

VU FF KEK



# Optinis pincetas

*Kas? Kaip? Kodėl?*

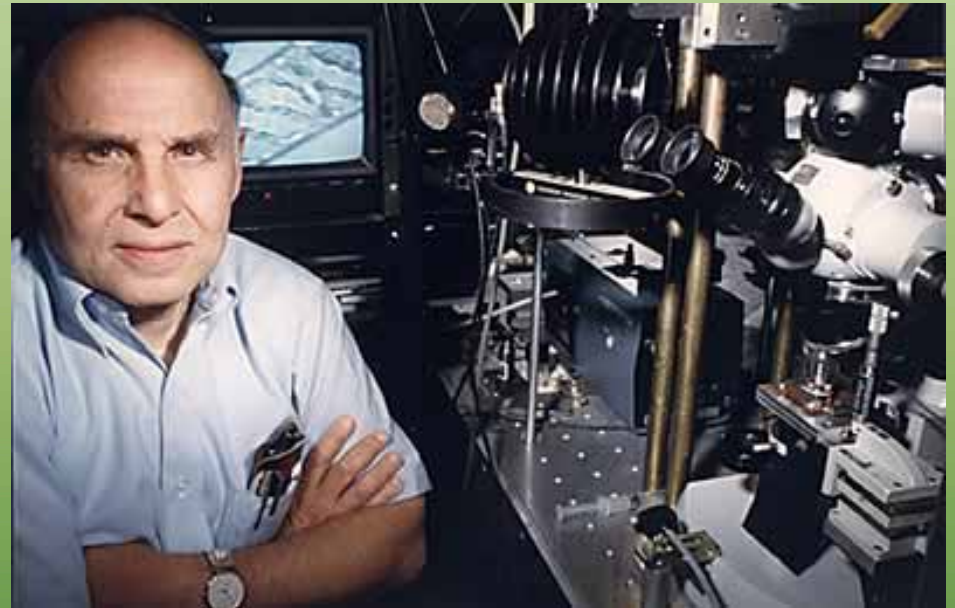
p. Virginija Petrauskienė

# Truputėlis istorijos

Apie 1970m.  $\Rightarrow$  A.Ashkin (Bell Labs) – vienas netiesinės optikos pionierių – pastebėjo galimybę lazerio šviesa judinti mažus objektus.

Efektas pavadintas **optiniu pagavimu** (angl.- optical trapping), o A.Ashkin'as laikomas šios naujos fizikos srities tėvu.

Apie 1985m.  $\Rightarrow$  A.Ashkin ir S.Chu parodė, jog galima sulėtinti ir pagauti atskirus atomus.



“Ashkin's-brother-Ashkin”  
(R.Feynman)

# Truputėlis istorijos

1997m.  $\Rightarrow$  Nobelio premija (S.Chu, W.Phillips ir C.Cohen-Tannoudji) už „metodų kaip lazerio šviesa atšaldyti ir pagauti atomus vystymą“.

Vėliau  $\Rightarrow$  dar ne viena Nobelio premija, susijusi su optiniu pagavimu:

- „Bozė-Einšteino kondensacija“
- „atominis lazeris“
- įvairūs darbai biologijos srityje ir t.t.

*Kaip veikia optinis pincetas?*

# Šviesa gali judinti medžiagą, nes ...

... fotonai turi judesio kiekį  $h/\lambda$

**Šviesos judesio kiekis pakinta, kai dalelė:**

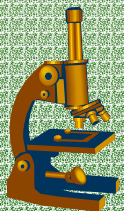
- ✓ sugeria arba išspinduliuoja fotoną
- ✓ pakeičia šviesos sklaidimo kryptį

atspindžio arba  
lūžio metu

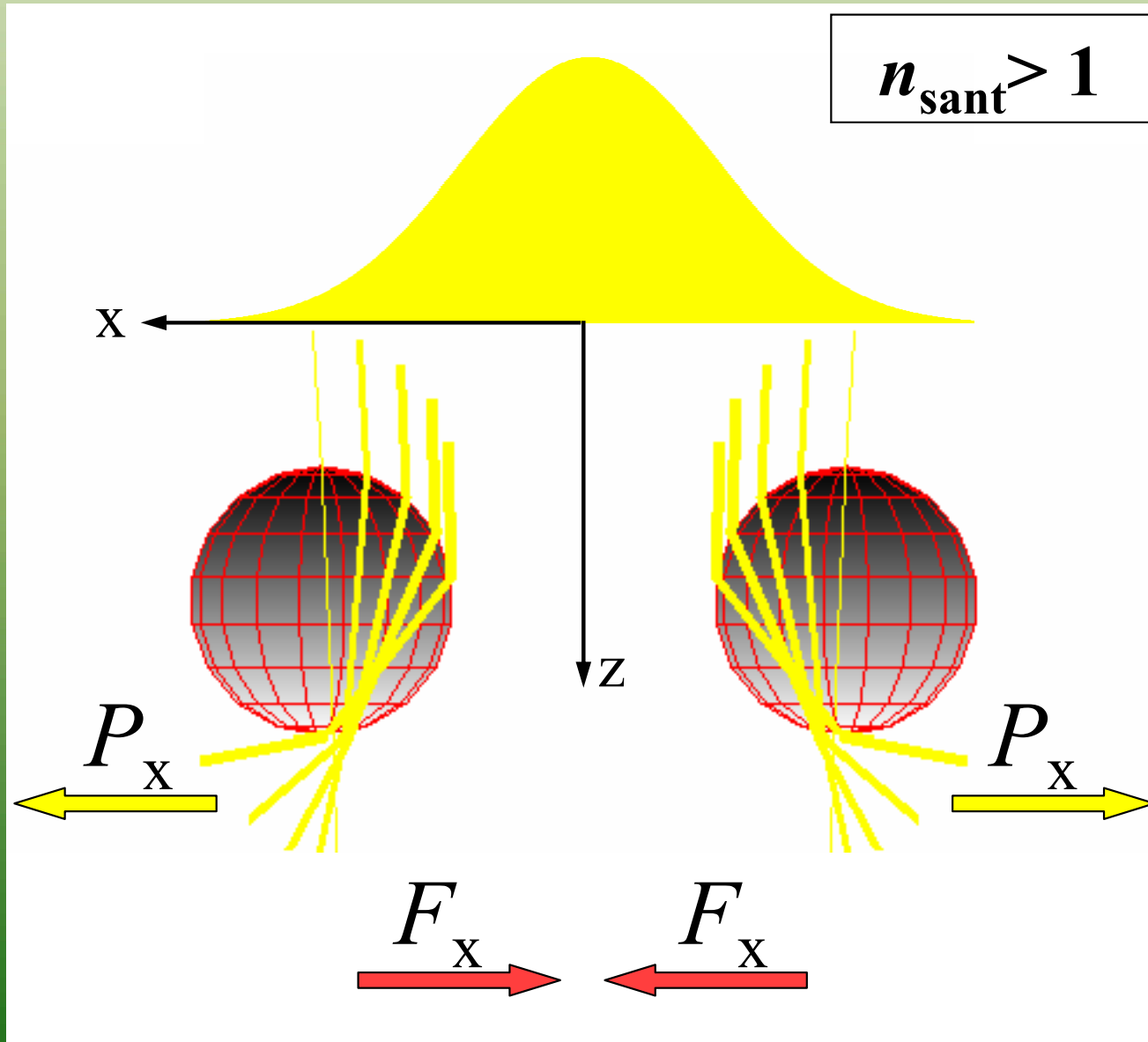


**Dalelę veikia reakcijos jėgos:**

*šviesos slėgis*  
*gradientinė jėga*



# Skersinis gradientas

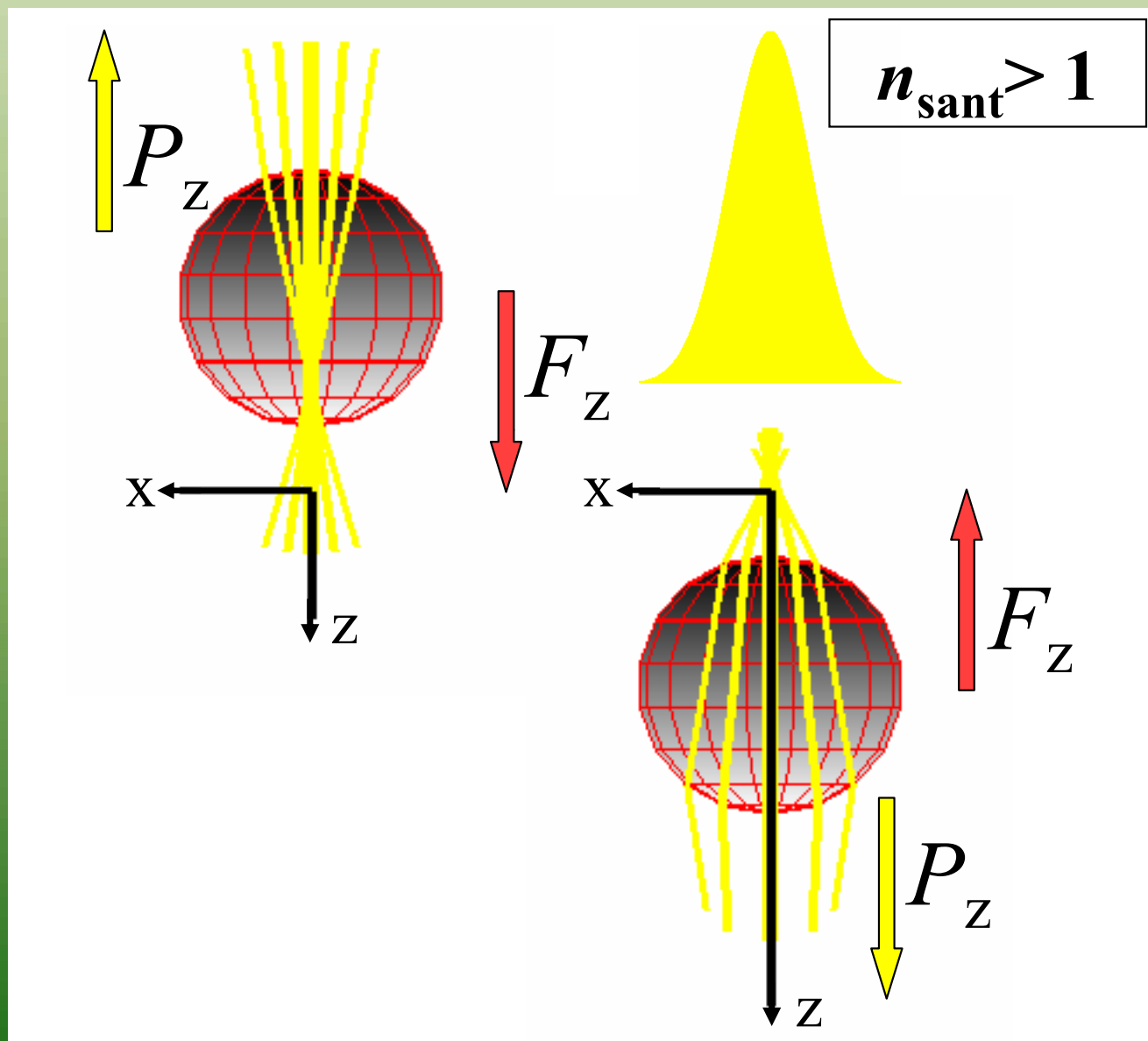


Dėl pluošto intensyvumo pasiskirstymo skersinėje plokštumoje, atsiranda reakcijos jėga, nukreipta didžiausio intensyvumo kryptimi



2D Spąstai

# Išilginis gradientas



Kai pluoštas  
sufokusuojamas iki  
difrakciškai ribotos  
dėmės, atsiranda  
papildoma išilginė  
gradientinė jėga



3D Spąstai

ARBA

Optinis pincetas

# Atkreipkite dėmesį:

Skaidrioms dalelėms,

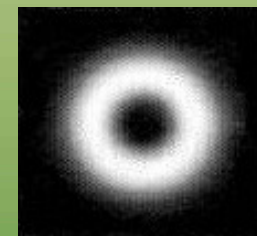
kurių  $n_{\text{sant}} = n_{\text{dal}}/n_{\text{aplinkos}} < 1$ ,

veikimas priešingas —

stumia iš didžiausio intensyvumo vietos



Pincetų  
tinka

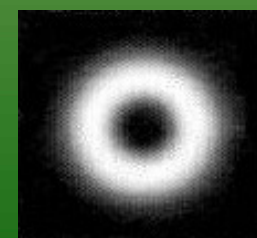


Metalinėms dalelėms

atspindžio jėga  $\gg$  už gradientinę jėgą,

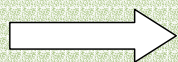
todėl stumia iš didžiausio intensyvumo

vietos





# Reikalavimai ir pastabos



Teisingas  $\lambda$  pasirinkimas  
— kad neįvyktų optinis pažeidimas



Optiniu pincetu patogiu naudotis, kuomet atstumai neviršija mikroskopo matymo lauko  
— tradiciškai  $\sim 50 \mu\text{m}$



Jei objektas išskiriamas iš kitų tarpo judinant staliuką (ne lazerio spindulį), tai daryti reikia gana lėtai —  $10\text{-}100 \mu\text{m/s}$

*Kuo domimasi šiuo metu?*

**ARBA**

*Kas dabar „madoj“?*

# Tradicinį optinį pincetą pakeitė:

Schemos, kur

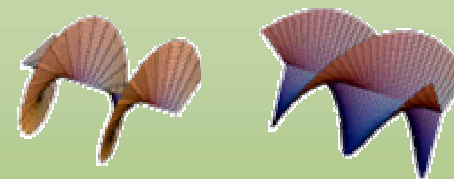
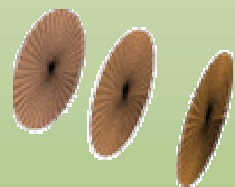
**Lazerio pluoštas yra ne būtinai Gauso ( $TEM_{00}$ ) pavidalo**

- Aukštesnės eilės  $HG_{mn}$
- Įvairios  $LG_p^l$
- Kompiuteriu sumodeliuoti pluoštai

**Vienu metu sukuriama keletas „traukiančių taškų”**

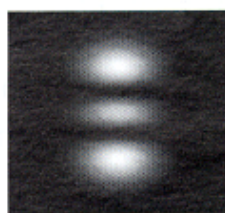
- Skanavimo metodas
- Difrakcinis (holograminis) metodas
- Metodas panaudojant EŠM (realaus laiko holograminis)

# Ivairios pluoštų modos

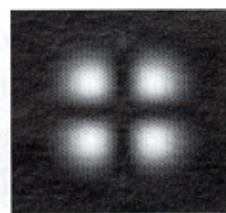


Hermite Gaussian Mode

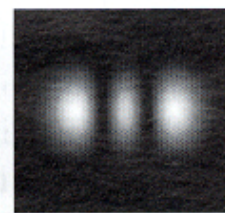
Laguerre Gaussian Mode



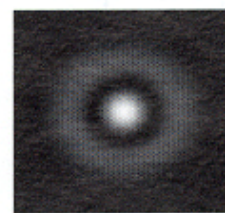
$m=0, n=2$



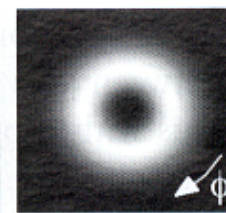
$m=1, n=1$



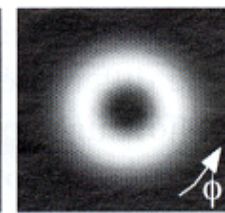
$m=2, n=0$



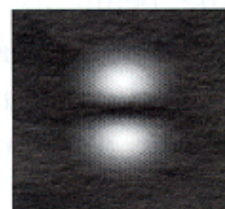
$l=0, p=1$



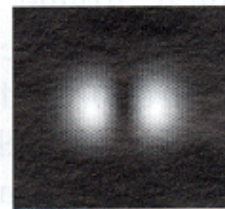
$l=+2, p=0$



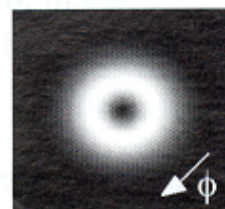
$l=-2, p=0$



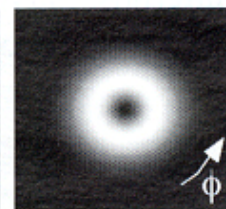
$m=0, n=1$



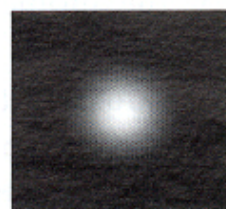
$m=1, n=0$



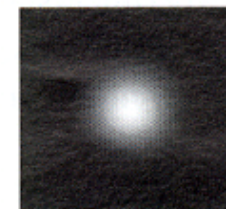
$l=+1, p=0$



$l=-1, p=0$

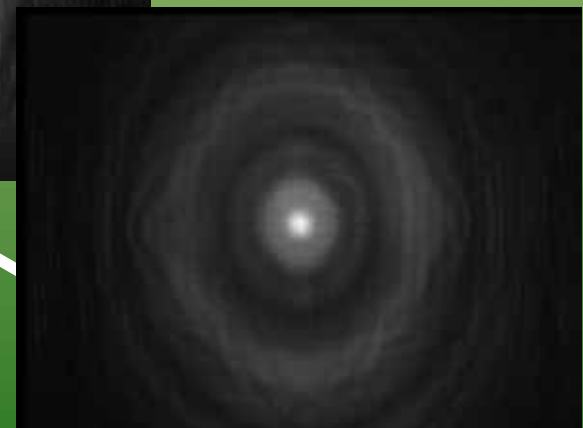
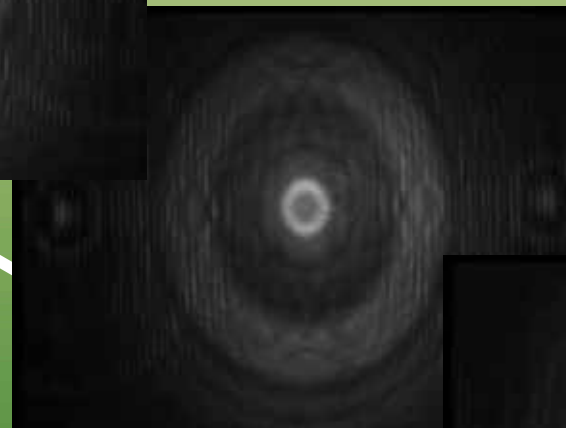
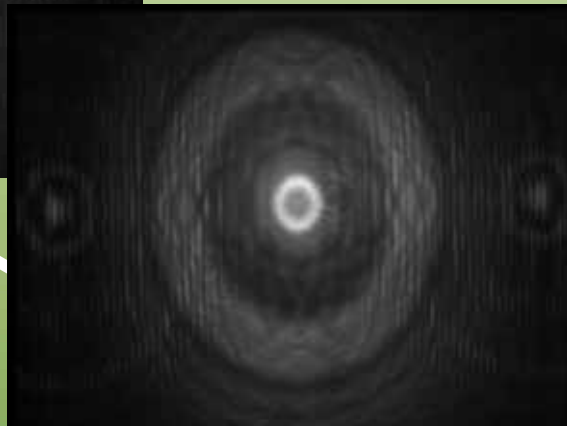
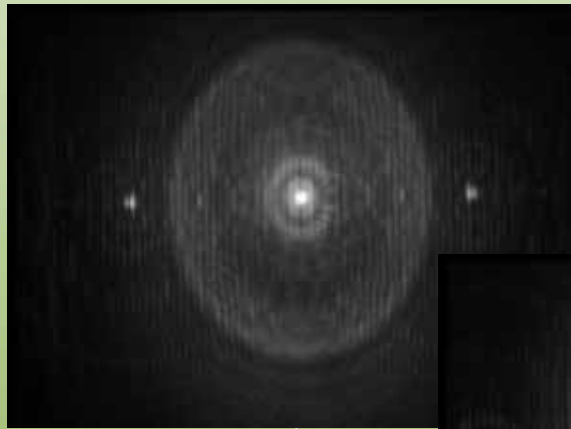


$m=0, n=0$



$l=0, p=0$

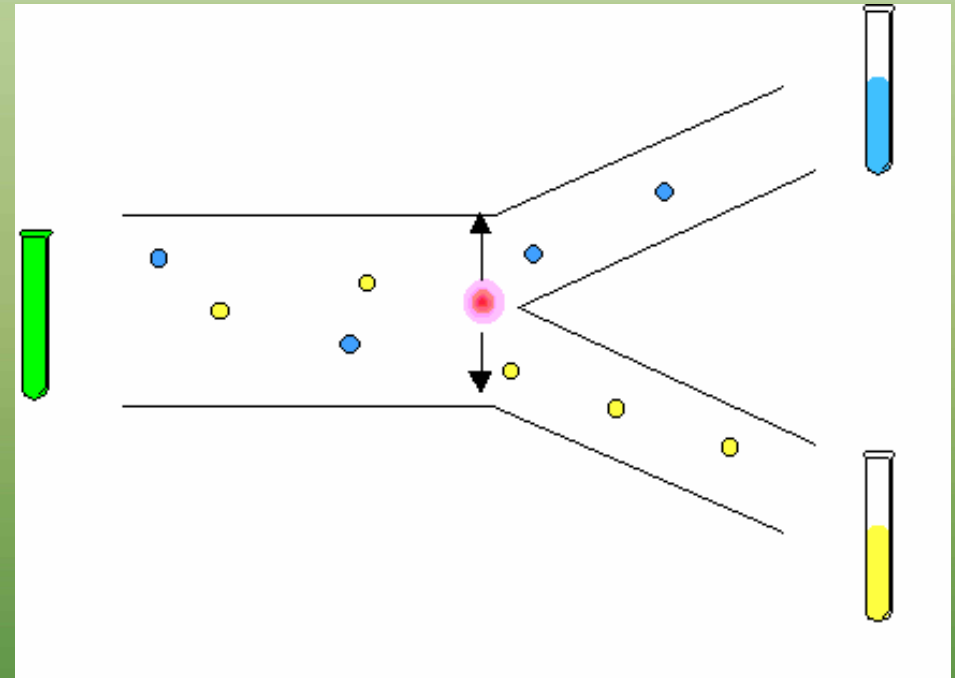
# „Bottle beam”



*Pritaikymai*

# Ląstelių rūšiavimas

- Daugelyje mikrobiologinių eksperimentų yra įdomios atskiros vienos ląstelės savybės
- Ši informacija negaunama iš statistinių metodų, tiriančių visą populiaciją



- Panaudojant optinį pincetą, galima rūšiuoti bakterijas arba ląsteles, arba išskirti vieną bakteriją/ląstelę iš daugelio tarpo  
(Swedish Nanometer Laboratory at Chalmers)

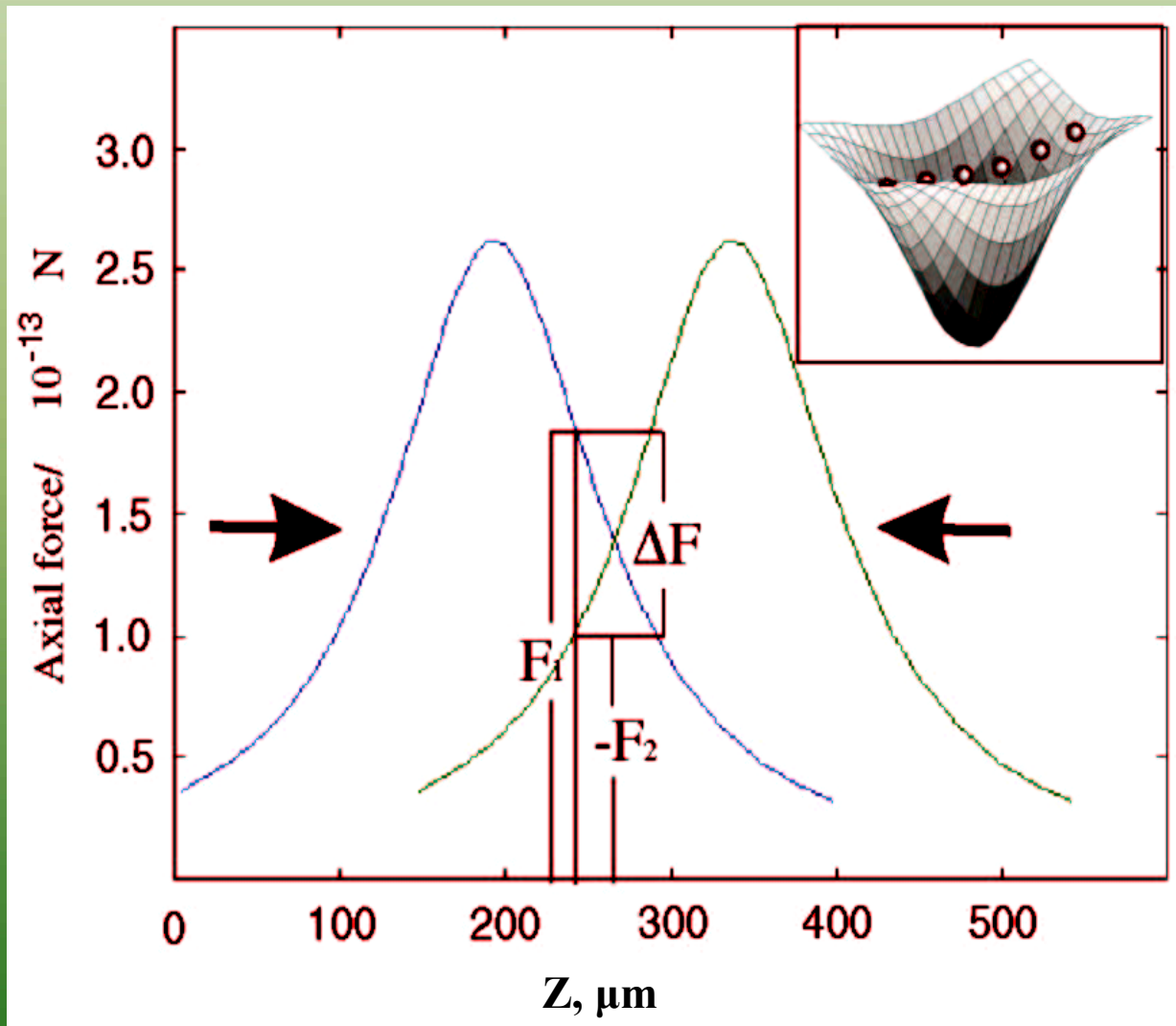


# 1D dalelių matrica

Du priešingomis kryptimis sklindantys pluoštai sukuria vienmatę potencinę duobę

Mikroskopinių dalelių grandinė – padidintas atominės grandinės variantas

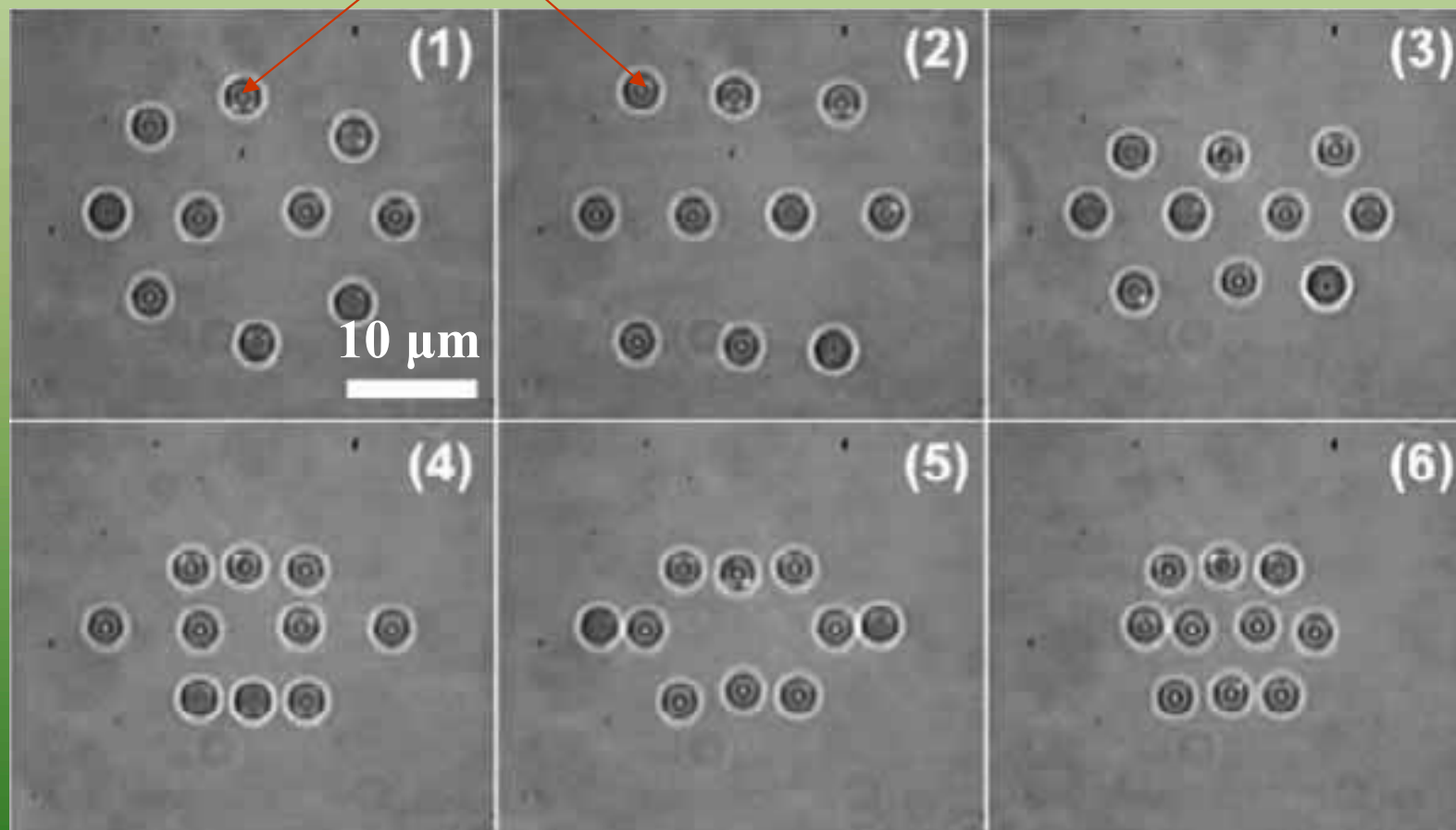
Tai geras modelis nagrinėti atomų potencinėje duobėje elgesį





# 2D dalelių matrica

$d = 2 \mu\text{m}$  polistireno sferos vandenyje; (kas 15s)



$P_{\text{visa}} = 0,4\text{mW}$

(830 nm)

Fazinė EŠM

Vienos sąsm.

$2w = 1,7\mu\text{m}$

# Valdomi dalelių “judesiai” horizontalioje plokštumoje

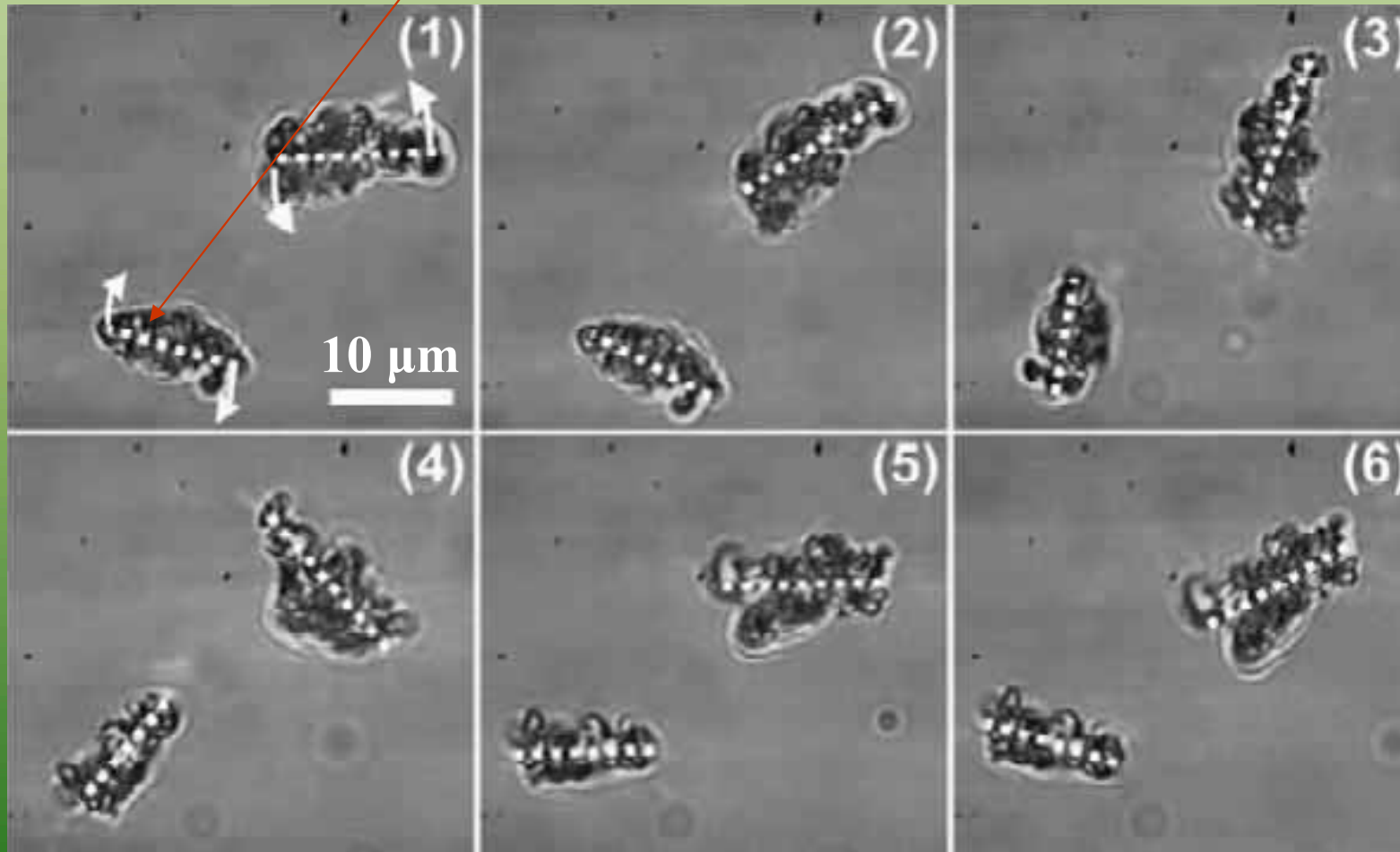


Ø1  $\mu\text{m}$  polistireno  
dalelės vandenyje

Visa pluošto  
galia – 3mW  
(830 nm)

# Pailgų objektų sukimas (2D)

10x6  $\mu\text{m}$  polistireno dalelės vandenyje; (kas 10 s)

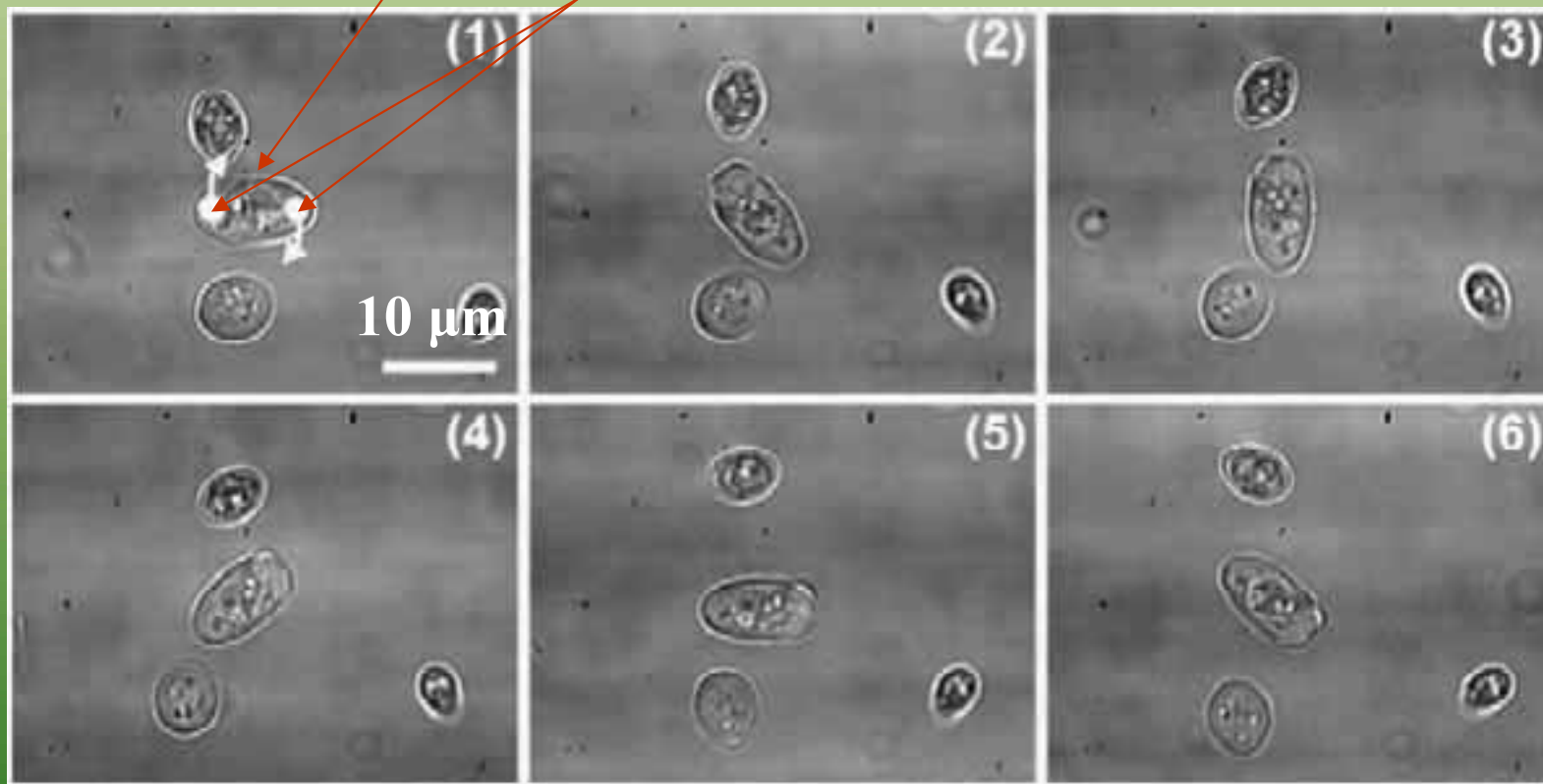


5x3  $\mu\text{m}$   
eliptiška  
šviesos dėmė  
(3mW,  
830 nm)

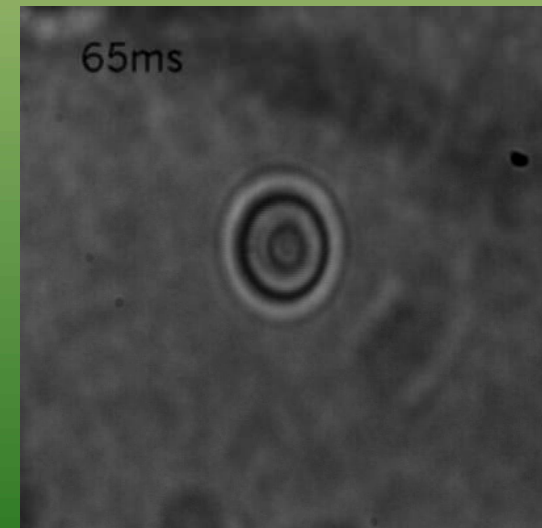
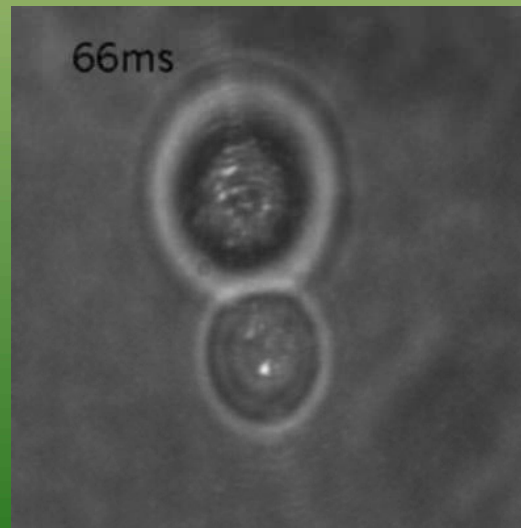
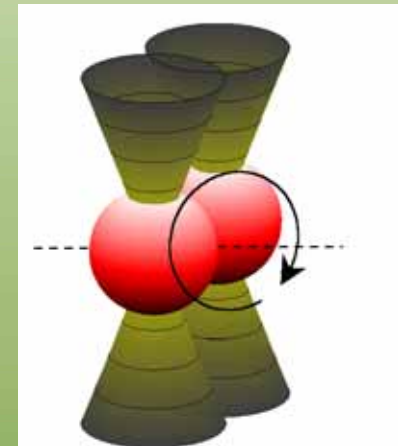
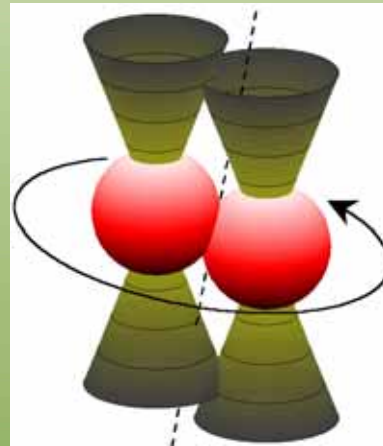
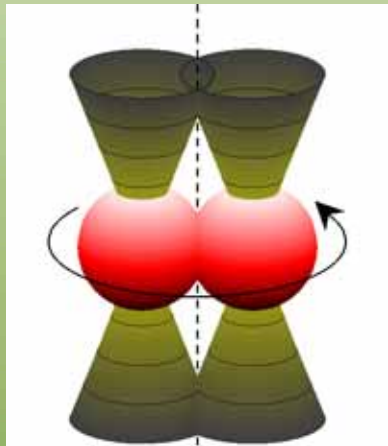
# Pailgų objektų sukimas (2D)

Mielių molekulė vandenyje; (kas 15 s)

Du apskritiminės simetrijos pluoštai

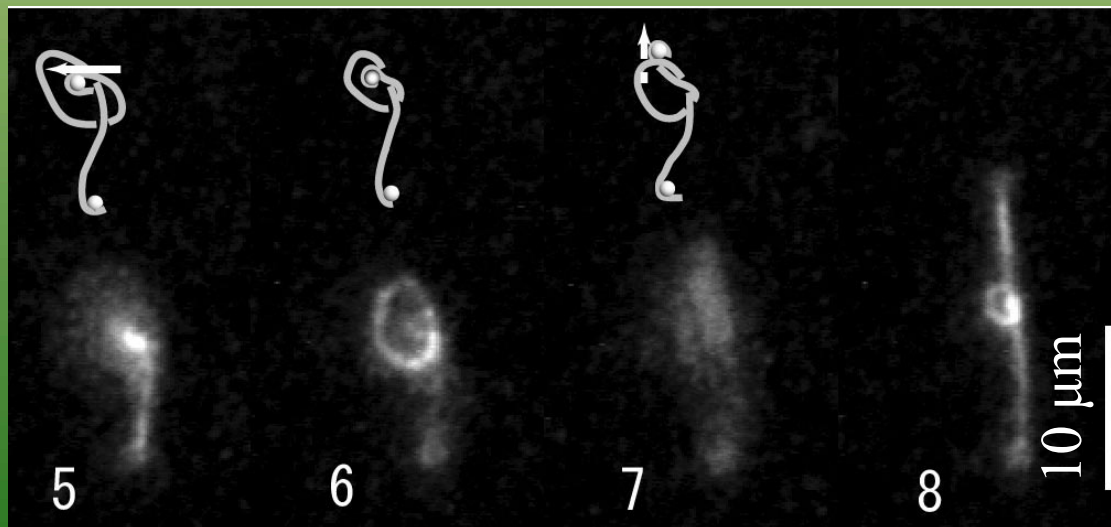
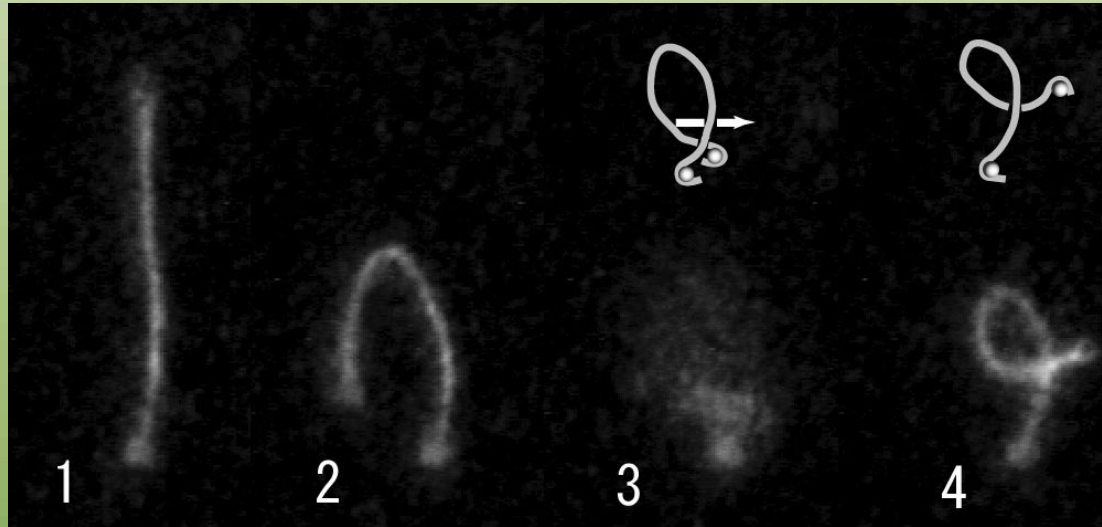


# Objektų sukimas bet kurioje plokštumoje



5  $\mu\text{m}$   
SiO<sub>2</sub>

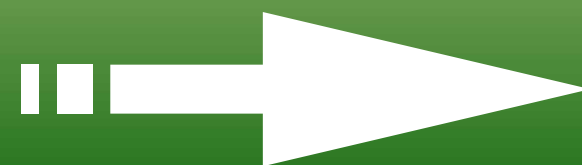
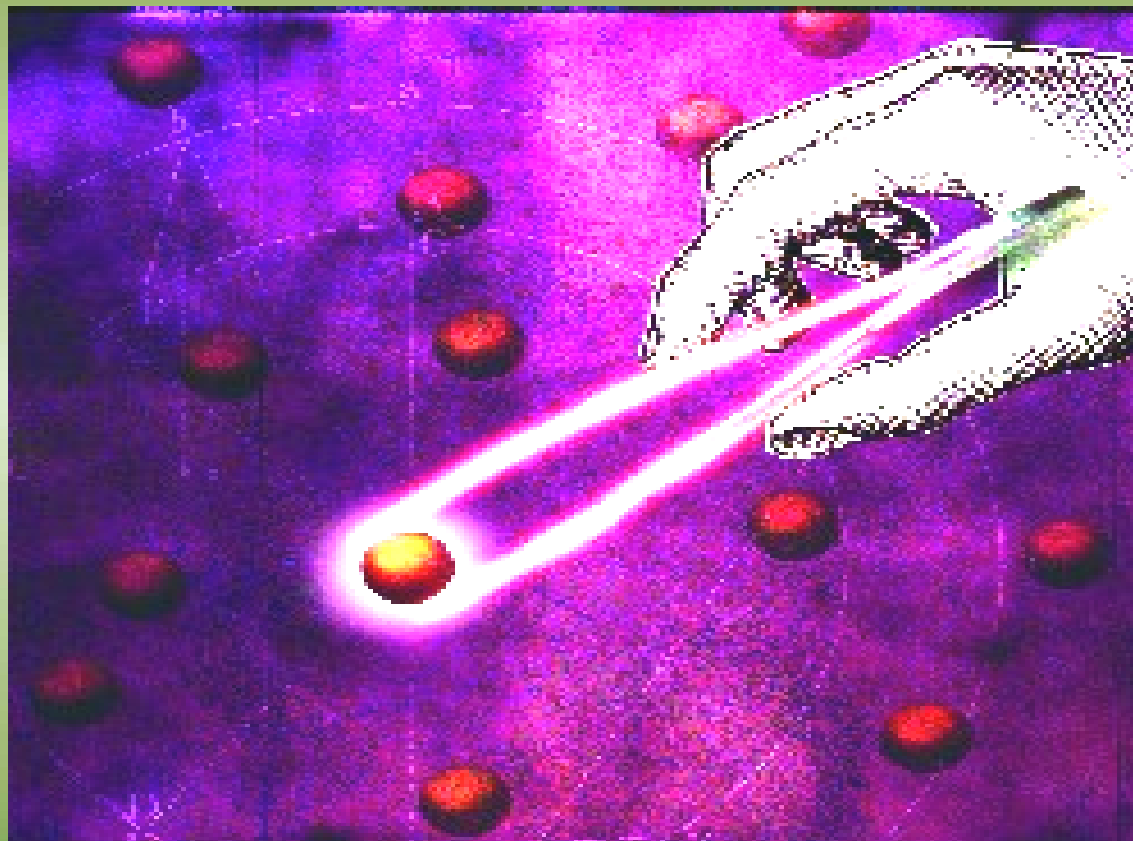
# „Žaidimai” su DNR molekulėmis



DNR molekulės galus prikabinus prie polistireno sferų, galima išmatuoti DNR

- tamprumą,
- lankstumą,
- ...
- surišti mazgus !

# Tiek apžvalgos...







UNIVERSITY  
of  
GLASGOW

*Virginija Bingelytė*

# Optiškai valdomas mikroobjektų sukimas įvairiais pluoštais

Lazerinės fizikos ir optinių technologijų magistrinių studijų programos

Baigiamasis darbas

Vadovai:        prof. *Valdas Sirutkaitis*, prof. *Miles Padgett*

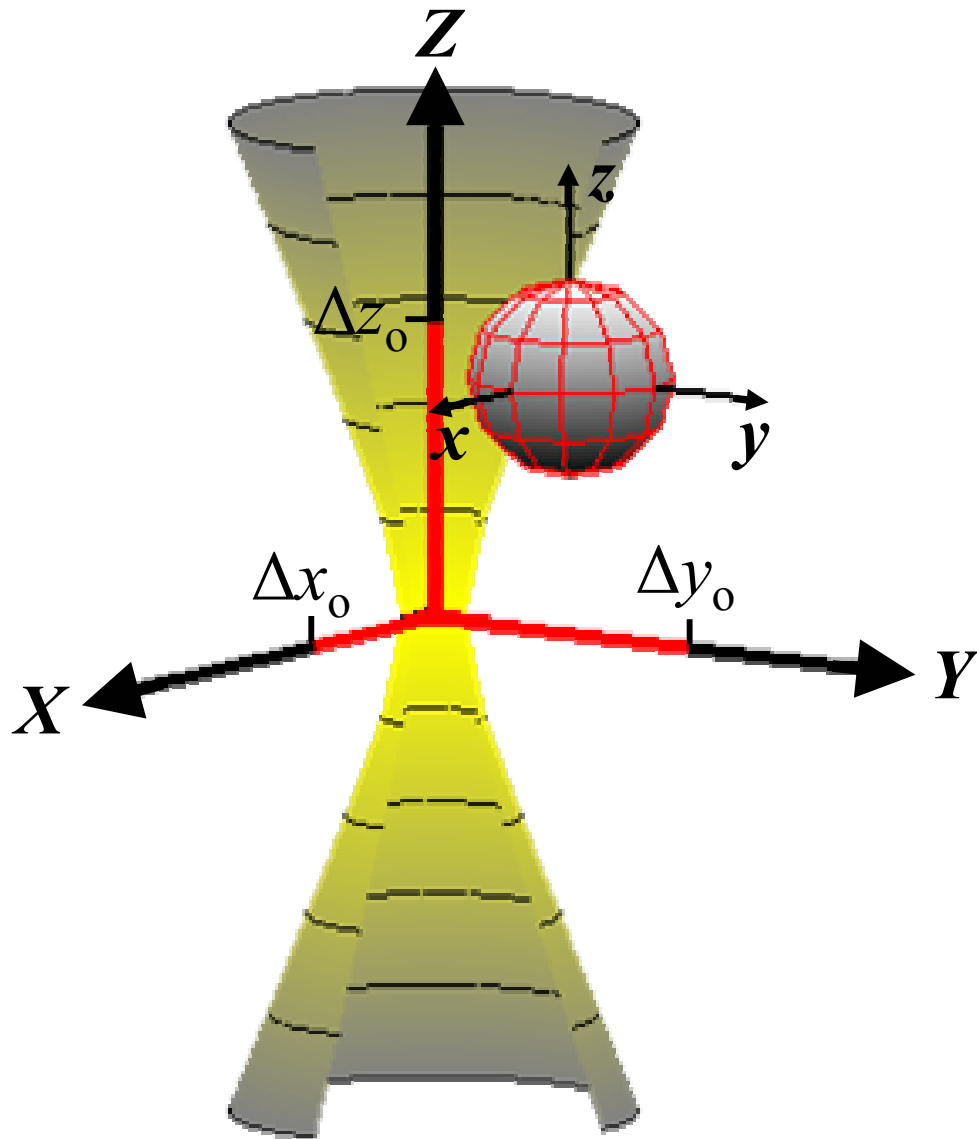
Vilnius 2003



# Darbo tikslai:

1. Sukurti modelį optinio pinceto efektyvumui apskaičiuoti
2. Palyginti įvairių intensyvumo profilių pluoštus
3. Įrodyti, jog panaudojant aukštesnės eilės Lagero-Gauso modas galima sukurti objektus trimatėje erdvėje

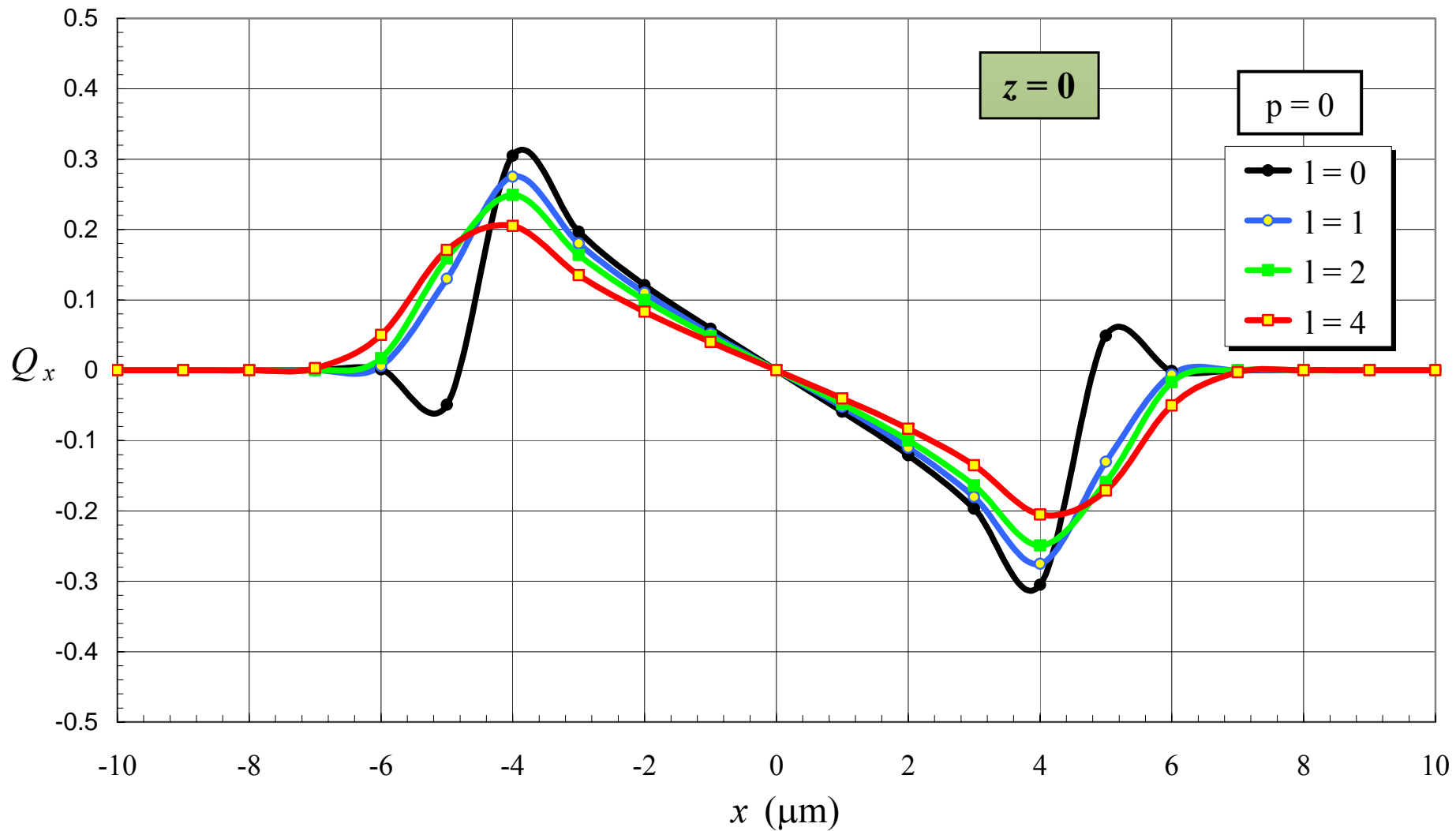
# Modelis



- ✓ Pluoštas aprašomas spindulių paketu, susietu su sferos koordinatėmis
- ✓ Spindulių kryptis tapatinama su Pointingo vektorių kryptimis
- ✓ Įvertinus intensyvumą, sumuojamos reakcijos jėgos dėl spindulių lūžio ir atspindžio

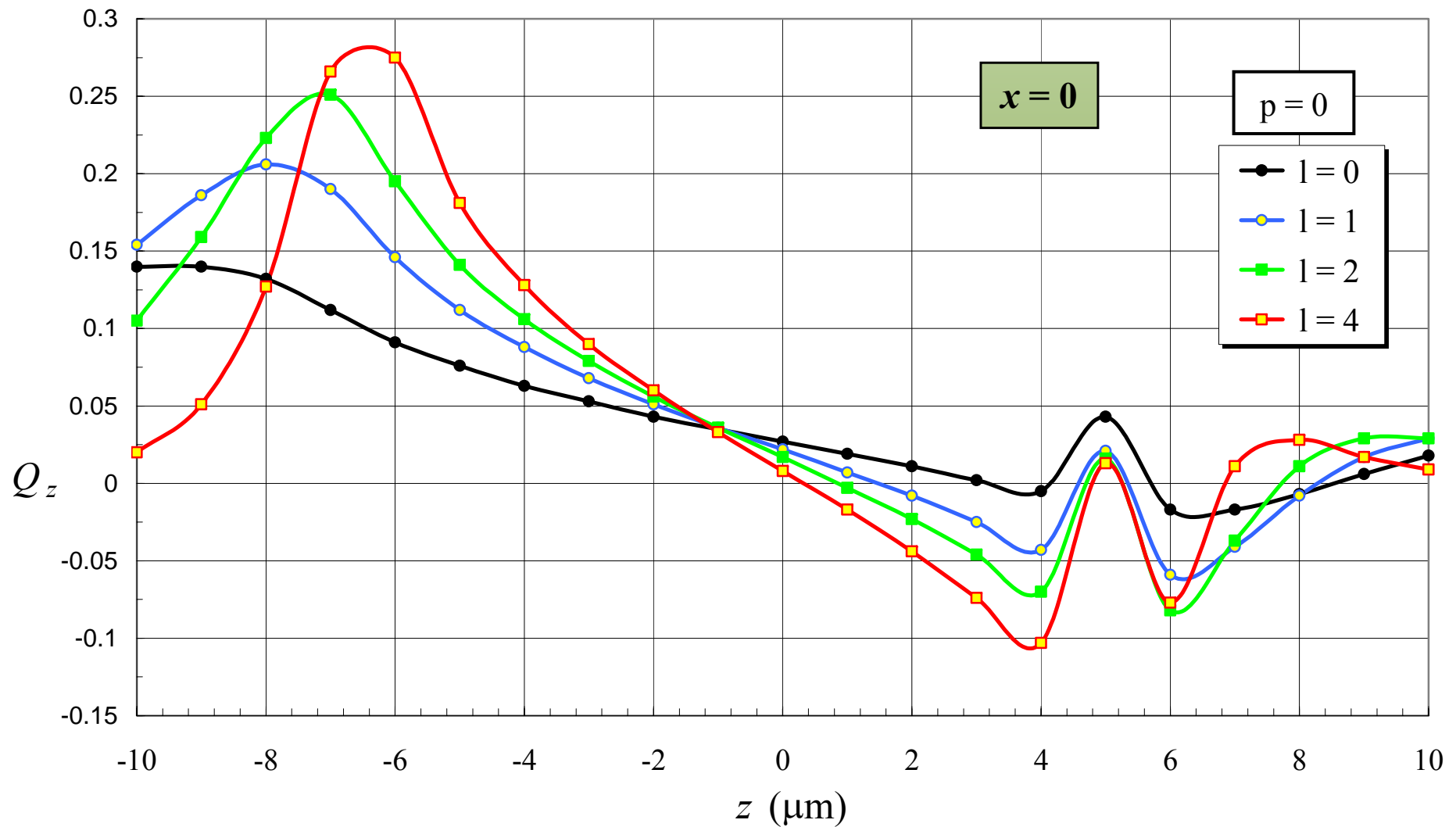
# LG<sub>p</sub><sup>l</sup> modų skersinės jėgos

$\lambda = 0,488 \mu\text{m}$ ,  $w_0 = 0,2 \mu\text{m}$ ;  $r_{\text{sferos}} = 5 \mu\text{m}$ ,  $n_{\text{sferos}} = 1,596$ ,  $n_{\text{terpės}} = 1,33$ ;



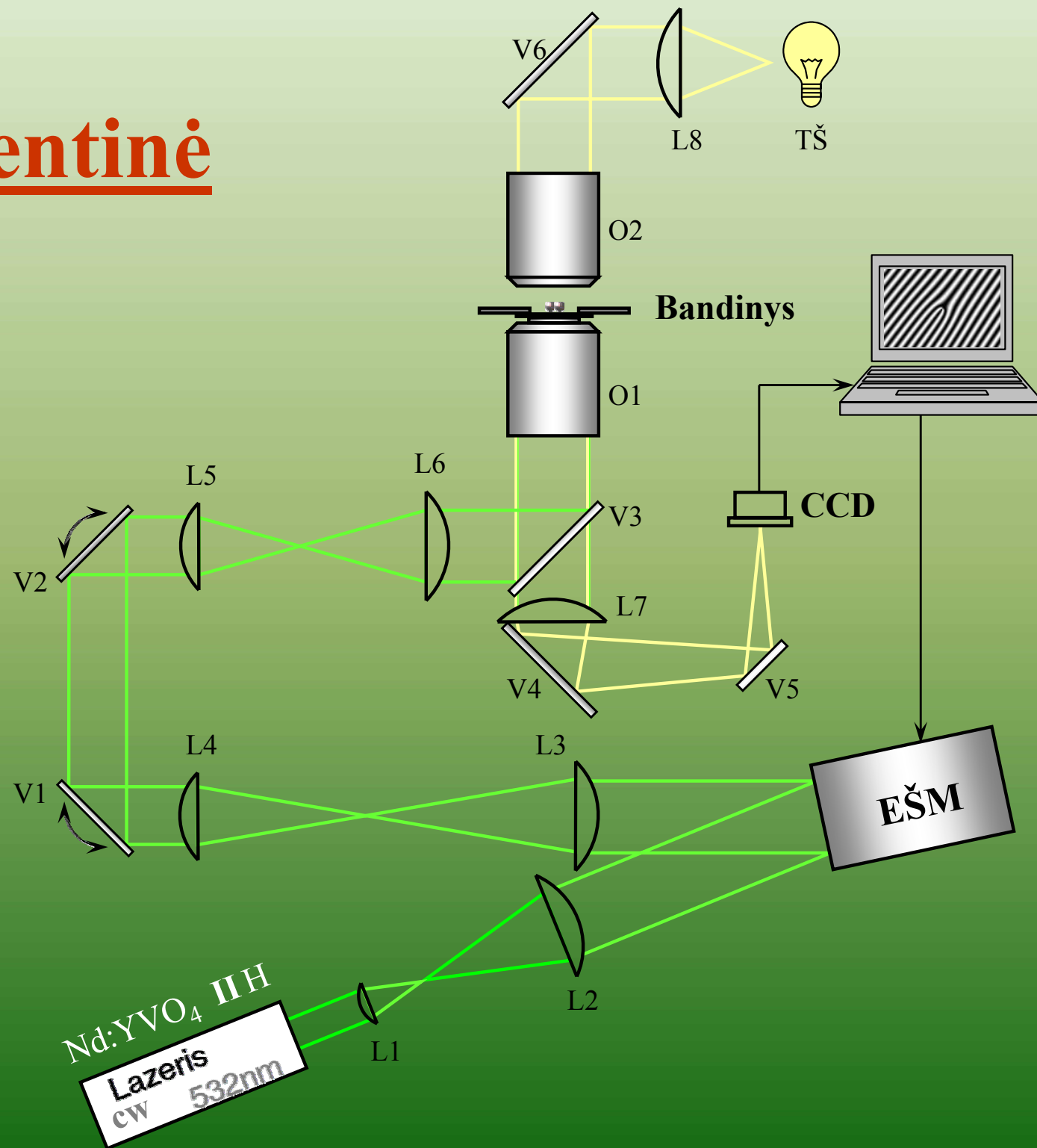
# LG<sub>p</sub><sup>l</sup> modų ašinės jėgos

$\lambda = 0,488 \mu\text{m}$ ,  $w_0 = 0,2 \mu\text{m}$ ;  $r_{\text{sferos}} = 5 \mu\text{m}$ ,  $n_{\text{sferos}} = 1,596$ ,  $n_{\text{terpės}} = 1,33$ ;

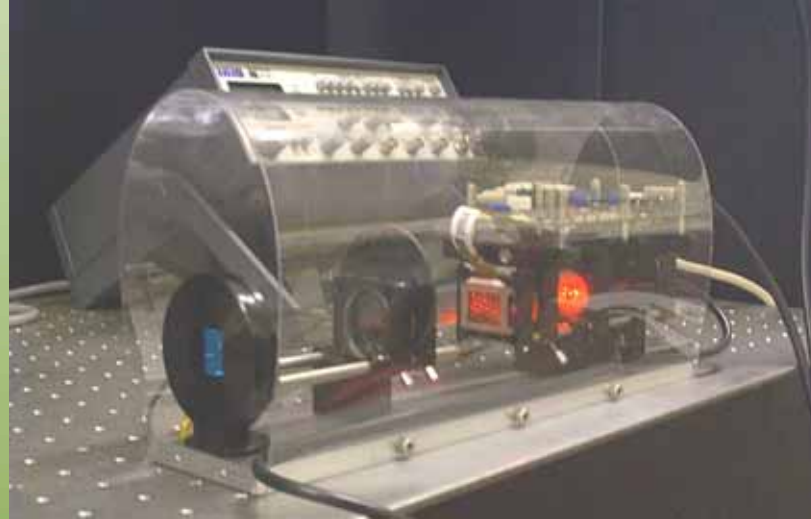


# Eksperimentinė

## schema

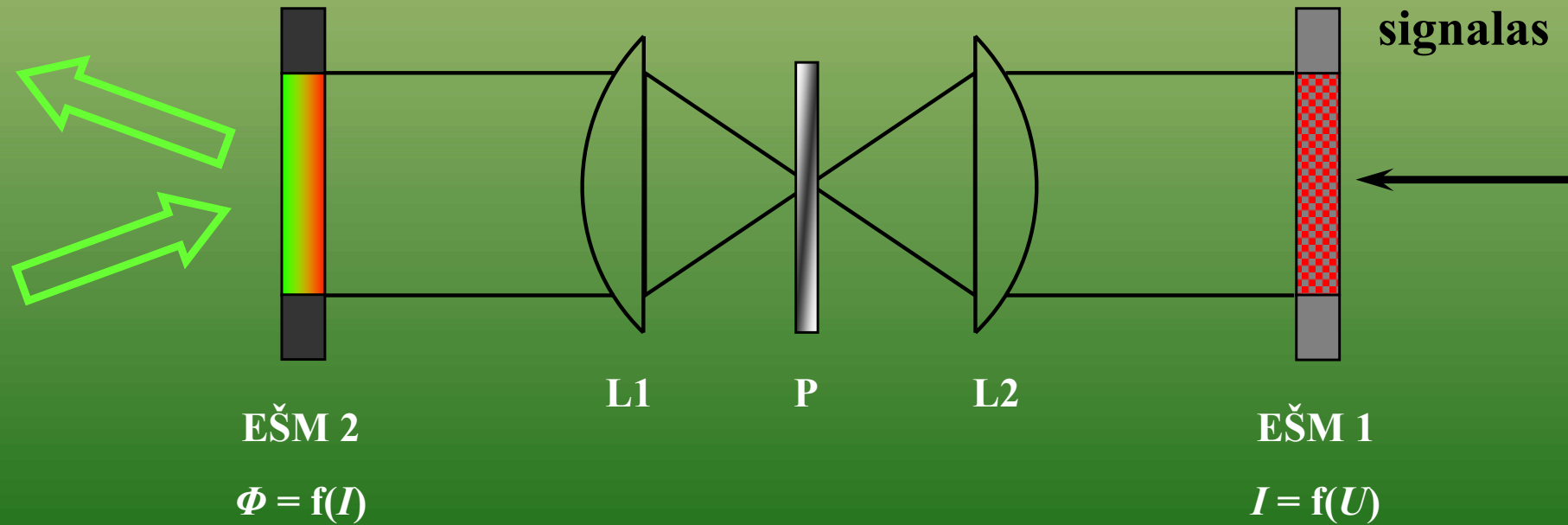


# Detali EŠM schema



Lazerio  
šviesa

Kompiuteriu  
valdomas  
elektrinis  
signalas

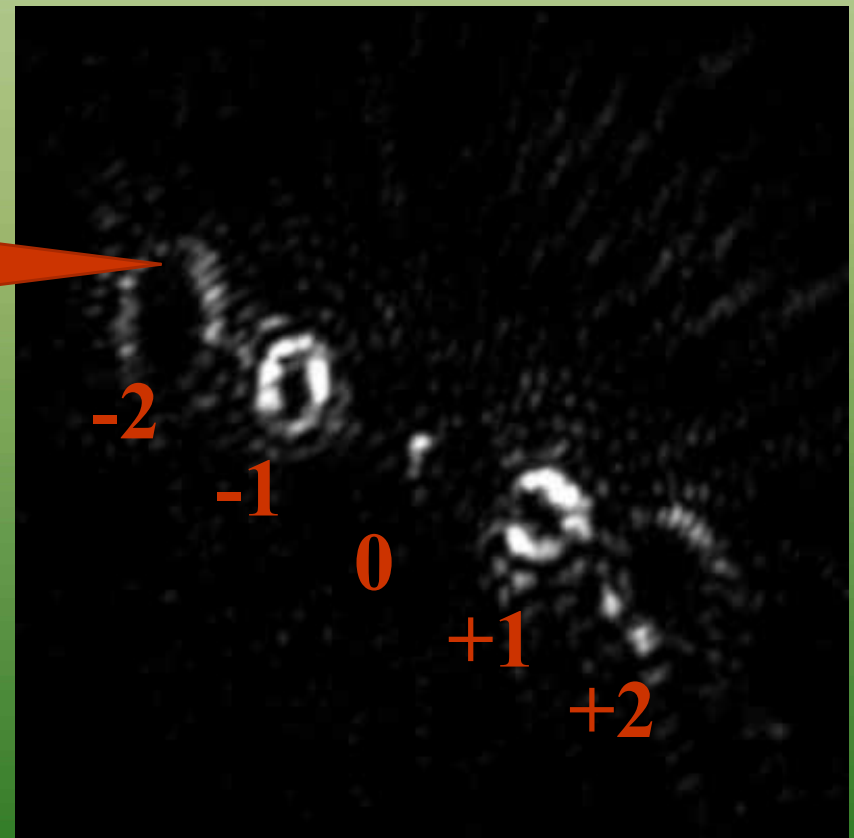


# „Priežastis – pasekmė”

$f(x)$

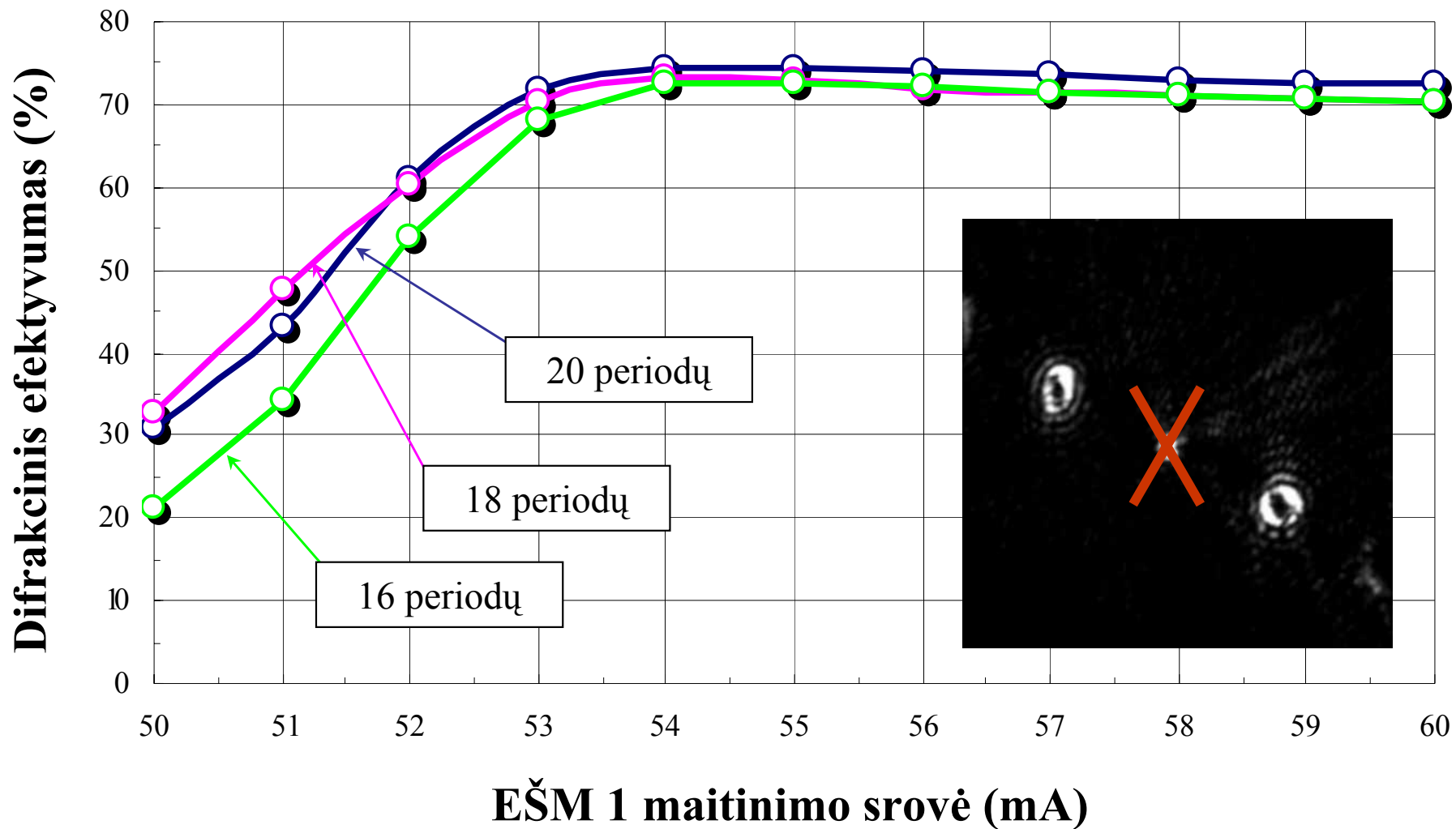


*20 periodų*  
 *$l = 5$*



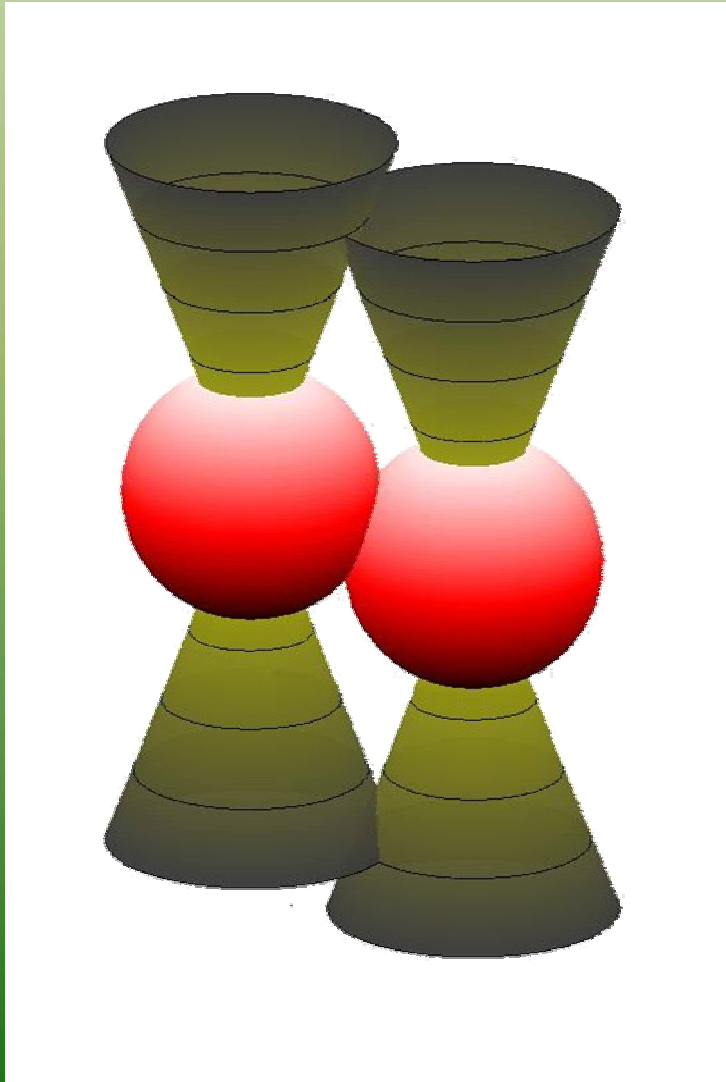
# EŠM difrakcinis efektyvumas

$$f(x) = \sin(x)$$





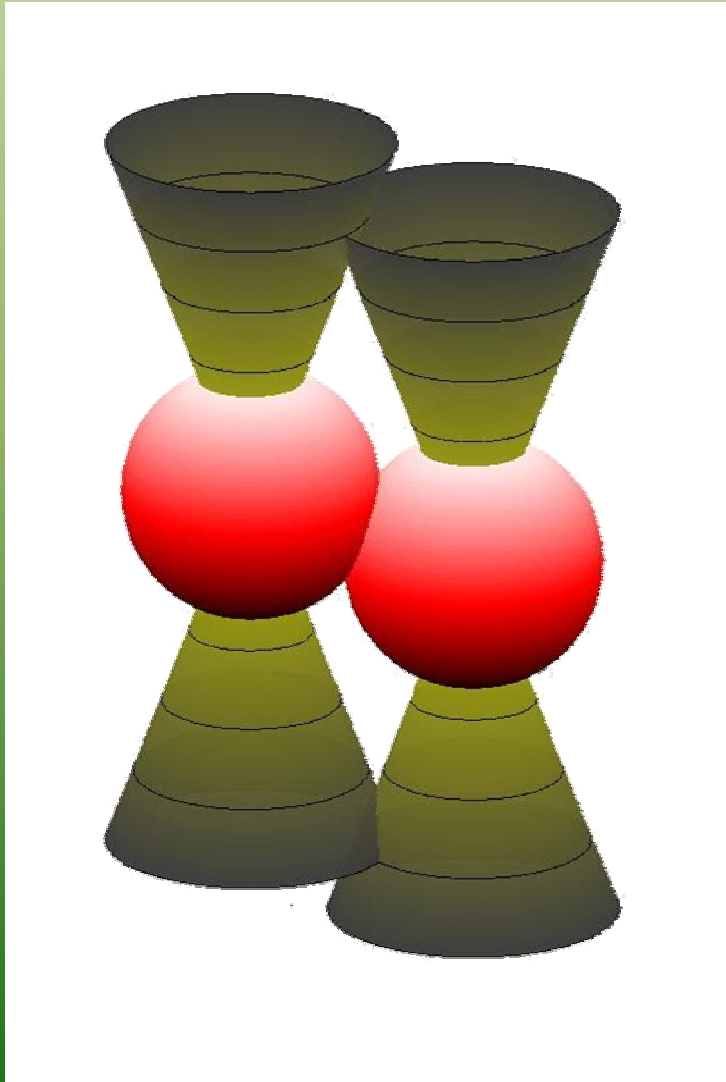
# Manipuliavimas objektais



## **Bandiniai:**

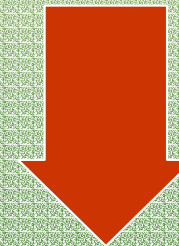
- ✓ 1 , 2 ir 5  $\mu\text{m}$  amorfinio  $\text{SiO}_2$  sferinės dalelės  $\text{H}_2\text{O}$  terpėje
- ✓ Kai kurios iš jų sulipe poromis – pailgas mikroobjektas

# Manipuliavimas objektais



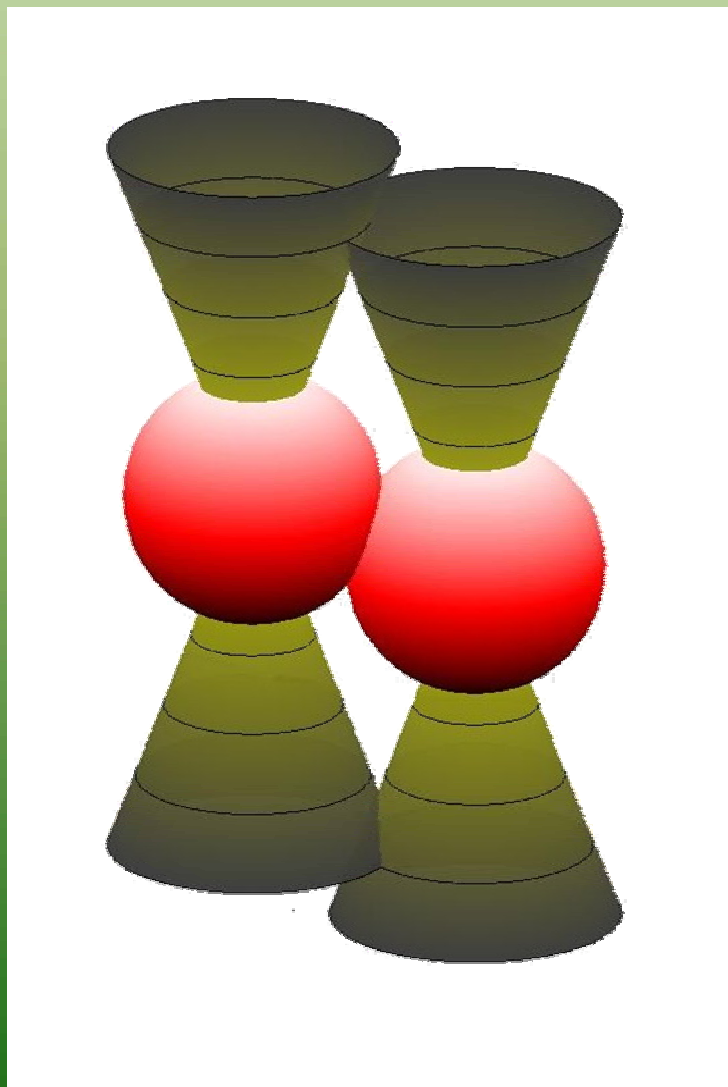
## Rezultatai:

- ✓ 1  $\mu\text{m}$  dalelei pagauti reikia visos pluošto galios (100mW)



galima transportuoti  
tik vieną dalelę

# Manipuliavimas objektais



## Rezultatai:

- ✓ 2  $\mu\text{m}$  dalelėms pakanka 30 % pluošto galios



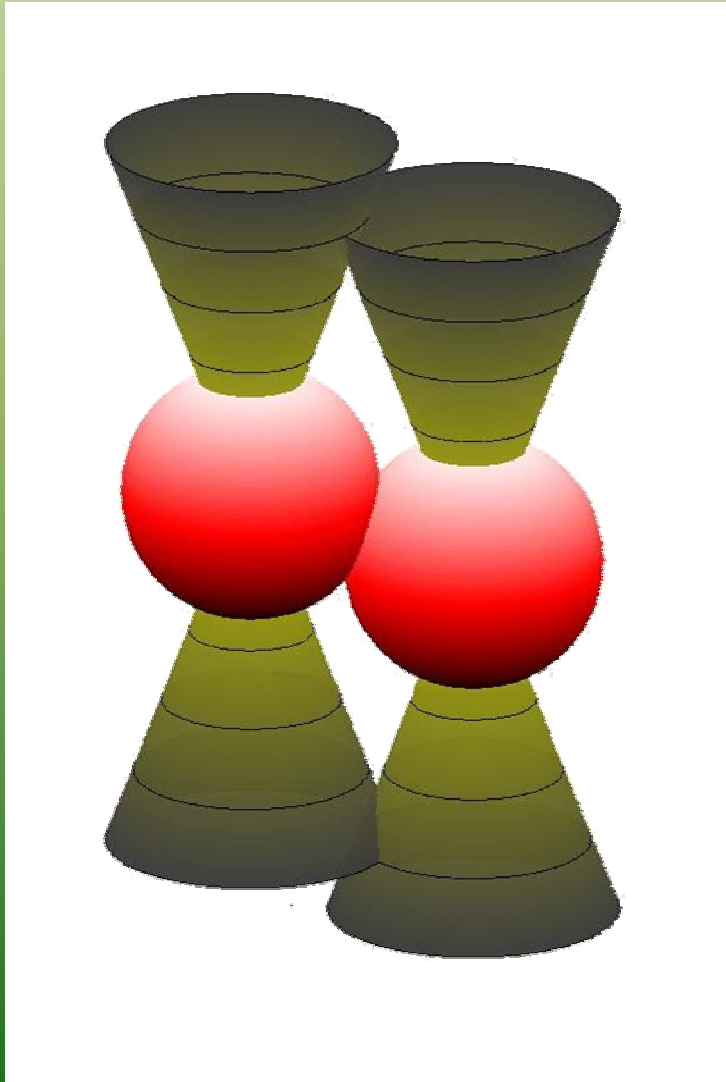
nesunku pagauti  
**2 daleles** arba  
sulipusią jų porą

- ✓ Kuo didesnis azimutinis kvantinis skaičius  $l$ , tuo greičiau galima judinti



**geresnis pagavimas**

# Manipulavimas objektais



## Rezultatai:

- ✓  $5 \mu\text{m}$  dalelės taip pat pagaunamos +1 ir -1 eilės difrakciniais maks.
- ✓ Sunkiau pagauti (galbūt dėl did. masės ar stebėjimo nepatogumo )

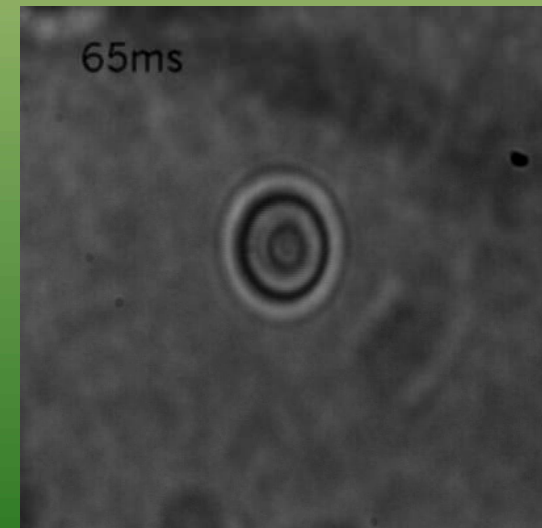
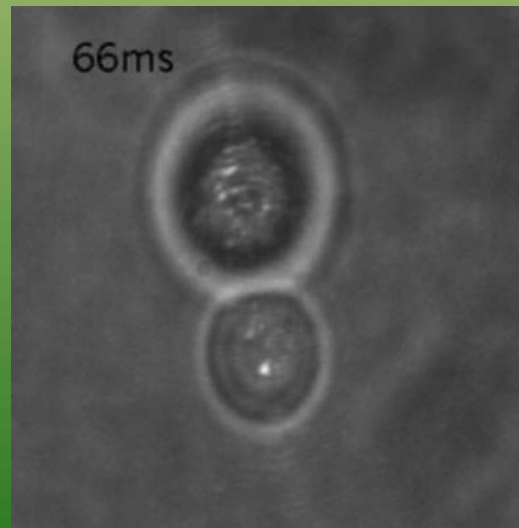
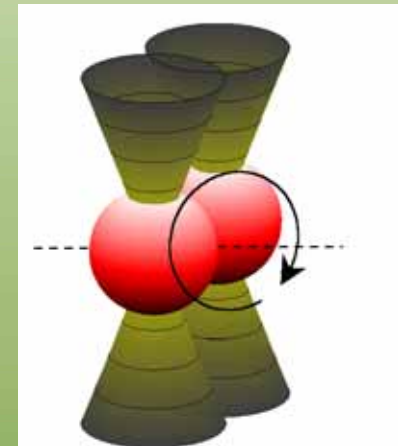
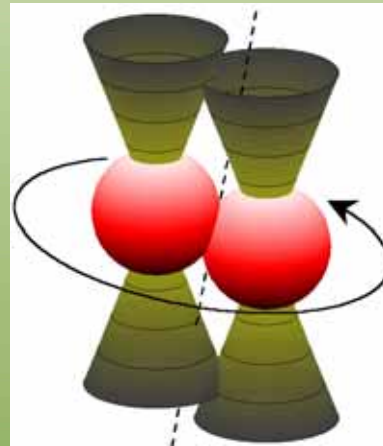
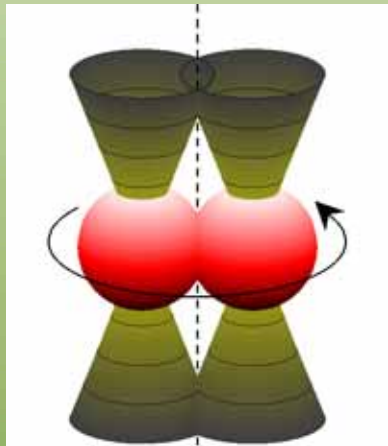
**bet** sunkiau ir ištrūksta

- ✓ Kai  $l = 2$ , dalelės nepametamos net jei yra viena virš kitos



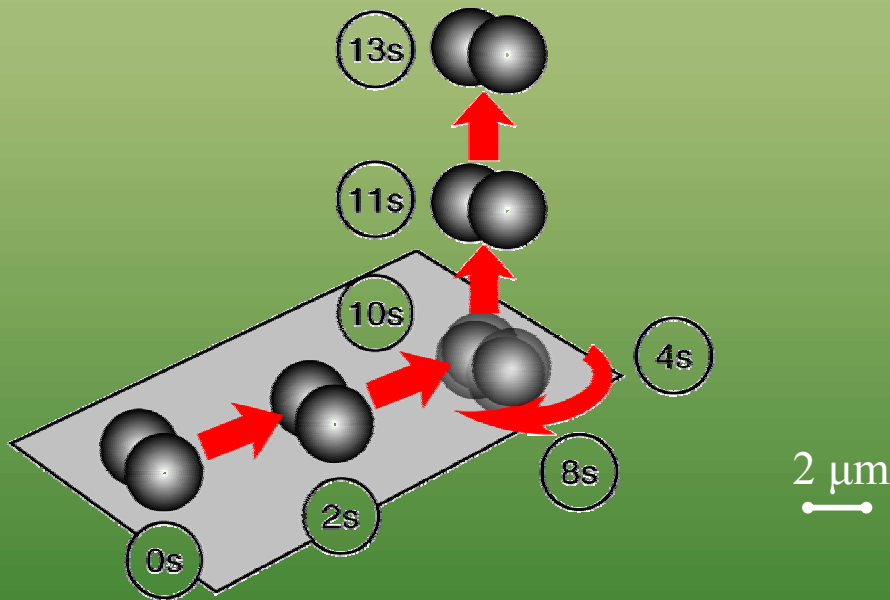
**įmanomas sukimas  
vertikaliuoje plokštumoje**

# Objektų sukimas bet kurioje plokštumoje



5  $\mu\text{m}$   
SiO<sub>2</sub>

# Sukimas ir transliavimas trimatėje erdvėje



[ V.Bingelyte *et al.* Appl. Phys. Lett. 82, 020307 (2003) ]



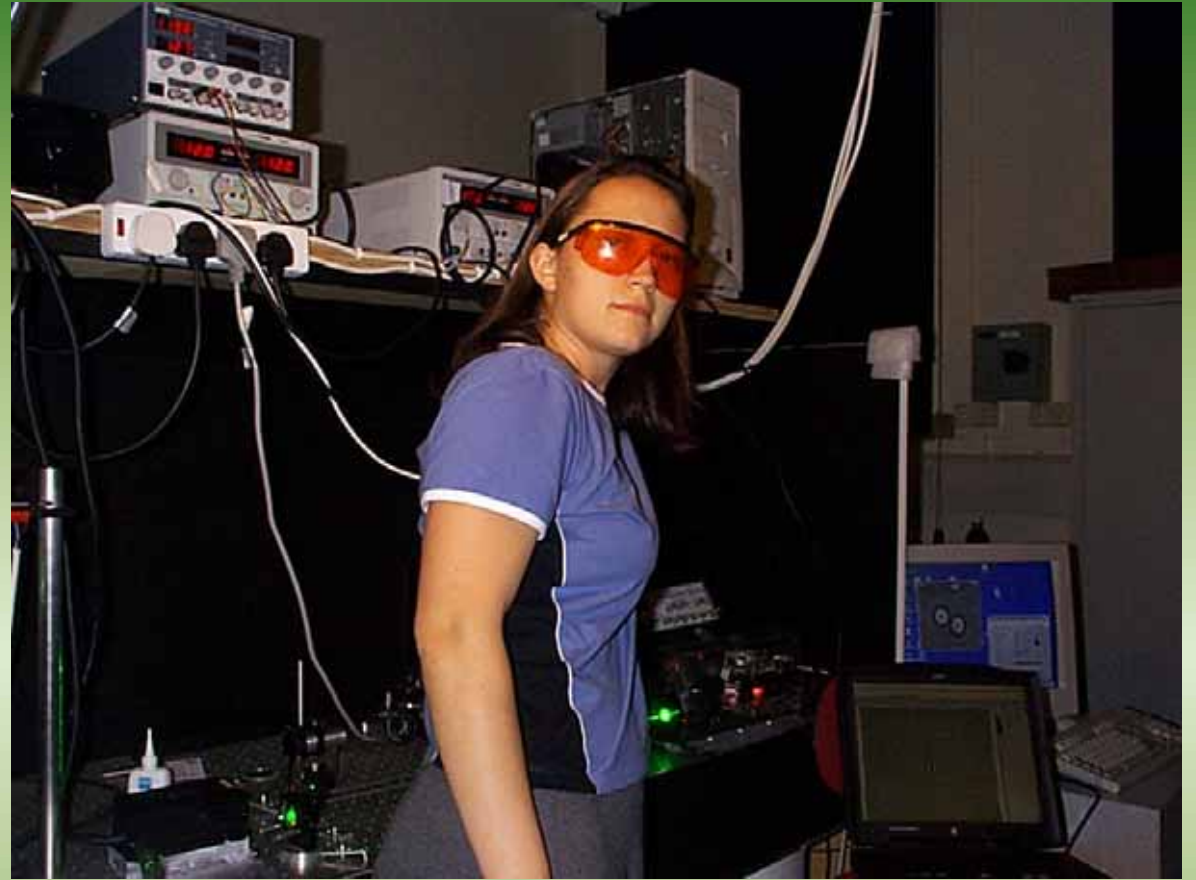
# Apibendrinimas

- Erdvinės šviesos moduliacijos būdu gaunama savarankiškų optinių spąstų visuma
  - Naudojant didelės skyros EŠM, maždaug po 30% pluošto galios tenka  $+1$  ir  $-1$  eilės difr. maksimumams ir yra panaudojama objektų manipuliavimui
  - Fazinis modulatoriaus paveikslas sudarytas iš:
    - Periodinės vert. (hor.) juostų funkcijos – slinkimas x (y) kryptimi
    - Frenelio lęšio daugiklio – slinkimas z kryptimi
    - Daugiklio, sąlygojančio spiralinį fazės frontą
- !!! Manipuliavimas trimatėje erdvėje**
- $l < 2$  užtikrina stabilų  $2 \mu\text{m}$  ir  $5 \mu\text{m}$  kvarco sferų porų sukimąsi apie pasirinktą ašį ( $\sim 0,2 \text{ Hz}$ )

# Išvados

- Sukurtas geometrinės optikos modelis optinio pinceto efektyvumui skaičiuoti.  $TEM_{00}$  modos ašinės jėgos skaičiavimai gana gerai sutampa su *Gussgard ir kt.*[11] rezultatais
- Palyginti įvairių  $LG_p^l$  modų optinių spąstų efektyvumai :
  - didėjant  $l$ , ašinis pagavimas gerėja, o skersinis – blogėja,
  - aiškios priklausomybės nuo  $p$  nėra
- Sukonstruota holografinio optiniu pinceto schema. Realiu laiku valdoma erdvinė šviesos moduliacija sąlygoja dinaminį optinio pinceto režimą
- Kuomet fazinis modulatoriaus paveikslas sudarytas iš:
  - Periodinės vert. (hor.) juostų funkcijos – slinkimas  $x$  ( $y$ ) kryptimi ,
  - Frenelio lęšio daugiklio – slinkimas  $z$  kryptimi ,
  - Daugiklio, sąlygojančio spiralinę fazės kitimą –  $LG_0^l$  atsiradimas;suformuojami norimo profilio optiniai spąstai bet kurioje bandinio plokštumoje
- $l < 2$  užtikrina stabilų  $2 \mu\text{m}$  ir  $5 \mu\text{m}$  kvarco sferų porų sukimąsi apie pasirinktą ašį ( $\sim 0,2 \text{ Hz}$ )





Ačiū už dėmesį