



CENTRE FOR ADVANCED LASER TECHNIQUES

Istraživanje nerezonantne sheme elektromagnetski inducirane transparencije za pohranu svjetlosti

Tomislav Danielov

Mentor: dr. sc. Ticijana Ban

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



CENTRE FOR ADVANCED LASER TECHNIQUES

1. Teorijski uvod
2. Eksperimentalni postav
3. Rezultati i diskusija
4. Zaključak

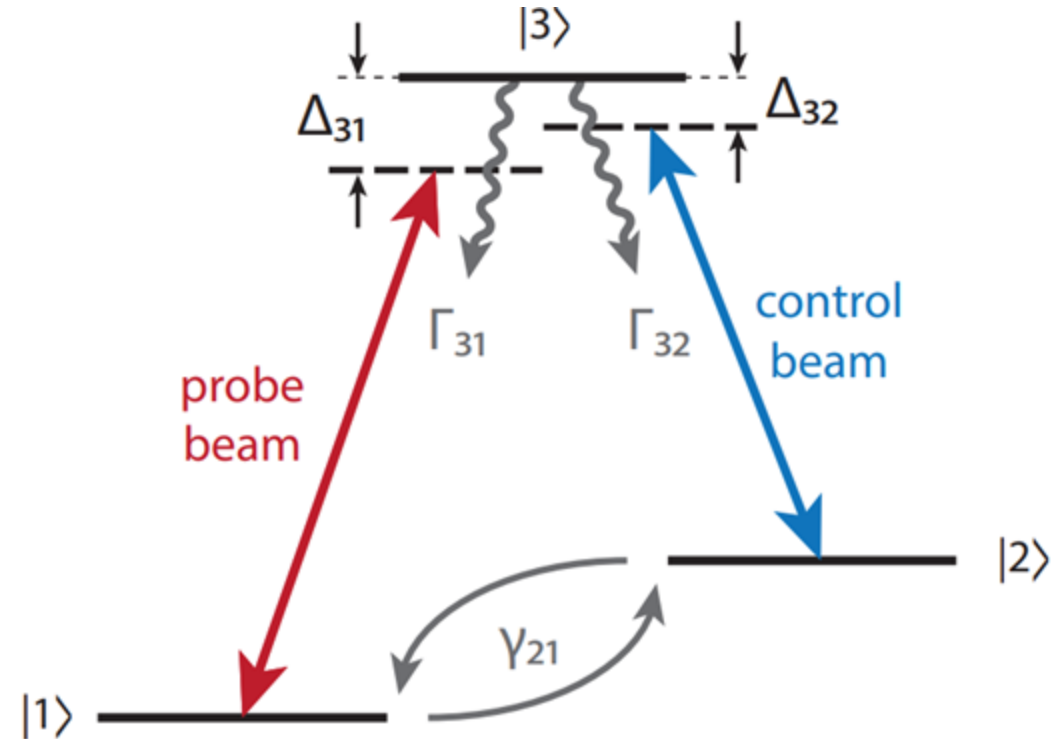
Projekt je sufinanciran u okviru OP Konkurentnost i kohezija, iz Europskog fonda za regionalni razvoj.

Teorijski uvod

- Elektromagnetski inducirana transparentcija
- Optička memorija

Elektromagnetski inducirana transparentcija

- Međudjelovanje atoma s tri energijske razine i dva vanjska laserska polja
- Transmisija jedne od laserskih zraka kroz inače apsorptivan medij (EIT)



D. Buhin. " Simultaneous laser cooling of multiple atomic species using a frequency comb". Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 2022.

Elektromagnetski inducirana transparentcija

- Dva hiperfina nivoa rubidija 85
- Probna i pumpna laserska zraka
- Linearna susceptibilnost i veza s kompleksnim indeksom loma:

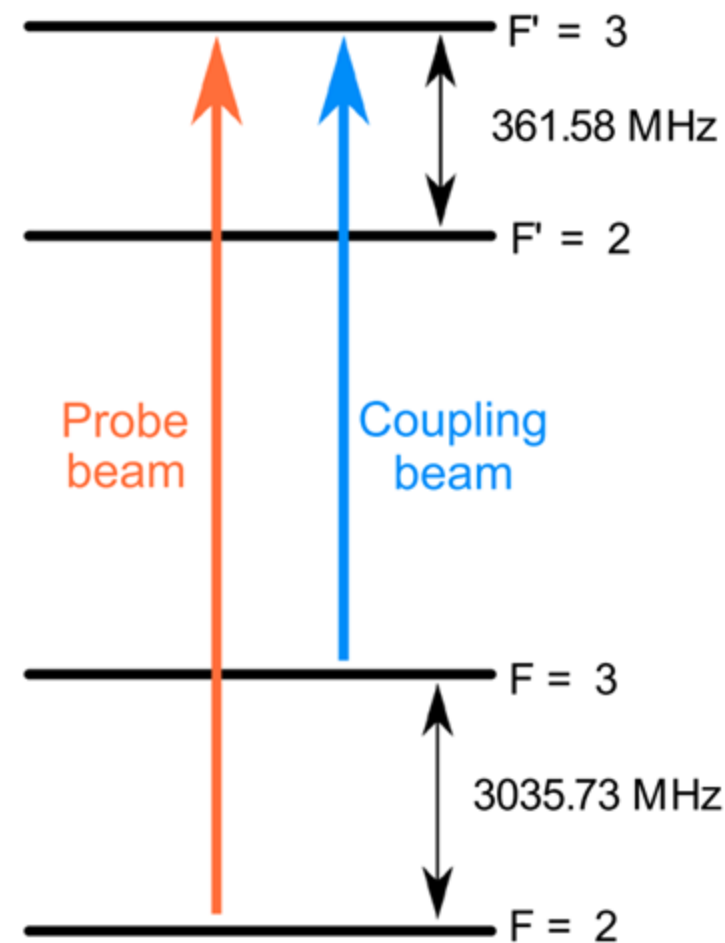
$$\delta = \Delta_1 - \Delta_2$$

$$\Gamma_{12} = \gamma_{12} - i\delta$$

$$\Gamma_{13} = \gamma_{13} - i\Delta_1$$

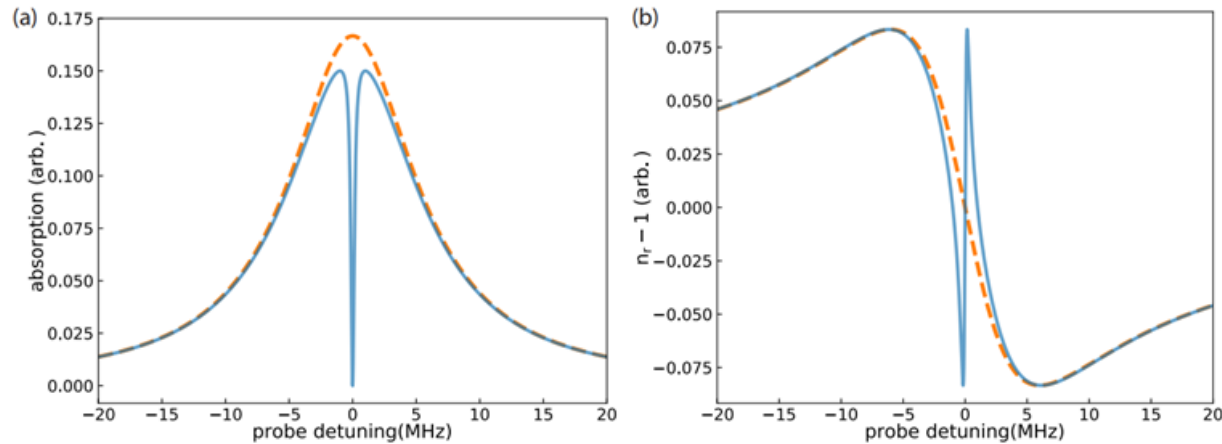
$$\chi_p(\Delta_1, \delta) = i \frac{N\mu_{13}^2}{\hbar\epsilon_0} \frac{\Gamma_{12}}{\Gamma_{12}\Gamma_{13} + |\Omega_c|^2}$$

$$n = 1 + \frac{1}{2} \text{Re}(\chi_p)$$



M. Đujić, D. Buhin, N. Šantić, D. Aumiler i T. Ban. "Comparative analysis of light storage in antirelaxation-coated and buffer-gas-filled alkali vapor cells". Scientific Reports 14.1 (lipanj 2024.)

- Zašto EIT?



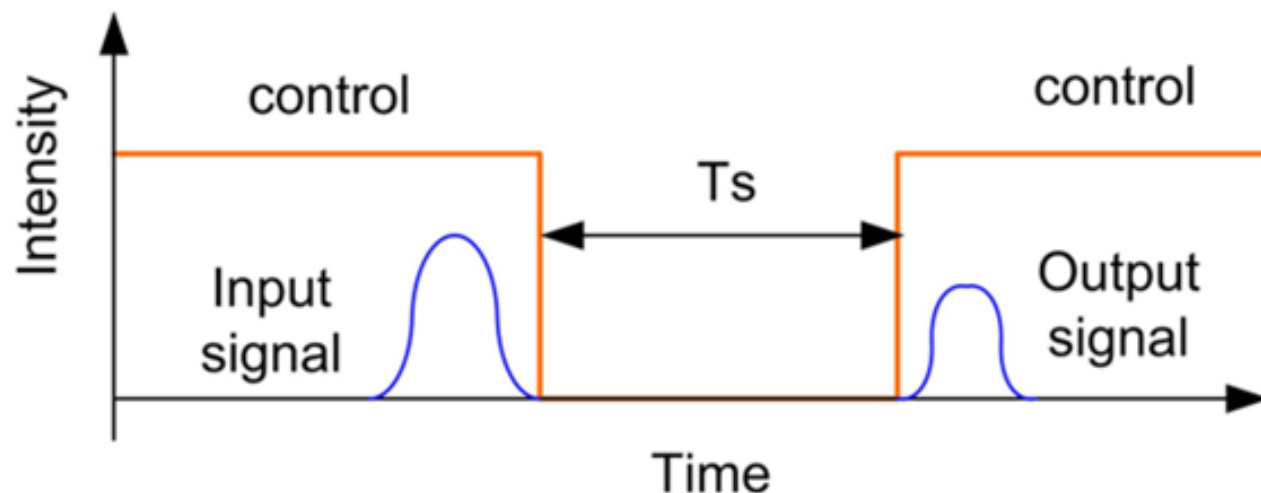
D. Buhin. " Simultaneous laser cooling of multiple atomic species using a frequency comb". Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 2022.

$$v_g = \frac{c}{1 + v_p \frac{dn}{dv_p}}$$

- Spremanje svjetlosti u atomski medij – optička EIT memorija

Optička EIT memorija

- Postojanje EIT uvjeta omogućava spremanje svjetlosne informacije u toplim parama atoma



Lijun Ma, Oliver Slattery i Xiao Tang. "Optical quantum memory based on electromagnetically induced transparency". Journal of Optics 19.4 (veljača 2017.), str. 043001.

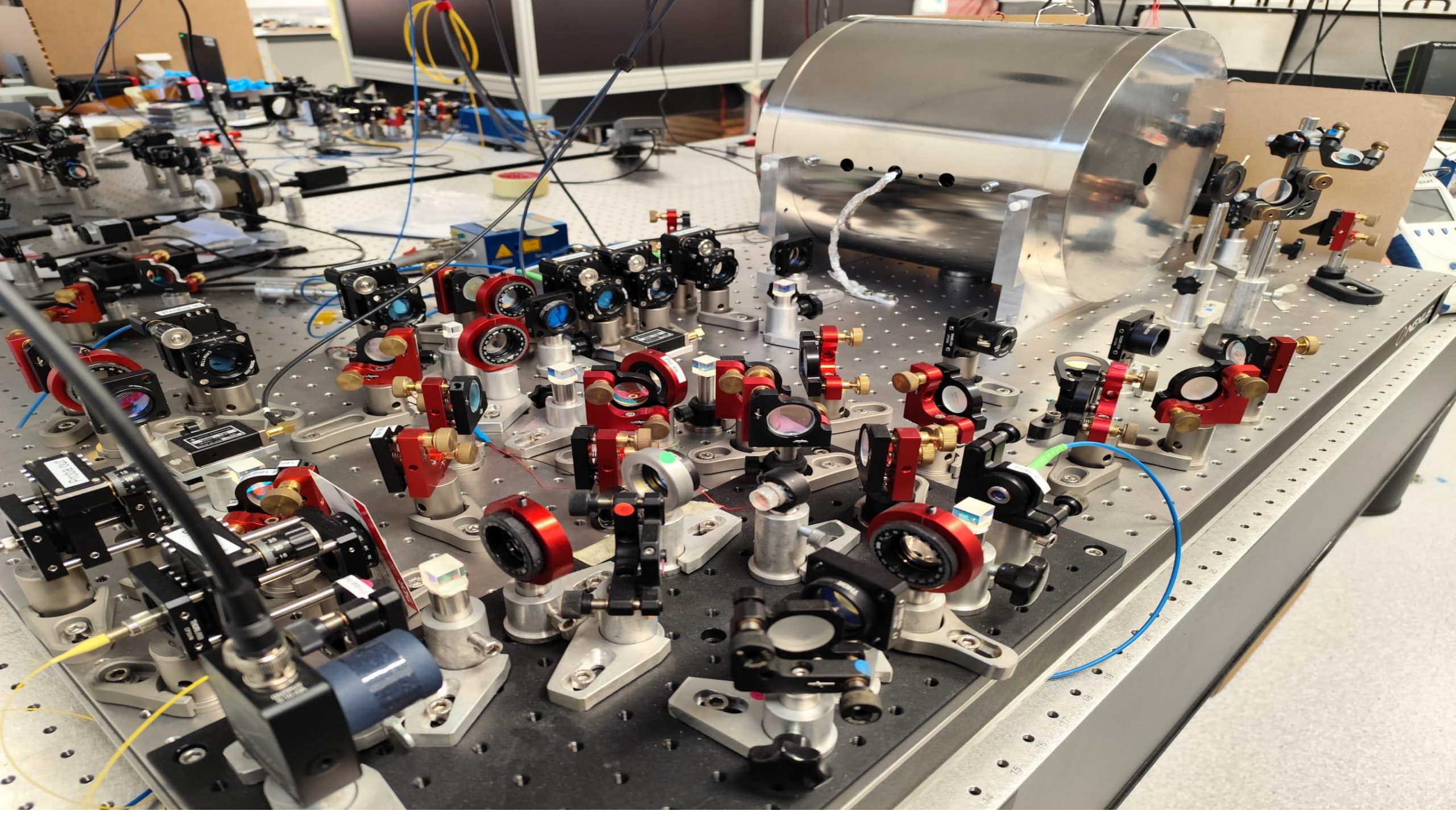
- Gubitak informacija vidljiv u manjem izlaznom signalu
- Efikasnost optičke memorije

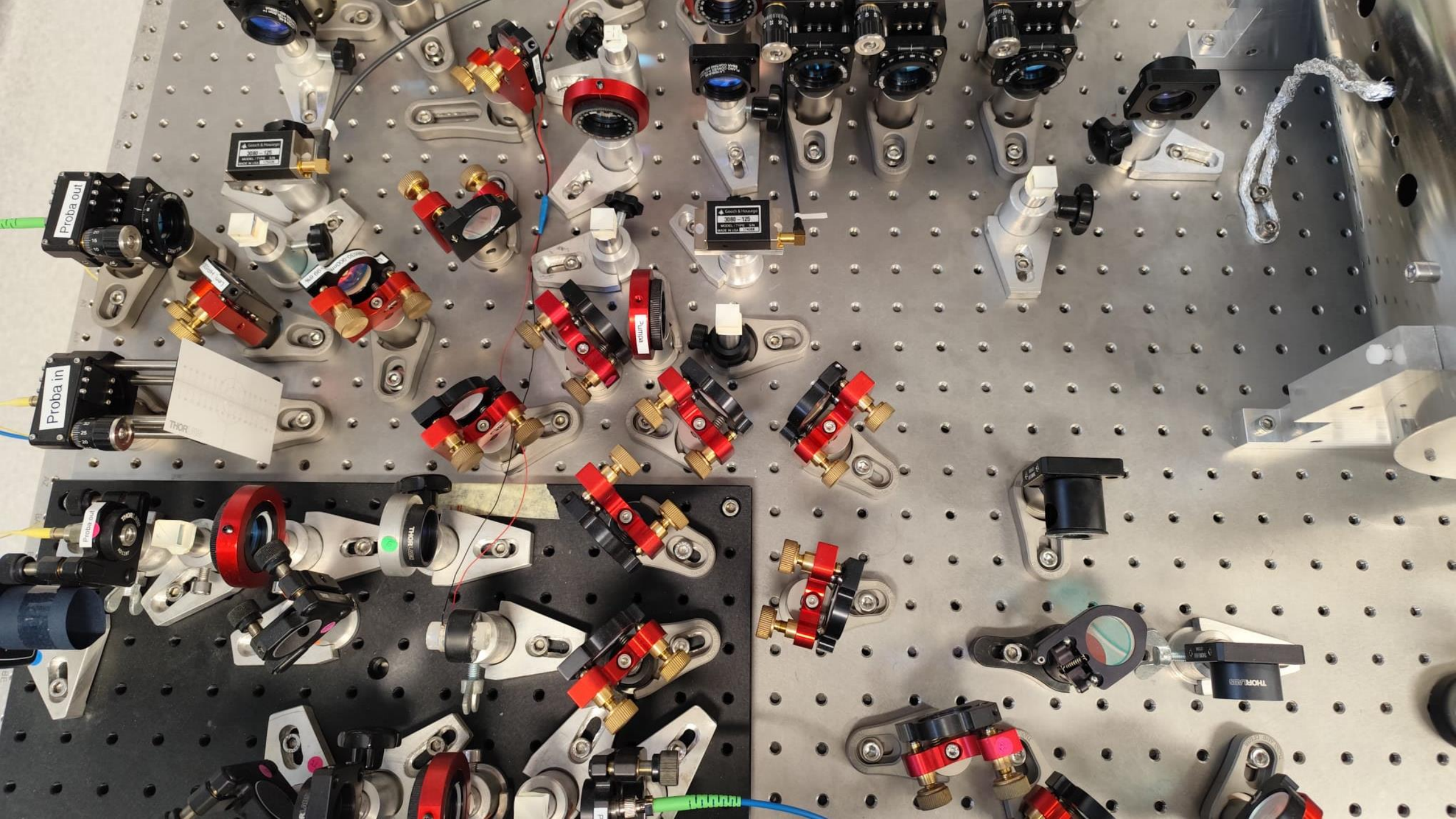
Eksperiment

- Eksperimentalni postav
- Proces mjerenja

Eksperimentalni postav

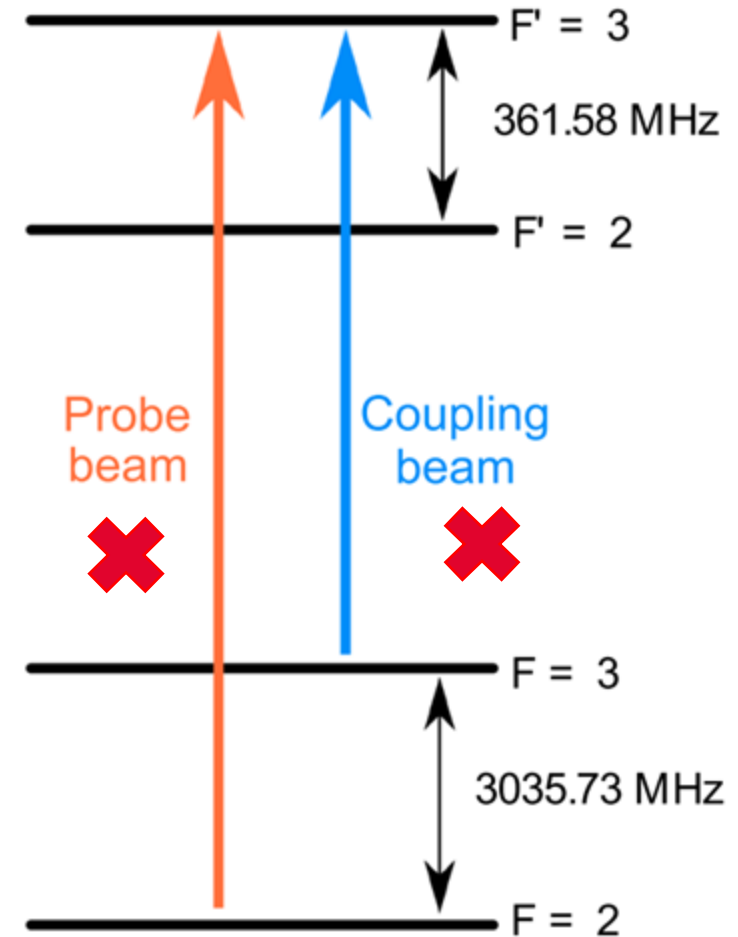
- Kontinuirani Ti:sapph laser
- Široki spektar emisije i mogućnost preciznog namještanja frekvencije
- Vežemo lasersku zraku iz Ti:sapph u jednomodno optičko vlakno i šaljemo je u eksperiment
- Razdvajamo pumpnu i probnu zraku i odvojeno njima manipuliramo





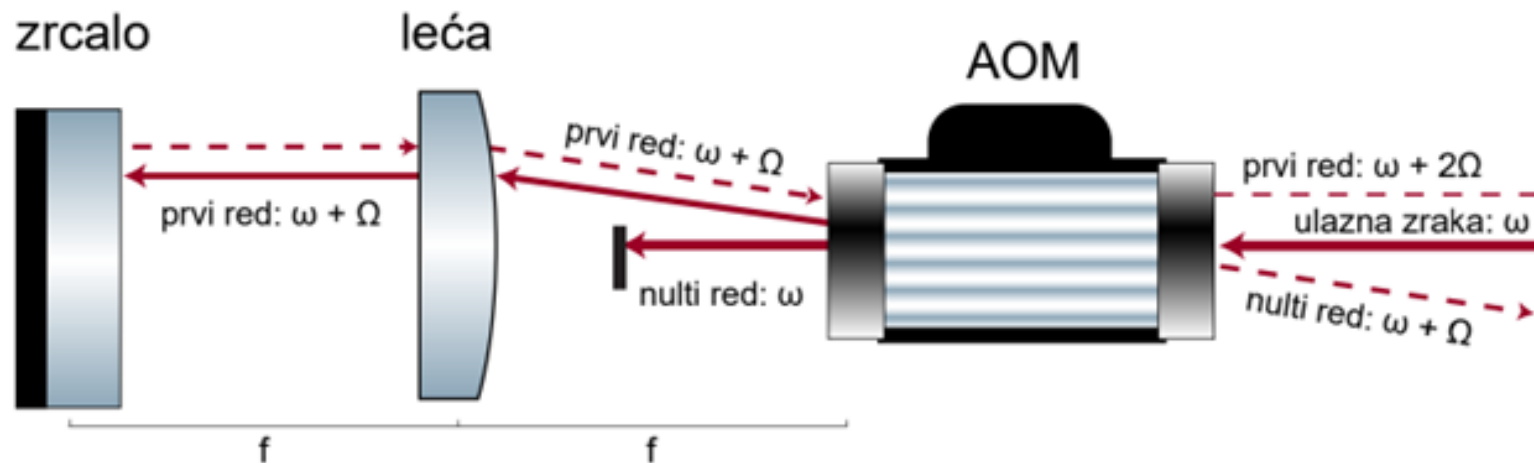
Eksperimentalni postav

- Za EIT uvjete trebamo dvije laserske zrake na različitim frekvencijama
- Razdvajamo ulaznu zraku na dvije i odvojeno manipuliramo njima
- Kasnije ih spajamo prije slanja u atomski medij

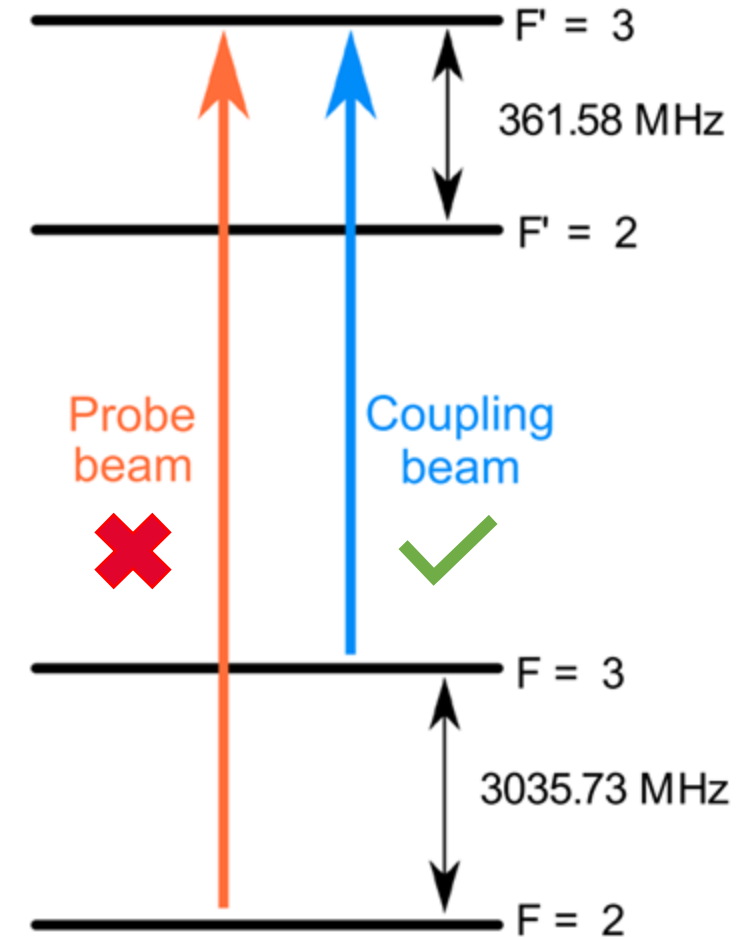


Eksperimentalni postav

- Akusto-optički modulator (AOM)
- Dvostruki prolaz



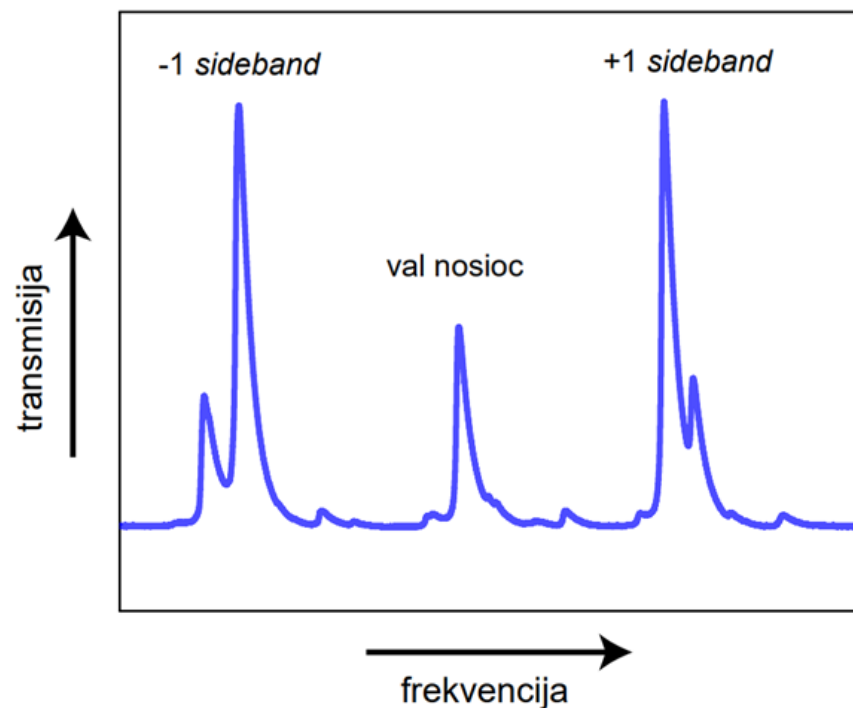
Marin Đujić. "Utjecaj učinaka dekoherencije na svojstva optičkih kvantnih memorija". Mag. rad. Sveučilište u Zagrebu, 2022.



Eksperimentalni postav

- Elektro-optički modulator (EOM)

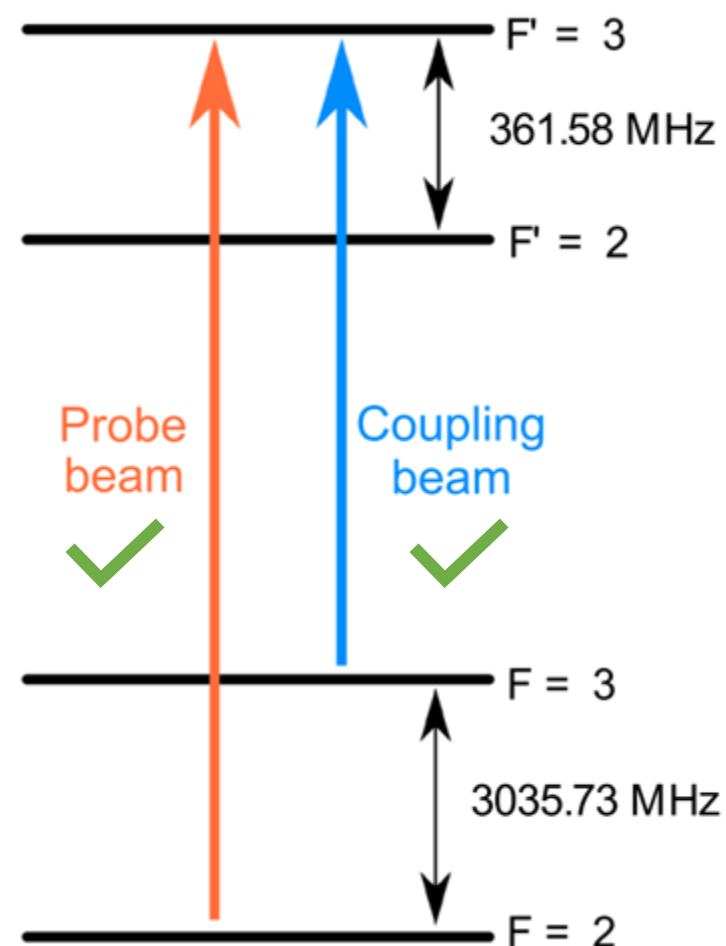
$$E_{EOM} = E_0 e^{i(\omega t + \beta \sin(\Omega t))}$$

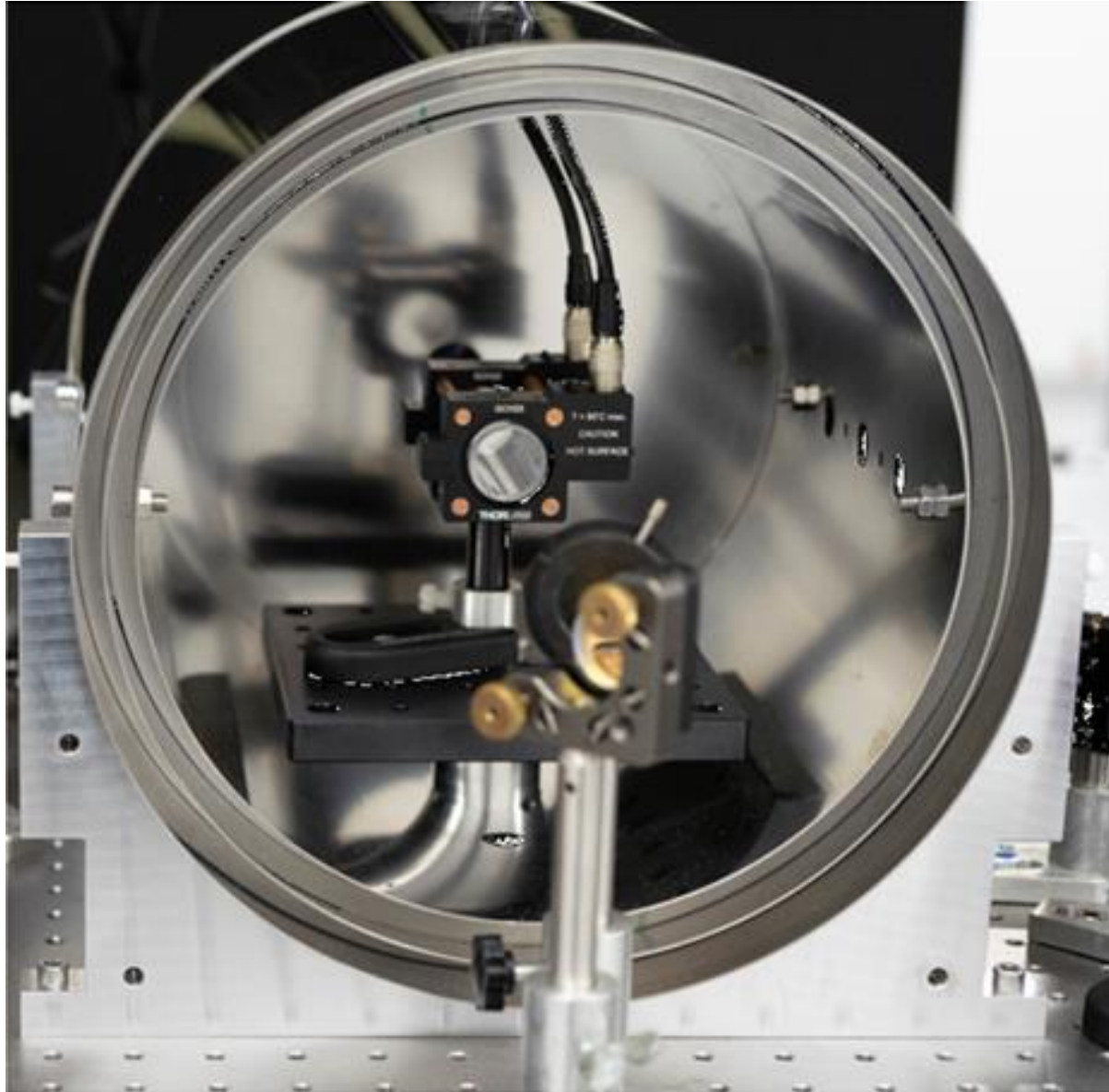


Marin Đujić. "Utjecaj učinaka dekoherencije na svojstva optičkih kvantnih memorija". Mag. rad. Sveučilište u Zagrebu, 2022.

- Propuštanjem svjetlosti kroz optički rezonator propuštamo samo jedan sideband

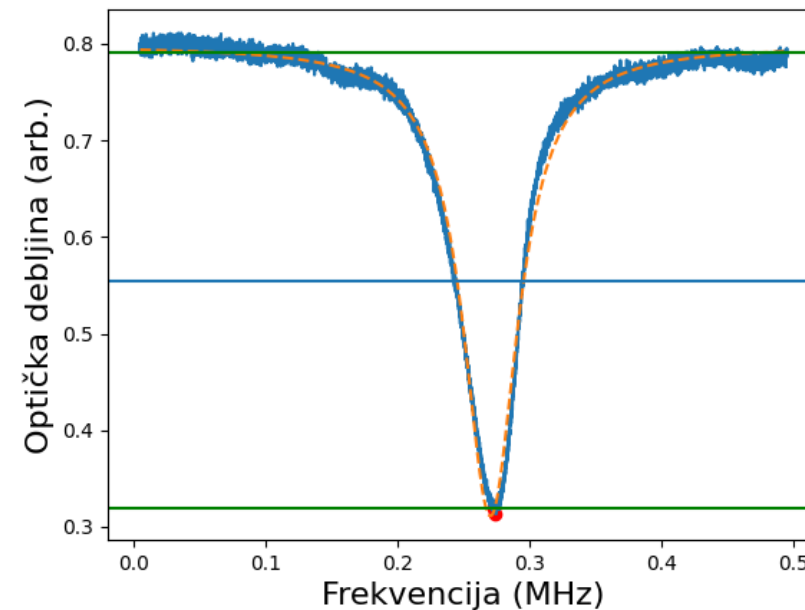
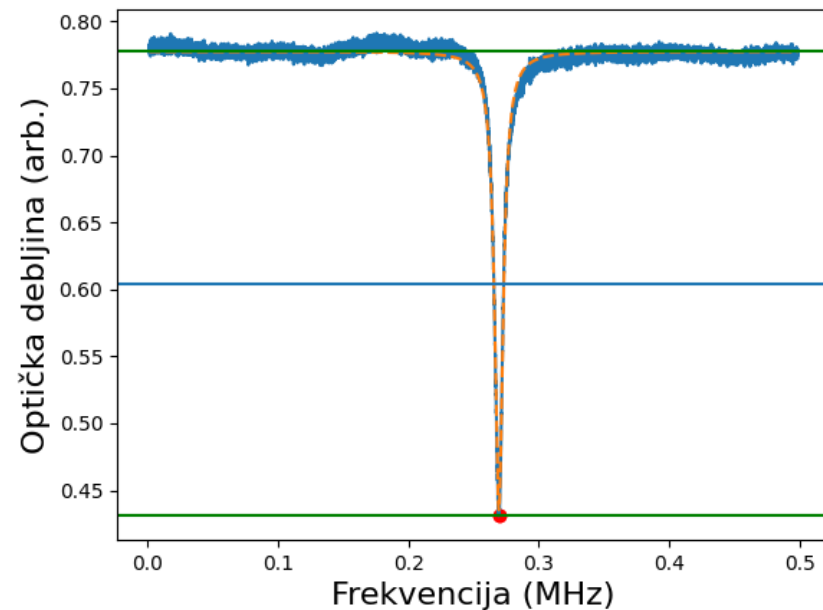
$$\omega_q = q\pi \frac{c}{L}$$

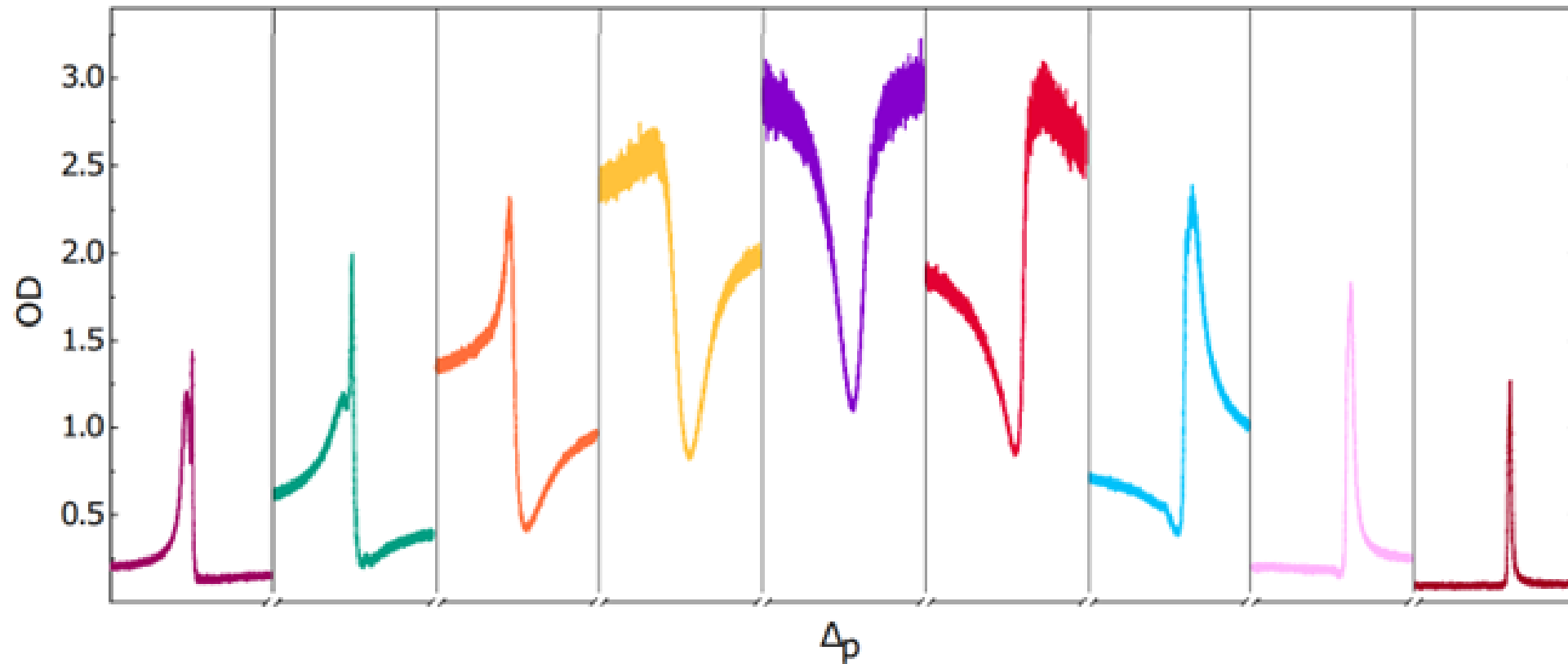




Mjerenje EIT-a

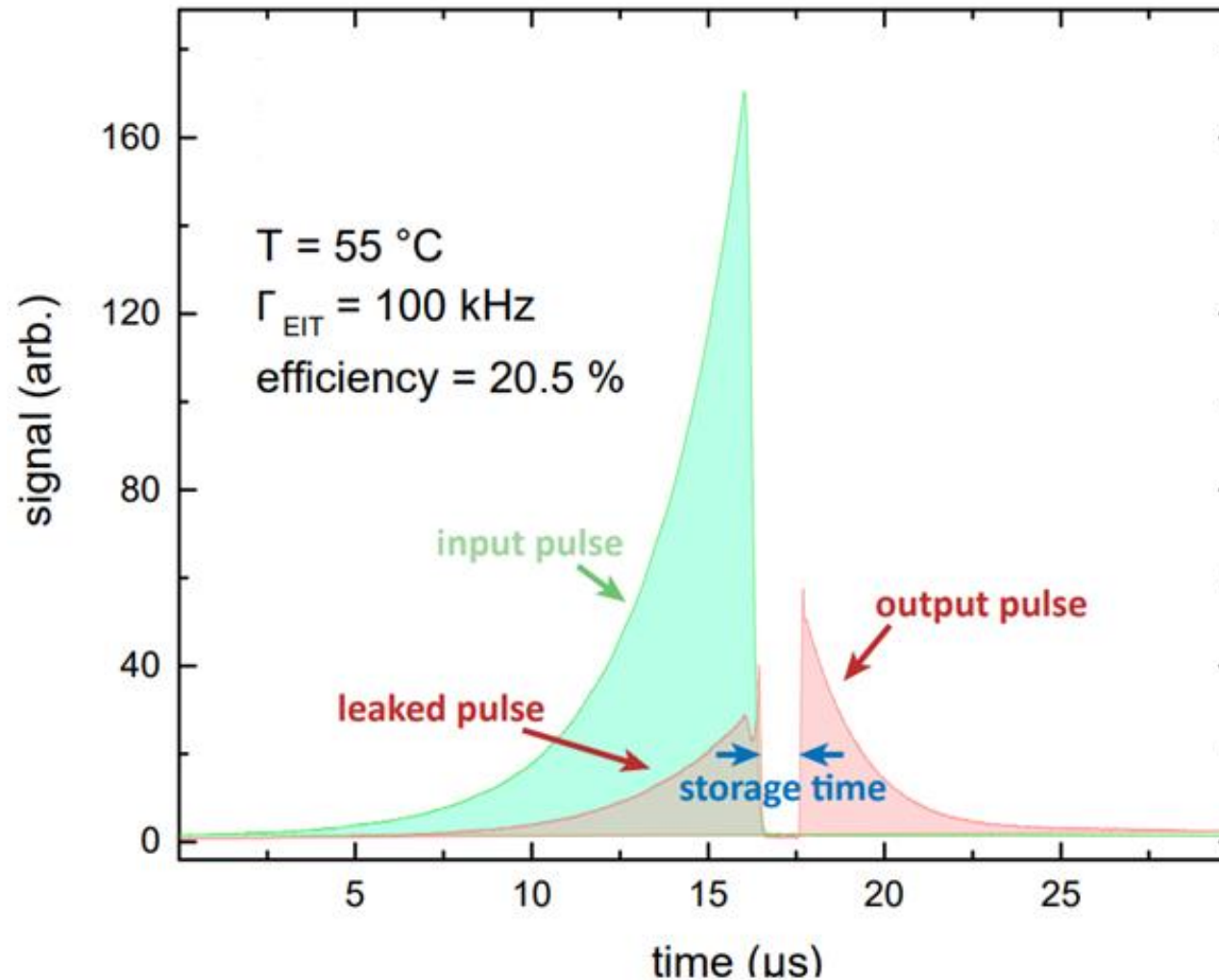
- Generatorom pulseva sinkroniziramo XRF uređaj koji određuje frekvenciju AOM-ova
- Mijenjamo frekvenciju probe u uskom rasponu oko frekvencije prijelaza
- Za mjerenje koristimo Beer – Lambertov zakon: $I = I_0 e^{-d}$





M. Đujić, D. Buhin, N. Šantić, D. Aumiler i T. Ban. "Comparative analysis of light storage in antirelaxation-coated and buffer-gas-filled alkali vapor cells". Scientific Reports 14.1 (lipanj 2024.)

Mjerenje optičke memorije

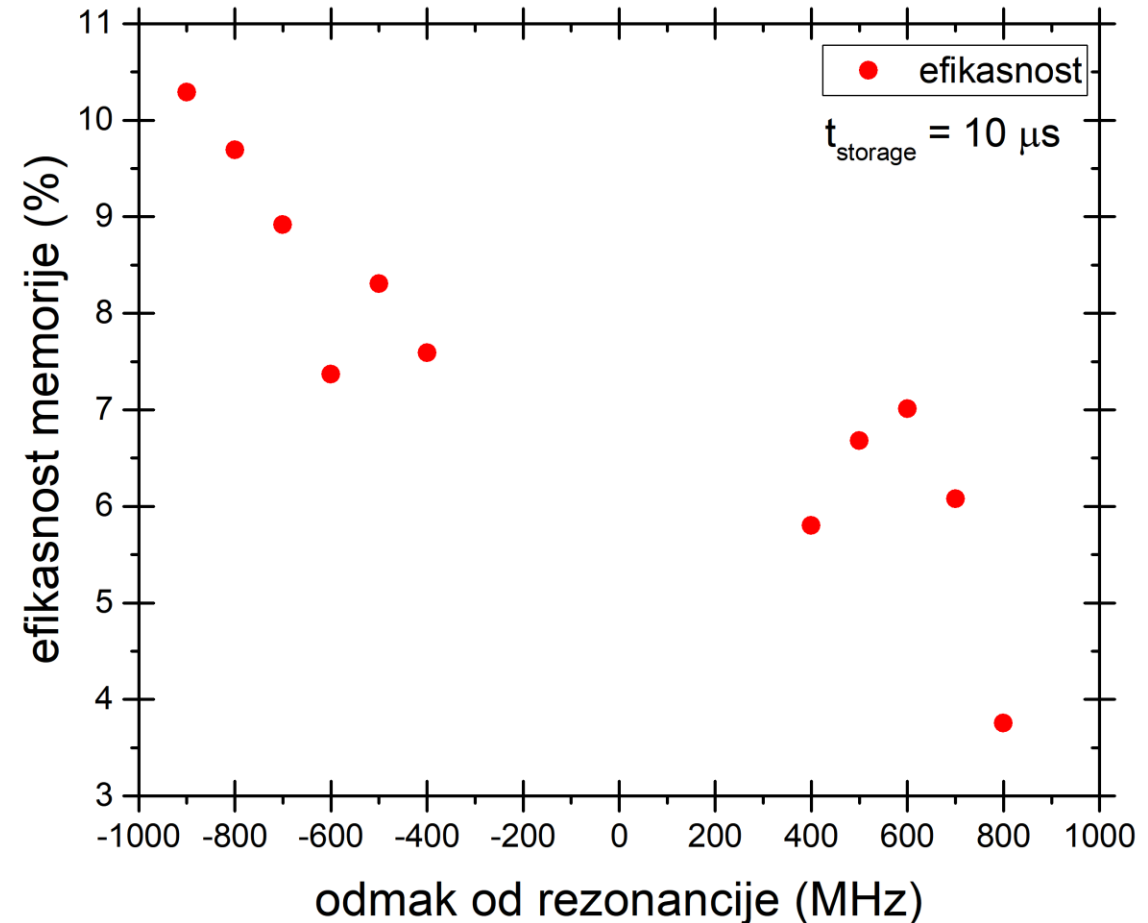


D. Buhin. "Simultaneous laser cooling of multiple atomic species using a frequency comb". Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 2022.

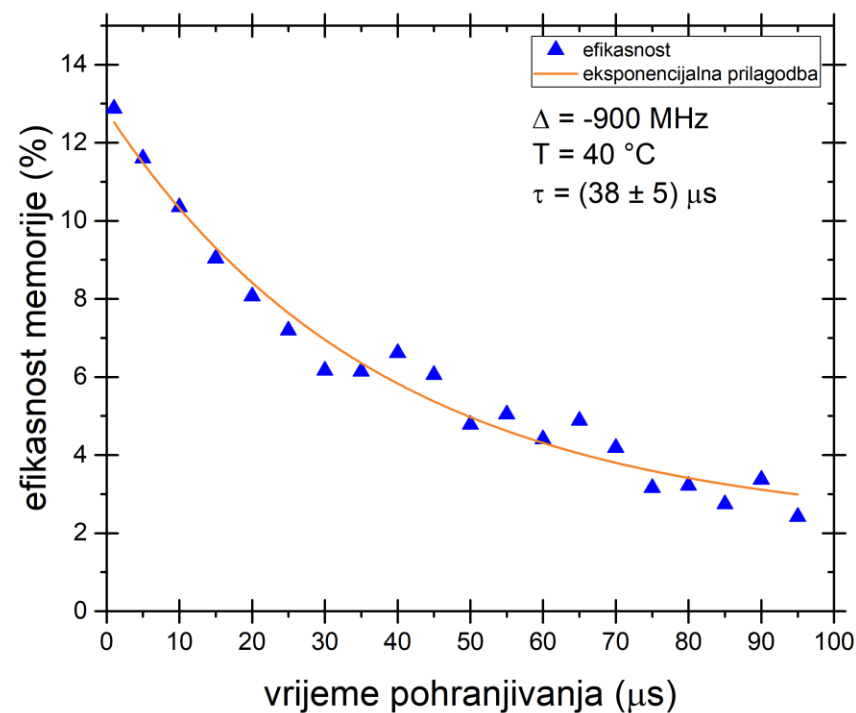
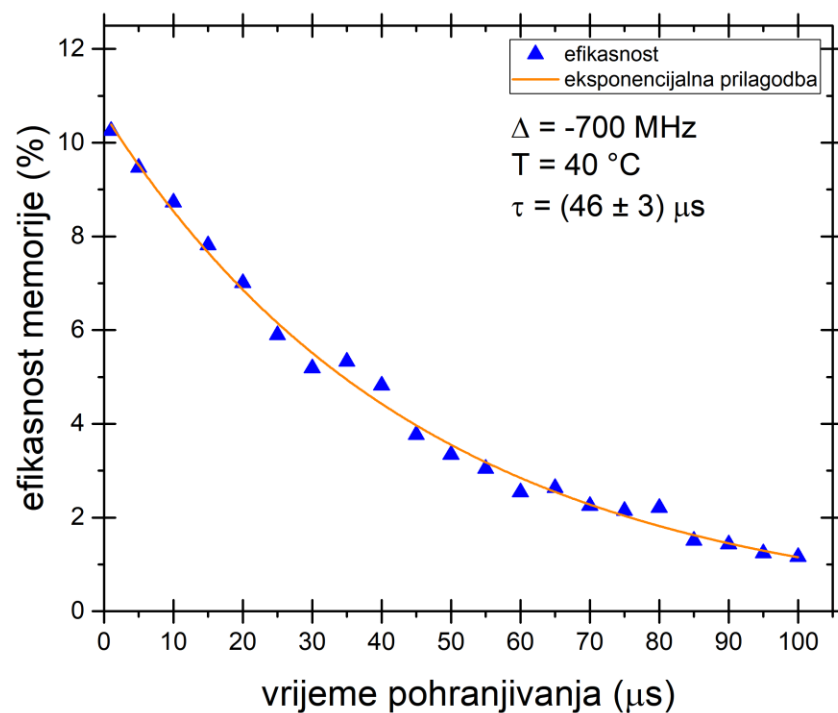
Rezultati i diskusija

Efikasnost u ovisnosti o odmaku od rezonancije

- $T = 40\text{ °C}$, $P_c = 16.6\text{ mW}$
- Značajni efekti apsorpcije oko rezonancije
- Maksimum za frekventni odmak od -900 MHz
- Efikasnost ovisi i o duljini trajanja ulaznog pulsa



Efikasnost u ovisnosti o vremenu spremanja



Zaključak

- Uveden je teorijski opis EIT-a i objašnjeni mehanizmi kojima se pohranjuje svjetlost u atomskom mediju
- Opisan je eksperiment koji omogućava mjerenje EIT-a i optičke memorije na toplim parama rubidija
- Istražena ovisnost efikasnosti optičke EIT memorije u ovisnosti o odmaku od frekvencije atomske rezonancije
- Uočen rast efikasnosti s odmakom i velika apsorpcija oko rezonancije za temperaturu od 40 °C
- Izmjerena ovisnost efikasnosti o vremenu pohranjivanja za dvije vrijednosti odmaka od rezonancije
- Dobiveno podudaranje dobivenih vrijednosti vremena života za dva odmaka

Literatura

- [1] Stephen E. Harris. "Electromagnetically Induced Transparency". Physics Today 50.7 (srpanj 1997.), str. 36–42.
- [2] D. Buhin. "Simultaneous laser cooling of multiple atomic species using a frequency comb". Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 2022.
- [3] M. Đujić, D. Buhin, N. Šantić, D. Aumiler i ~ T. Ban. "Comparative analysis of light storage in antirelaxation-coated and buffer-gas-filled alkali vapor cells". Scientific Reports 14.1 (lipanj 2024.).
- [4] Ran Finkelstein, Samir Bali, Ofer Firstenberg i Irina Novikova. "A practical guide to electromagnetically induced transparency in atomic vapor". New Journal of Physics 25.3 (ožujak 2023.), str. 035001.
- [5] Daniel A. Steck. Rubidium 85 D Line Data. Svibanj 2024. url: <https://steck.us/alkalidata/>
- [6] Marlan O. Scully i M. Suhail Zubairy. Quantum Optics. Cambridge University Press, 1997.
- [7] Marin Đujić. "Utjecaj učinaka dekoherencije na svojstva optičkih kvantnih memorija". Mag. rad. Sveučilište u Zagrebu, 2022.
- [8] John David Jackson. Classical electrodynamics. 3rd ed. Wiley, 1999.
- [9] Lijun Ma, Oliver Slattery i Xiao Tang. "Optical quantum memory based on electromagnetically induced transparency". Journal of Optics 19.4 (veljača 2017.), str. 043001.
- [10] Wolfgang Demtröder. Atoms, Molecules and Photons: An Introduction to Atomic Molecular and Quantum Physics. Siječanj 2006.

CALT

CENTRE FOR ADVANCED LASER TECHNIQUES

Hvala na pozornosti!



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