



CENTRE FOR ADVANCED LASER TECHNIQUES

Pomak modova optičkog rezonatora uslijed disperzivne interakcije s oblakom hladnih atoma

Eva Hudec, SSIF 2024./25.

Projekt je sufinanciran u okviru OP Konkurentnost i kohezija, iz Europskog fonda za regionalni razvoj.

Motivacija

Hlađenje atoma

- temperature μK - nK $\gg$ kvantni efekti

Hlađenje atoma

- temperature μK - nK $\gg$ kvantni efekti
- primjene
 - fundamentalna kvantna fizika
 - kvantne simulacije
 - metrologija

Letter | Published: 23 December 2015

Quantum superposition at the half-metre scale

[T. Kovachy](#), [P. Asenbaum](#), [C. Overstreet](#), [C. A. Donnelly](#), [S. M. Dickerson](#), [A. Sugarbaker](#), [J. M. Hogan](#) & [M. A. Kasevich](#) 

[Nature](#) **528**, 530–533 (2015) | [Cite this article](#)

Quantum simulations with ultracold atoms in optical lattices

[CHRISTIAN GROSS](#)  AND [IMMANUEL BLOCH](#)  [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 8 Sep 2017 • Vol 357, Issue 6355 • pp. 995-1001 • DOI: [10.1126/science.aal3837](#)

Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles

[Luca Pezzè](#) and [Augusto Smerzi](#)

[Markus K. Oberthaler](#)

[Roman Schmied](#) and [Philipp Treutlein](#)

Show more 

Rev. Mod. Phys. **90**, 035005 – Published 5 September, 2018

Exj

Hlađenje atoma

- temperature μK - nK $\gg$ kvantni efekti
- primjene
 - fundamentalna kvantna fizika
 - kvantne simulacije
 - metrologija
- trenutne metode
 - ovise o strukturi elektronskih nivoa
 - alkalijski metali, plemeniti plinovi

Letter | Published: 23 December 2015

Quantum superposition at the half-metre scale

[T. Kovachy](#), [P. Asenbaum](#), [C. Overstreet](#), [C. A. Donnelly](#), [S. M. Dickerson](#), [A. Sugarbaker](#), [J. M. Hogan](#) & [M. A. Kasevich](#) 

[Nature](#) **528**, 530–533 (2015) | [Cite this article](#)

Quantum simulations with ultracold atoms in optical lattices

[CHRISTIAN GROSS](#)  AND [IMMANUEL BLOCH](#)  [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 8 Sep 2017 • Vol 357, Issue 6355 • pp. 995-1001 • DOI: [10.1126/science.aal3837](#)

Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles

[Luca Pezzè](#) and [Augusto Smerzi](#)

[Markus K. Oberthaler](#)

[Roman Schmied](#) and [Philipp Treutlein](#)

Show more 

Rev. Mod. Phys. **90**, 035005 – Published 5 September, 2018

Exj

Hlađenje atoma

- metoda neovisna o strukturi
 - ostatak PSE, molekule
 - kandidat: hlađenje potpomognuto optičkim rezonatorom

Hlađenje atoma

- metoda neovisna o strukturi
 - ostatak PSE, molekule
 - kandidat: hlađenje potpomognuto optičkim rezonatorom
- nužno poznavanje interakcije atoma i rezonatora
 - koristan alat: frekventni češalj

Hlađenje atoma

- metoda neovisna o strukturi
 - ostatak PSE, molekule
 - kandidat: hlađenje potpomognuto optičkim rezonatorom
- nužno poznavanje interakcije atoma i rezonatora
 - koristan alat: frekventni češalj
- ovaj postav = prvi s interakcijom više modova rezonatora i atoma

Pregled eksperimenta

- atomi Rb ohlađeni u magnetno-optičkoj stupici (MOT)



Pregled eksperimenta

- atomi Rb ohlađeni u magnetno-optičkoj stupici (MOT)
- MOT u središtu visoko reflektivnog optičkog rezonatora



Pregled eksperimenta

- atomi Rb ohlađeni u magnetno-optičkoj stupici (MOT)
- MOT u središtu visoko reflektivnog optičkog rezonatora
- kroz rezonator propuštamo frekventni češalj



Pregled eksperimenta

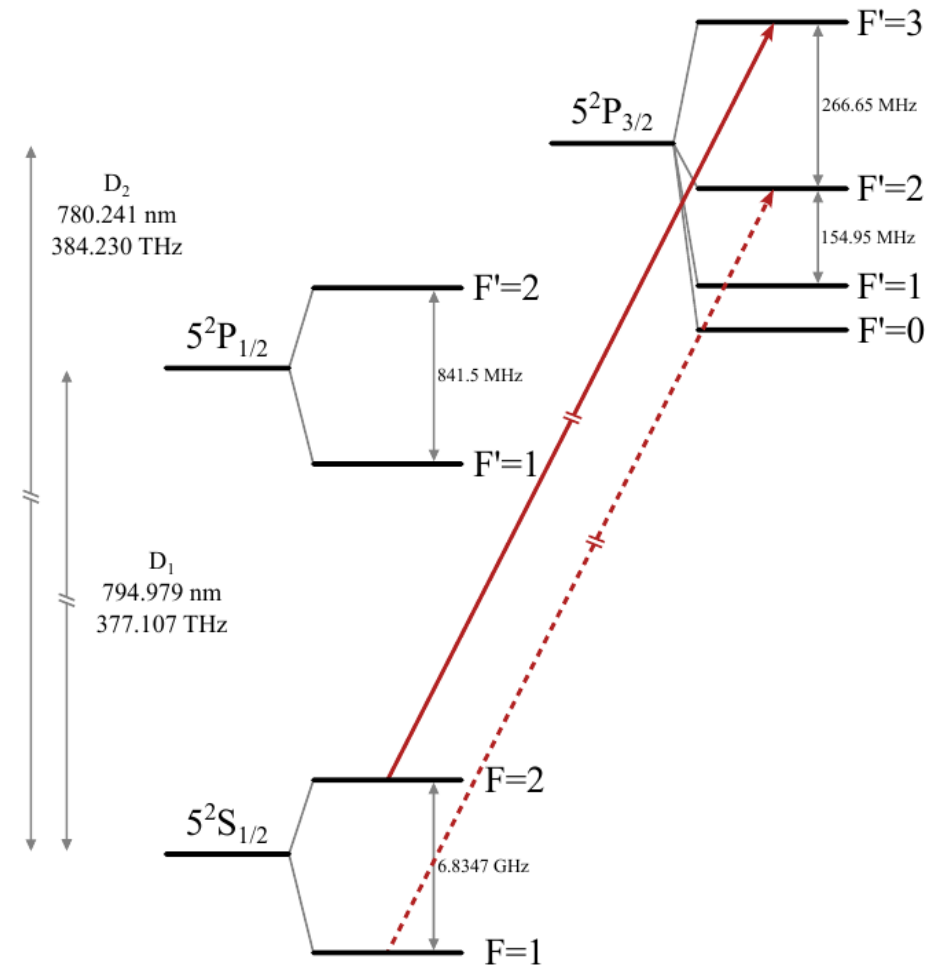
- atomi Rb ohlađeni u magnetno-optičkoj stupici (MOT)
- MOT u središtu visoko reflektivnog optičkog rezonatora
- kroz rezonator propuštamo frekventni češalj
- analiza transmitiranog spektra – OSA i metoda udara



Teorijska pozadina

Atom rubidija

- zatvoreni prijelaz D2
 - laser za hlađenje (puna crta)
- zabranjeni prijelaz D1
 - laser za naseljavanje (iscrtkana crta)



L. Kardum, diplomski rad (2024)

Magnetno-optička stupica

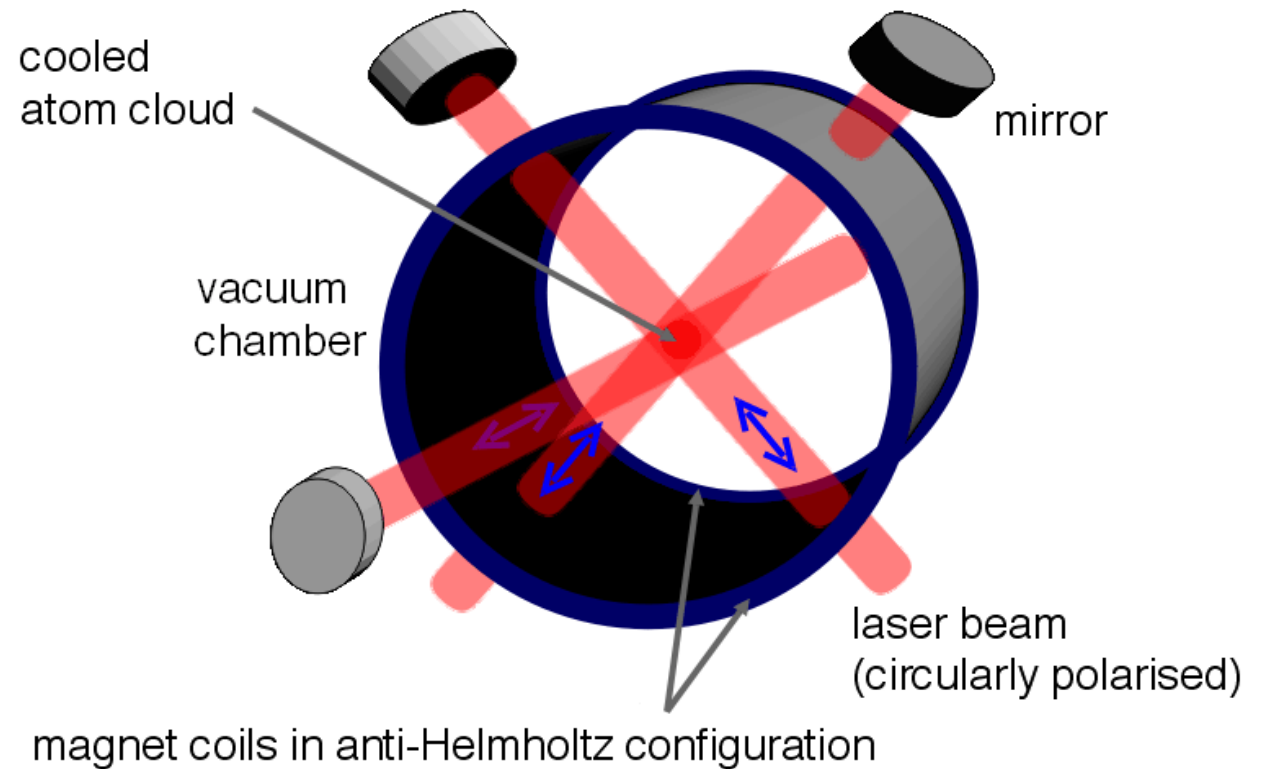
- Dopplerov efekt

Magnetno-optička stupica

- Dopplerov efekt
- gradijent magnetskog polja

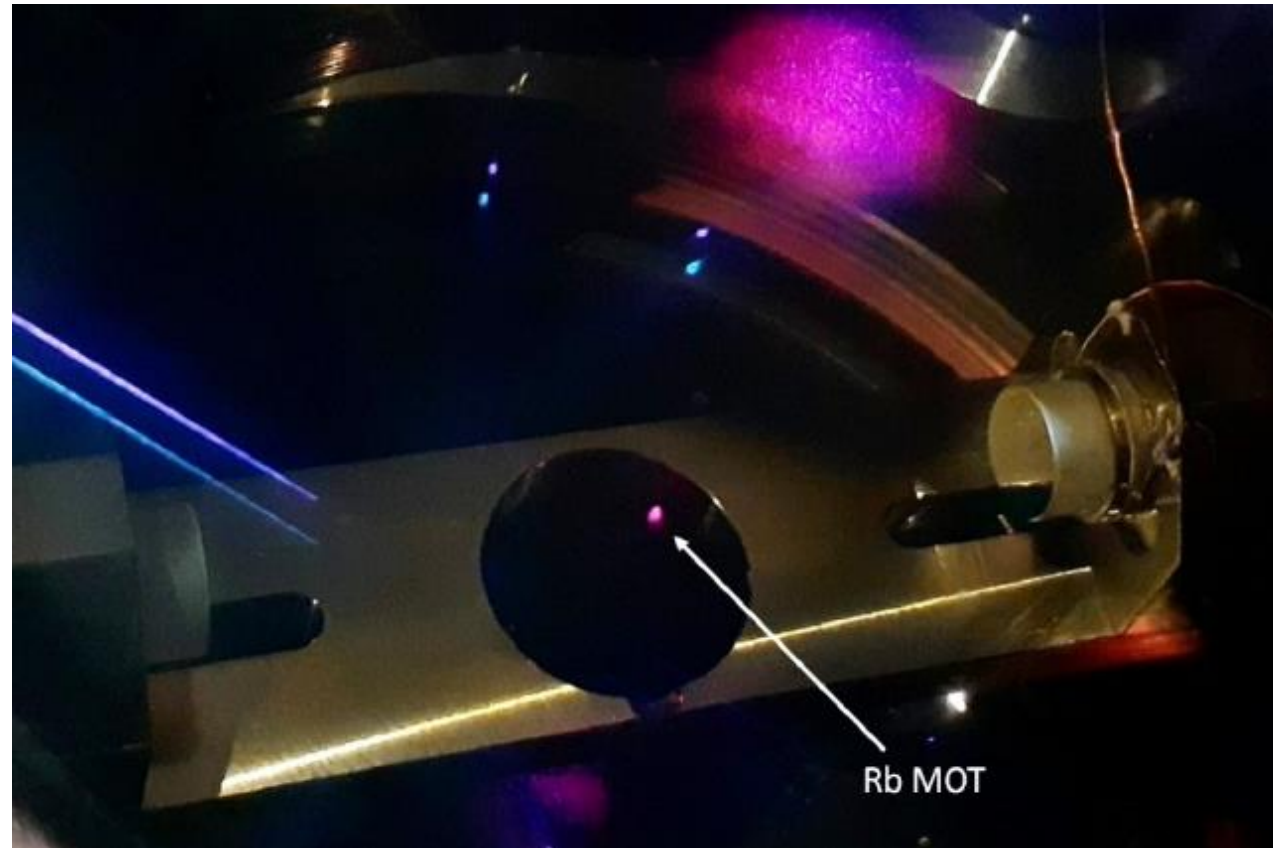
Magnetno-optička stupica

- Dopplerov efekt
- gradijent magnetskog polja
- 6 laserskih zraka u 3 ortogonalna smjera



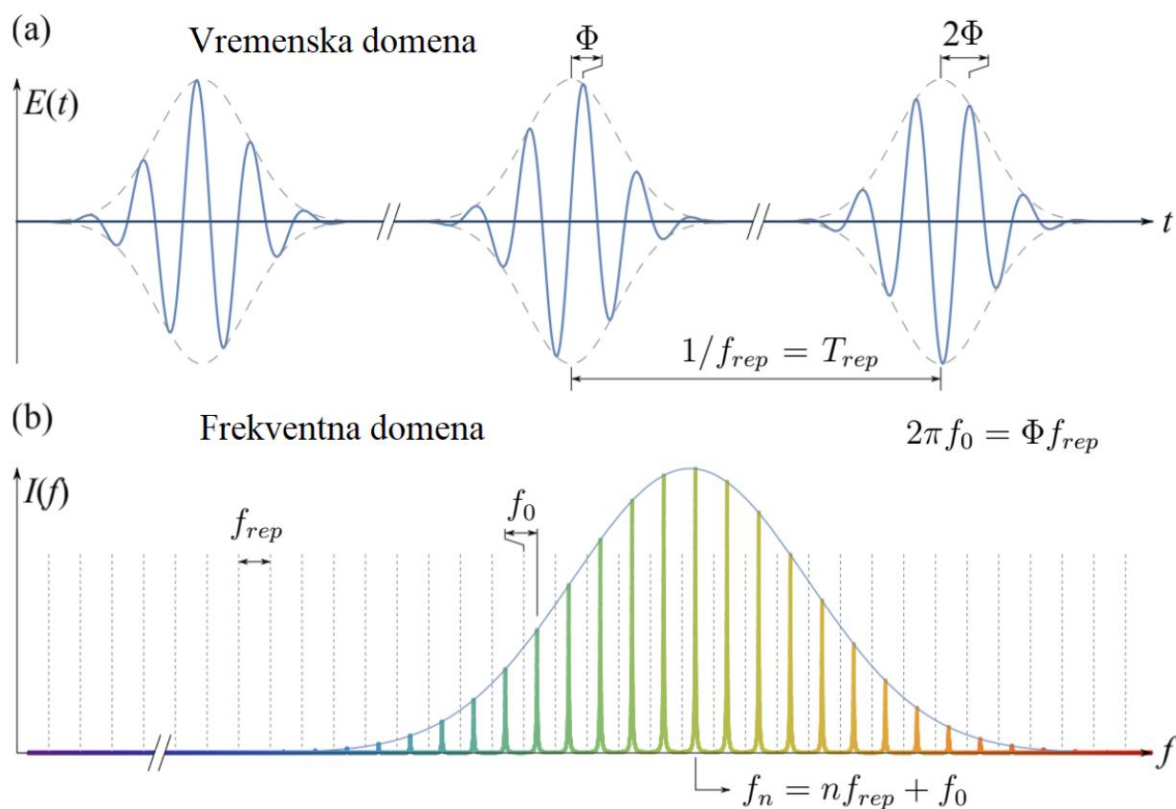
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MOT_setup.png

Magnetno-optička stupica



M. Kruljac, Cavity cooling and self-organization of atoms using an optical frequency comb, doktorski rad (2022)

Frekventni češalj (FC)



M. Kruljac, diplomski rad (2018)

$$f_n = f_0 + n f_{rep}$$

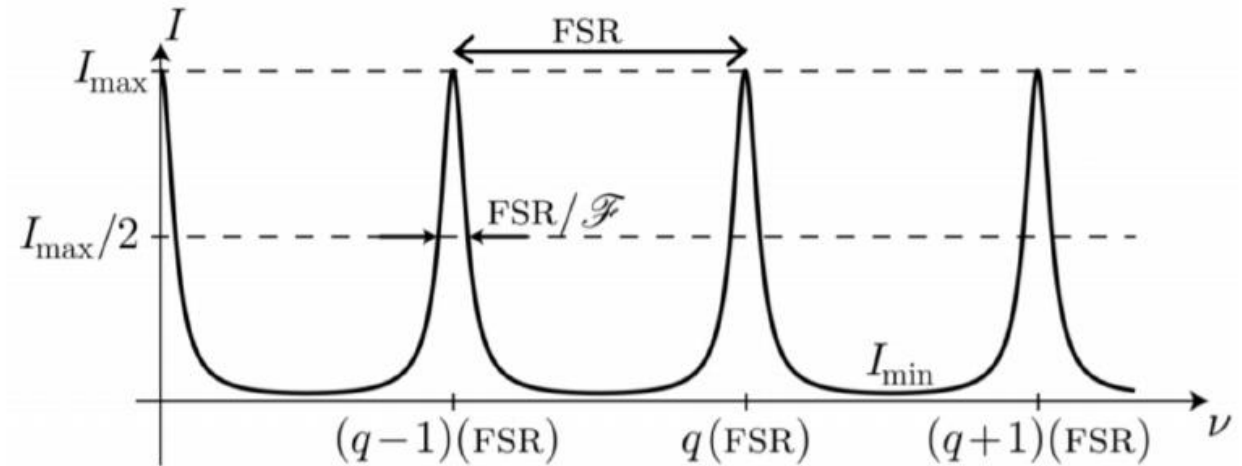
- f_n u optičkom području EM spektra
- f_0 i f_{rep} u radio (RF) području
- tipičan $n \approx 10^5 - 10^7$
- naš češalj: $f_{rep} = 80.495$ MHz

Optički rezonator

- 2 zrcala postavljena jedno prema drugome
- stojni valovi $f_q = q \frac{c}{2L}$

Optički rezonator

- 2 zrcala postavljena jedno prema drugome
- stojni valovi $f_q = q \frac{c}{2L}$
- spektar – 2 stupnja slobode
 - slobodni spektralni raspon (FSR)
 - finesa $\mathcal{F}$



<https://atomoptics.uoregon.edu/~dsteck/teaching/>

$$\text{FSR} = f_{q+1} - f_q = \frac{c}{2L}$$

Atomi u optičkom rezonatoru

- zanemarivi efekti saturacije $\gg$ linearno polarizabilne čestice
- disperzivni medij

Atomi u optičkom rezonatoru

- zanemarivi efekti saturacije $\gg$ linearno polarizabilne čestice
- disperzivni medij
- frekventni pomak svjetlosti U_0

$$U_0 = \frac{g^2 \Delta_a}{\Delta_a^2 + \Gamma^2}$$

g – Rabijeva frekvencija atoma
 Δ_a – detuning od atomske rezonancije
 Γ – stopa spontane deekscitacije

Promatrani prijelaz Rb: $\Gamma \approx 6$ MHz

Eksperimentalni postav i metode

Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...

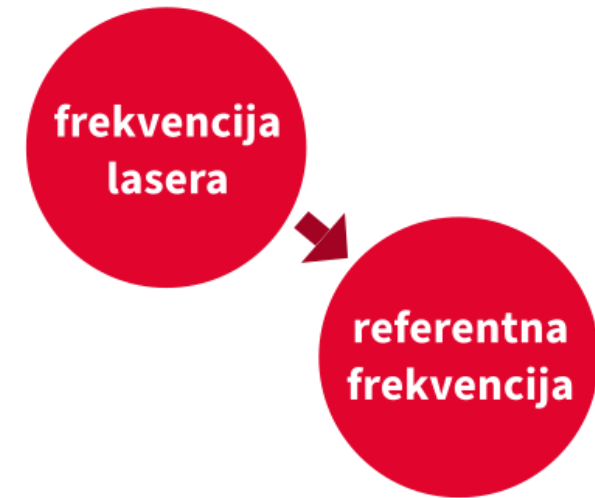
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



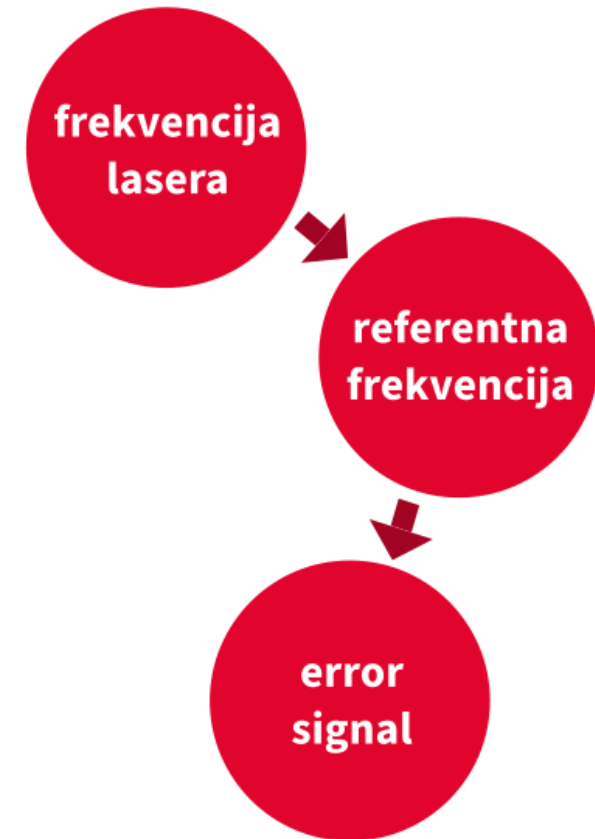
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



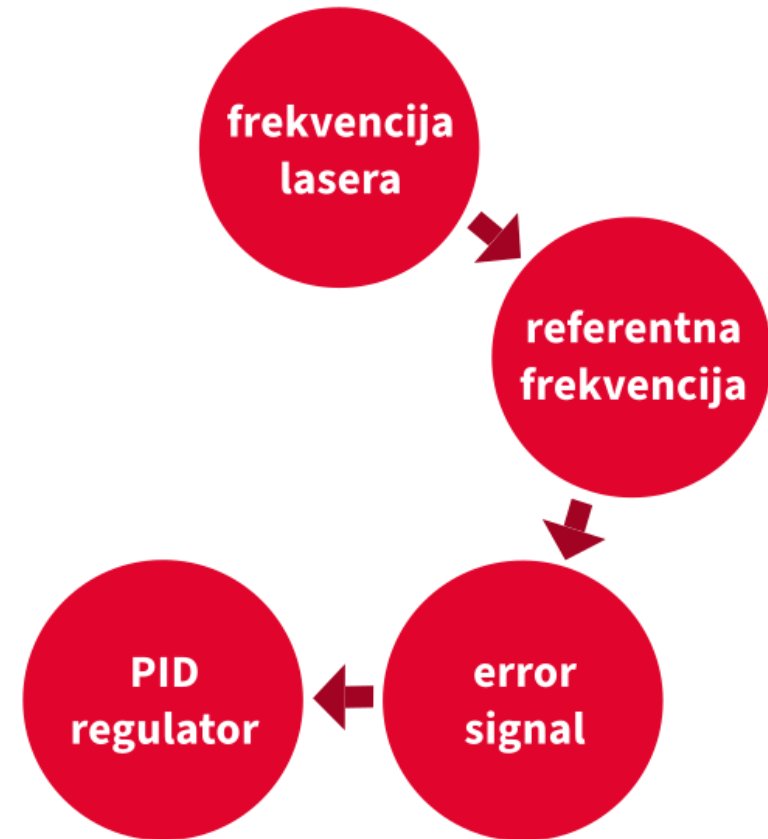
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



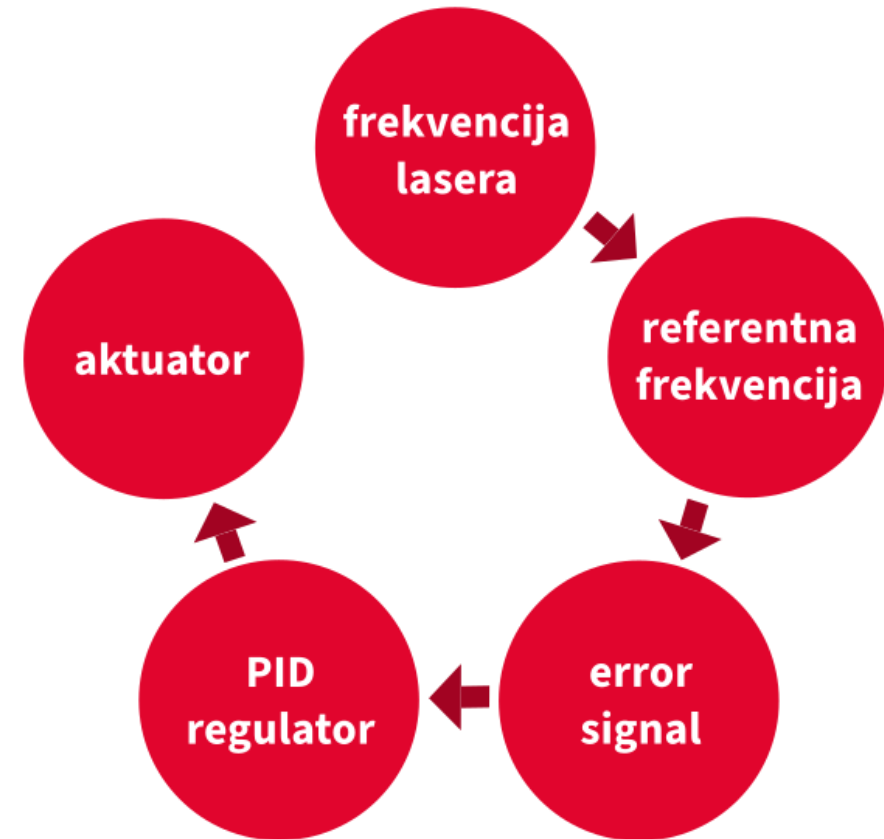
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



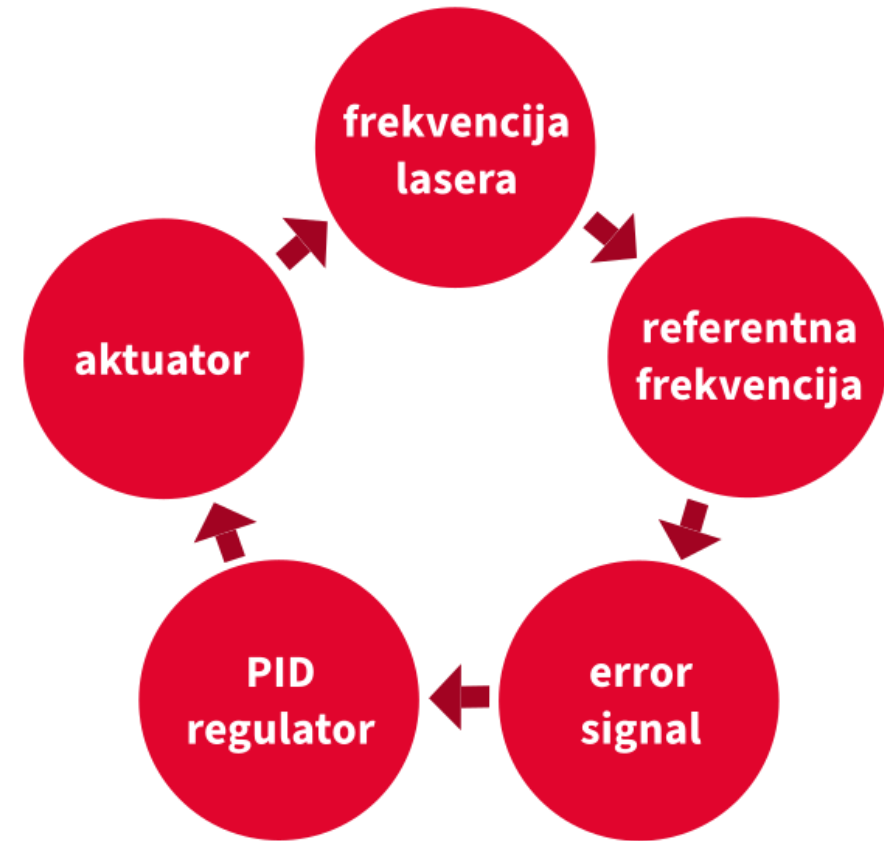
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



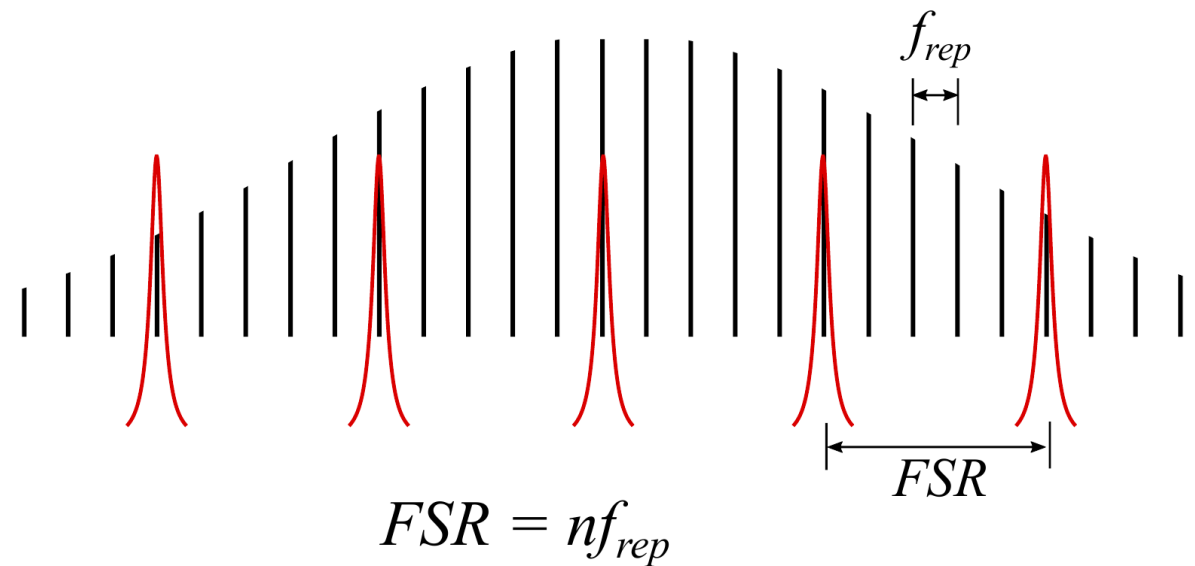
Stabilizacija lasera

- stabilizacija valne duljine, faze
- utjecaji:
 - temperatura i vlažnost zraka
 - vibracije
 - fluktuacije u jakosti struje napajanja...



Optički rezonator i frekventni češalj

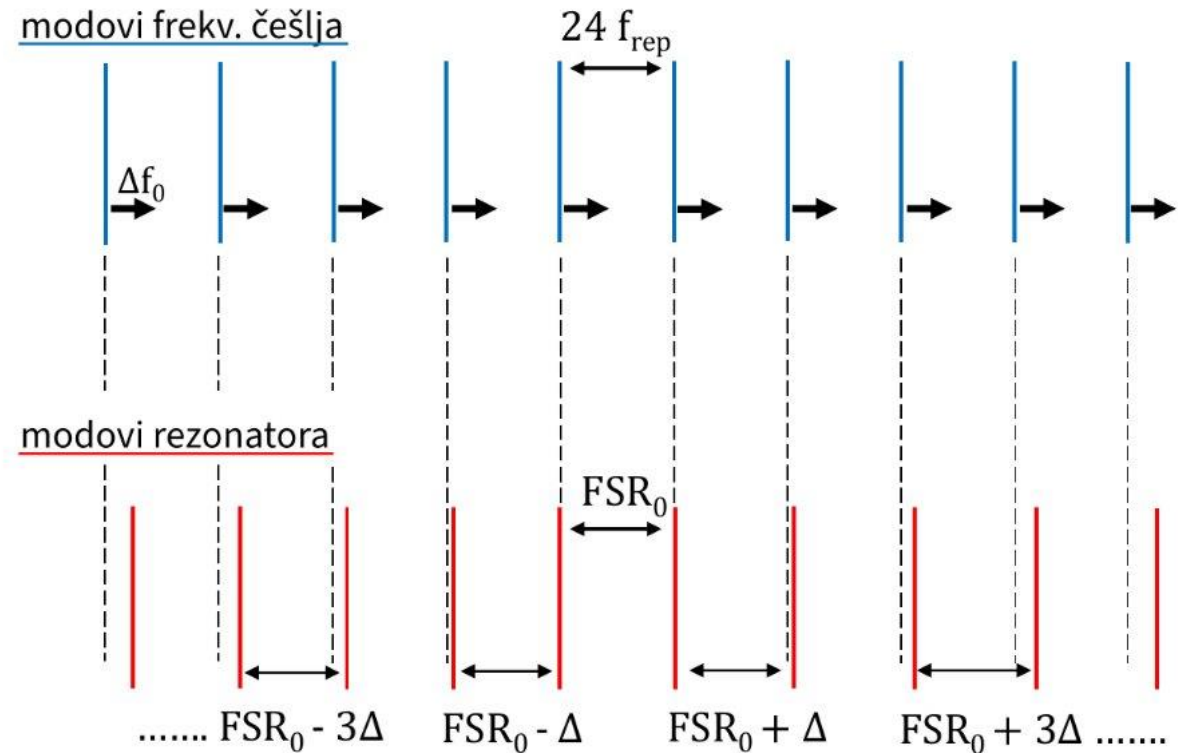
- stabilizirana duljina rezonatora
 - $FSR = 24 f_{rep} = 1.932 \text{ GHz}$



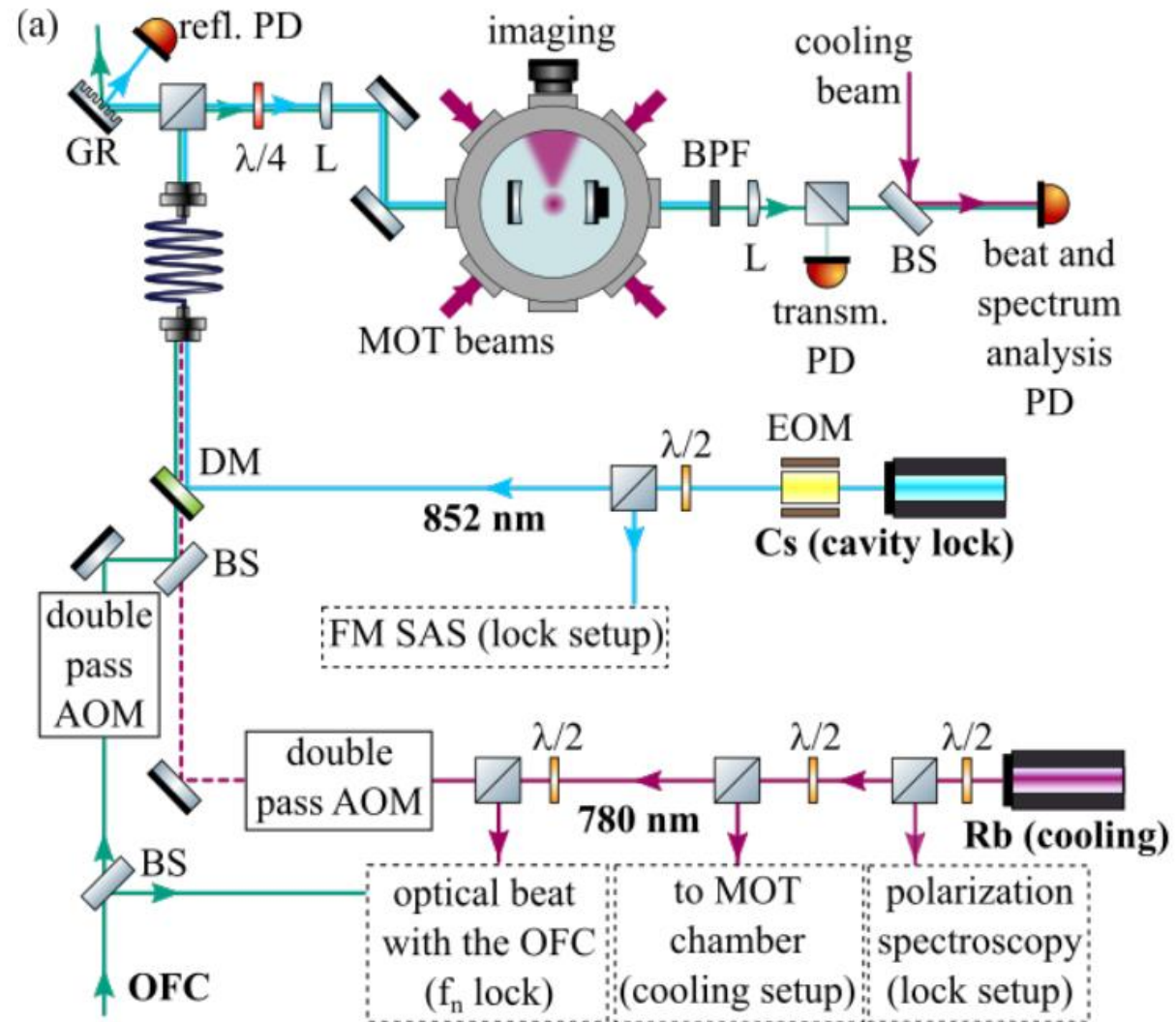
M. Kruljac, Cavity cooling and self-organization of atoms using an optical frequency comb, doktorski rad (2022)

Optički rezonator i frekventni češalj

- disperzija zrcala
 - $\Delta = 18$ MHz

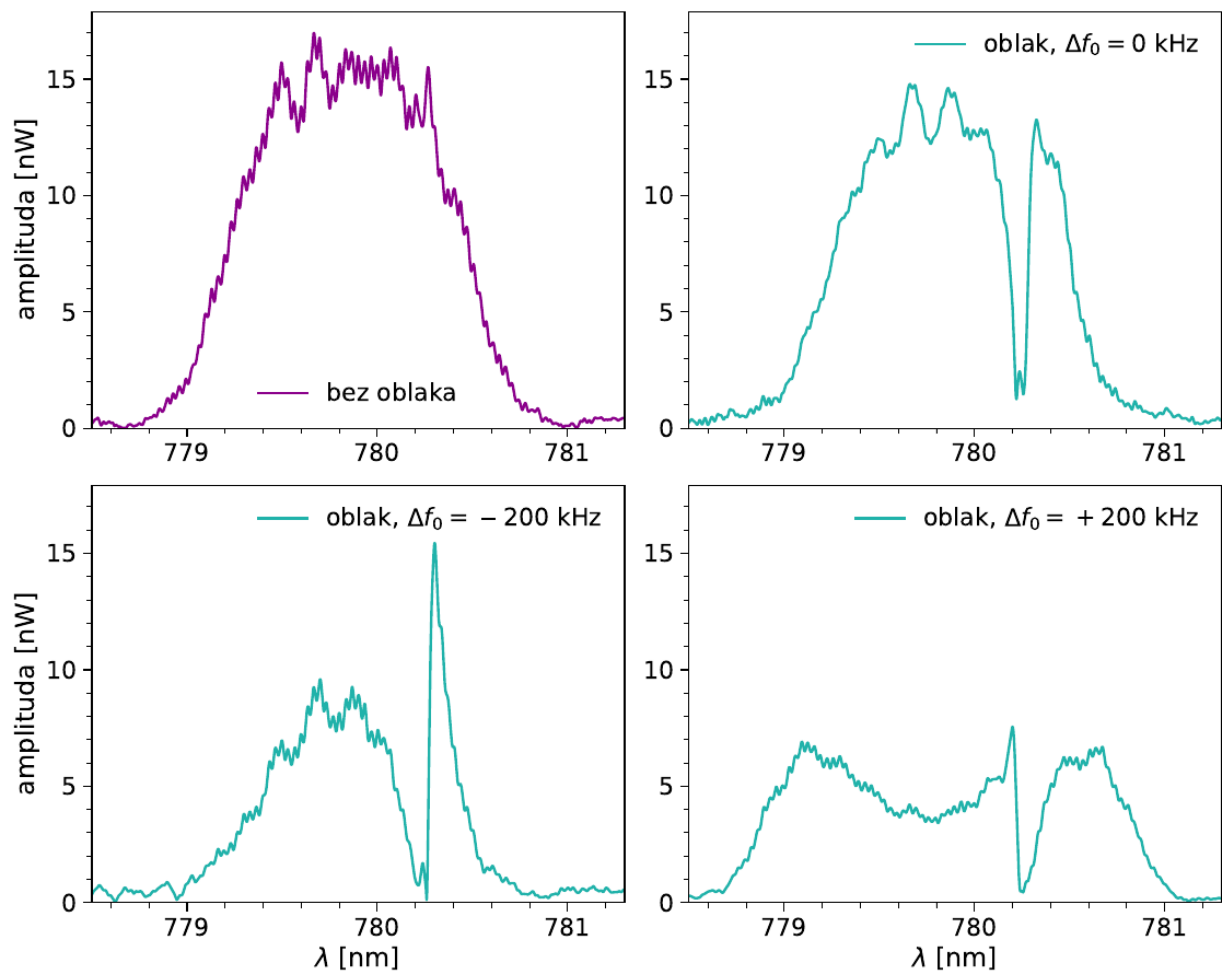


Shema postava

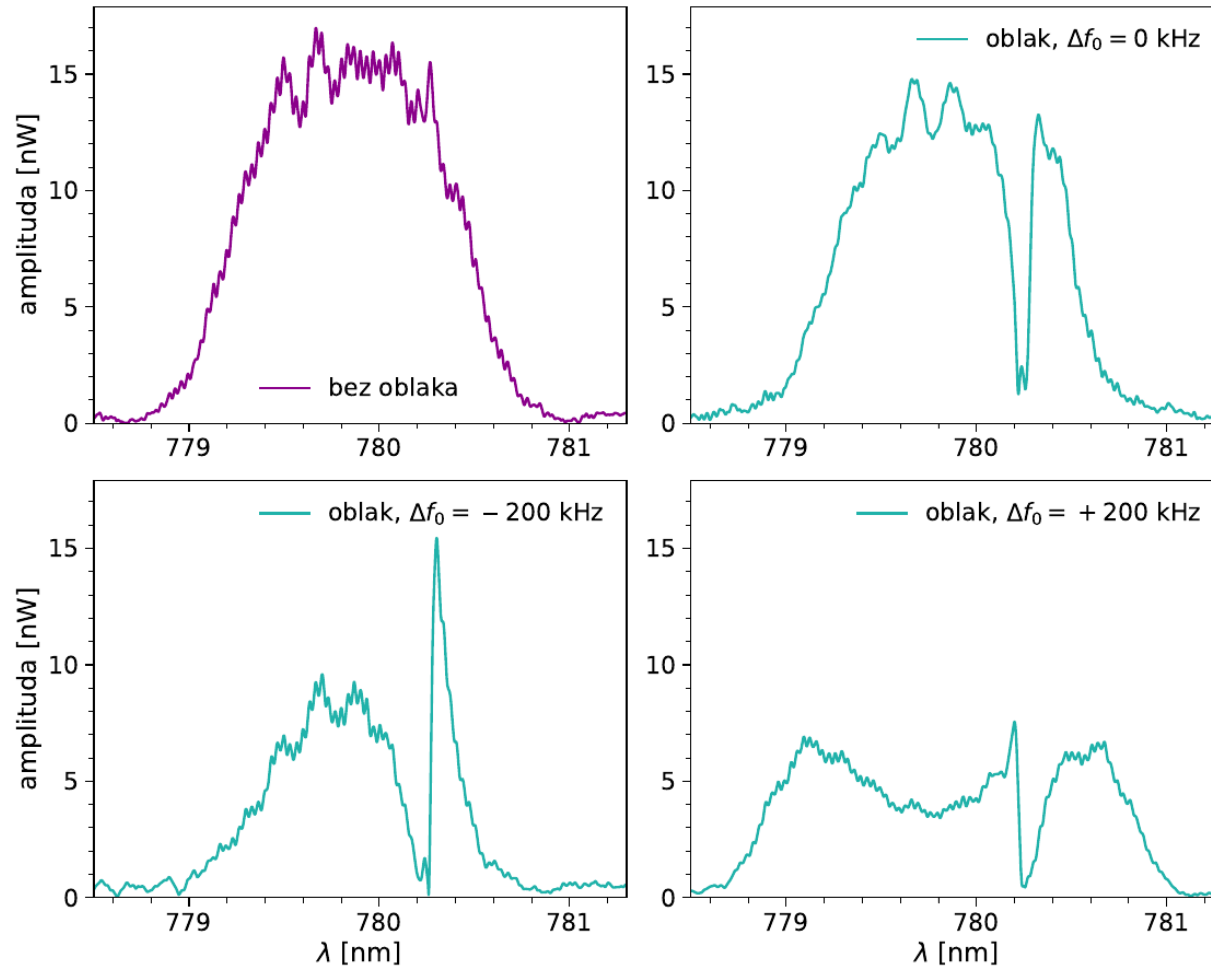


Rezultati

Transmitirani spekter FC

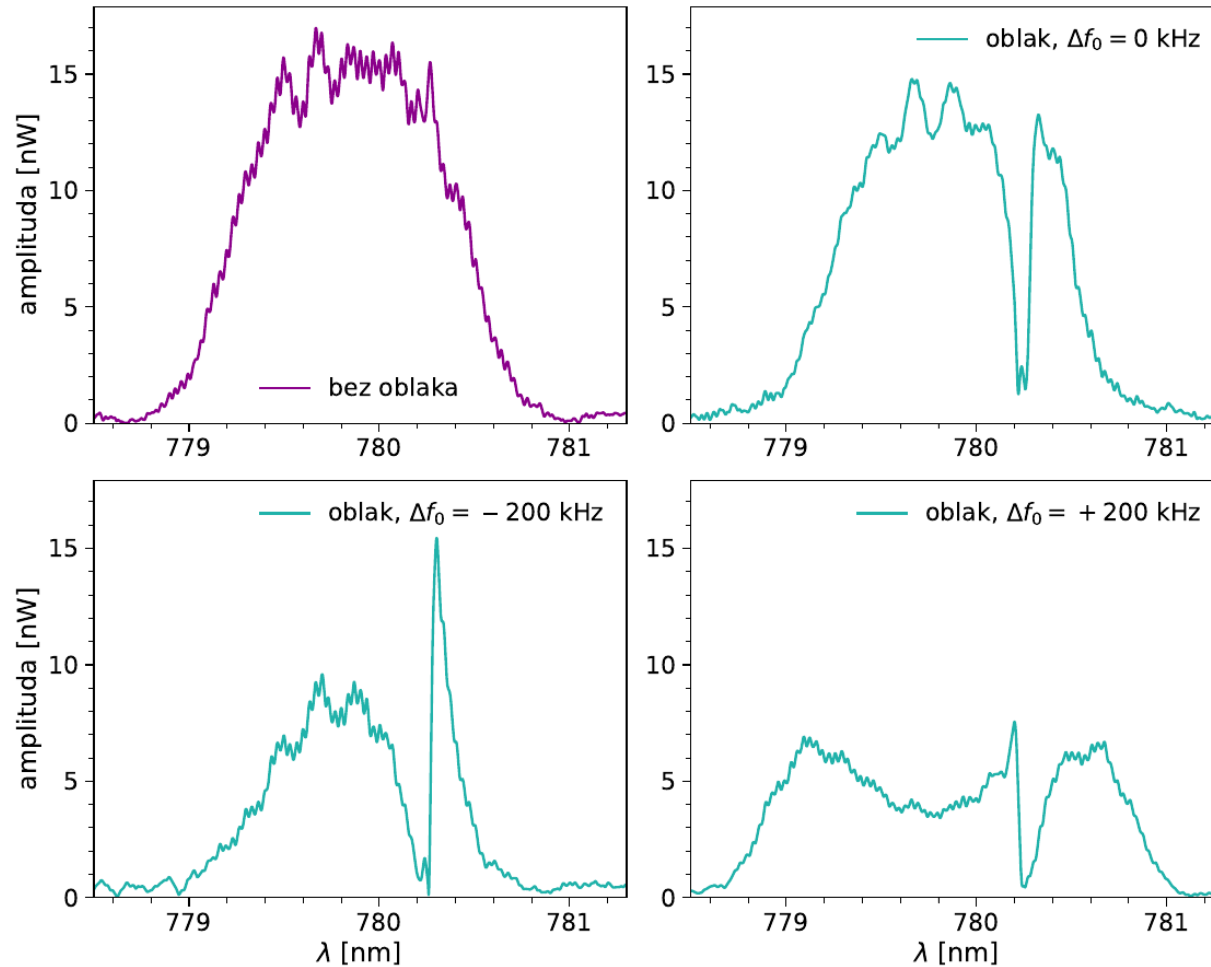


Transmitirani spektar FC



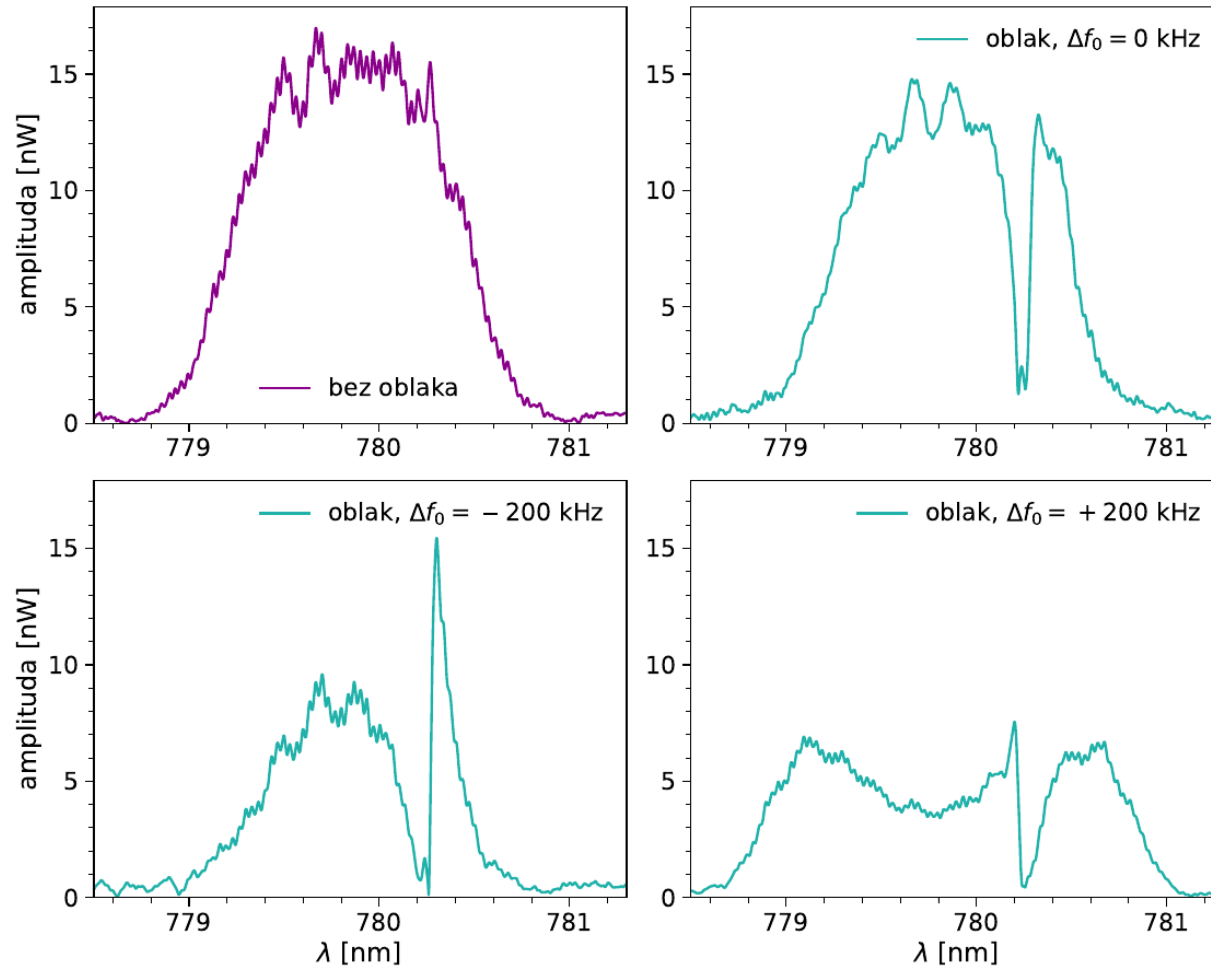
- pad oko D2 linije Rb
 - Širina linije = 6 MHz
 - najbliži FC mod > 500 MHz
 - Nema apsorpcije!

Transmitirani spektar FC



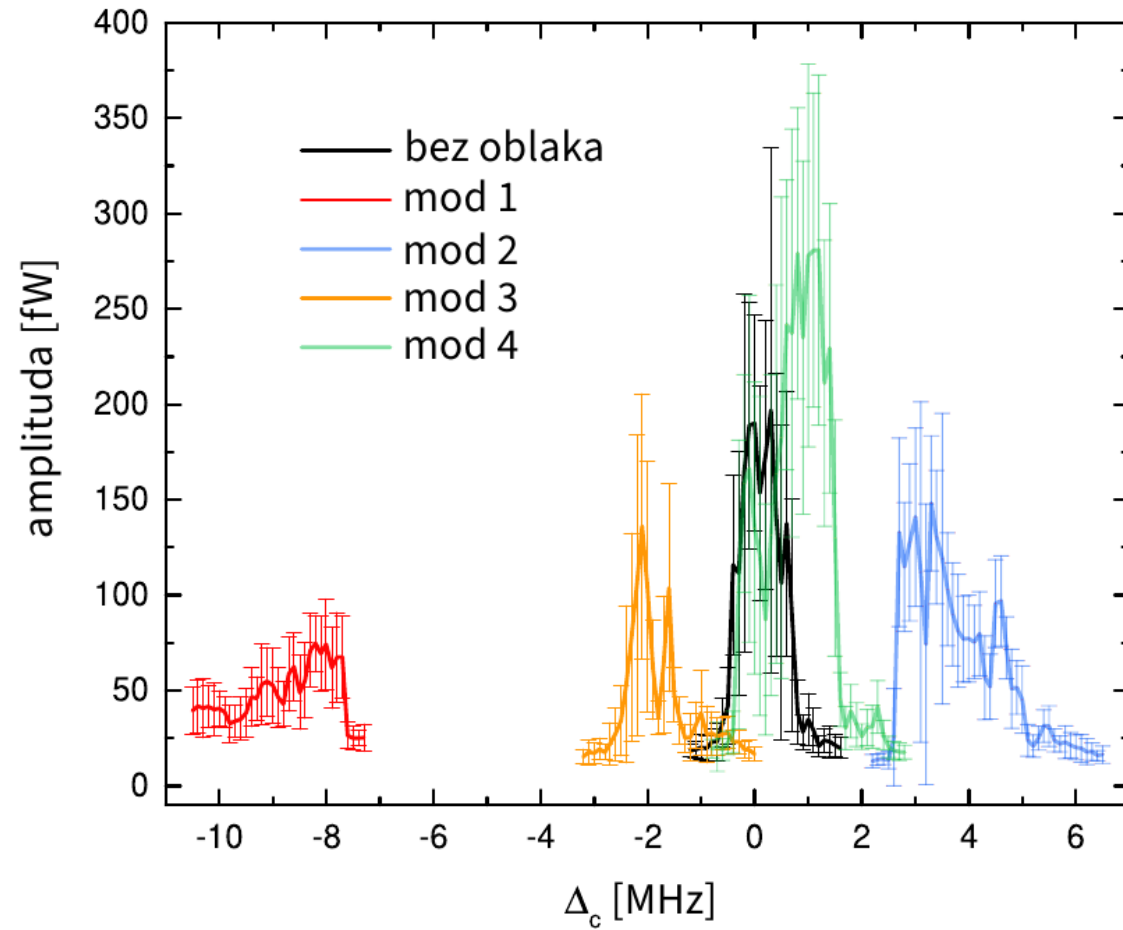
- pad oko D2 linije Rb
 - Širina linije = 6 MHz
 - najbliži FC mod > 500 MHz
 - Nema apsorpcije!
- promjena oblika envelope spektra
 - Crveno - niži vrh
 - Plava – 2 niža vrha
 - Posljedica disperzije zrcala

Transmitirani spektar FC



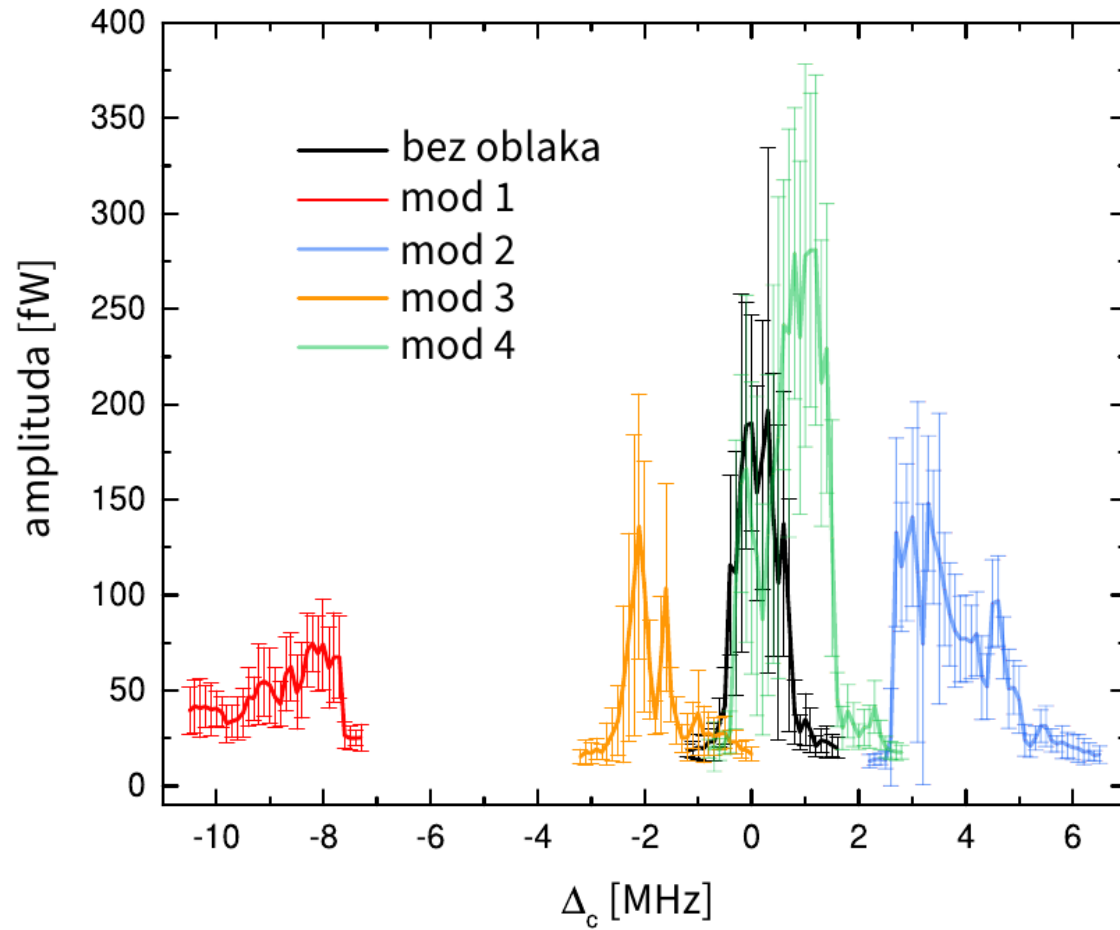
- pad oko D2 linije Rb
 - Širina linije = 6 MHz
 - najbliži FC mod > 500 MHz
 - Nema apsorpcije!
- promjena oblika envelope spektra
 - Crveno - niži vrh
 - Plava – 2 niža vrha
 - Posljedica disperzije zrcala
- porast transmisije pored pada transmisije

Transmitirani modovi FC



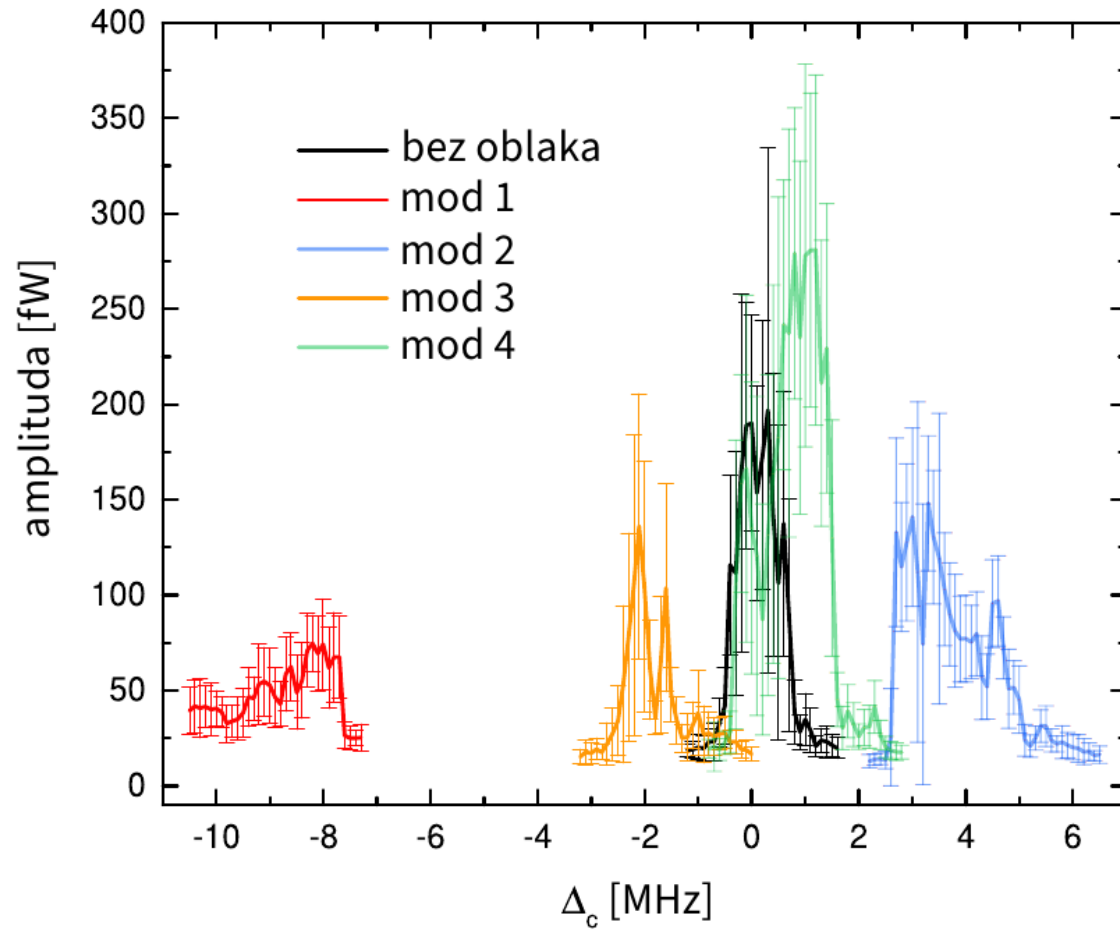
- numerirano prema udaljenosti od D2 rezonancije

Transmitirani modovi FC



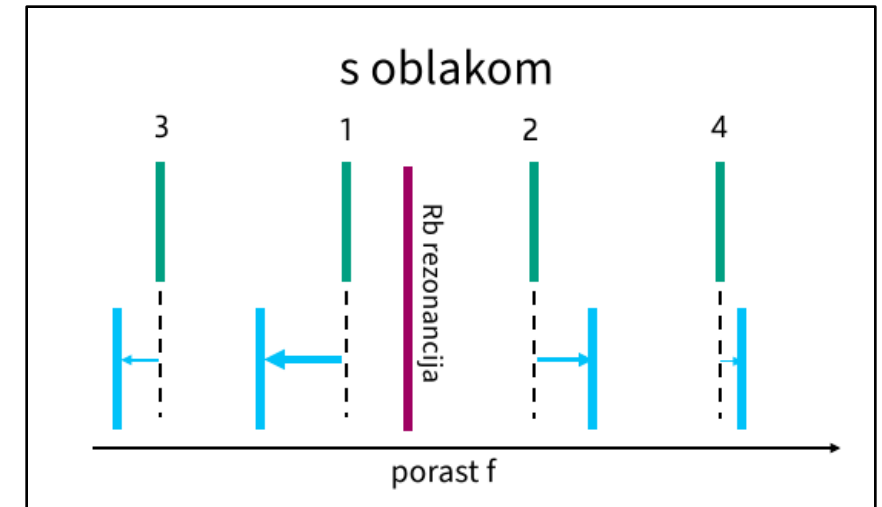
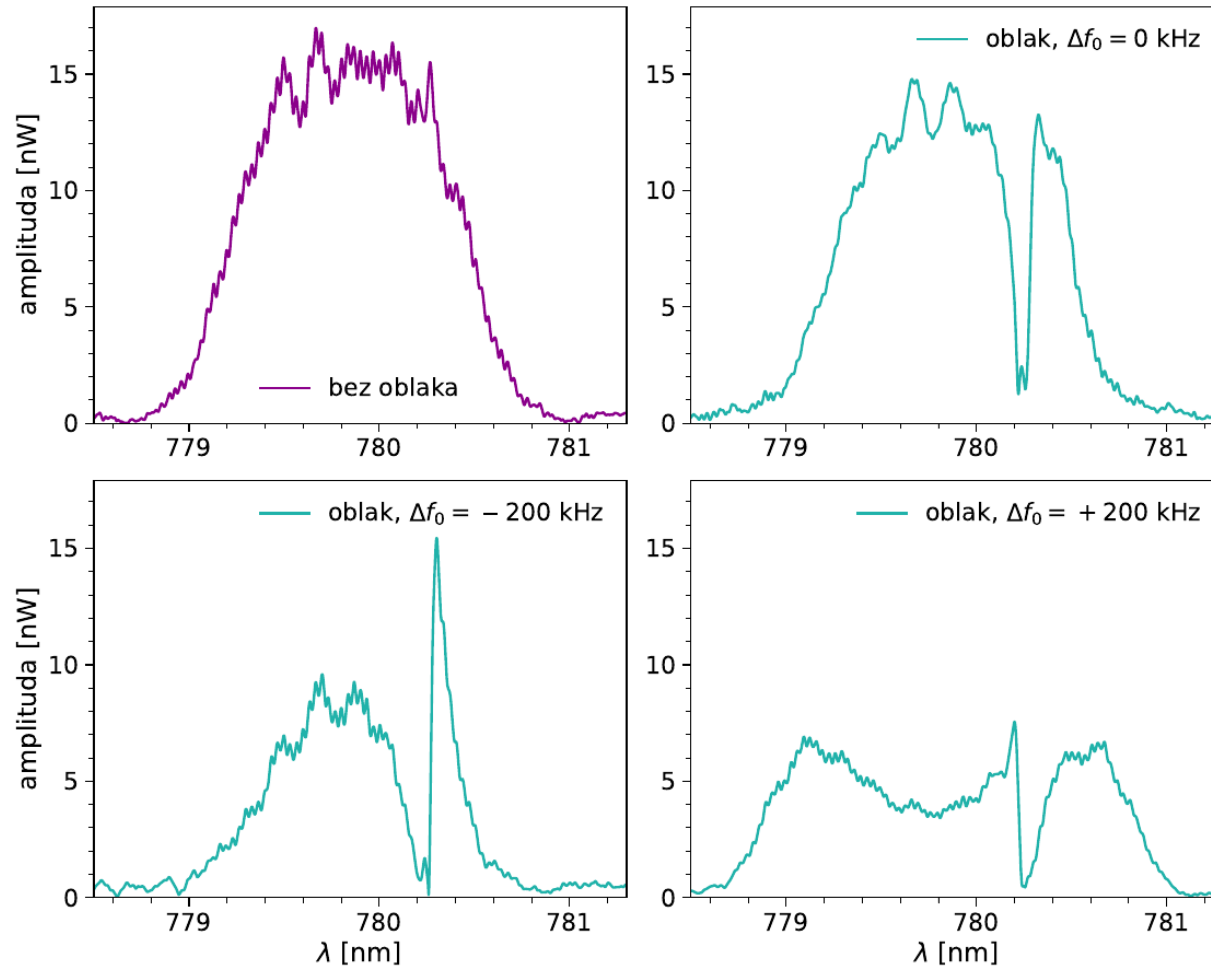
- numerirano prema udaljenosti od D2 rezonancije
- najbliži modovi = najveći pomak

Transmitirani modovi FC



- numerirano prema udaljenosti od D2 rezonancije
- najbliži modovi = najveći pomak
- crveni modovi prema crvenom
- plavi modovi prema plavom

Transmitirani spektar FC - ponovno



- modovi frekv. češlja
- modovi rezonatora

Zaključak

- prvi put pokazana interakcija atoma Rb s velikim brojem modova rezonatora

Zaključak

- prvi put pokazana interakcija atoma Rb s velikim brojem modova rezonatora
- disperzivna interakcija $\gg$ pomak modova rezonatora na pojasu 5.8 GHz

Zaključak

- prvi put pokazana interakcija atoma Rb s velikim brojem modova rezonatora
- disperzivna interakcija $\gg$ pomak modova rezonatora na pojasu 5.8 GHz
- važan korak prema novim metodama hlađenja atoma

Zaključak

- prvi put pokazana interakcija atoma Rb s velikim brojem modova rezonatora
- disperzivna interakcija $\gg$ pomak modova rezonatora na pojasu 5.8 GHz
- važan korak prema novim metodama hlađenja atoma
- daljnje istraživanje: optička bistabilnost

CALT

CENTRE FOR ADVANCED LASER TECHNIQUES

Hvala na pozornosti

Projekt je sufinanciran u okviru OP Konkurentnost i kohezija, iz Europskog fonda za regionalni razvoj.