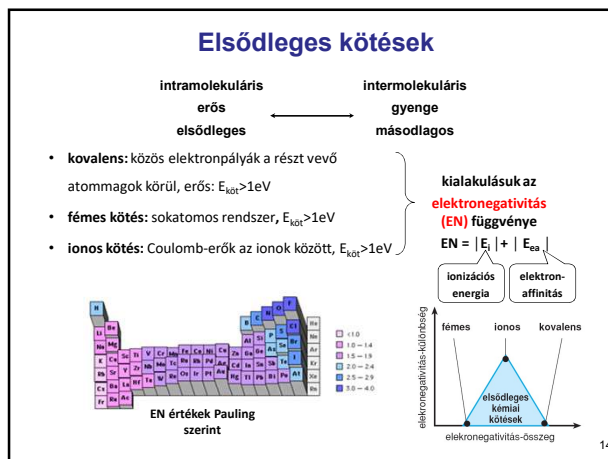
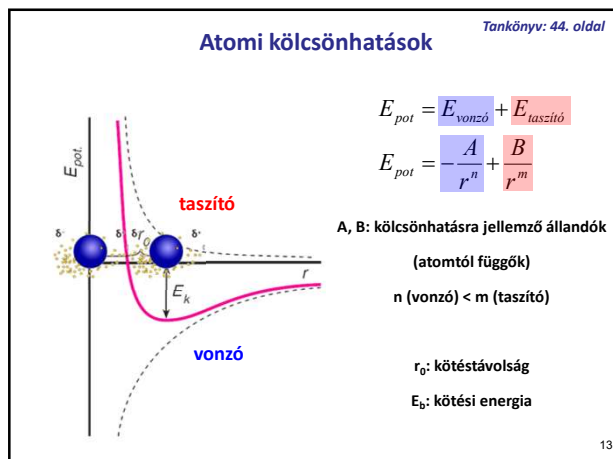
5

## Az atom felépítése

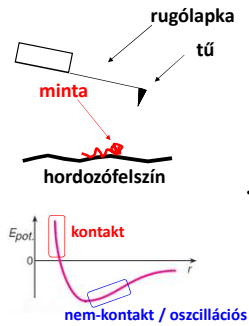


6





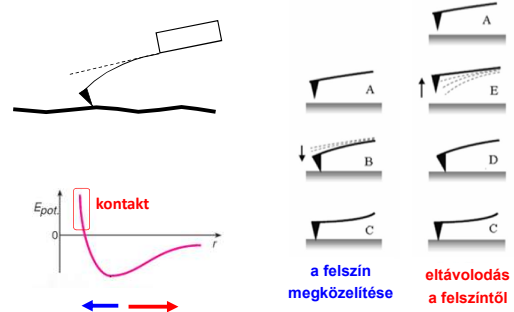
## AFM üzemmódok



- Kontakt:** a tű hozzáér a mintához; a rugólapka **elhajlása** a felszín topográfiájára enged következtetni. Leképezéskor az elhajlást állandó értéken tartjuk.
- Z-feedback:** a rugólapka emelésével / süllyesztésével biztosítja az állandó értékű **elhajlást** (setpointhoz képest).
- topográfiai információ** (pl. magasság) minden x,y pontban a rugólapka Z-tengelyi irányú elmozdulásából van számítva.
- Nem-kontakt:** a rugólapka a mintától távolabb oszcillál; a rezgési amplitúdó és a rezonanciafrekvencia ( $f_0$ ) változik a felszín topográfiájának hatására.
- Z-feedback:** a rugólapka emelésével / süllyesztésével biztosítja az állandó értékű **amplitúdót**.

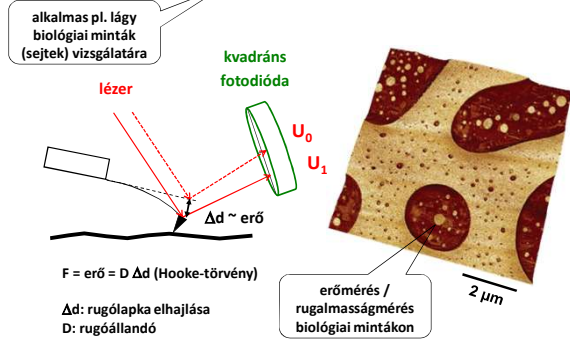
19

## Kontakt üzemmódú AFM



20

## Kontakt üzemmódú AFM



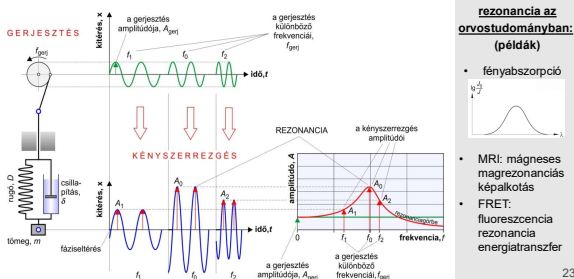
21

## Kontakt üzemmódú AFM

22

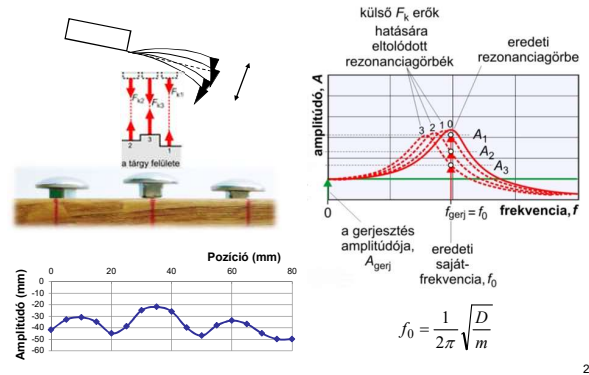
## Nem-kontakt / oszcillációs AFM üzemmód

**Rezonancia:** olyan kényszerrezgés, amelynél a külső kényszererő frekvenciája közel esik a rezgőrendszer sajátfrekvenciájához. Ilyenkor igen nagy amplitúdók fordulhatnak elő.



23

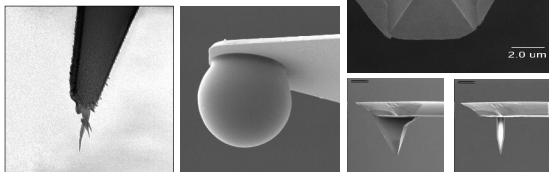
## Nem-kontakt / oszcillációs AFM üzemmód



24

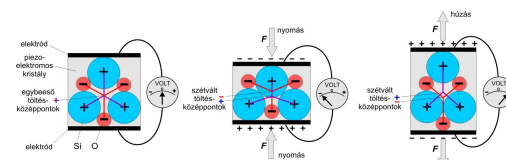
## Rugólapkák

- Anyag: főleg szilícium nitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )
- Tű görbületi sugara: 0,1 nm- 100  $\mu\text{m}$
- Rugóállandó ~ 0,1-10 N/m
- $f_0 \sim 50\text{-}500\text{ kHz}$



25

## Pásztázás elve: piezoelektromosság



- **direkt piezoelektromos hatás:** deformáció → feszültség
- **inverz piezoelektromos hatás:** feszültség → deformáció
- X, Y, Z irányú piezo: pl. 150 V → 40  $\mu\text{m}$

precíz, akár 0,1 nm-es léptetés



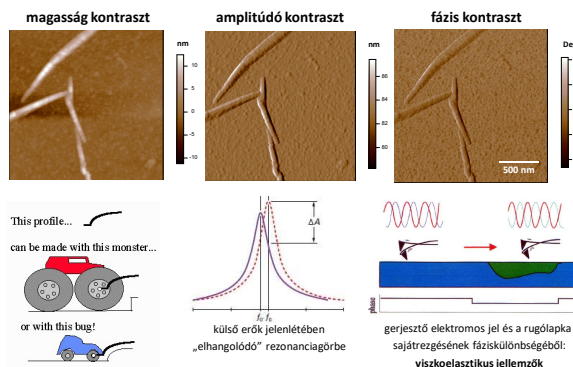
26

## AFM - jellemzők

- **Fő előnyök:**
  - 3D felszíni topográfia.
  - Képkalkítás ~10 pm-es függőleges és valamelyest rosszabb oldalirányú felbontással.
  - Bármilyen felszín leképezhető (elektromos vezetők, szigetelők, félvezetők).
  - Atomszférikus, védőgáz vagy folyadékpufferes közegben is lehetséges a képkalkítás.
  - Natív minta is vizsgálható (nem szükséges festés vagy fixálás).
  - Biológiai minták élettani körülmények között (hőmérséklet, pH, megfelelő ionerősség) is vizsgálhatók.
- **Fő hátrányok:**
  - A mintát hordozófelülethez kell kötni, mely megváltoztathatja a minta szerkezetét.
  - Lassú pásztázás.
  - Maximális pásztázási magasság néhány mikrométer lehet.
  - A pásztázott terület maximális mérete 10 mikrométeres nagyságrendű.
  - Drága (műszer, mintaelőkészítés, rugólapkák, stb).

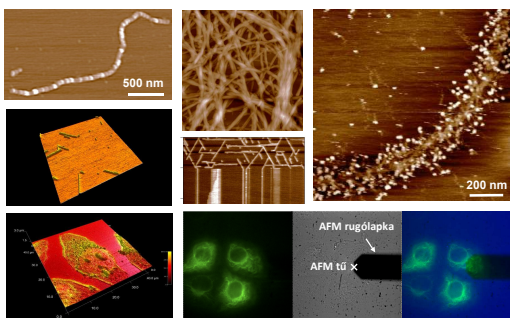
27

## AFM – képkalkítás, felbontás



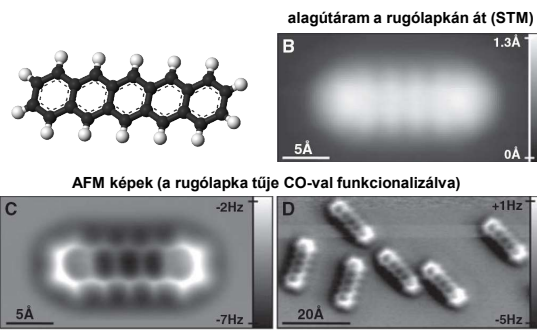
28

## Intézetünkben született képek



29

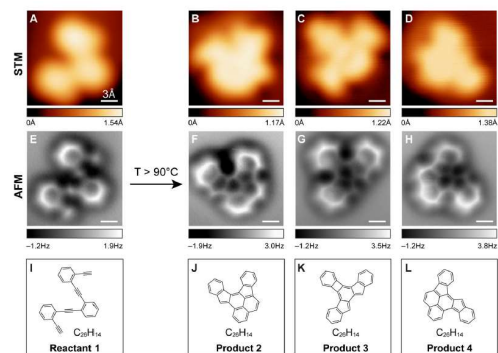
## Pentacén molekula



Nature Chemistry 1, 597 - 598 (2009)

30

## Kémiai reakciók leképezése („elektronsűrűség”)



31

Köszönöm

a  
figyelmet!

