

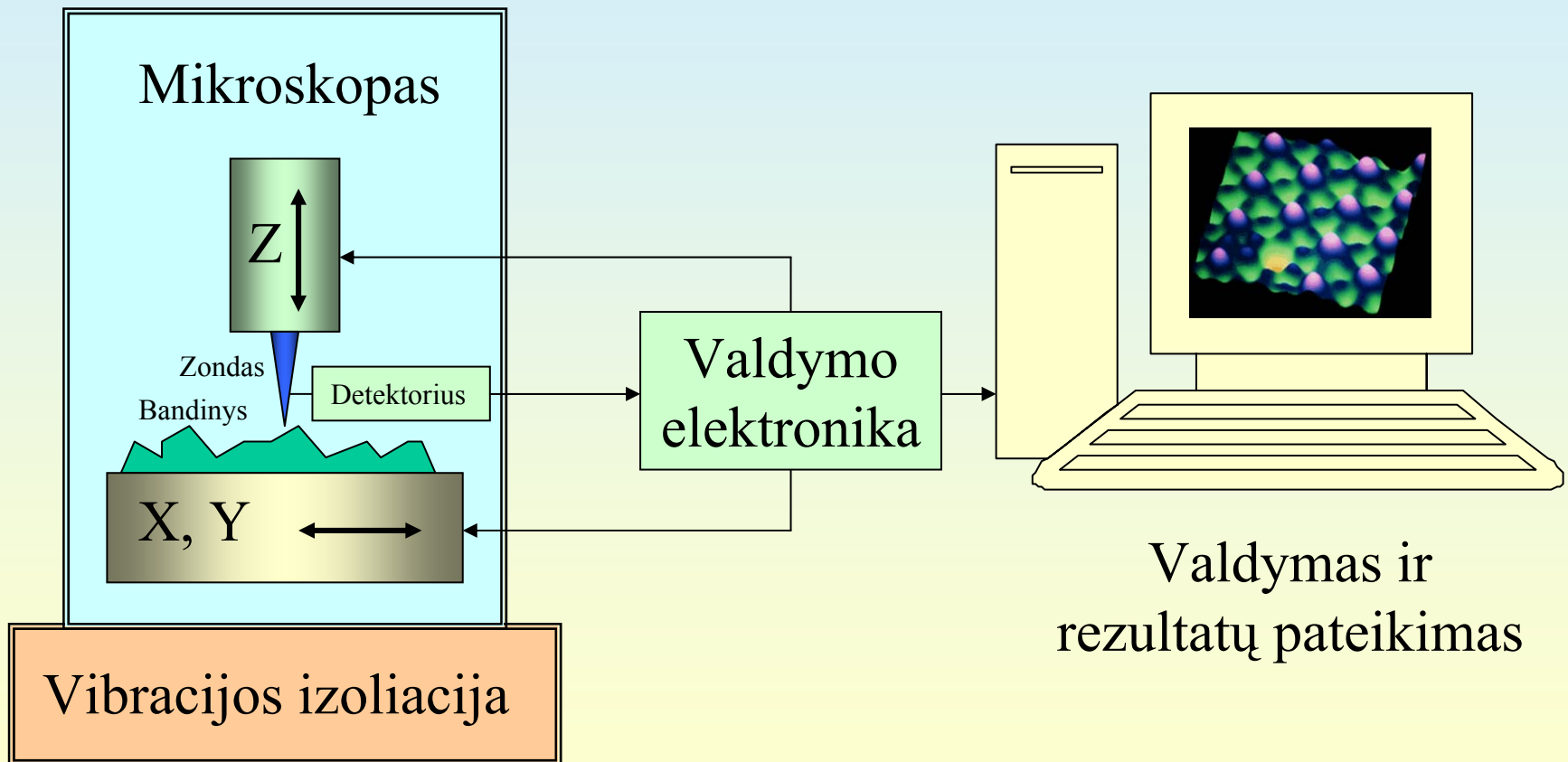
Skenuojančio zondo mikroskopai

SZM Istorija

- Skenuojantis tunelinis mikroskopas (STM)
 - 1982 m. (Binnig, Rohrer, Gerber ir Weibel iš IBM) (Binnig ir Rohrer – fizikos Nobelio premija, 1986).
- Atominės jėgos mikroskopas (AJM)
 - 1986 m. (Binnig, Quate ir Gerber IBM bendradarbiaujant su Stanfordo universitetu).
- Skenuojantis artimojo lauko optinis mikroskopas
 - 1992 – 1994 m. (Betzig ir Pohl).

- **Skenuojančio zondo mikroskopų rūšys:**
 - Skenuojantis tunelinis mikroskopas (STM)
 - Atominės jėgos arba skenuojančios jėgos mikroskopas (AJM)
 - Skenuojantis artimojo lauko optinis mikroskopas
 - Specializuoti skenuojantys mikroskopai (magnetinių jėgų, trinties jėgų, varžos ir talpos, termomikroskopai ir kiti.)
 - Bet kokie mikroskopai, kurių veikimas pagrįstas paviršiaus skenavimu smailu zonu ir zondo – paviršiaus sąveikos stebėjimu .

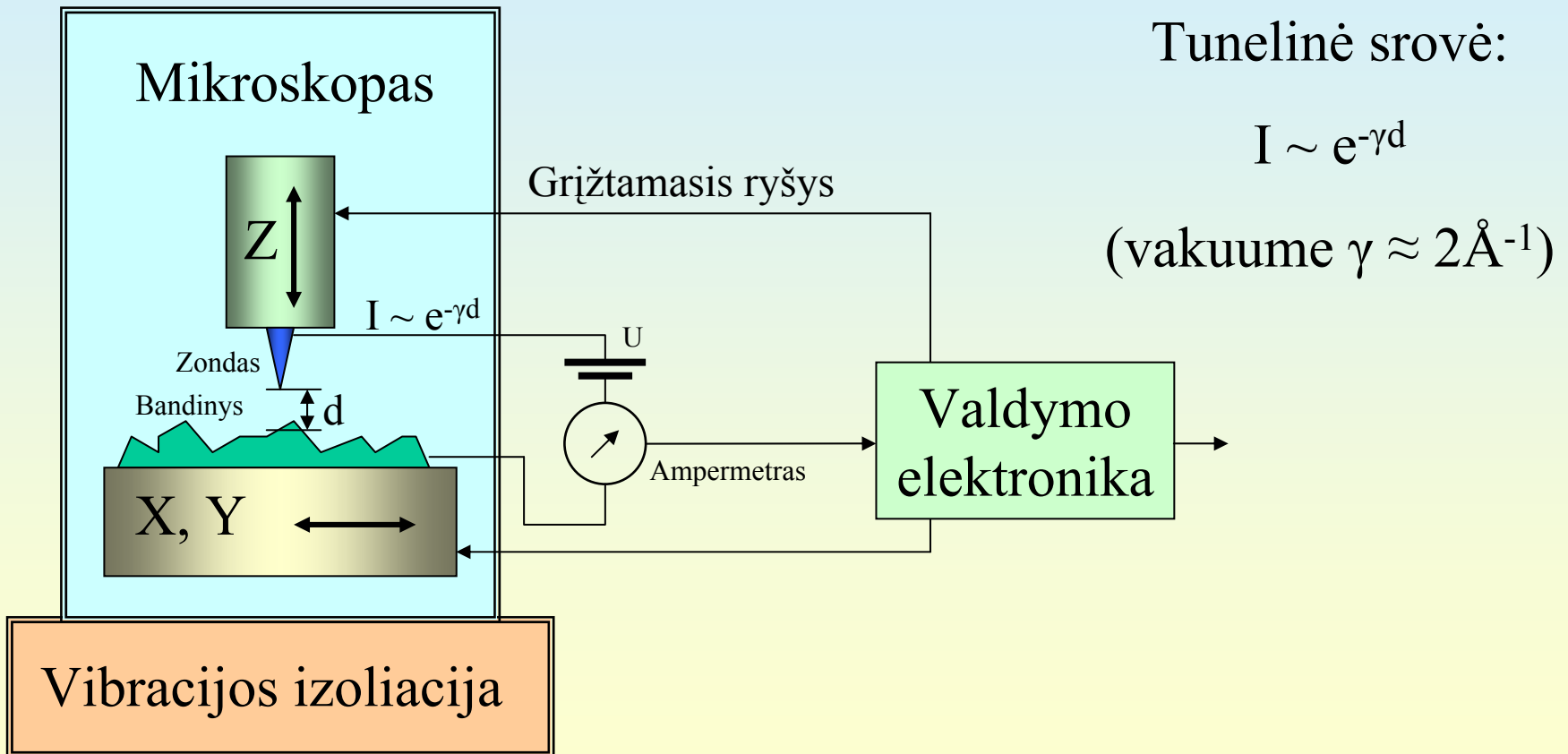
SZM veikimo principas



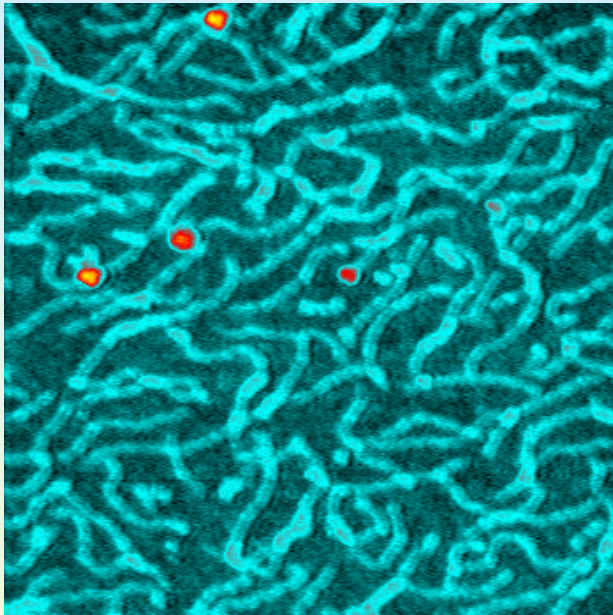
Skenuojantis tunelinis mikroskopas

- Taikymas:
 - Atominės skiriamosios gebos mikroskopija
 - Elektrocheminė STM
 - Skenuojanti tunelinė spektroskopija
 - Mažų srovių mikroskopija (mažai laidiams bandiniams)

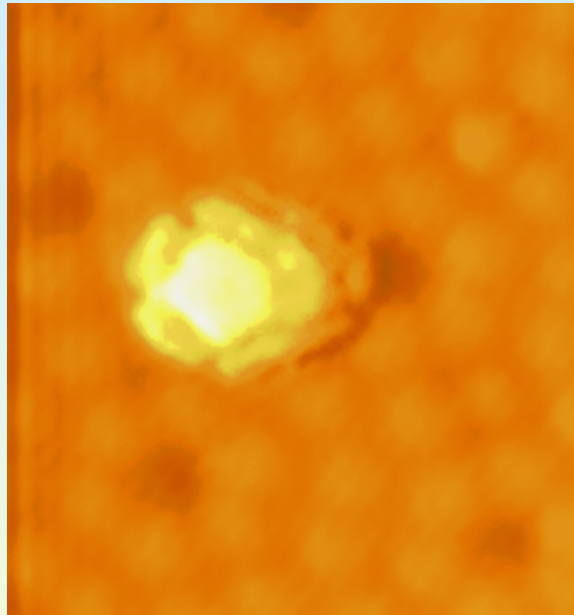
Skenuojantis tunelinis mikroskopas



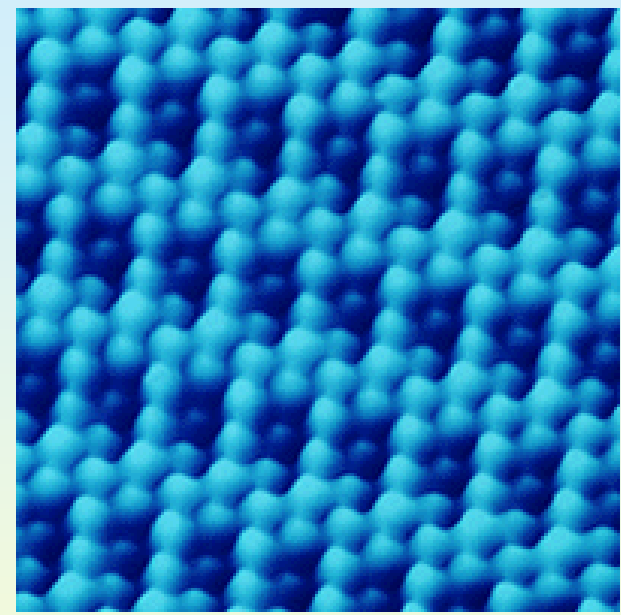
STM gauti vaizdai



DNR, 500 nm
laukas.

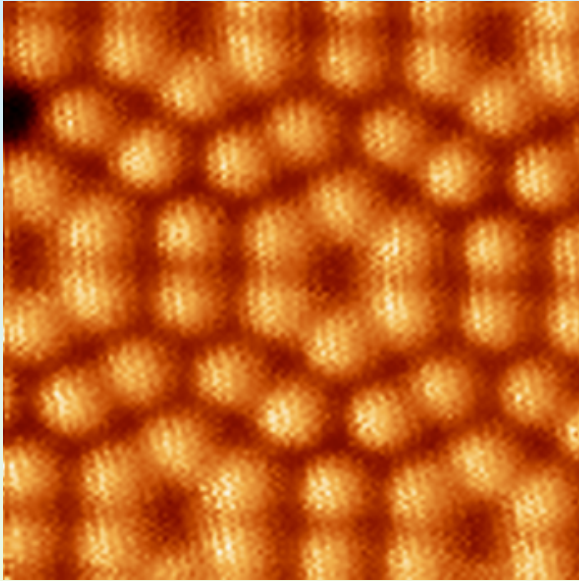


C60 fulerenas ant
silicio. 5,4 nm
laukas.

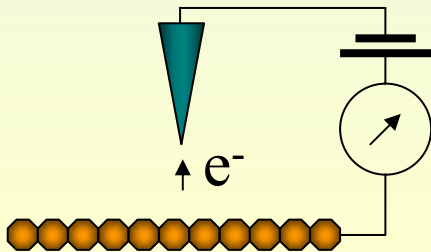


Deguonies atomai
ant rodžio kristalo.
4 nm laukas.

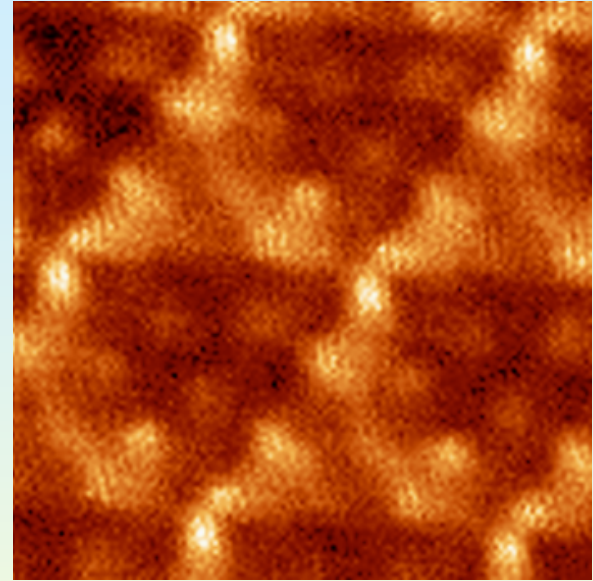
STM spektroskopija



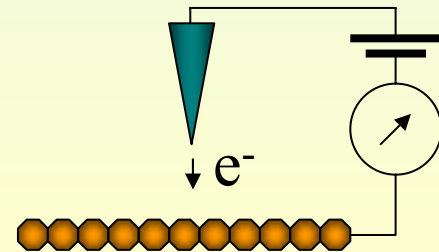
Silicis, 5 nm laukas
 $U = 1,744\text{V}$



\neq



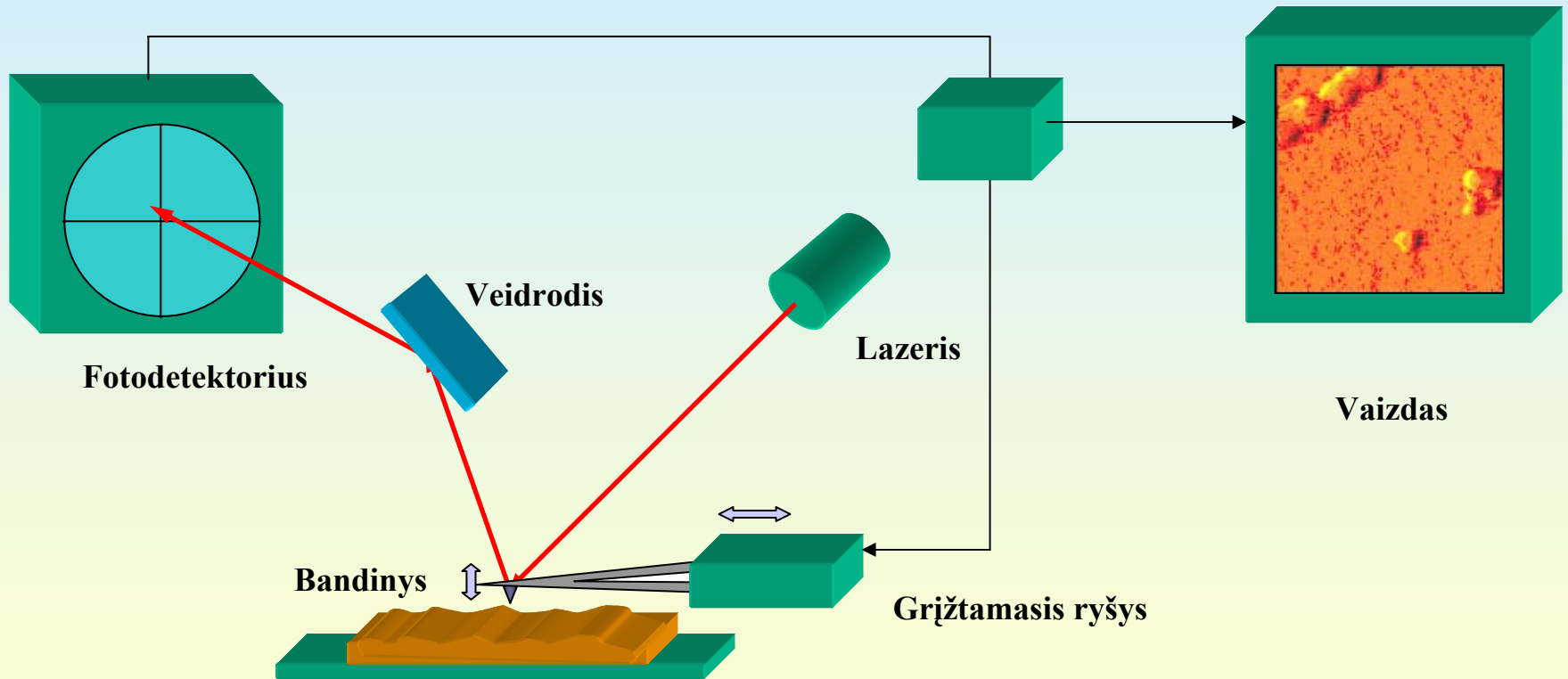
Silicis, 5 nm laukas
 $U = -1,744\text{V}$



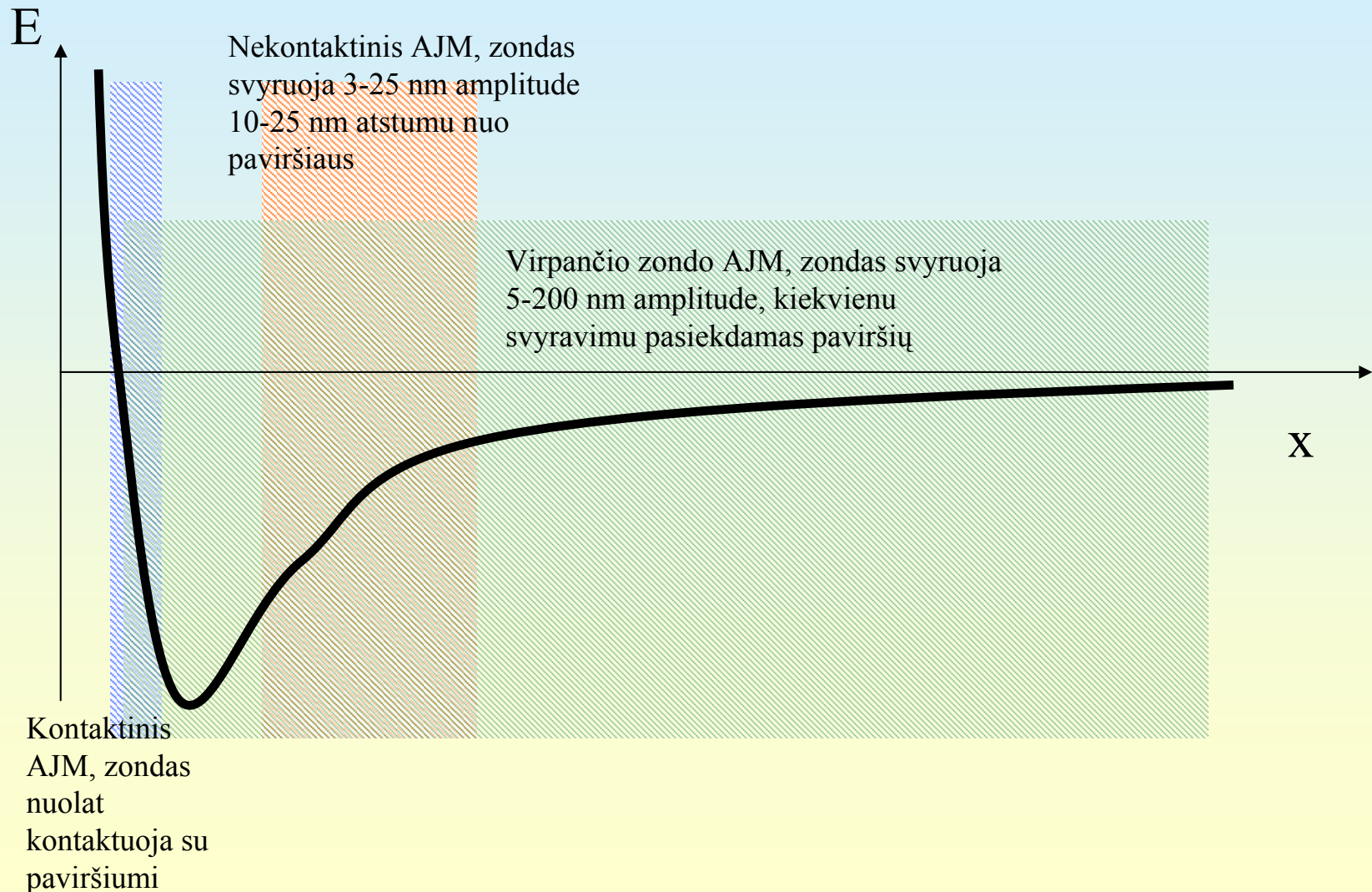
Atomīnās jēgas mikroskopas

- Matuojama jēga tarp zondo ir bandinio
- Grīžtamojo ryšio grandinė palaiko pastovią sąveikos jēgą tarp zondo ir bandinio
- Pargrindiniai darbo būdai:
 - Kontaktinis
 - Nekontaktinis
 - Virpančio zondo (Tapping Mode)

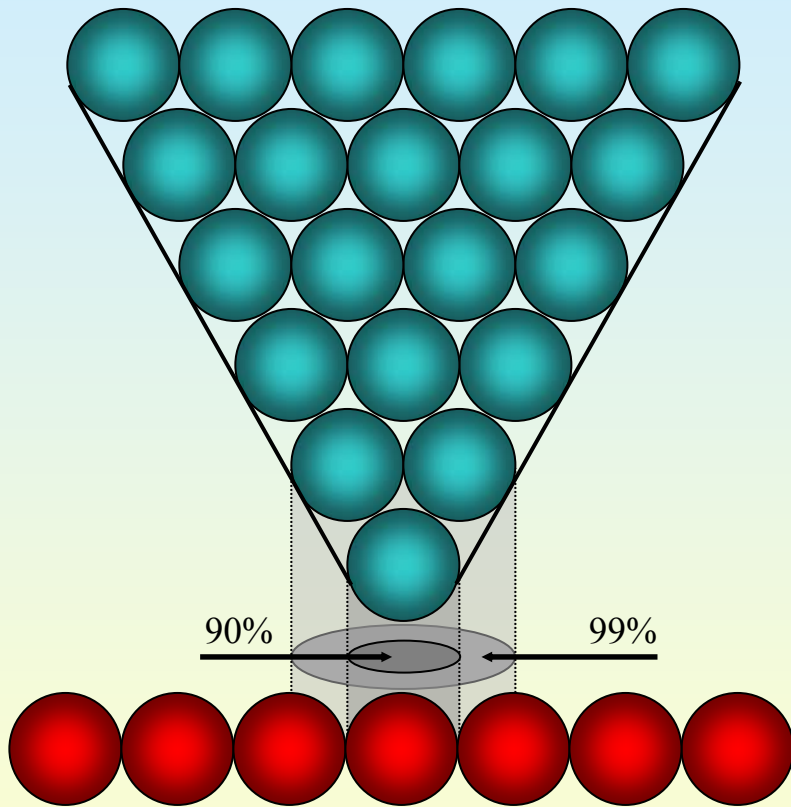
Atomines jēgos mikroskopas



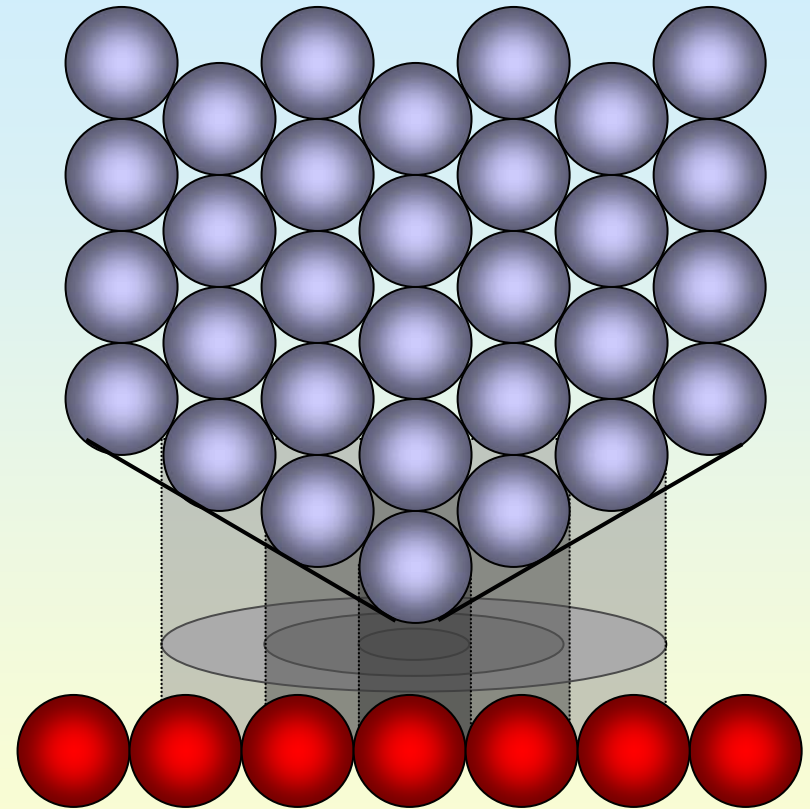
Zondo – paviršiaus sąveikos energija ir AJM darbo režimai



STM ir AJM zondai



Srovės pasiskirstymas tarp STM
zondo ir bandinio paviršiaus



Sąveikos pasiskirstymas tarp
AJM zondo ir bandinio paviršiaus

AJM skiriamoji geba

Zondo sąveikos su paviršiumi jėga: $F = kx$, sąveikos energija: $U = \frac{kx^2}{2}$

Šiluminė energija vienam laisvės laipsniui: $E = \frac{k_B T}{2}$

Įvertinama AJM skiriamoji geba:

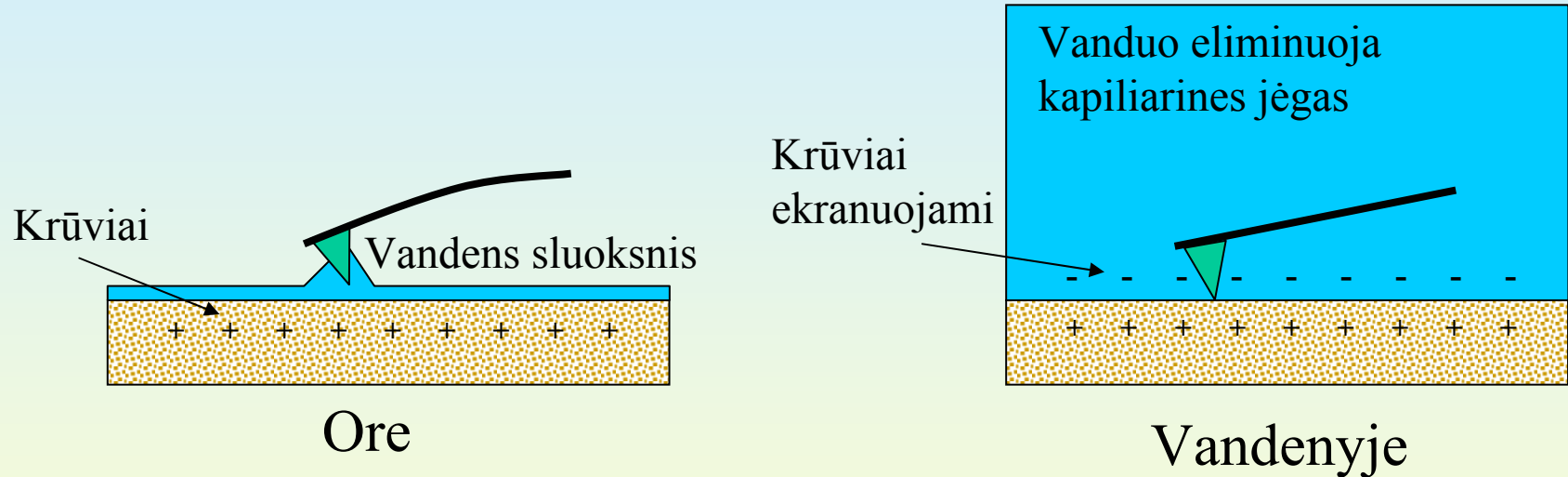
$$\frac{dU}{dx} \Delta x = E \quad (\text{tarkime, kad signalas lygus triukšmui})$$

$$\text{Kadangi } \frac{dU}{dx} = kx = F, \text{ tai } F\Delta x = \frac{k_B T}{2} \quad \text{ir} \quad \Delta x = \frac{k_B T}{2F}$$

Esant kambario temperatūrai ir 100pN sąveikos jėgai:

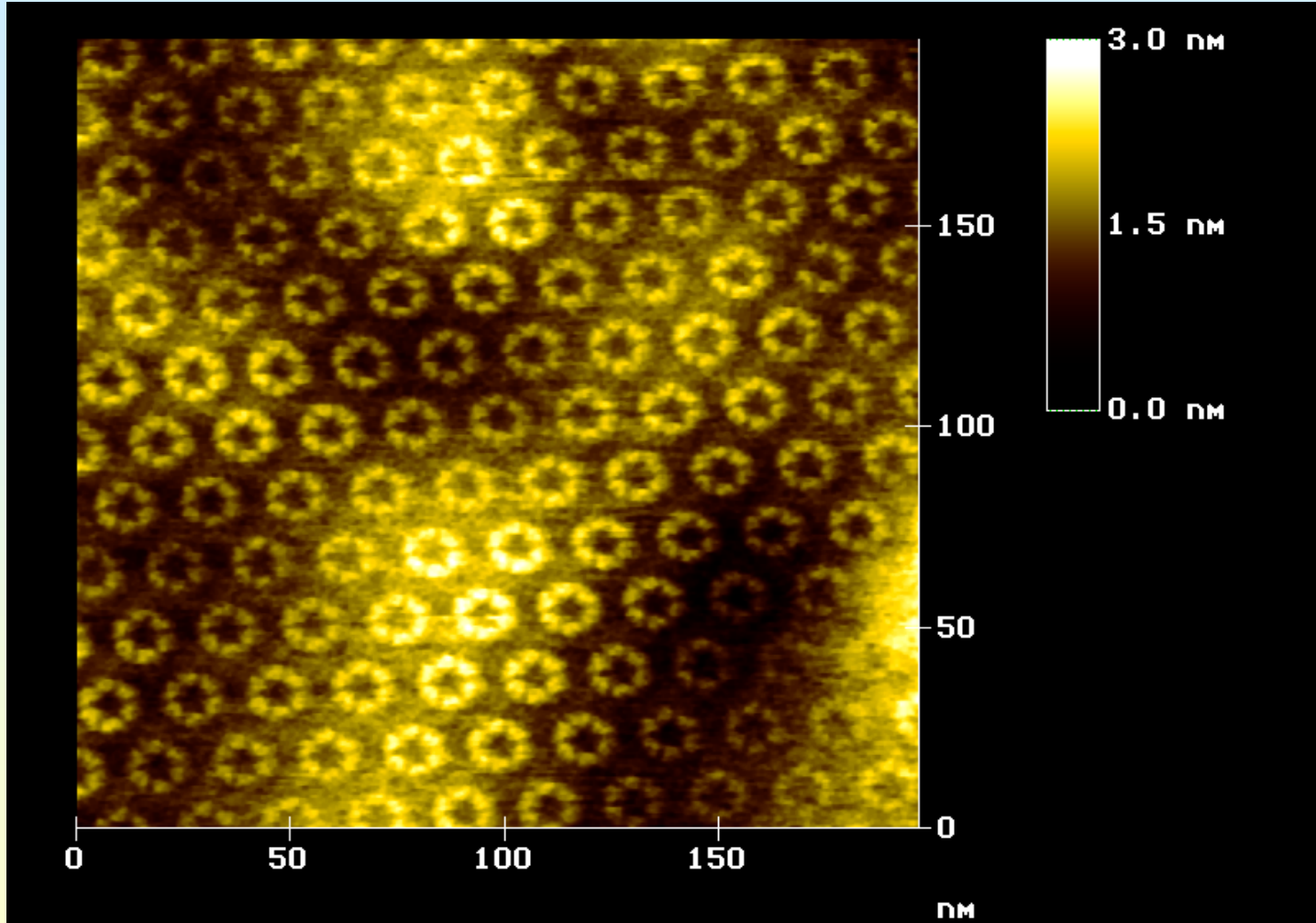
$$\Delta x = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K} \cdot 293 \text{ K}}{2 \cdot 10^{-10} \text{ N}} \approx 2^{-11} \text{ m} = 0,02 \text{ nm}$$

Kontaktinis AJM skystyje



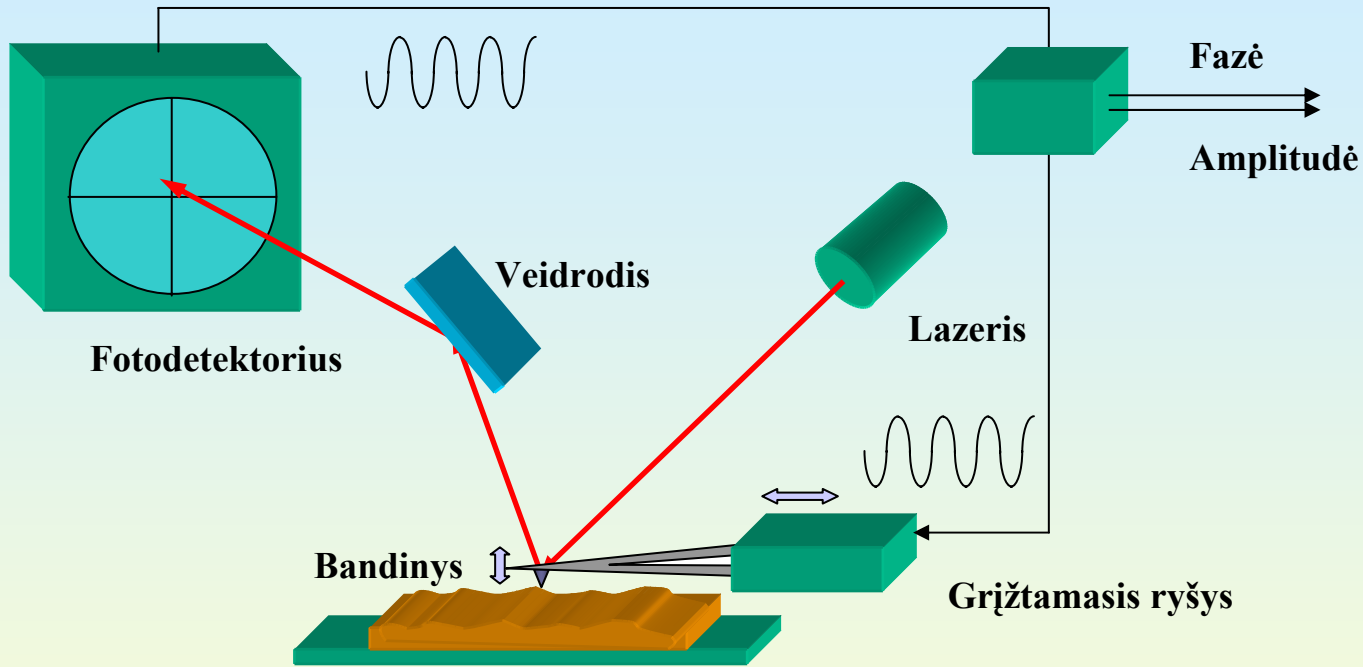
Atliekant matavimus vandenyje galima kompensuoti kai kuriuos kontaktinio AJM trūkumus: skiriamosios gebos praradimą dėl elektrostatinių sąveikų ir kapiliarinių jėgų

AJM skystyje

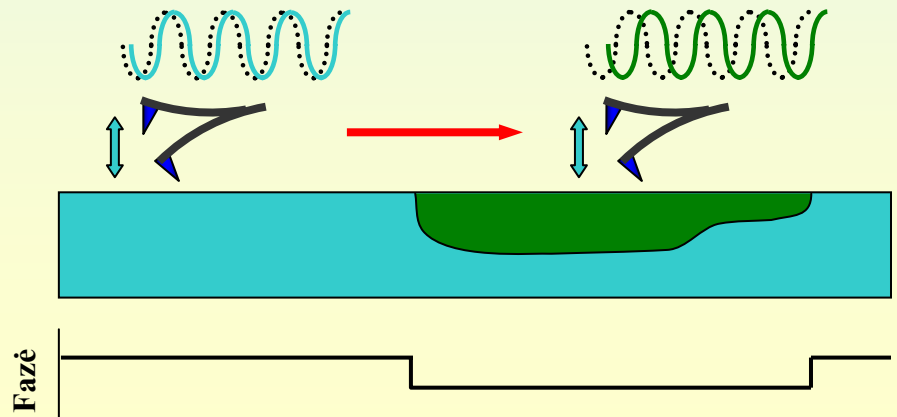


Kristalizuotas bakterinis baltymas, 200 nm laukas

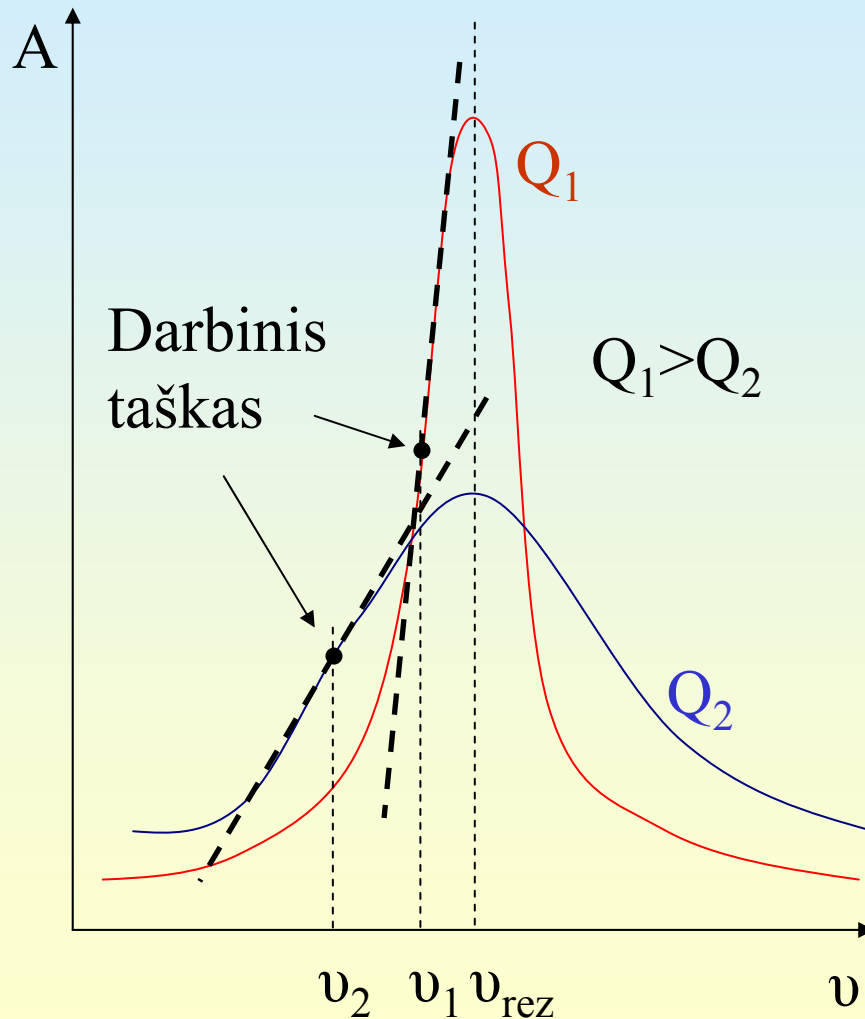
Matavimas virpančiu zonu



Priklausomai nuo paviršiaus klampumo kinta liežuvėlio su zonu vibravimo amplitudė ir fazių skirtumas tarp virpančiojo ir išėjimo signalų.



Matavimas virpančiu zondų



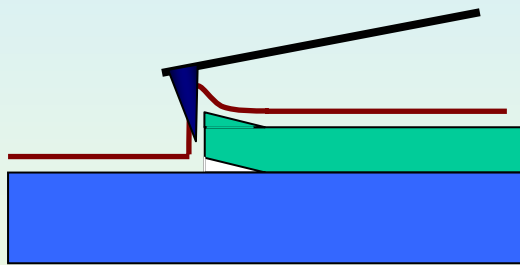
Didžiausias
mikroskopo jautrumas
pasiekiamas tada, kai

$$\frac{dA}{d\nu} \text{ maksimali.}$$

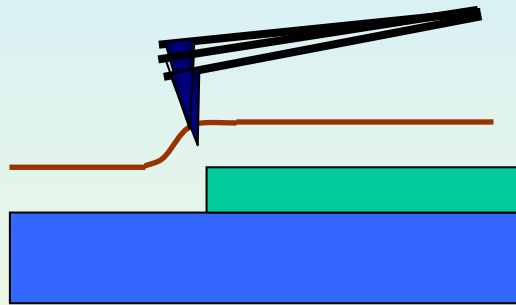
Jautrumą riboja
rezonatoriaus
(liežuvėlio su zondų)
kokybė Q .

AJM darbo režimų palyginimas

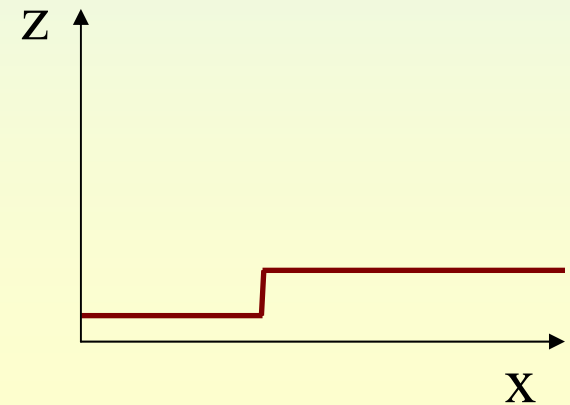
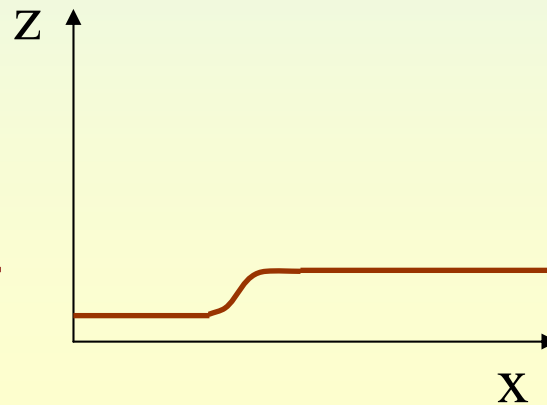
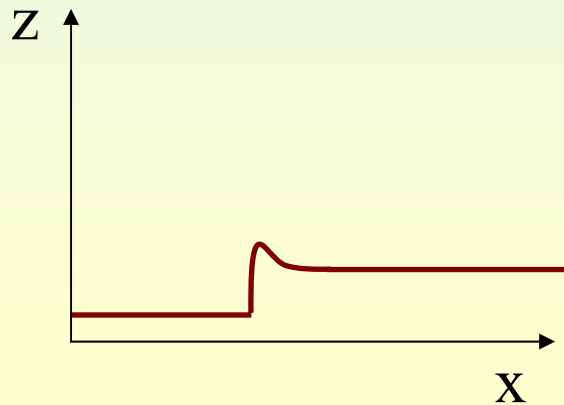
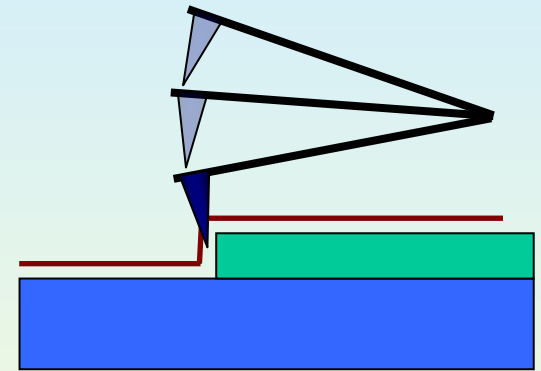
Kontaktinis

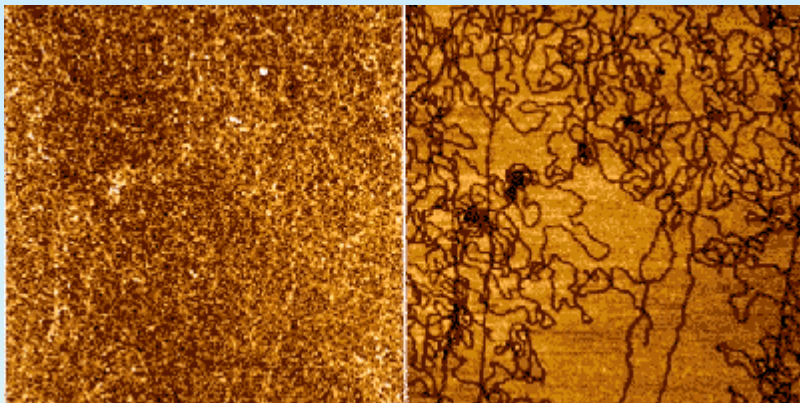


Nekontaktinis

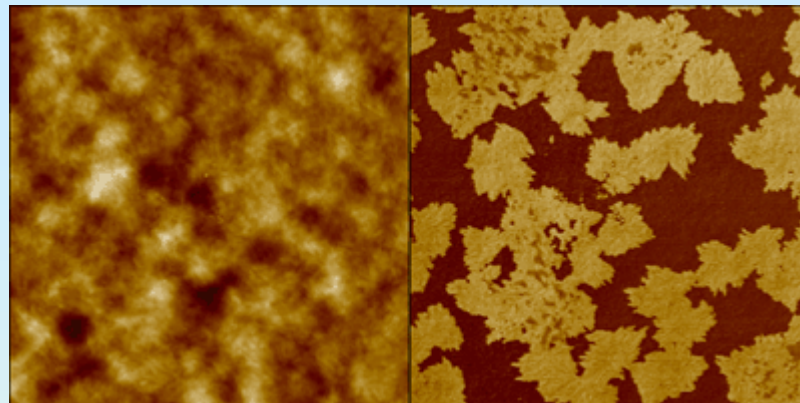


Virpančio zondo



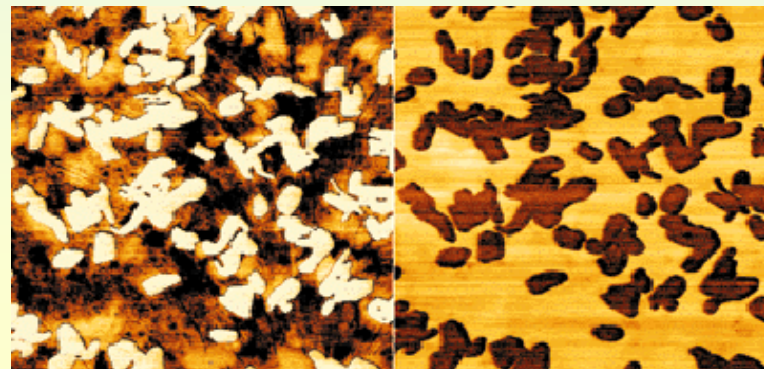


DNR, topografija ir fazinis vaizdas (325 nm laukas).

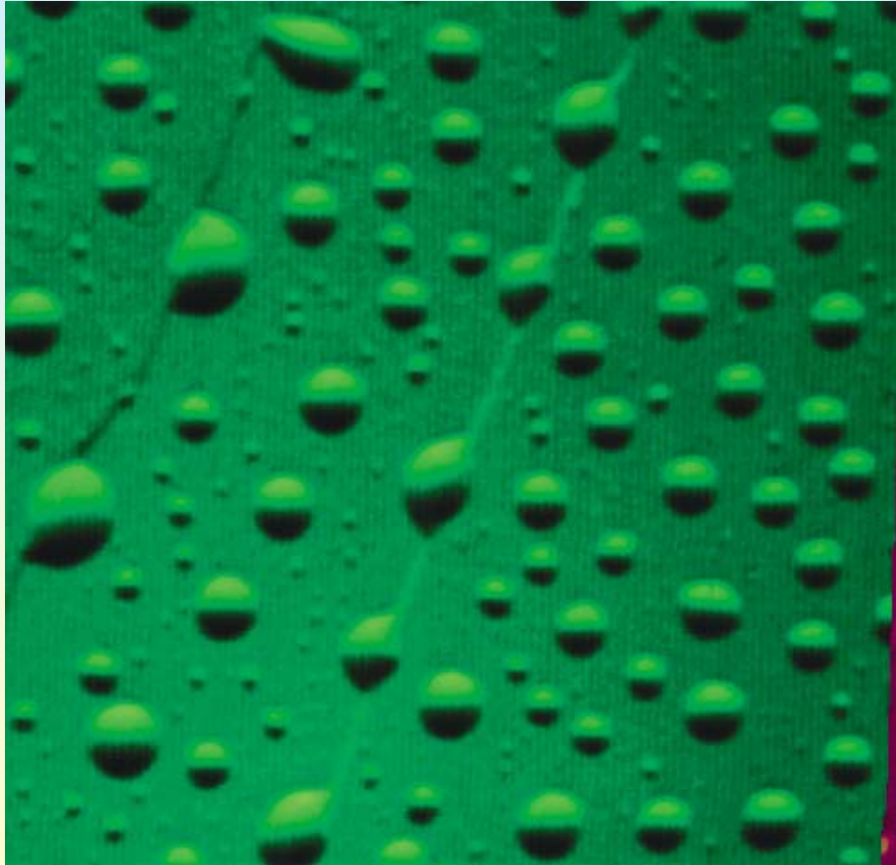


Poliuretanas, topografija ir fazinis vaizdas (5 μm laukas).

Molibdeno oksidas (6 μm laukas)

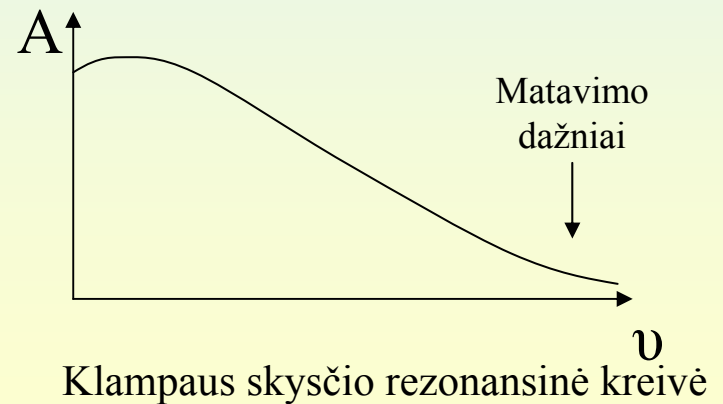


Viskoelastinių medžiagų AJM



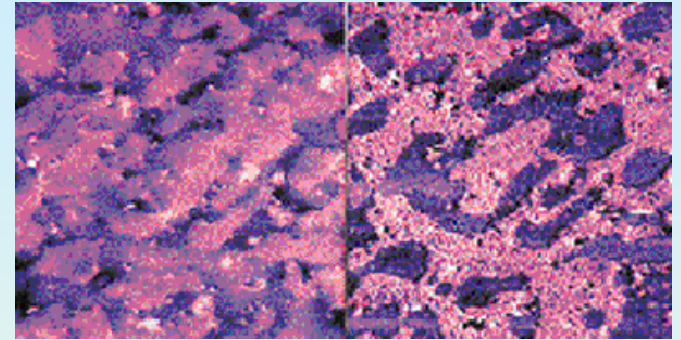
Virpant zondui dideliu dažniu klampūs skysčiai tampa “kieti”.

Karboksiloksanas ant grafito, $12,5\mu\text{m}$ laukas.

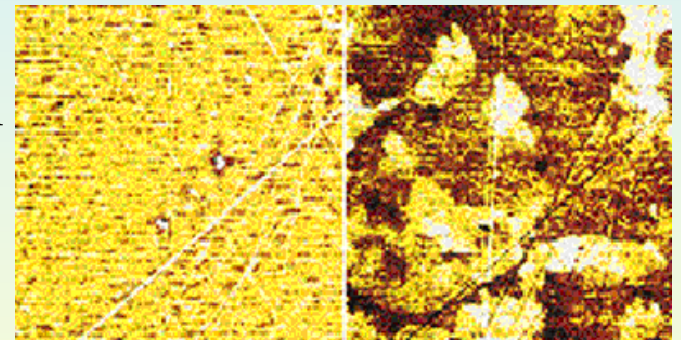


Lateralinēs (skersinēs) jēgos metodos

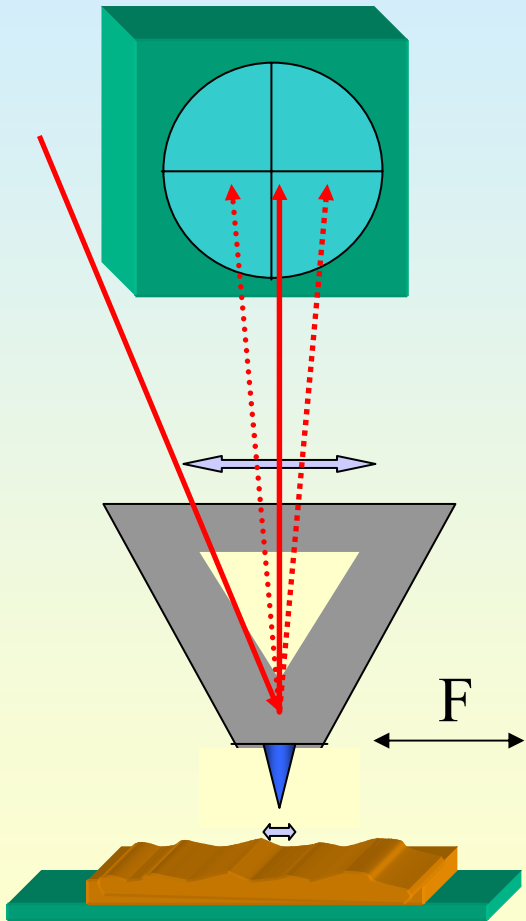
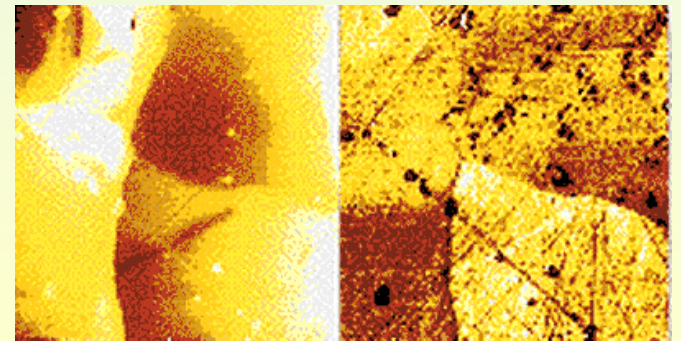
Guma $20\mu\text{m}$



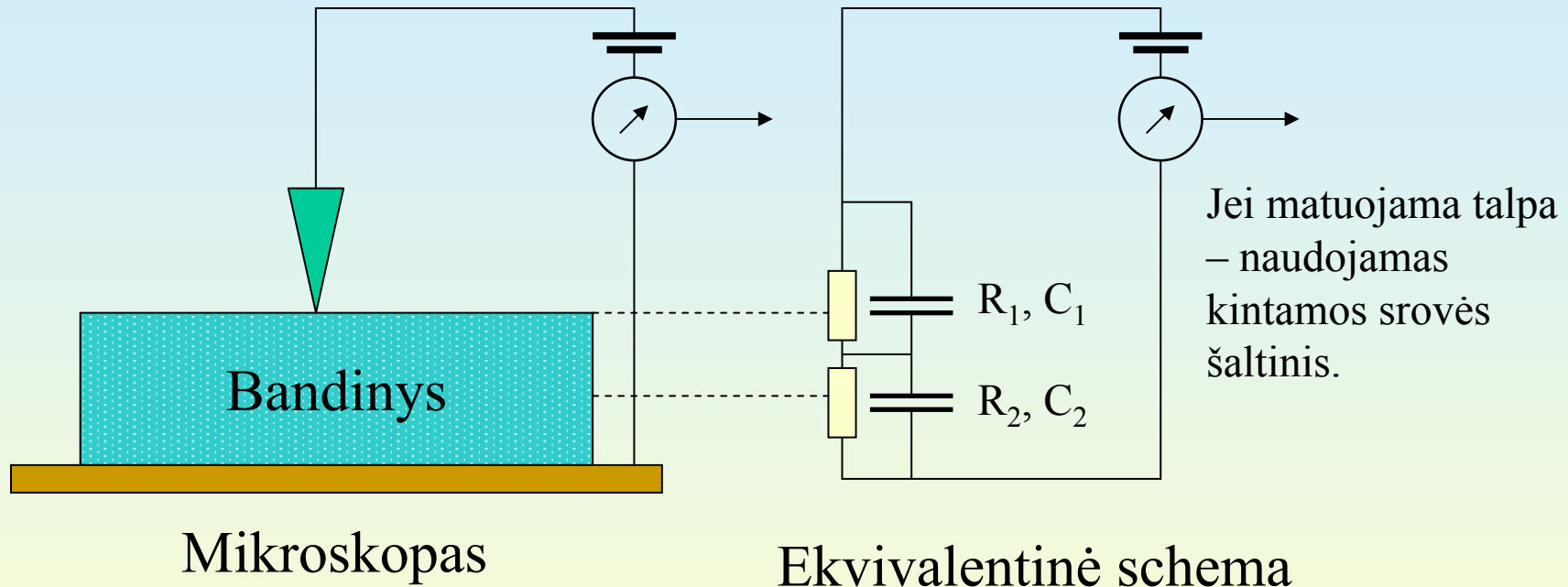
Keramika $30\mu\text{m}$



Metals +
oksidās $0,8\mu\text{m}$

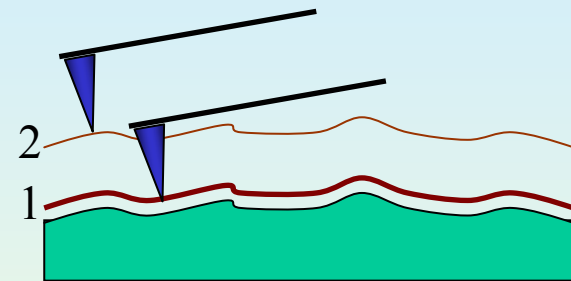
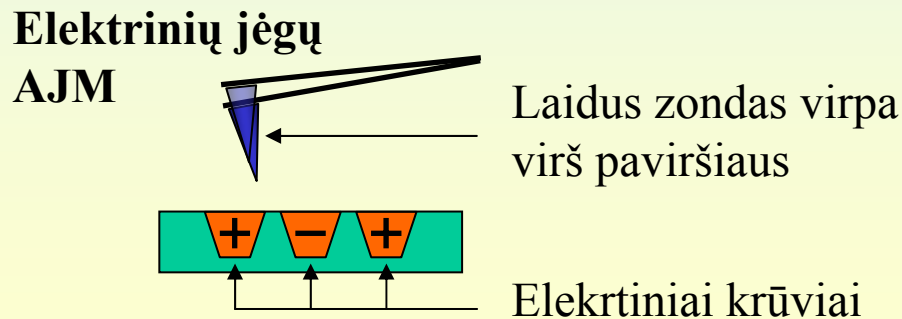
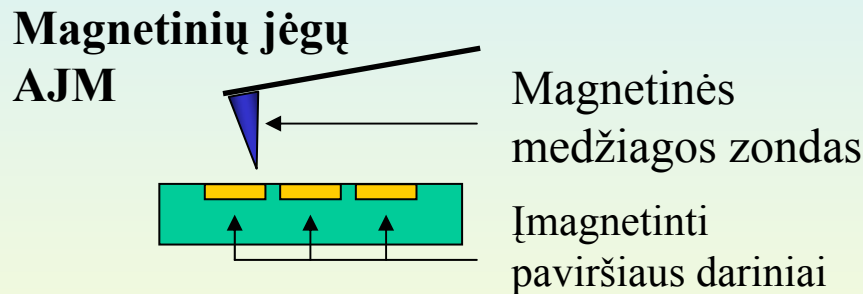
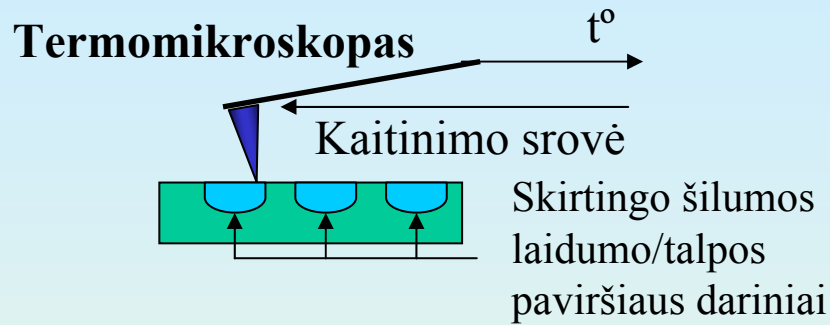


Laidumo arba talpos mikroskopija



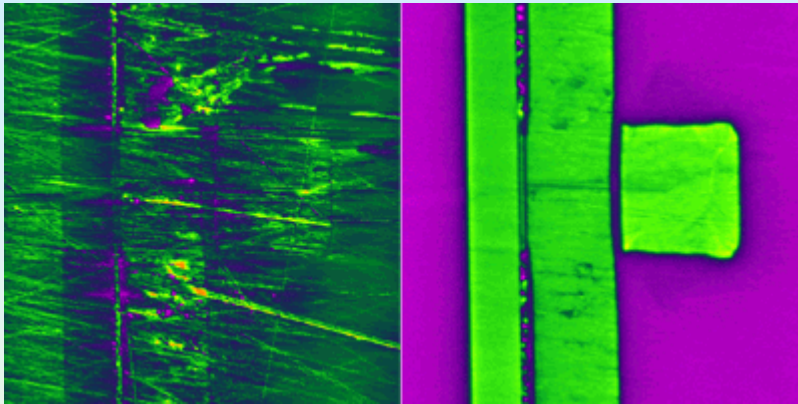
R_1, C_1 - kontaktinė varža ir talpa, R_2, C_2 – bandinio varža ir talpa.

Specialieji AJM metodai

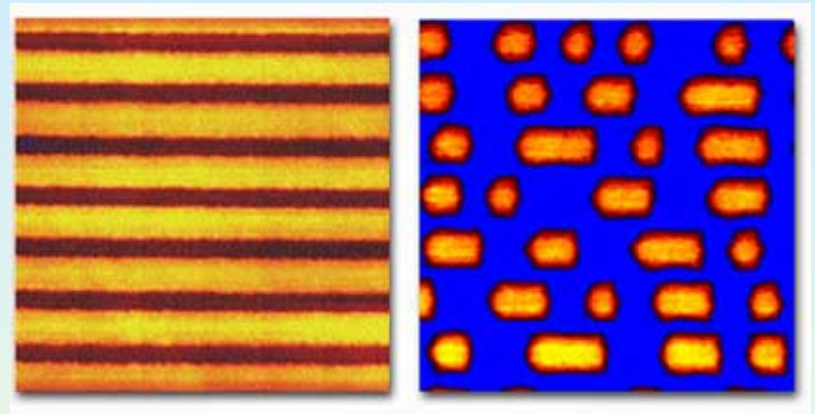


Norint atskirti matuojamas jėgas (magnetines, elektrines) nuo paviršiaus topografijos kiekviena eilutė skenuojama du kartus – pirmas kartas topografijai, antras kartas (pakėlus zondą keletu nm atstumu nuo paviršiaus) – norimoms savybėms matuoti.

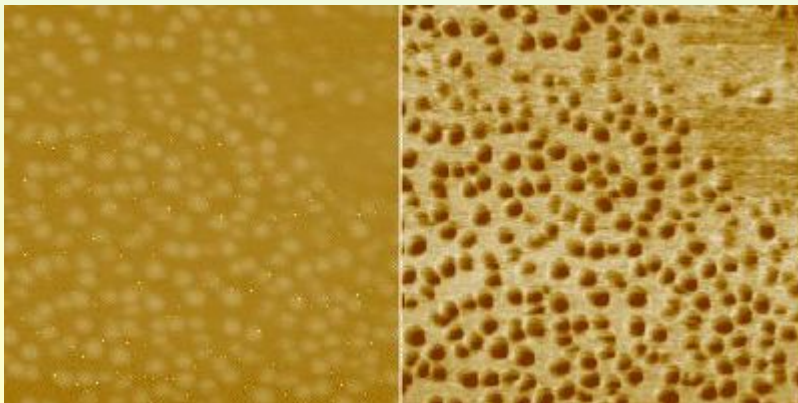
Specialiaisiais AJM metodais gauti vaizdai



Magnetinė galvutė, topografija ir magnetinės jėgos vaizdas ($14\mu\text{m}$).



DVD-RW, topografija ir elektrinės jėgos vaizdas ($5\mu\text{m}$).



Silicis, topografija ir jėgos moduliacijos vaizdas ($1\mu\text{m}$).

Nanomodifikavimas



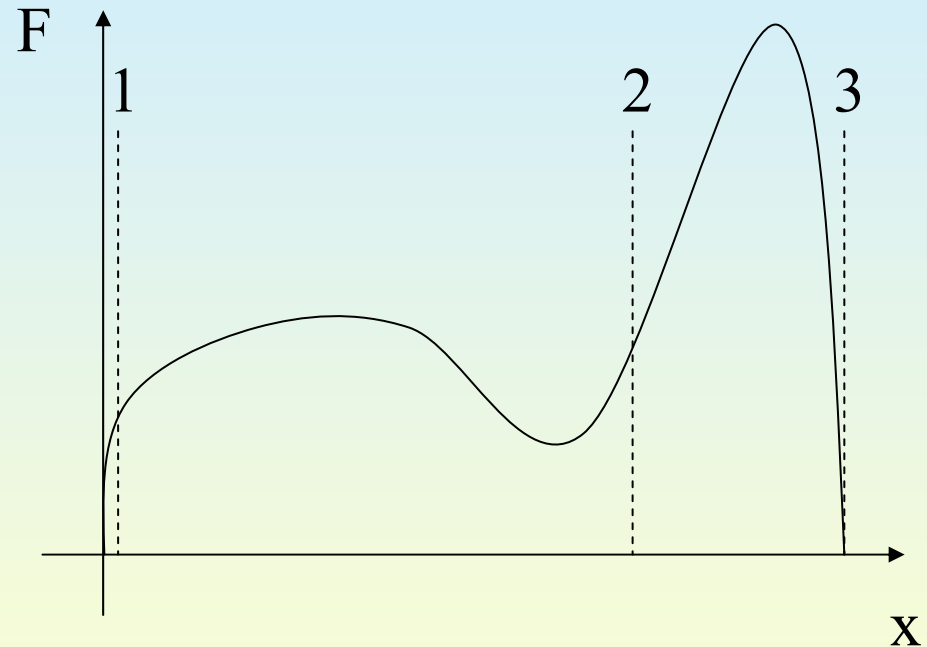
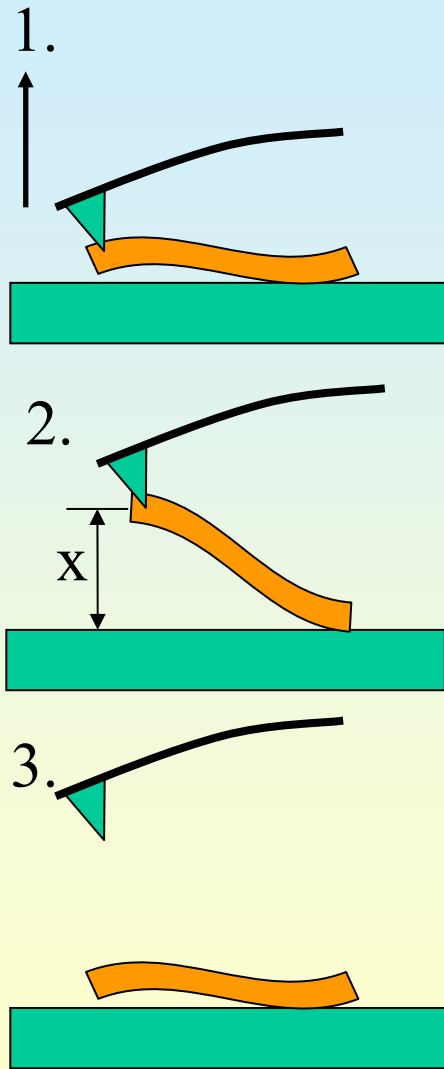
Tekstas suformuotas
AJM zonu ant
polimetakrilato
polimero.

1,6 μ m laukas

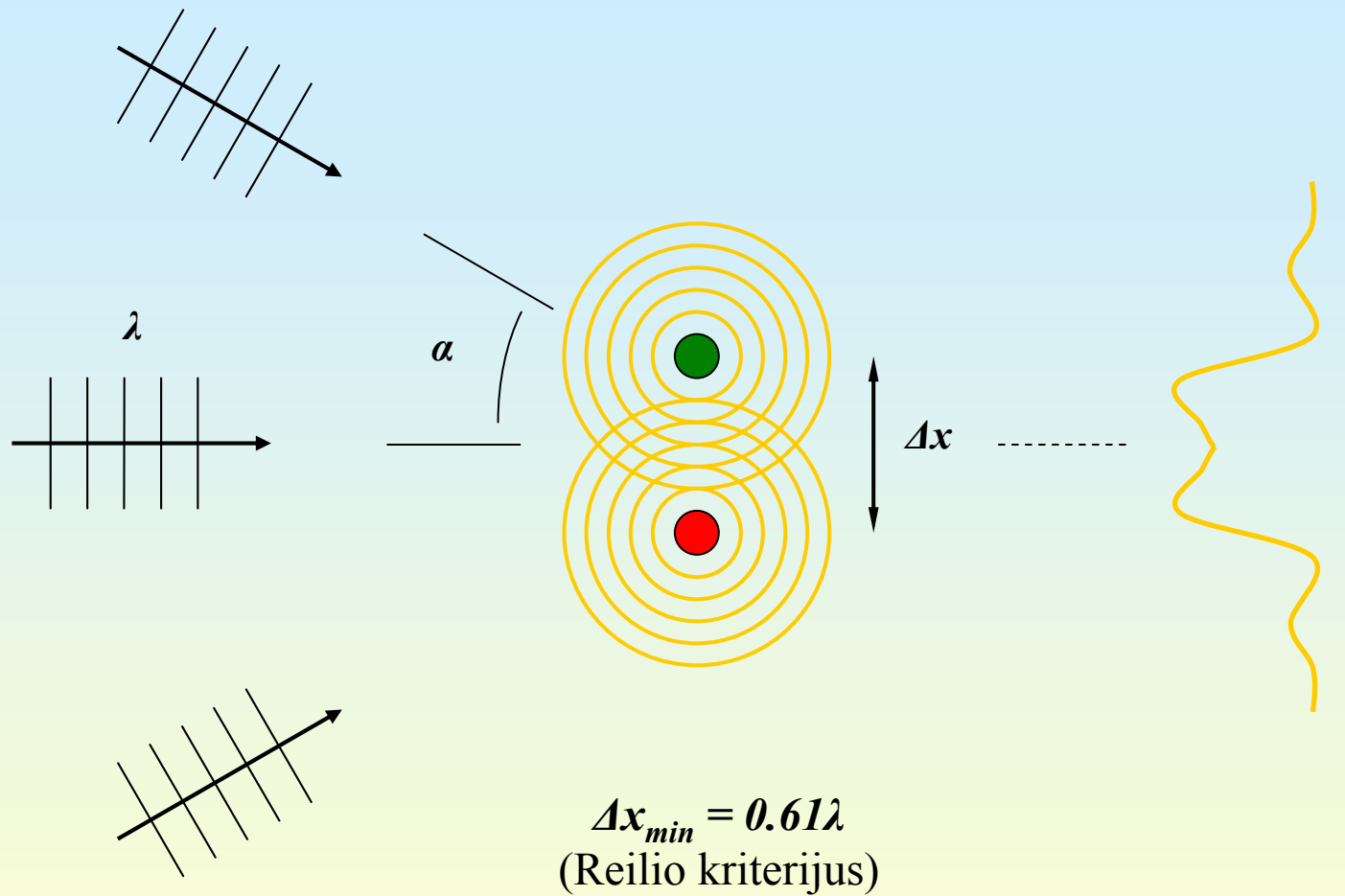
Modifikuojama vien
AJM arba
elektrochemiškai.

Dažniausiai naudojami
deimantiniai zondai,
jėga iki dešimčių μ N.

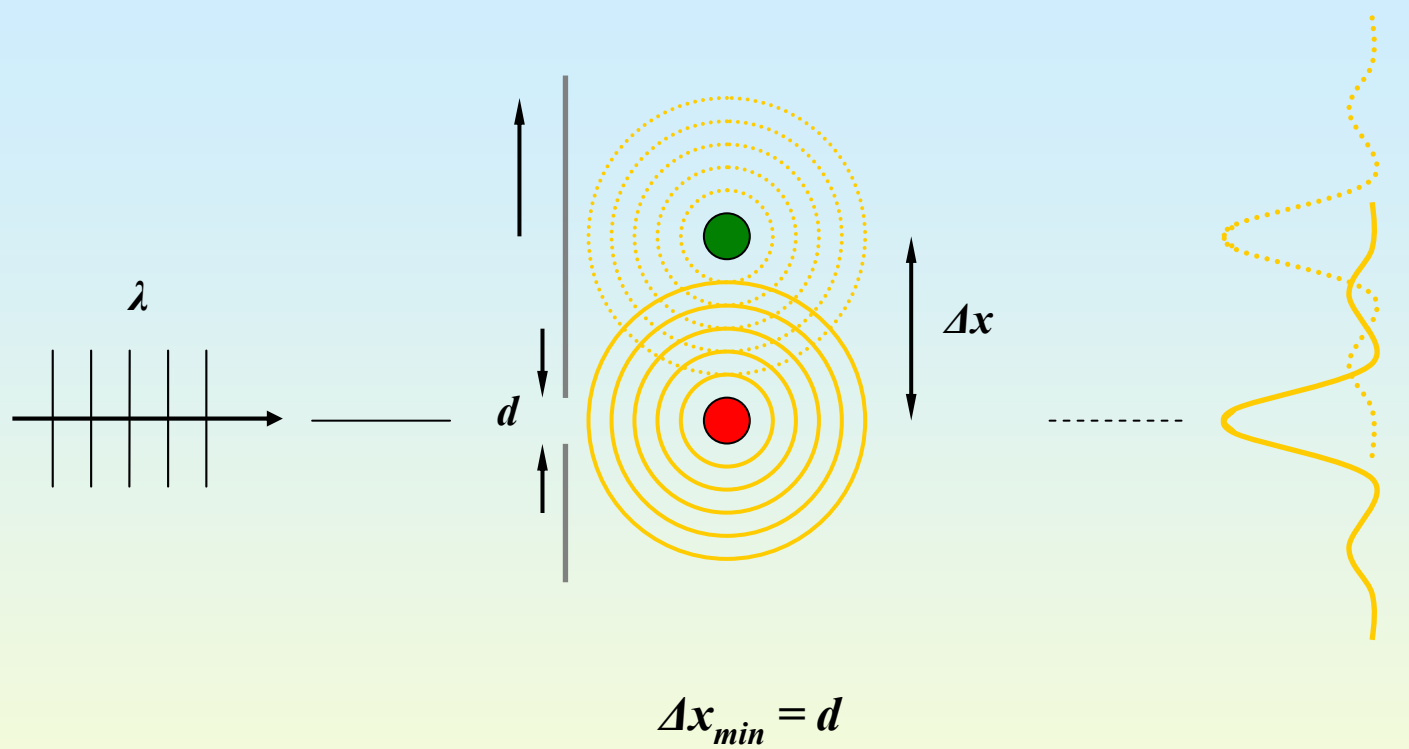
Jėgos – atstumo priklausomybės matavimai



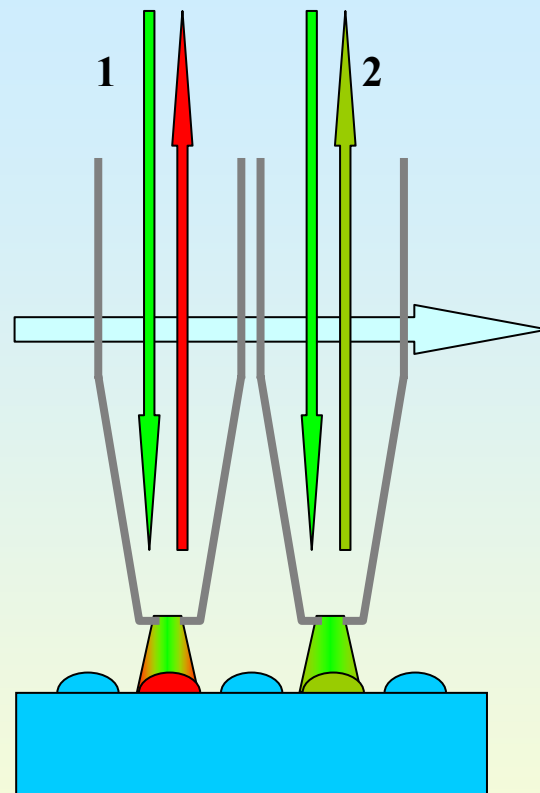
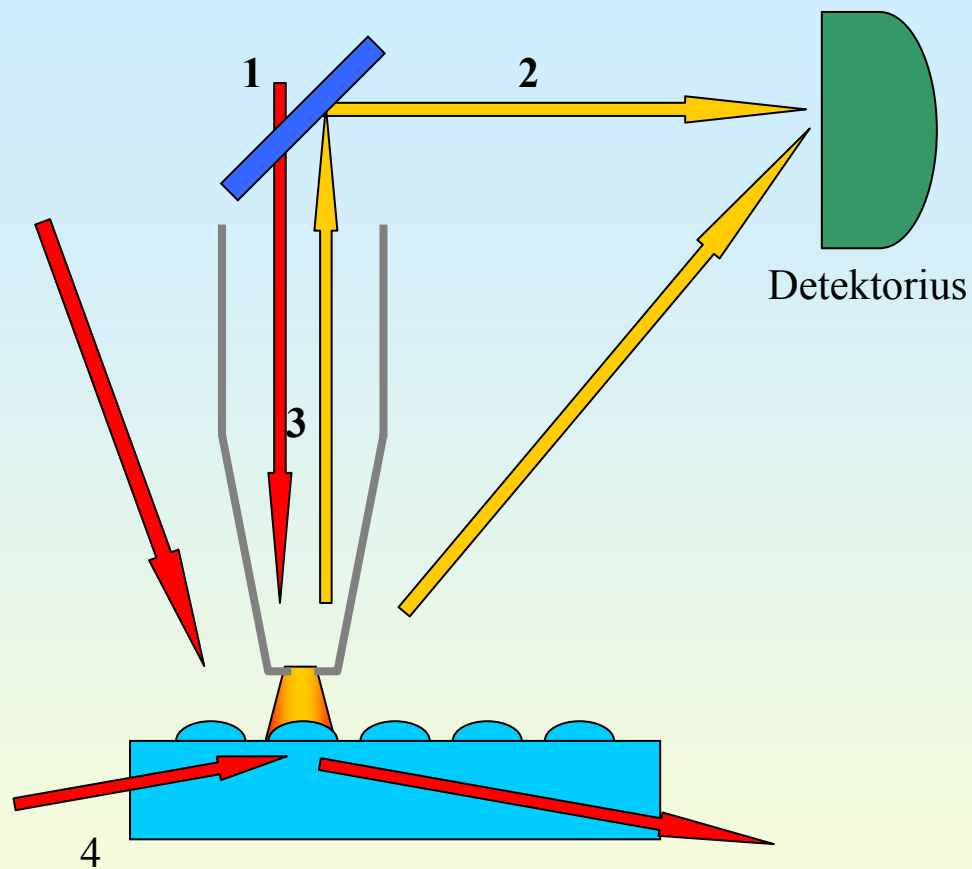
“Limpančiu” (su polinėmis grupėmis, antikūnais, histidino ir Ni^{2+} kompleksu ir t. t.) zondų tempiant (arba spaudžiant) bandinį registruojama jėgos priklausomybė nuo atstumo.



Optinio mikroskopo skiriamosios gebos riba

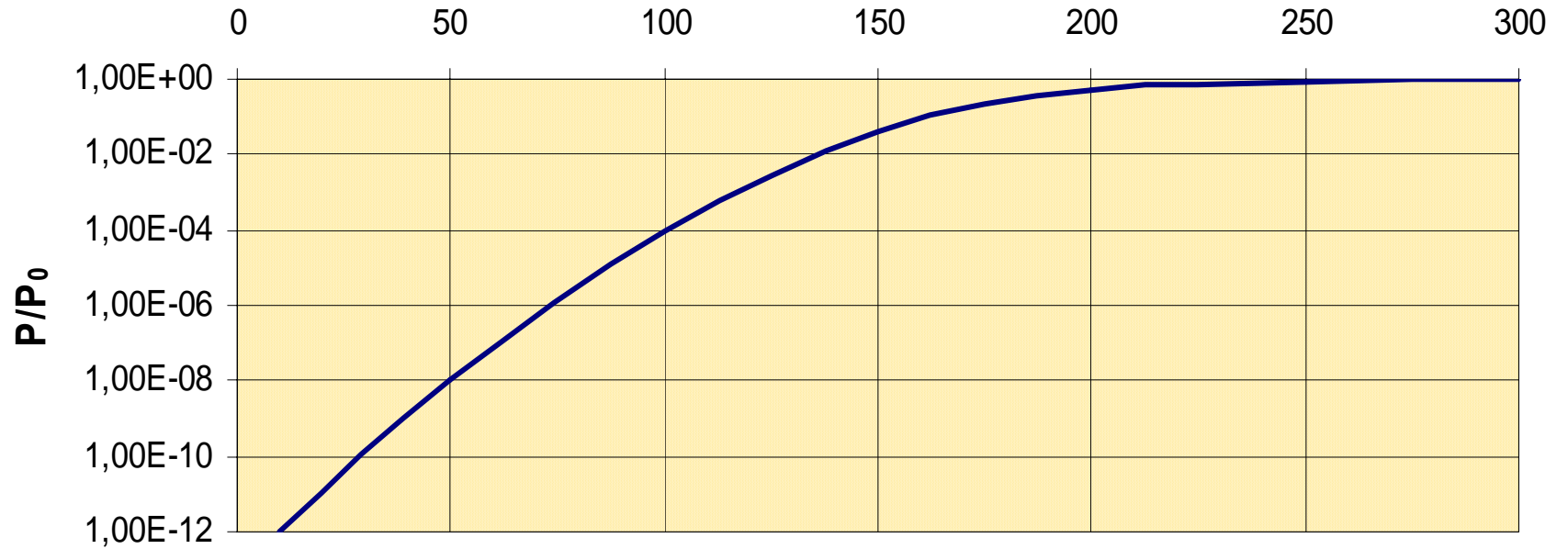


Skenuojantis artimojo lauko optinis mikroskopas

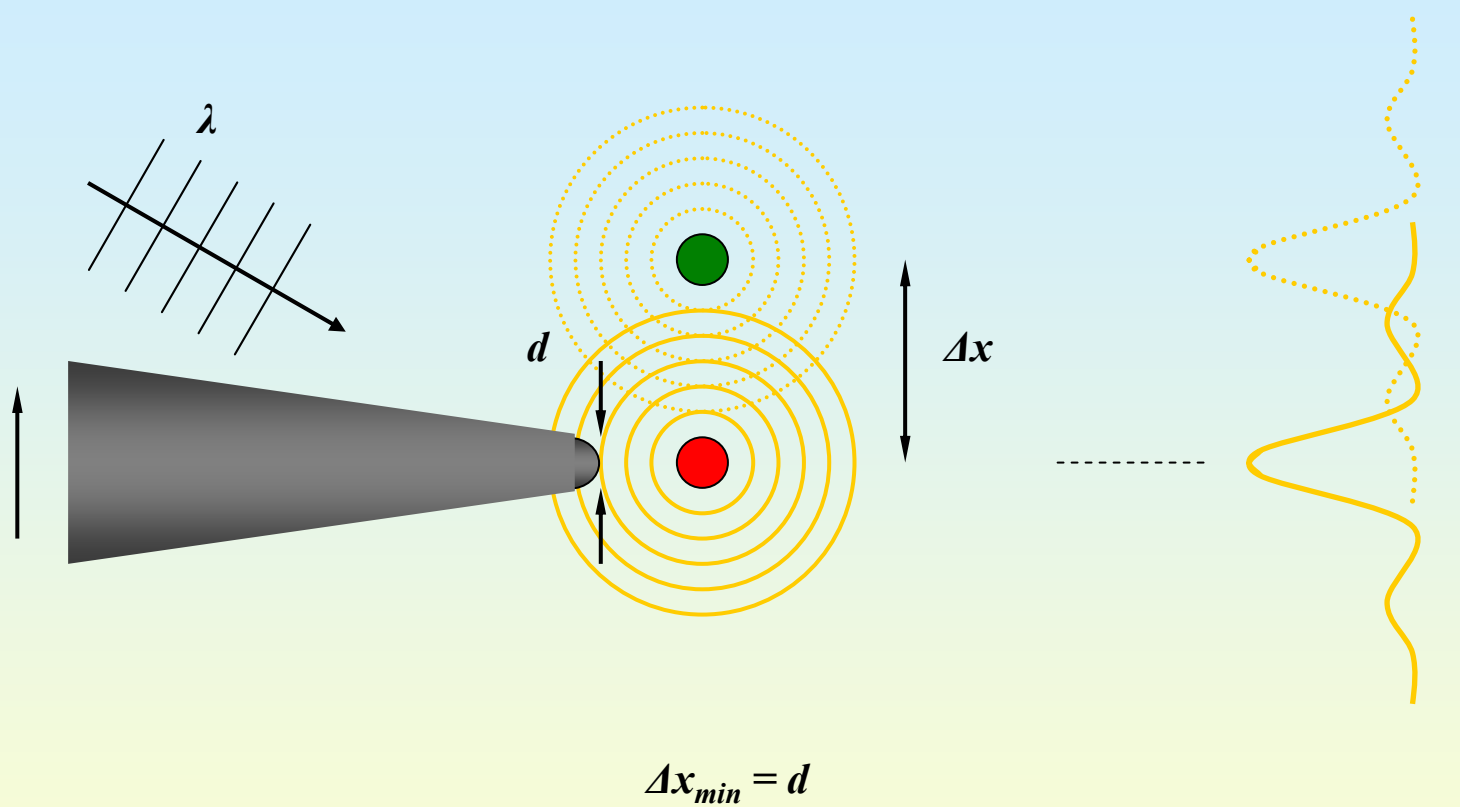


Artimojo lauko mikroskopo taikymo principai

Apertūros skersmuo [nm]

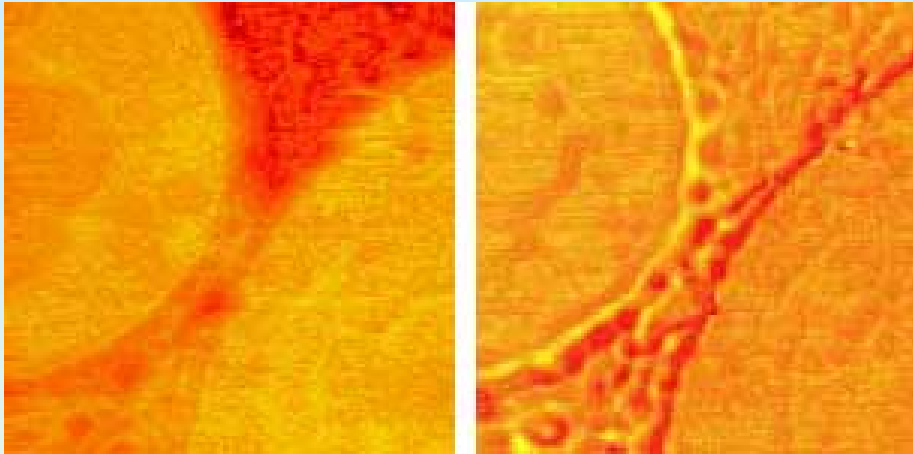


Spinduliavimo galios sumažėjimas dėl mažos apertūros

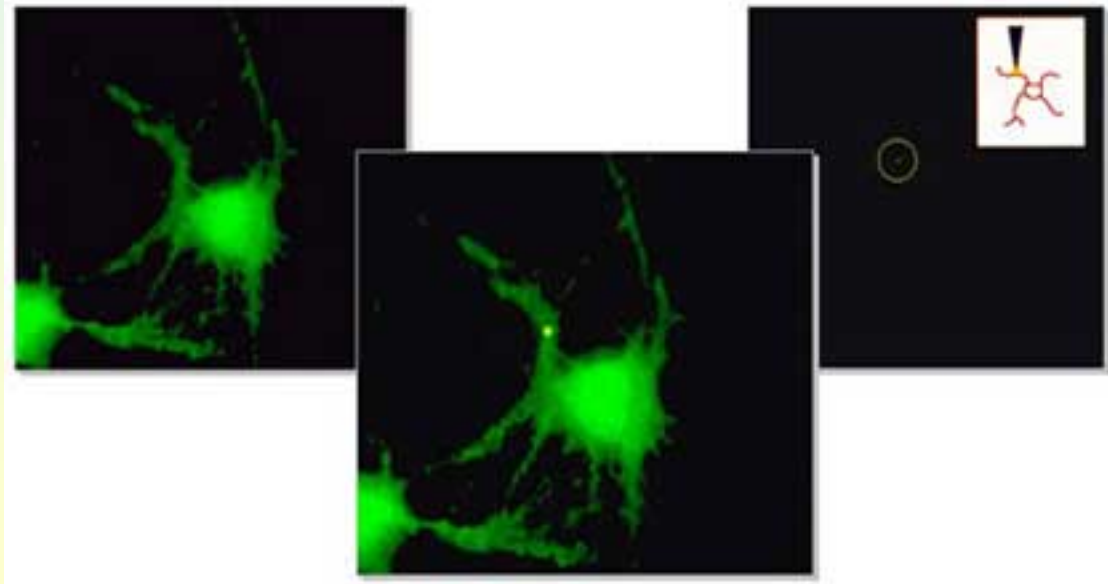


Arimojo lauko miroskopas su metaline adata

Artimojo lauko mikroskopu gauti vaizdai



Širdies audinys, topografija ir artimojo lauko vaizdas (10 μ m laukas).



Ca²⁺ dinamikos neurone stebėjimas. Naudotas Fluo-3 indikatorius.