



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

4. atskaite par posmu no 11.09.2020. līdz 13.04.2021

Par Latvijas Universitātes projekta “Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikācijās” Nr. 1.1.1.1/18/A/155 norisi

Projekta vispārējais mērķis: Veikt pētniecību, kas veicina Latvijas viedās specializācijas stratēģijas mērķu sasniegšanu, cilvēkkapitāla attīstību zinātnē un tehnoloģijās un jaunu zināšanu radīšanu, lai uzlabotu konkurētspēju tautsaimniecībā.

Projekta mērķis ir: iegūt jaunas zināšanas par čukstošo galeriju modu rezonatoru optiskajām frekvenču ķemmēm (WCOMBs) un izstrādāt, konstruēt un testēt ķemmes ģenerators prototipu telekomunikāciju pielietojumiem.

Prezentēja Jānis Alnis LU ASI 2021. g. 13. aprīlī.

Projekta darbības

1. WCOMB izstrāde, modelēšana, testēšana un optimizēšana

1.1. Dažādu ČGM rezonatoru izstrāde un iegūšana

1.2. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota prizma, izveide, testēšana un optimizēšana

1.3. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota izstieptā šķiedra, izveide, testēšana un optimizēšana

1.4. ČGM rezonatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana

2. Portatīva WCOMB izstrāde, izveide un testēšana pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās

2.1. Eksistējošo WCOMB ģeneratoru veidu, risinājumu un realizāciju izpēte šķiedru optiskajās sakaru sistēmās

2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās

4. Projekta rezultātu izplatīšana

4.2. Intelektuālā īpašuma tiesību pārvaldīšana. Tehnoloģiju tiesību - zinātības apraksts

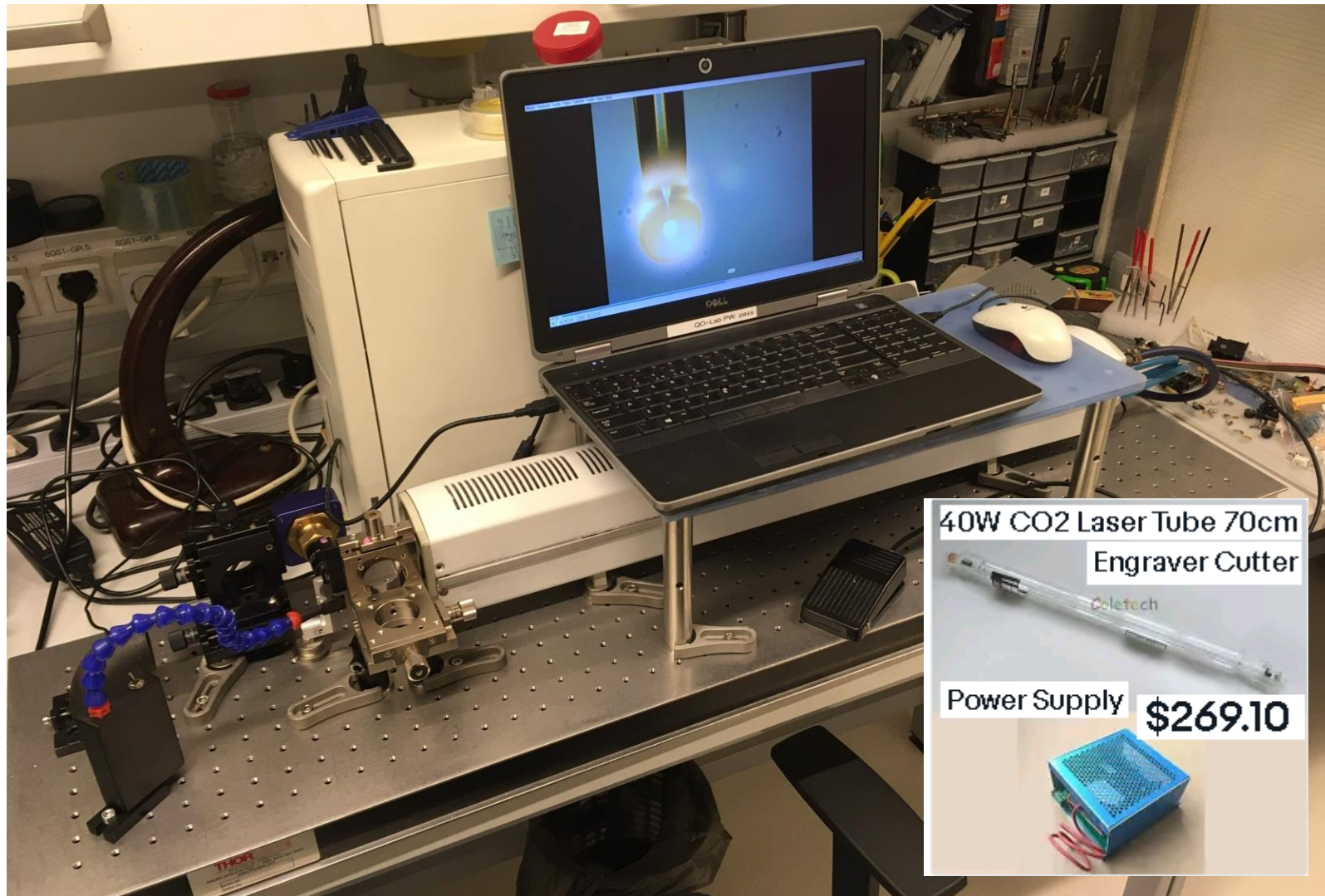
4.3. Datu pārvaldes plāns

4.5. Publicitāte

Aktivitāte 1.1. Dažādu rezonatoru izgatavošana.

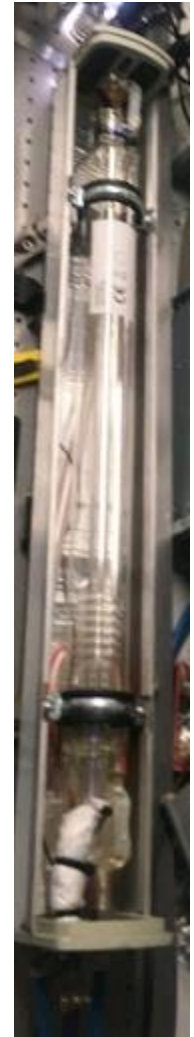

Samontēts stends ar CO₂ lāzeri kvarca rezonatoru kausēšanai, LU ASI.

- 40W lāzers, jauda lietota 3-6W. ZnSe lēca f = 5 cm.
- 3D galdiņš paraugam un otrs 3D galdiņš mikroskopam 20x NA 0.4.
- Astronomijas webkamera (Levenhuk T130 Plus).



40W CO2 Laser Tube 70cm
Engraver Cutter
Coletch

Power Supply \$269.10



2021.01.30. Ar CO_2 lāzeri uzkausēts kvarca
bumbiņas rezonators.

Mikrosfēras nav apaļas !!!

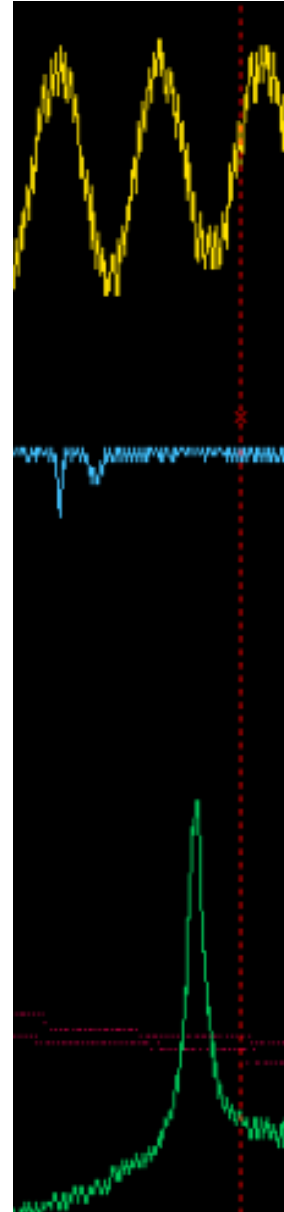
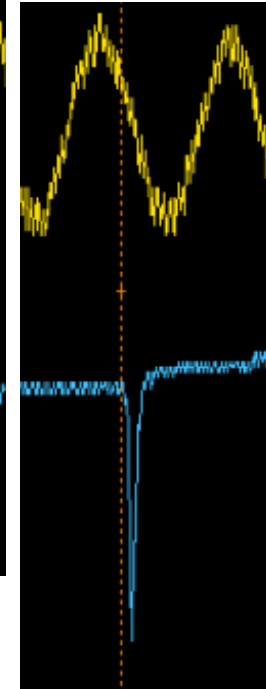
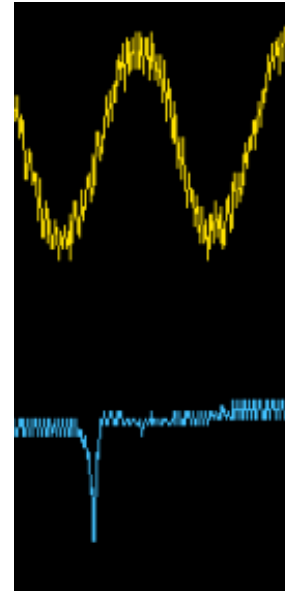
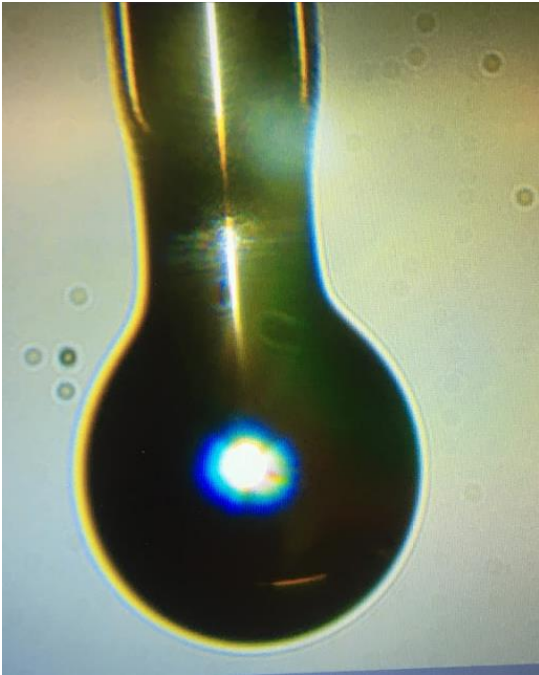
Diametrs 205 mkm, $Q = 2\text{E}8$.

Nosēžas balti iztvaicētā kvarca putekļi.

Tests ar 780 nm lāzeri, prizmas ievade.

WGMR FWHM = 2 MHz, **$Q = 2\text{E}8$**

https://youtu.be/1d9_53AR2oo

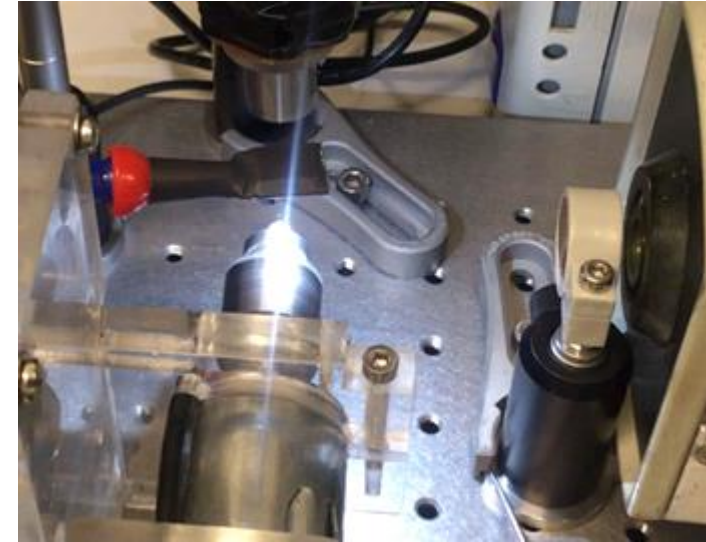
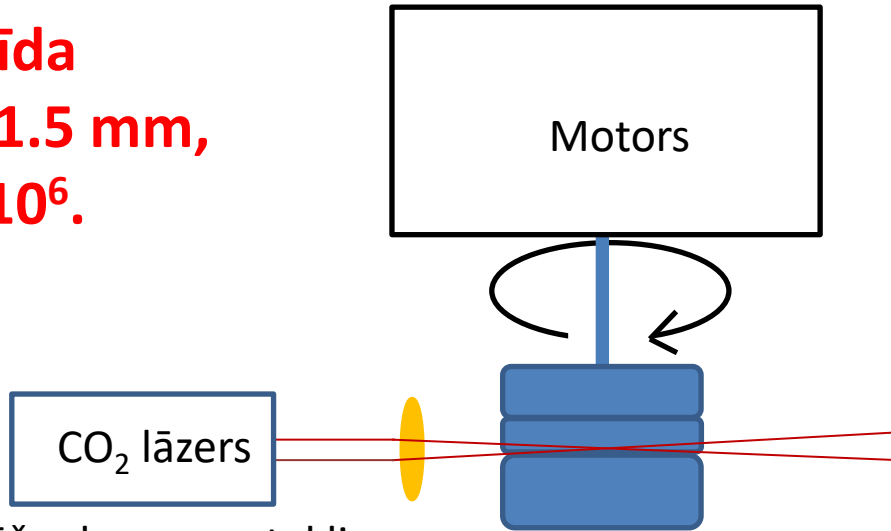


References vilnīšiem no šķiedras
interferometra Ir 50 MHz periods.

Rubīdija atomu piesātinājuma
spektroskopijas līnijas FWHM 10-12 MHz.

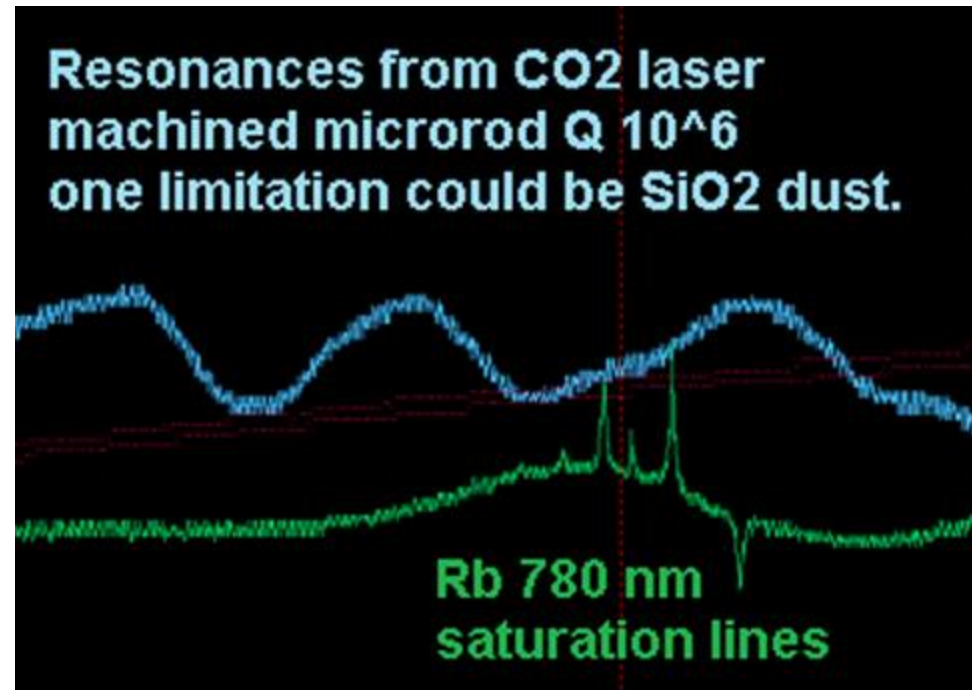
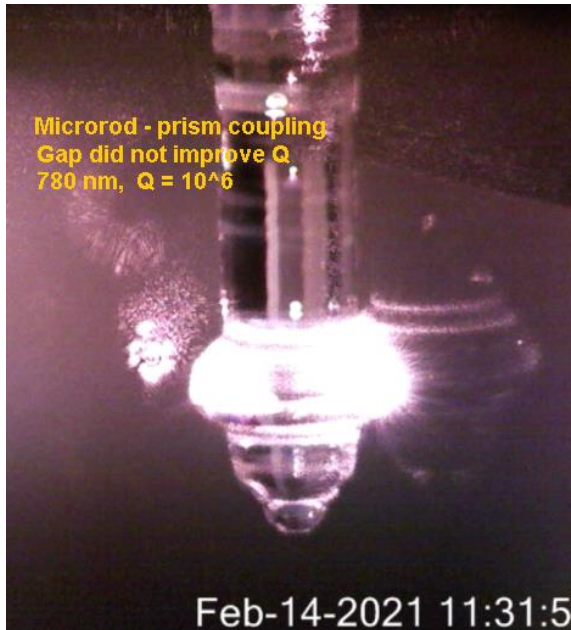
2021.01.30. Ar CO₂ lāzeri izvirpots toroīda rezonators no kvarca stienīša.

Toroīda
D = 1.5 mm,
Q = 10⁶.



Nosēžas kvarca putekļi.

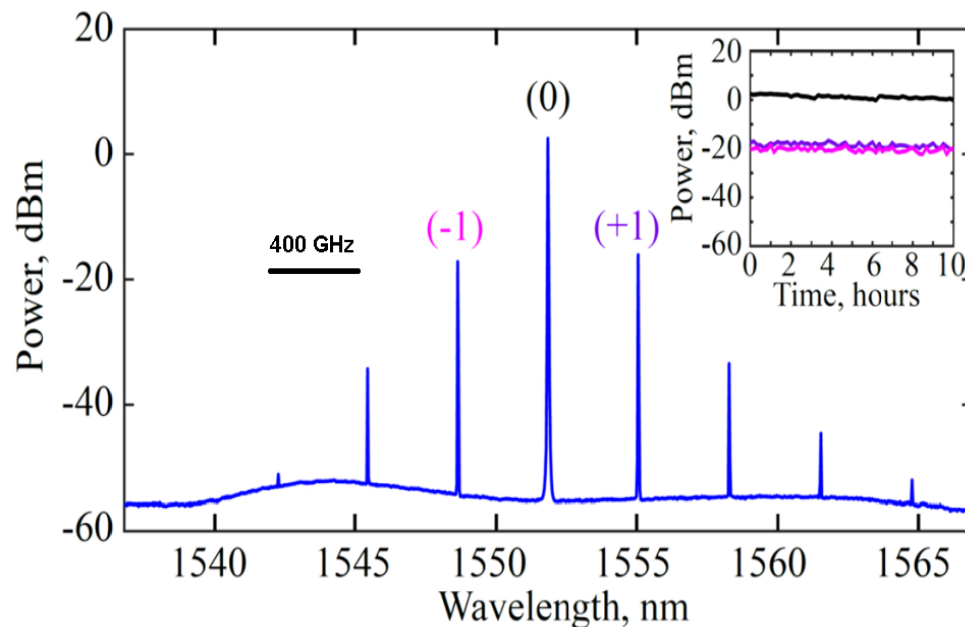
Tests ar 780 nm lāzeri, prizmas ievade.



Kvarca mikrosfēras rezonatori ar diametru 170 mkm

ķemmēm ar attālumu starp līnijām 400 GHz.

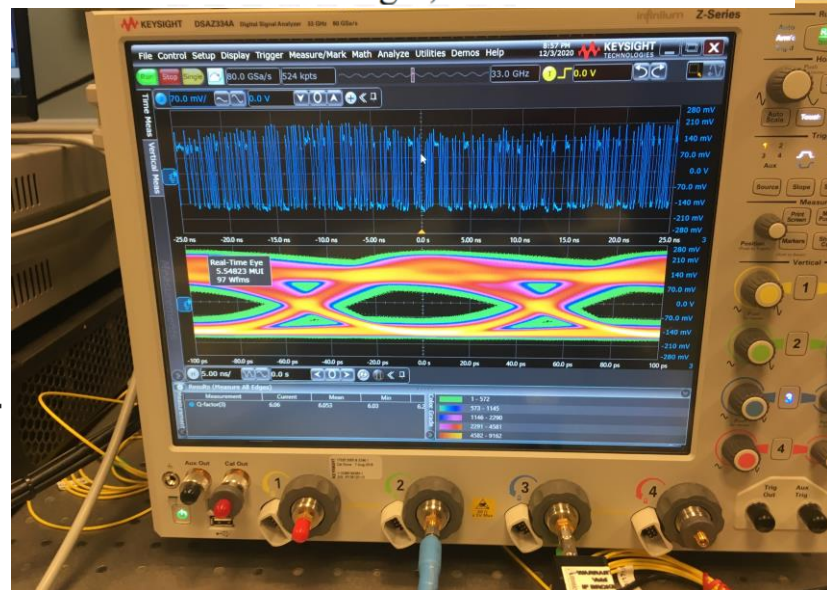
Izdevās uzmodulēt 10 Gbps datus uz ķemmes līnijām. Nopublicēts *Opt. Expr. (Q1)*.



Demonstration of a fiber optical communication system employing a silica microsphere-based OFC source

Toms Salgals, Janis Alnis, Rihards Murnieks, Inga Brice, Jurgis Porins, Alexey V. Andrianov, Elena A. Anashkina, Sandis Spolitis, and Vjaceslavs Bobrovs

Optics Express Vol. 29, Issue 7, pp. 10903-10913 (2021)

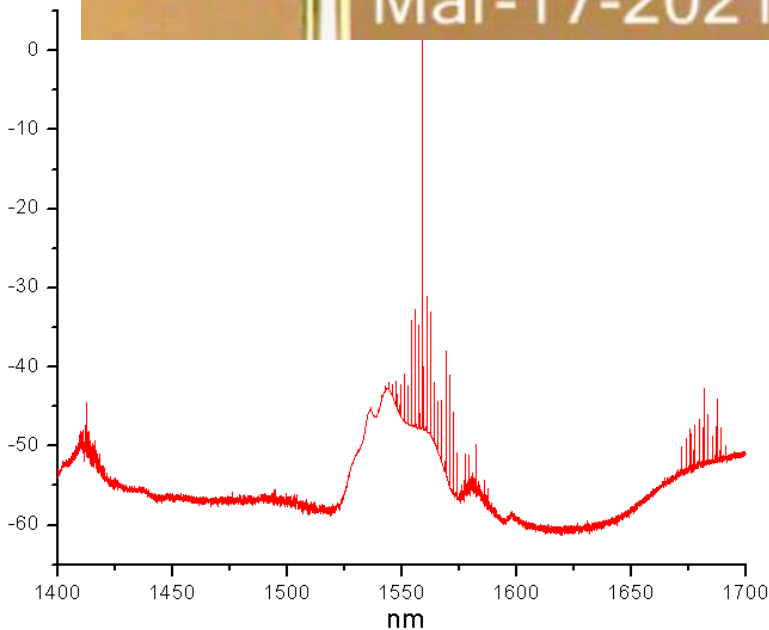
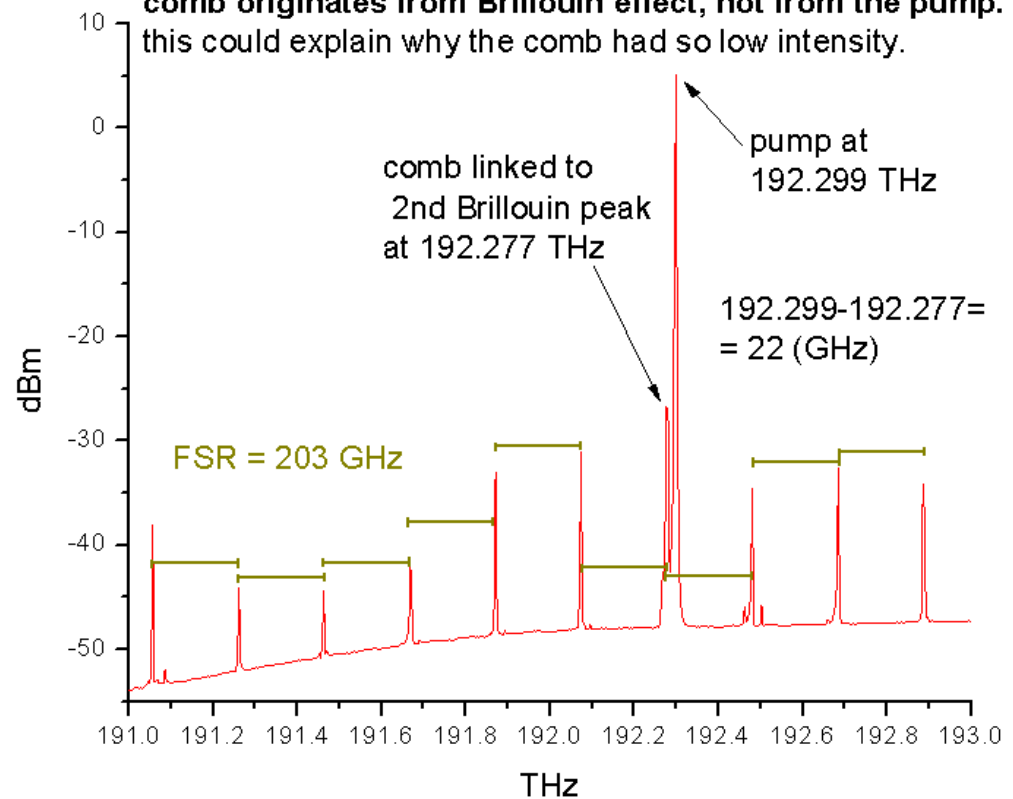


Kvarca mikrosfēras rezonatori ar diametru 330 mkm. Iegūta ķemme ar attālumu starp līnijām 200 GHz.



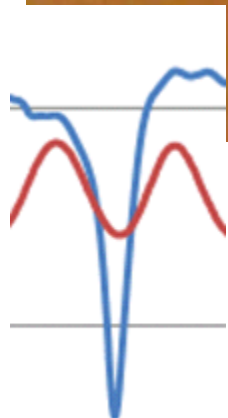
Ķemmes diamžēl nestabilas laikā Briljuēna efekta dēļ, jo lielākā rezonatorā var cirkulēt vairāk telpiskās modas nekā iepriekšlietotajā mazāka diametra rezonatorā.

2021 03 15. 200 GHz FSR comb. Laser set to 560 nm.
comb originates from Brillouin effect, not from the pump.
this could explain why the comb had so low intensity.

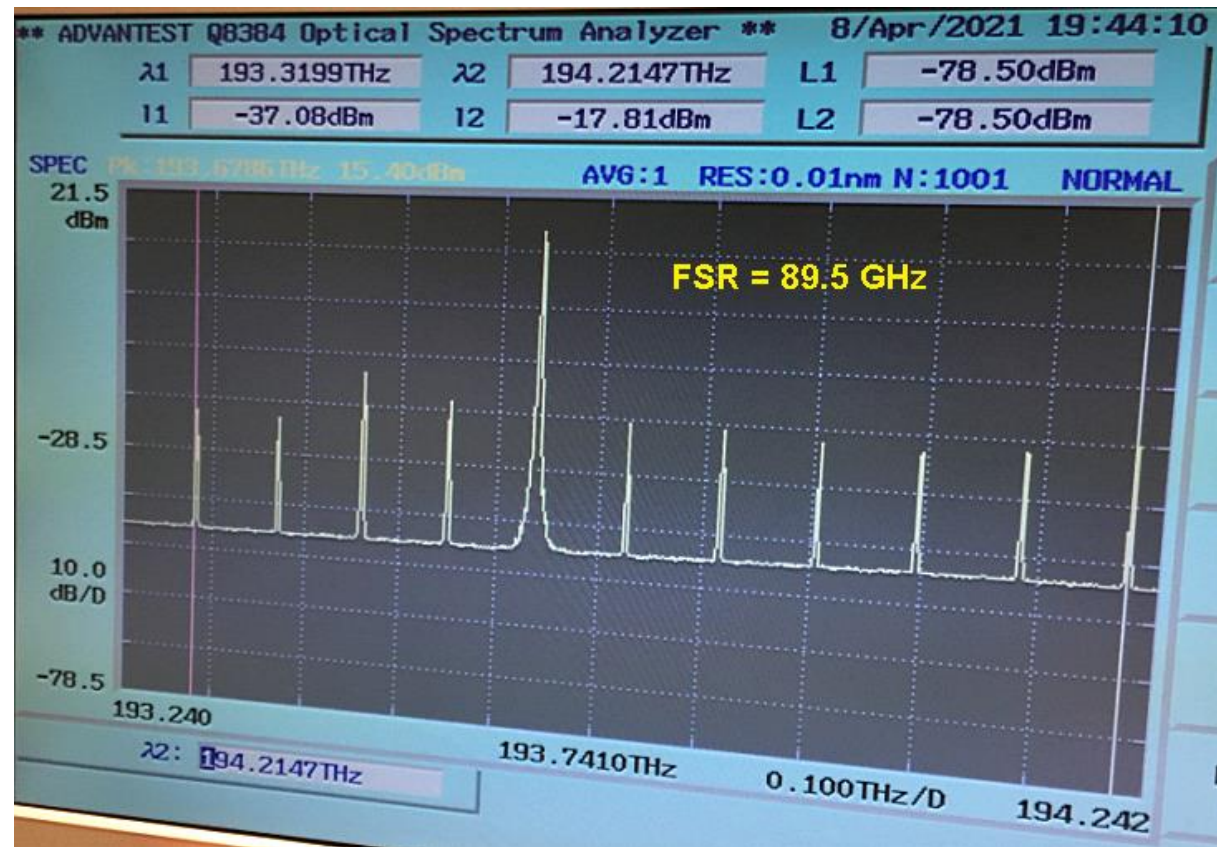


Kvarca stienīšu torodālie rezonatori izvirpoti ar CO₂ lāzeri ar diametru 660 mkm ķemmēm ar attālumu starp līnijām 100 GHz.

Izvirpojās nedaudz resnāks kā plānots un attālums starp iegūtās ķemmes līnijām ir 89.5 GHz, kas ir 10% tolerances robežās. Problēma, ka ķemme nestabila laikā, pagaidām nevaram pielietot telekomunikācijām. Mēģinām iegūt solitonus .



Rezonanses
platums 10 MHz,
 $Q = 2E7$



Aktivitāte 1.3. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota izstieptā šķiedra, izveide, testēšana un optimizēšana.

Apmēram 1 mikrometru diametrā tievas kvarca šķiedras izvilkšana no 125 mkm diametra šķiedras, karsējot ar ūdeņraža degļiem.

Nepieciešama gaismas ievadei WGMR.

Oxy-hydrogen burner,
izgatavoja V. Ignatāns
Liesma rada stipru vēju.

Tīra ūdeņraža deglis
1 caurums 0.8 mm.

Tīrs ūdeņradis, 8 adatas
rindā – gara šaura liesma.



Liesmas tievās šķiedras stiepšanai:

ūdeņradis un sašķidrinātā gāze.

2020.g. pavasarī nocīnījāties 2 nedēļas, kamēr sapratām, ka, lai saglabātu labu tapered fiber Transmisiju, ir jāizmanto stiprāku ūdeņraža liesmu, kas karsē platāku šķiedras apgabalu, lai netiktu pārsniegts adiabatiskais sašaurināšanās lenķis.

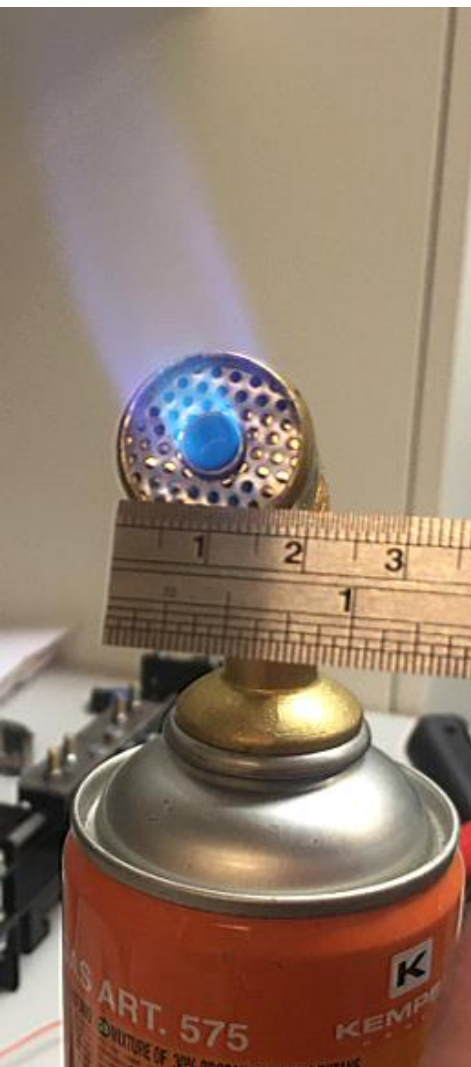
Ūdeņraža elektrolizators pārkarst. Tāpēc gribam pamēģināt izmantot propāna liesmu, kas ir daudz pieejamāka. E. Anaskinas grupa izmanto sašķidrinātās gāzes lodlampu.



Attēlā redzamā miniatūrā propāna liesma nenodrošināja pietiekami garu šķiedras apgabala sildīšanu, lai stipri nesamazinātos transmisija caur šķiedru.

Tapered fiber izgatavošanai nepieciešama liesma, kas kausē vienmērīgi.

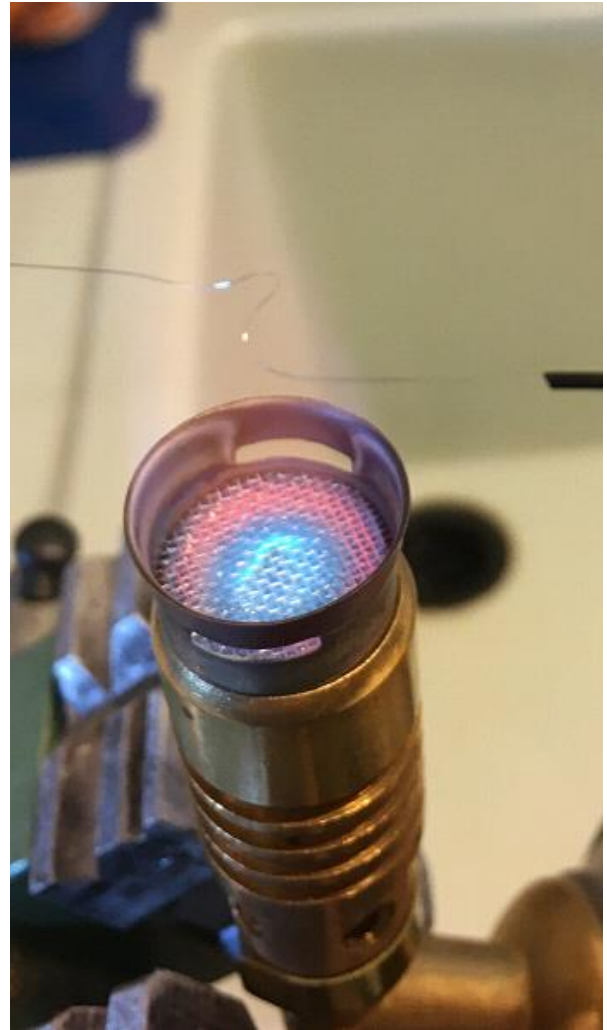
Lodlampa
no Depo veikala.



Not good - through the middle of the flame. Fiber melts only at two places which glow and is too cold in the middle to soften and stretch.



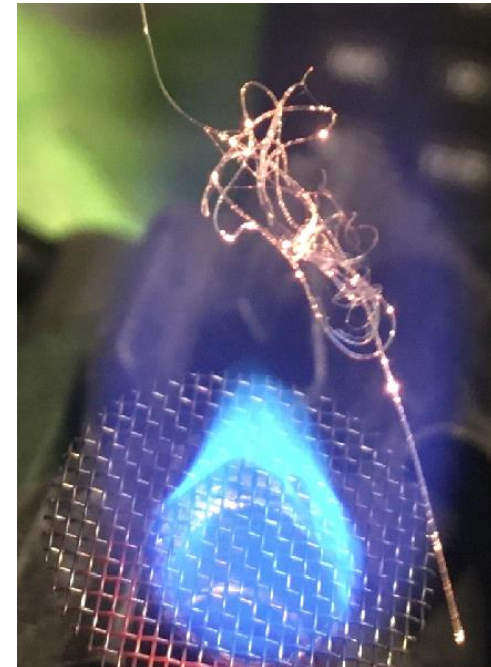
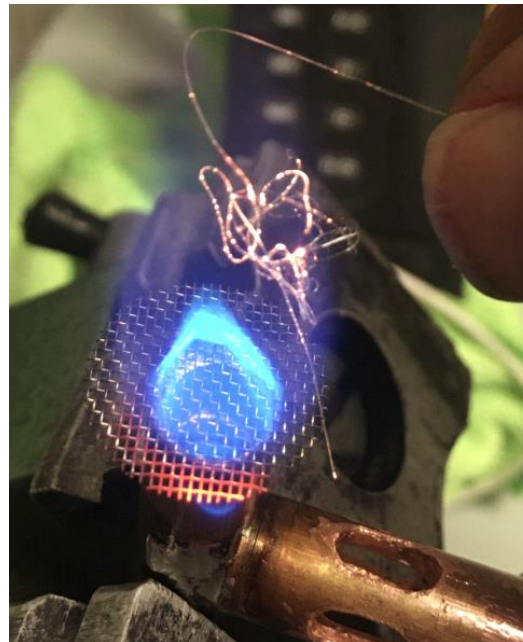
Torch with a mesh added **good**, fiber softens uniformly.



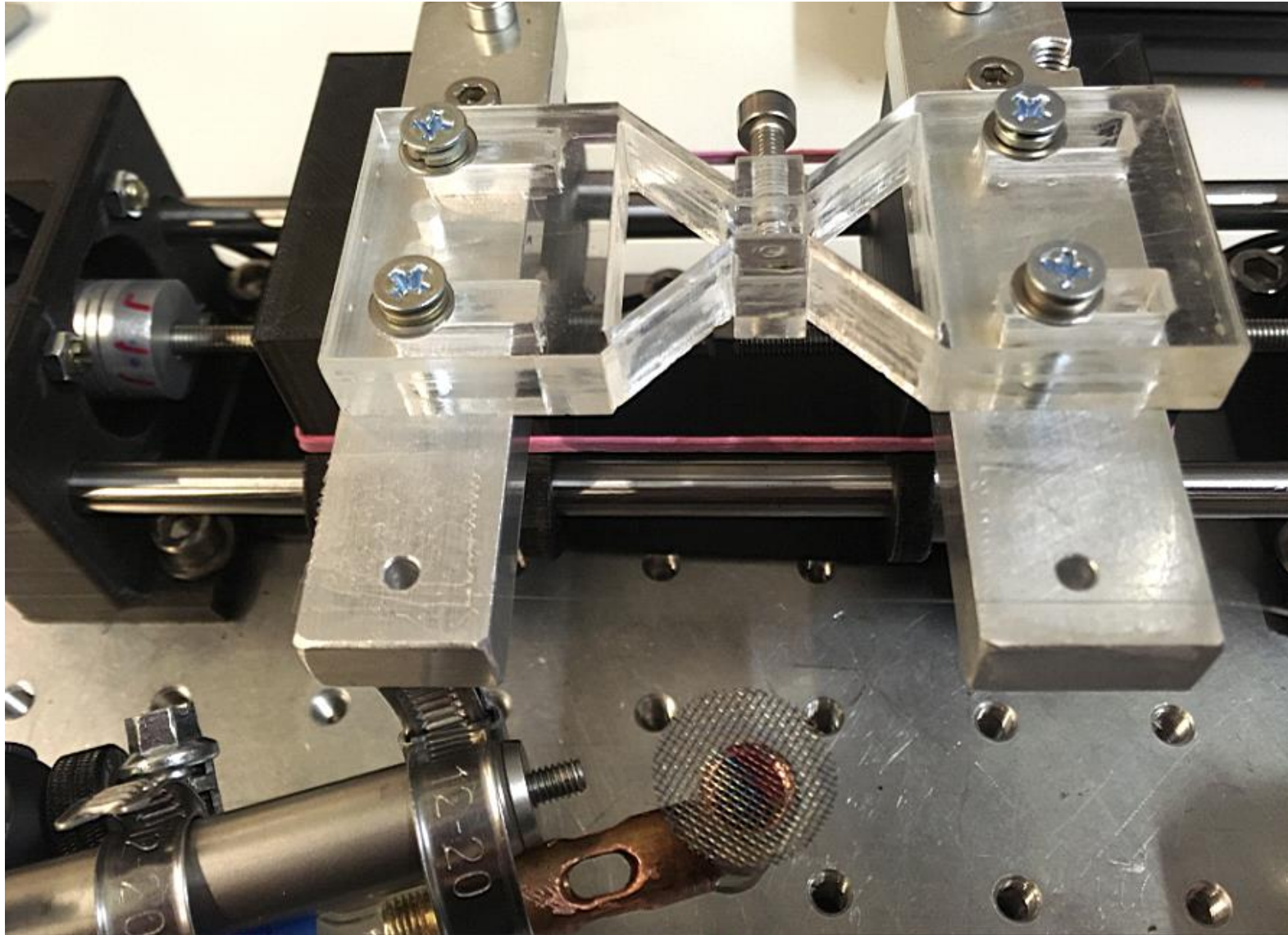
Tapered fiber kausēšanai Izgatavots propāna-butāna deglis ar platu vienmērīgu liesmu.

Liesmu stabilizē sietiņš (Meker-Fischer burner).

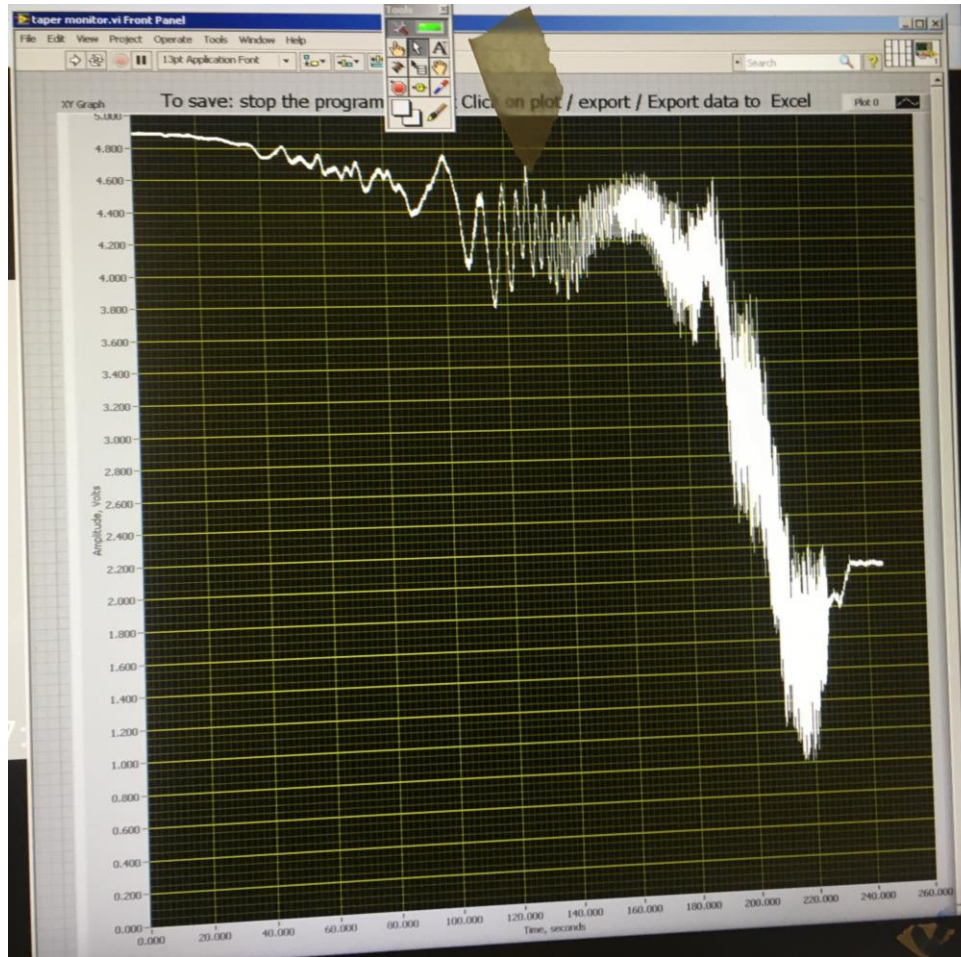
Termopāris rāda 1250°C. Kvarca pavediens paliek mīksts un sakūst, kad saskaras ar citu pavedienu.



Tievās šķiedras stiepšana ar jaunizgatavoto propāna degli un nofiksēšana pēc stiepšanas, lai varētu nocelt no motorizētā stiepšanas stenda.



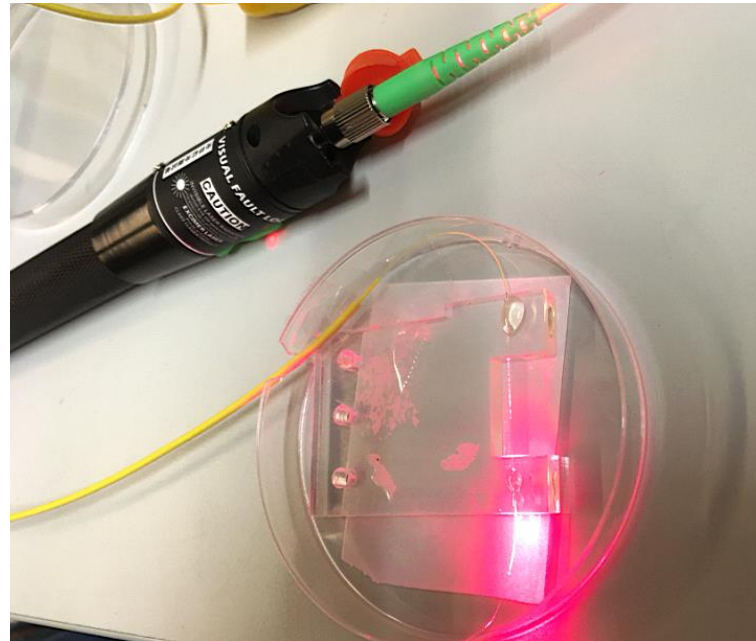
Rezultāts: izstiepjot *tapered fiber* ar tievu propāna liesmu iegūst ~40 % transmisijas saglabāšanās. Ar platāku propāna liesmu transmisija saglabājās 70% no sākotnējās. Dažas grupas iegūst līdz pat 99%. Tievā izstieptā šķiedra izturēja transportu uz RTU 3km ar automašīnu.



2.2. Portatīva WCOMB kā daudzviļņu gaismas avota izstrāde un izveide pielietojumiem šķiedru optisko sakaru sistēmās.

Novembrī iepakots rezonators kopā ar tapered fiber saglabājas līdz šim brīdim. Neģenerē ķemmi, jo lodīte nobīdījās pret ķemmi. Pabīdīt nevar, jo viss salīmēts. Nākošajiem nepieciešama regulēšanas iespēja.

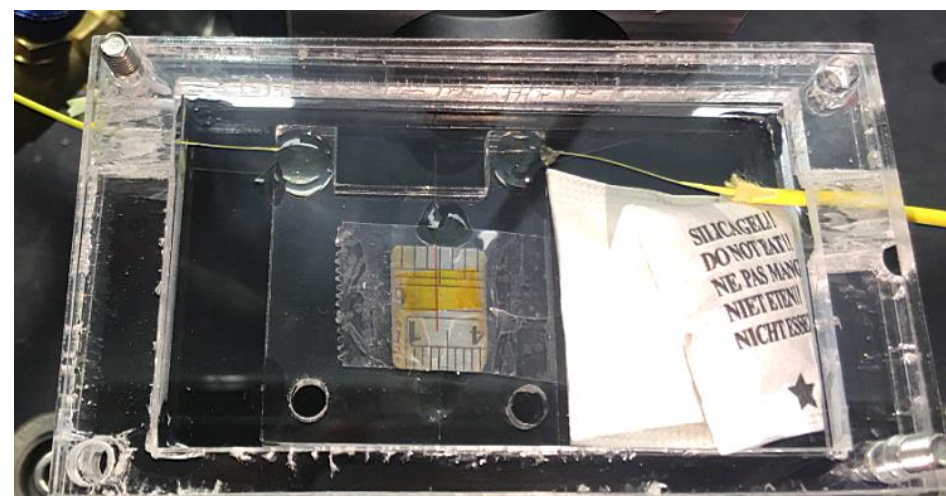
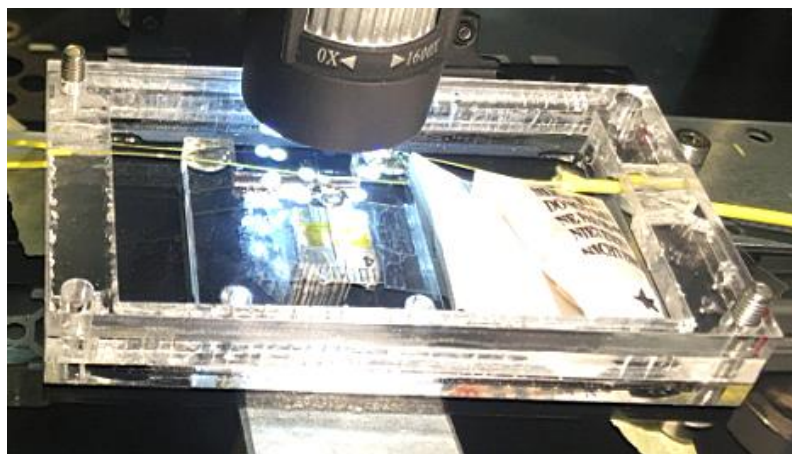
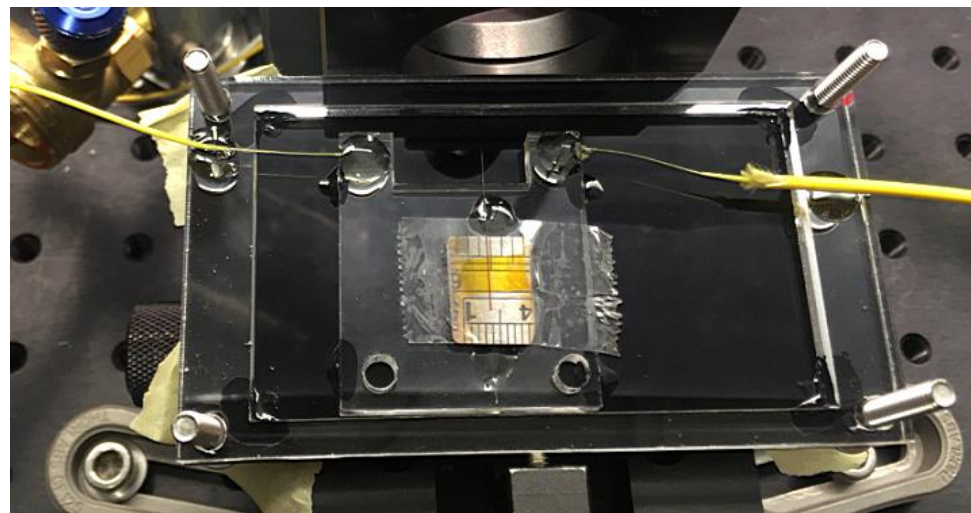
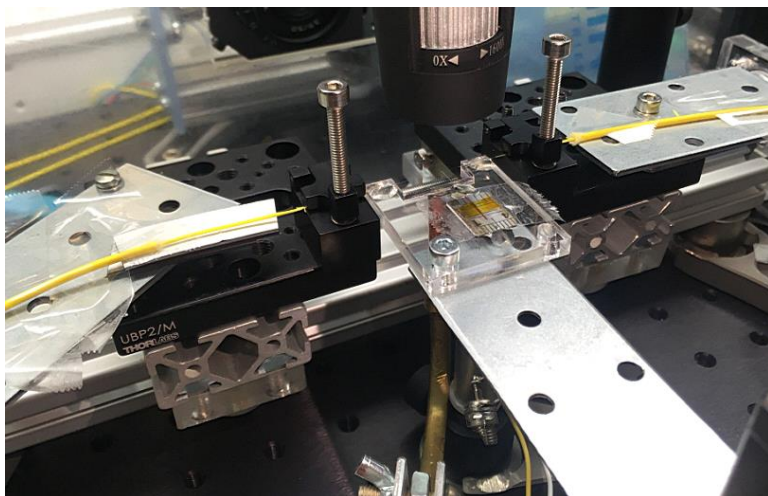
Iespēja «noņemt» tapered fiber no motorizētā galdiņa pielīmējot pie orgstikla U - formas plāksnītes un ielikt kastītē.



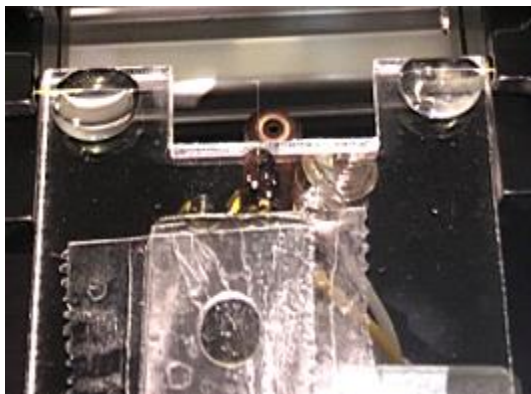
Vēlams, lai polimērs netiktu notīrīts tur kur UV līme, tad praktiski nevar šķiedru salauzt to lokot. Ja pielīmē tur kur polimērs ir notīrīts, tad jāuzmanās, lai lokot nesalauztu. Tapered fiber iespējams stiept sametinot divus pārrautus šķiedru galus, un metinājuma vietu izmantot kā jaunā taper vietu (varbūt ne gluži pašu vidu). Tas ekonomē šķiedru.

Rezonatora - taper moduļa izgatavošanas soļi:

1. Pielīmē rezonatoru pie orgstikla U. Rezonatora pacelts par 0.5 mm ar plāksnīti.
2. Ar 3D galdiņu piebrauc U ar rezonatoru pie taper, atrod reonanses, (ķemmi)
3. Pielīmē ar UV līmes pilieniem taper pie U veida stiprinājuma.
4. Pielīmē ar UV līmi WGMR pie U veida stiprinājuma.
5. Ieliek kastītē ar silikagēlu (mitrumam) un aktīvo ogli (GOS smakām).

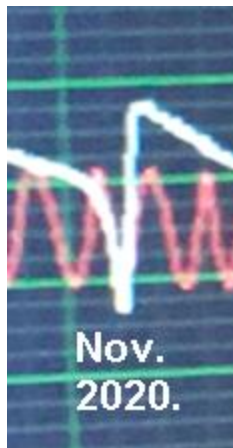
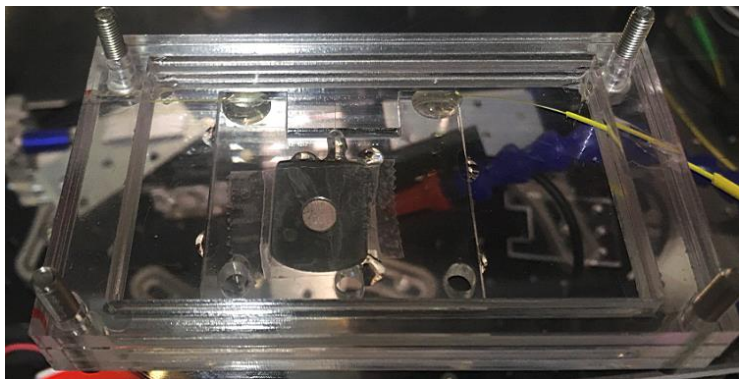


Iepakota rezonatora Q faktora mērījumi vairāku mēnešu garumā.

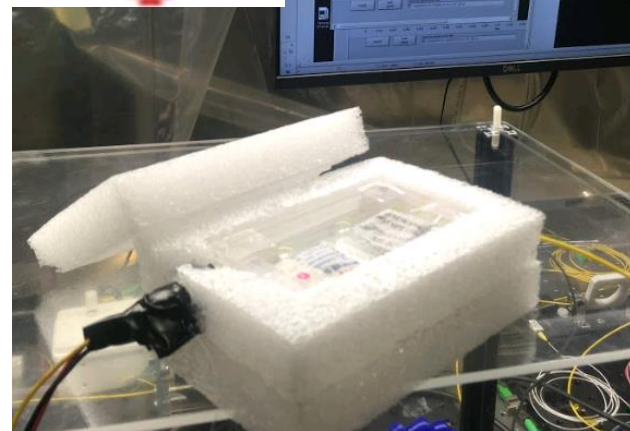
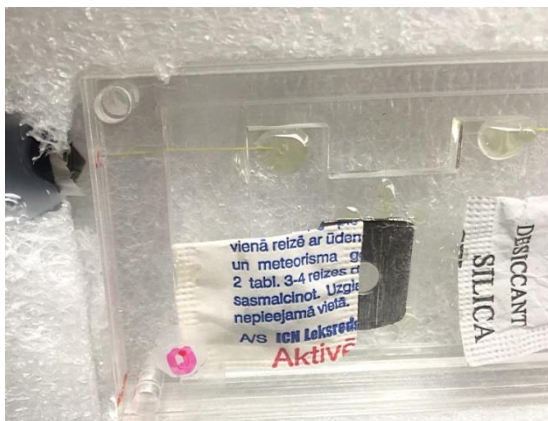
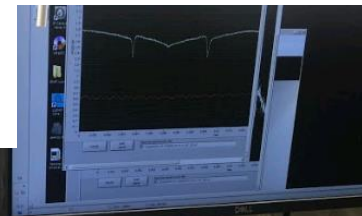
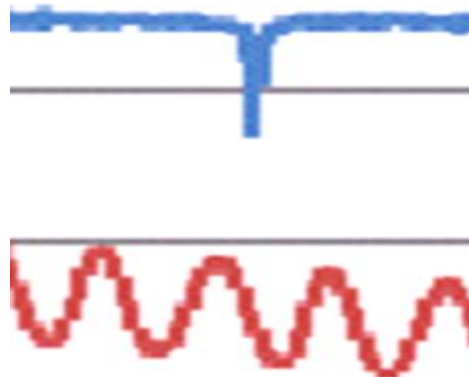


Vēl jāapkopo jaunākie dati. Novērojām, ka Q faktors degradējās, kaut arī silikagela mitruma savācējs. Kastīte nav hermētiska.

Varbūt jātaisa krāsniņu pie 60-80C ar Peltjē, lai žāvējas. Tad parastā līme nederēs. High temp epoxy *Torrseal*?



9. febr. 2021

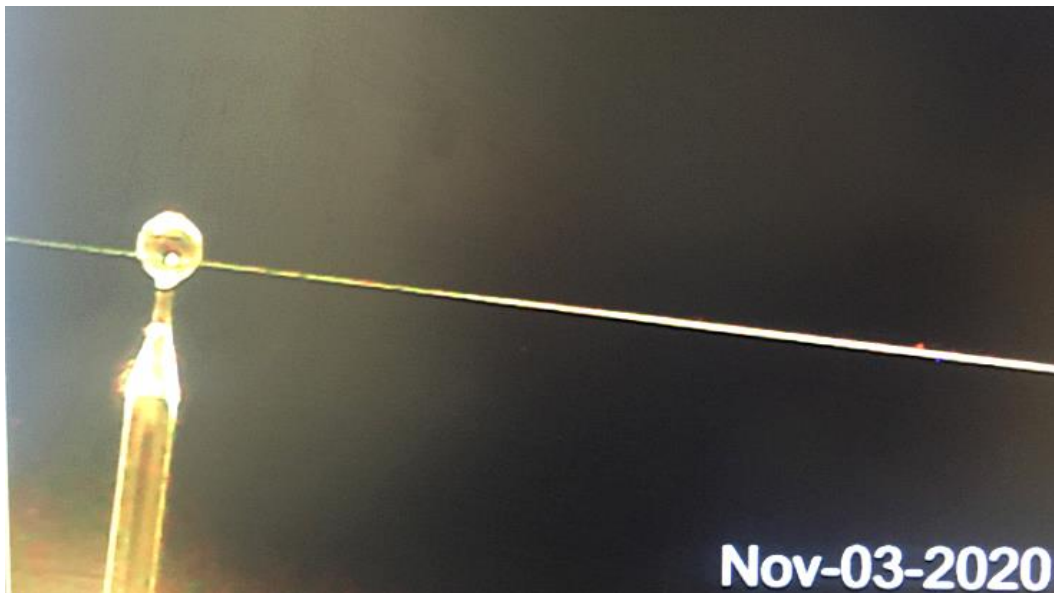


Aktivitāte 4.2. Patents?

Rezonatora - taper moduļa izgatavošana frekvenču ķemmēm.

Fiksēta konstrukcija rezonators – tapered fiber neder ķemmei, jo rezonators ķemmēm ik pa laikam jāpabīda pret taper. Dažreiz pieskaršanās vieta nedaudz nobīdās, uzsitot vai izmainoties temperatūrai.

Ķemme pazuda un nebija atjaunojama, kad, uzsitot, nobīdījās rezonatora pieskaršanās vieta. Var redzēt, ka nepieskaras pa vidu. Atpakaļ nevarēja atbīdīt, jo rezonators pielīmēts. Rezonatora diametrs 166 mikroni ~ 400 GHz FSR.



Rezonatora - taper modulis ar 3D pozicionēšanu – vēl neiztestēts.

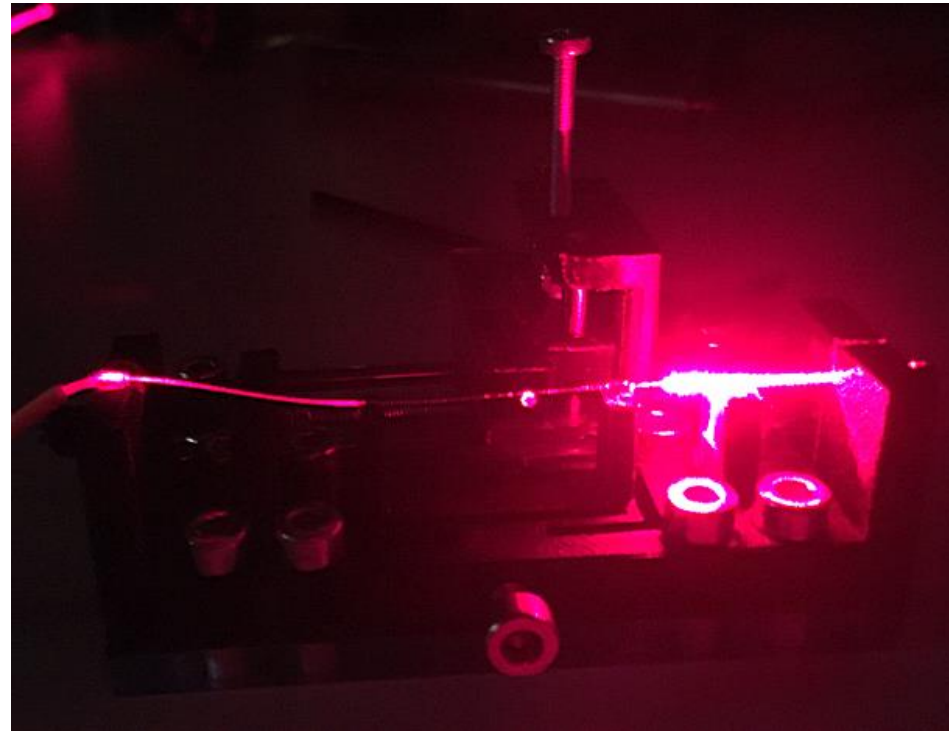
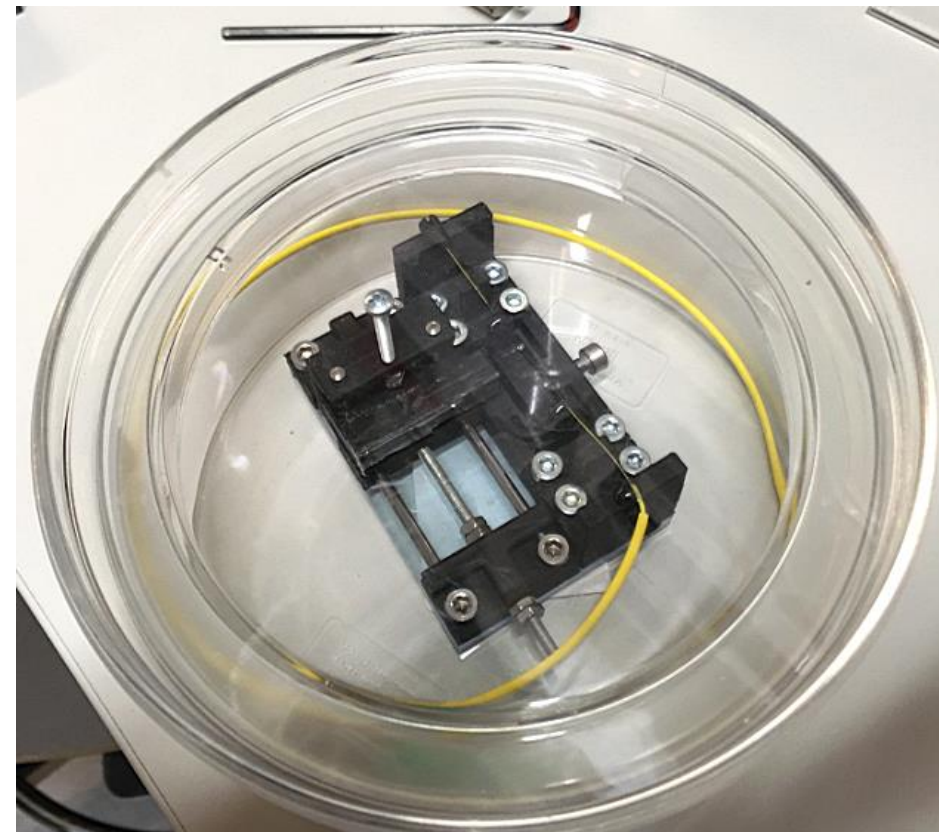
Varētu patentēt ???

Fiksēts rezonators – tapered fiber neder ķemmei, jo rezonators ķemmēm reiz pa reizei jāpabīda pret taper. Dažreiz pieskaršanās vieta nobīdās, uzsitot vai no temperatūras un ir jāvar atgriezties.

Uzkonstruējām bīdāmu konstrukciju.

Tapered fiber pielīmēts pie 3D printētas U dakšīnas. Pielīmējām, nesaplēsām.

Varbūt vajadzētu no metāla, bet sākumā varam pārbaudīt arī plastmasas konstrukciju.



Darāmais tālāk.

- Ap rezonatoru un tievo šķiedru vajadzētu noslēgtu metāla kastīti, lai var sildīt ar Peltjē elementu. Vislabāk hermētisku. Šķiedras porti kaut kā jāhermetizē. Vai etiķa tvaiki silikonam žūstot, degradēsies Q?
- Jāpamēģina uztaisīt krāsniņu pie 60-80°C ar sildītāju vai Peltjē, lai rezonators žāvējas un nenoveco. Tādas krāsniņas lieto higroskopiskiem BBO lāzeru kristāliem.
- Pie 60-80 °C parastā līme nederēs. Jāpamēģina *High temperature epoxy Torrseal* vai auto Metal Epoxy.

Aktivitāte 4. Publicitāte 6 mēnešu periodā

RAKSTI

- Salgals, T., Alnis, J., Mūrnieks, R., Brice, I., Poriņš, J., Andrianov, A., Anashkina, E., Spolītis, S., Bobrovs, V.
Demonstration of a Fiber Optical Communication System Employing a Silica Microsphere-Based OFC Source.
Optics Express, 2021, Vol. 29, No. 7, pp.10903-10913. doi:10.1364/OE.419546
- Anshkina, E., Bobrovs, V., Salgals, T., Brice, I., Alnis, J., Andrianov, A.
Kerr Optical Frequency Combs with Multi-FSR Mode Spacing in Silica Microspheres.
IEEE Photonics Technology Letters, 2021, Vol. 33, No. 9, pp.453-456. doi:10.1109/LPT.2021.3068373
[Nav atsauce uz šo projektu.](#)
- Brice, I., Grundsteins, K., Sedulis, A., Salgals, T., Spolītis, S., Bobrovs, V., Alnis, J.
Frequency Comb Generation in Whispering Gallery Mode Silica Microsphere Resonators.
In: **Proceedings of SPIE**. Vol.11672: Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, United States of America, Washington, 6-11 March, 2021. ASV Online: SPIE Proceedings, 2021, Article number 1167213. doi:10.1117/12.2577148

PREZENTĀCIJAS KONFERENCĒS

- I. Brice, K. Grundsteins, T. Salgals, J. Alnis
OFC generated inside silica microsphere for WDM data transmission system,
Photonics online meetup #POM21ja, January 13-14, 2021.
- K.Draguns
«ČGM mikrorezonatora uzpumpēšanas par frekvenču ķemmi modelēšana»
(mutisks) LU 79.konference ASI sekcija (12.02.21.)
- A.Sedulis
« Influence of WGM resonator polishing techniques in frequency comb generation»
(mutisks) LU 79.konference ASI sekcija (12.02.21.)
- R.Veilande, I.Bērons, O.M.Eberliņš
«Divi saistītie nelineārie Šrēdingera vienādojumi»
(mutisks) LU 79.konference ASI sekcija (12.02.21.)
- K.Draguns, I.Brice, T.Salgals, J.Alnis
«Dispersion Engineering of Whispering Gallery Mode Resonators for Frequency Comb Generation and Telecommunication Applications» (mutisks)
OPEN READINGS 21 (16.-19.03.21.)

ERAF projekts «Uz čukstošās galerijas modas mikrorezonatora bāzes veidota optisko frekvenču ķemmes ģenerators izstrāde un tā pielietojumi telekomunikacijās»

1.4. ČGM rezanatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana

Darbinieki: Rita Veilande (LU), Kristians Draguns (Affoc), Artūrs Ciniņš, (Affoc)
(*Aigars Atvars*)

13.04.2021, ERAF projekta padomes sēde

Darbības 1.4. aktivitātē

- Veiksmīga sadarbība arī modelēšanas jomā ar E.Anaškinas grupu (Pielietojamās fizikas institūts, Nižņij Novgorad), kas ir vainagojusies ar kopīgām publikācijām.
- Modelēšana COMSOL programmā (Kristians)
- Frekvenču ķemmes modelēšana, izmantojot Lugiato-Lefevēra vienādojumu (visi):
 - Ar pyLLE programmatūru
 - Ar citu brīvpieejas programmatūru
- Papildus tēma: Fotona matemātiskie modeļi (Rita) – LLV ir nelineārais Šrēdingera vienādojums, tāda paša tipa vienādojumu mēs aplūkojam arī iespējamā fotona-solitona modelī. Fundamentālāka fotona matemātiska izpratne var palīdzēt arī labāk izprast fizikālos procesus par gaismas izplatīšanos mikrorezanatoros.

Sadarbība ar E.Anaškinas grupu



Demonstration of a fiber optical communication system employing a silica microsphere-based OFC source

TOMS SALGALS,^{1,2,*} JANIS ALNIS,³ RIHARDS MURNIEKS,^{1,4} INGA BRICE,³ JURGIS PORINS,¹ ALEXEY V. ANDRIANOV,⁵ ELENA A. ANASHKINA,⁵ SANDIS SPOLITIS,^{1,4} AND VJACESLAVS BOBROVS¹

¹Institute of Telecommunications of the Riga Technical University, 12 Azenes Street, 1048 Riga, Latvia
²AFFOC Solutions Ltd., 17 Andrejostas Street, 1045 Riga, Latvia
³Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, University of Latvia, 3 Jelgavas Street, 1004 Riga, Latvia
⁴Communication Technologies Research Center, Riga Technical University, 1048 Riga, Latvia
⁵Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46 Ul'yanov Street, 603950 Nizhny Novgorod, Russia
 *toms.salgals@rtu.lv

✓ Elena A. Anashkina, Vjaceslavs Bobrovs, Toms Salgals, Inga Brice, Janis Alnis, and Alexey V. Andrianov «Kerr Optical Frequency Combs With Multi-FSR Mode Spacing in Silica Microspheres», [IEEE Photonics Technology Letters](#) (Volume: 33, Issue: 9, May1, 1 2021)

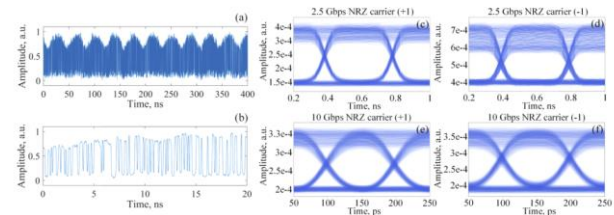
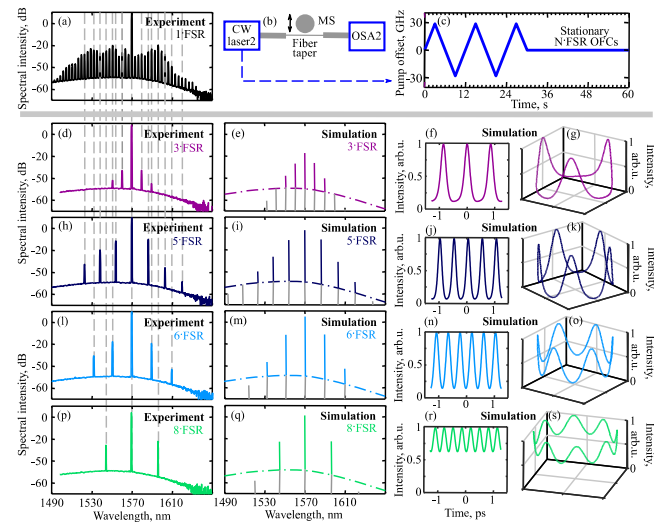


Fig. 7. Simulated and captured waveforms of (a) 10 Gbps NRZ-OOK signal waveform after 20 km transmission, and (b) 20 ns insight of the waveform showing received bit sequence. Simulative eye diagrams of the received signal after 20 km transmission over SMF fiber at a data rate of 2.5 Gbps for (c) carrier “+1” and (d) carrier “-1”, and data rate of 10 Gbps for (e) carrier “+1” and (f) carrier “-1”.



Rezultāti, kas saistīti tikai ar modelēšanas daļu

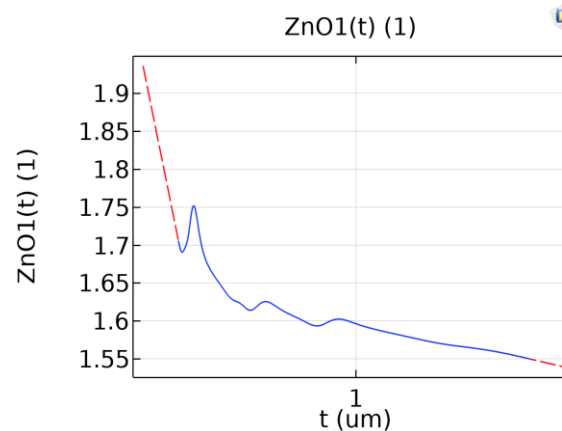
- Publikācijas:
 - «Mathematical models of photons» I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers, iesniegts Journal of Mathematical Physics
- Konferences:
 - LU 79.konference ASI sekcija (12.02.21.)
 - K.Draguns «ČGM mikrorezonatora uzpumpēšanas par frekvenču ķemmi modelēšana» (mutisks)
 - R.Veilande, I.Bērsons, O.M.Eberliņš «Divi saistītie nelineārie Šrēdingera vienādojumi» (mutisks)
 - OPEN READINGS 21 (16.-19.03.21.)
 - K.Draguns, I.Brice, T.Selgals, J.Alnis «Dispersion Engineering of Whispering Gallery Mode Resonators for Frequency Comb Generation and Telecommunication Applications» (mutisks)
 - ViCPEAC (21.g. jūlijs), iesniegts abstrakts «Three mathematical models of photons» I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers
 - EGAS52 (21.g. jūnijs), sagatavots abstrakts iesniegšanai tuvākā laikā «The new mathematical model of photons» I.Bersons, R.Veilande, O.Balcers

COMSOL Multiphysics lietojums disperisjas aprēķināšanai

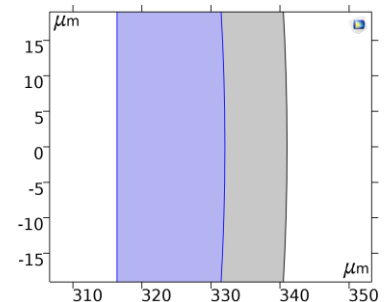
Rezonatora materiāla uzdošana

- Uzdo dod materiālās disperisjas datu tabulu
- Izveido interpolācijas funkciju $n=n(\lambda)$
- Uzdo dod materiāla apgabala gaismas laušanas koeficientu kā funkciju n

→ Rēķinot pie dažādām frekvencēm tiek ņemtas dažādas n vērtības



Variables	
Name	Expression
n	SiO2(ewfd.lambda0)
ZnO11	ZnO1(ewfd.lambda0)
ZnO22	ZnO2(ewfd.lambda0)



Property	Variable	Value	Unit	Property group
<input checked="" type="checkbox"/> Refractive index, real part	n_iso ;...	ZnO11	1	Refractive index
<input checked="" type="checkbox"/> Refractive index, imaginary part	ki_iso ;...	0	1	Refractive index

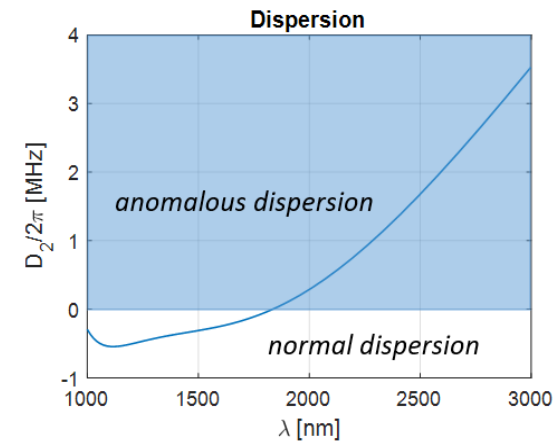
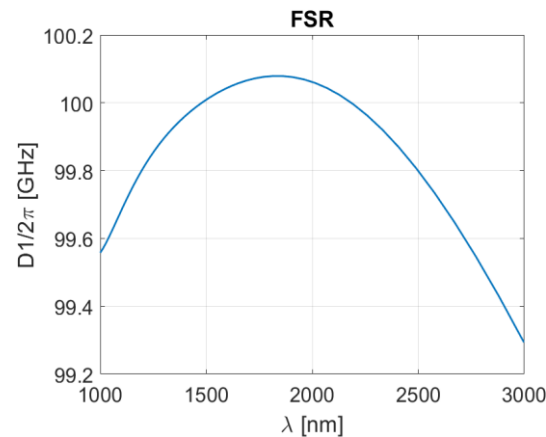
Dispersijas aprēķins

- COMSOL Multiphysics aprēķina n_{eff} izmantojot Mode Analysis
- Pēc formulas $2\pi Rn = m\lambda$ aprēķina m
- MATLAB no tabulas uzdod $\omega = \omega(m)$ [rad/s]
- Aprēķina $FSR = \frac{\partial \omega}{\partial m} \frac{1}{2\pi}$ [Hz]
- Dispersija $D_2 = \frac{\partial^2 \omega}{\partial m^2}$ [rad/s]

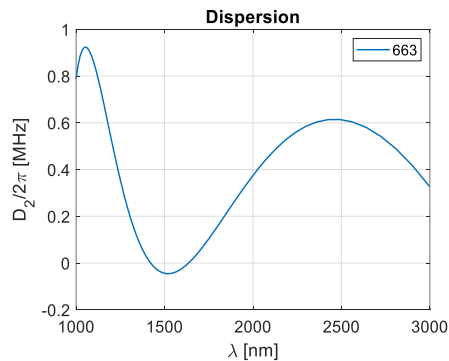
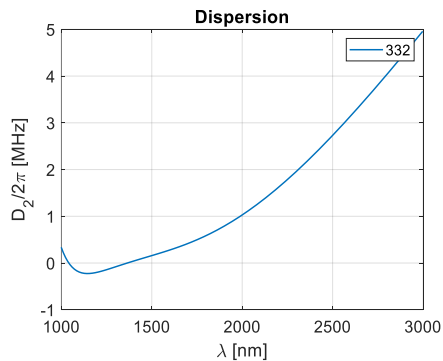
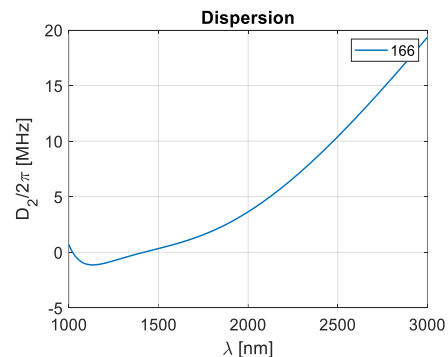
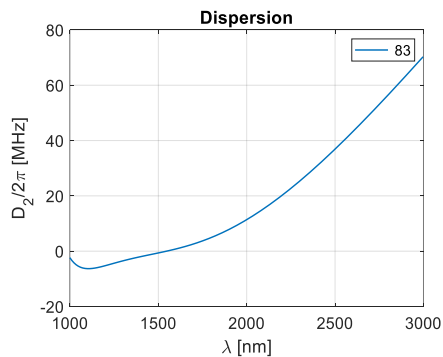
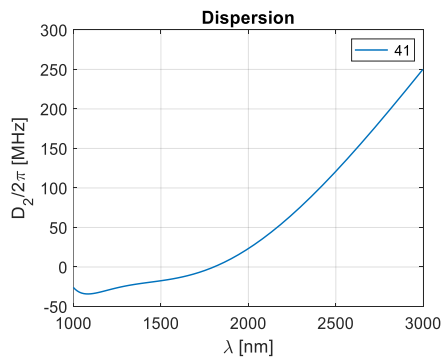
- Study 1
 - Parametric Sweep
 - Step 1: Mode Analysis
 - Solver Configurations
 - Job Configurations

Sweep type: All combinations

Parameter name	Parameter value list	Parameter unit
freq1	range(1.5e14, 2.542372881355932e12, 3.0e14)	Hz



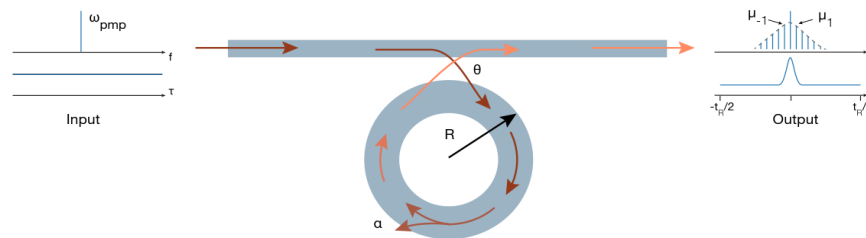
Nulles dispersijas viļņa garums dažādu izmēru SiO₂ sfērām



R, μm	FSR, GHz	ZDW, nm
41	800	1802
83	400	1545.6
166	200	1417.4
332	100	1041.3 & 1364.7
663	50	1421 & 1635

Lugiato-Lefevēra vienādojuma modelēšana

- Ar brīvpieejas programmatūru **pyLLE** (Python>3.4, Julia 0.6.4)
- [Moille G, Li Q, Lu X, Srinivasan K (2019) pyLLE: A Fast and User Friendly Lugiato-Lefever Equation Solver. J Res Natl Inst Stan 124:124012. <https://doi.org/10.6028/jres.124.012>.]



$$t_R \frac{\partial E(t, \tau)}{\partial t} = - \left(\frac{\alpha'}{2} - i\delta_0 \right) E + i \cdot \text{FT}^{-1} [-t_R D_{int}(\omega) \cdot \text{FT}[E(t, \tau)]] + \gamma L |E|^2 E + \sqrt{\theta} E_{in}$$

- kur integrālā dispersija ir

$$D_{int} = \omega_\mu - (\omega_0 + D_1 \mu)$$

pyLLE

Desktop/Rita/example/ x NotebookExample - Jupyter Note... +

localhost:8888/notebooks/Desktop/Rita/example/NotebookExample.ipynb

Translate Publications WGM ERAF ERAF-2 ERAF-3 Journals ERAF-4 ERA-LV Teaming Reading LZP Science News Grammarly Other bookmarks

jupyter NotebookExample Last Checkpoint: 20.11.2020. (unsaved changes) Logout

File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help Trusted Python 3

Please note that if you are using this notebook, you need to make sure that you "trust" it to ensure the display of the figure. To do so, in the jupyter notebook, go to File → Trust this notebook. It should reload the notebook and the plotly figure will be able to be displayed now

Import and Setup

In a python shell, spyder, a script, or in jupyter notebook, start by importing the package.

```
In [42]: import pyLLE
```

We now define the resonator parameters. Here we will use a file `TestDispersion.csv` which is made of two columns: the first one is the azimuthal mode order (integer), the second is their corresponding frequency of resonance in Hz.

```
In [43]: res = {'R': 327e-6, # ring radius in meter
              'Ql': 1e7, # Intrinsic Q factor
              'Qc': 1e7, # Coupled Q factor
              'gamma': 1.55, # Non-linear coefficient at the pump frequency
              'dispfile': 'TestDispersion.csv', # frequency and corresponding azimuthal mode simulated previously
              } }
```

We now define the simulation parameters. Here we precise a linear detuning ramp of the pump from $\delta\omega_{init}$ to $\delta\omega_{end}$ relative to the pump mode angular frequency, mode closest to the defined pump frequency f_{pmp} . The simulation length `Tscan` is in unit of round trip, as it is more convenient in the Lugiato-Lefever formalism. It is important to notice that two parameters for the mode bandwidth have to be defined, μ_{fit} which determined the fit window of the raw data found in `dispfile`, and μ_{sim} which is the number of mode simulated in the LLE, hence could be larger than the fit mode through extrapolation

```
In [44]: import numpy as np
sim = {'Pin': 150e-3, # Input power in Q
      'Tscan': 1e7, # Length of the simulation in unit of round trip
      'f_pmp': 193479312117425, # Pump Frequency
      'delta_omega_init': 2e9*2*np.pi, # Initial detuning of the pump in rad/s
      'delta_omega_end': -10e9*2*np.pi, # End detunin of the pump in rad/s
      'mu_sim': [-60,60], # azimuthal mode to simulate on the left and right side of the pump
      'mu_fit': [-60,60], # azimuthal mode to fit the dispersion on the left and right side of the pump
      }
```

In both the resonator and simulation dictionaries, the parameters can be called through their greek letters or through their equivalent latin names (e.g. $\mu \rightarrow mu$ or $\delta\omega \rightarrow deltaomega$). A translator dictionary is implemented to translates every greek entries (see `self._greek`)

Simulation Parameters:

$R = 327.00 \mu\text{m}$

$Q_i = 10.00 \text{ M}$

$Q_c = 10.00 \text{ M}$

$\gamma = 1.55$

$P_{in} = 150.00 \text{ mW}$

$T_{scan} = 10.00 \times 10^6 \text{ Round Trip}$

$f_{pmp} = 193.48 \text{ THz}$

$\delta\omega_{init} = 2.00 \times 2\pi \text{ GHz}$

$\delta\omega_{end} = -10.00 \times 2\pi \text{ GHz}$

$\mu_{sim} = [-40.00, 40.00]$

$\mu_{fit} = [-40.00, 40.00]$

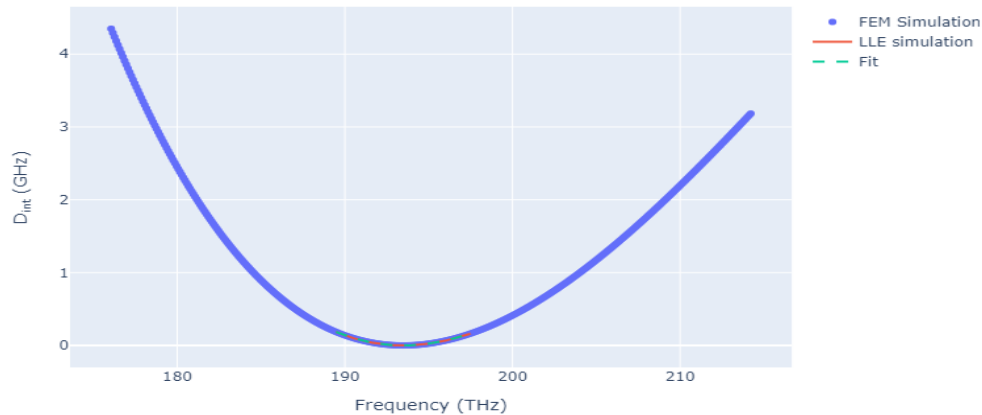
pyLLE

- Programmā tiek ielikts iepriekš, citur aprēķināts atbilstošā rezonatora modu un frekvenču lielumus, piemēram ar Sellmeiera vienādojumi:

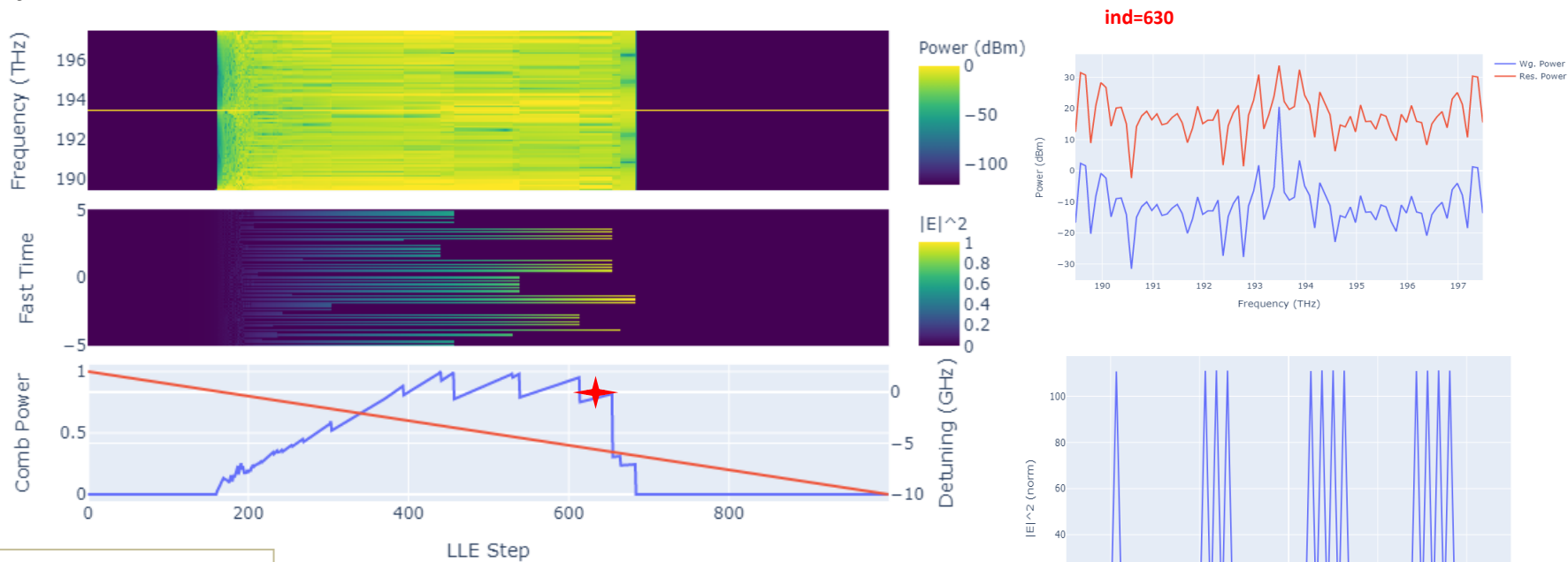
$$\lambda_{TE} \approx \frac{2\pi R n_1}{m + 1.856m^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{1}{2} - \frac{n_1}{\sqrt{n_1^2 - 1}} \right)}$$

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_i \frac{A_i \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - B_i^2},$$

- Tiek aprēķināta integrālā dispersija



pyLLE – rezultātā iegūstam mikroķemmes uzvedību kā spektru, frekvenču ķemmes jaudu rezonatorā pie dažādiem LLE soļiem, kā arī pie noteiktiem soļiem redzam rezonatora elektriskā lauka spektru un sadalījumu laikā.

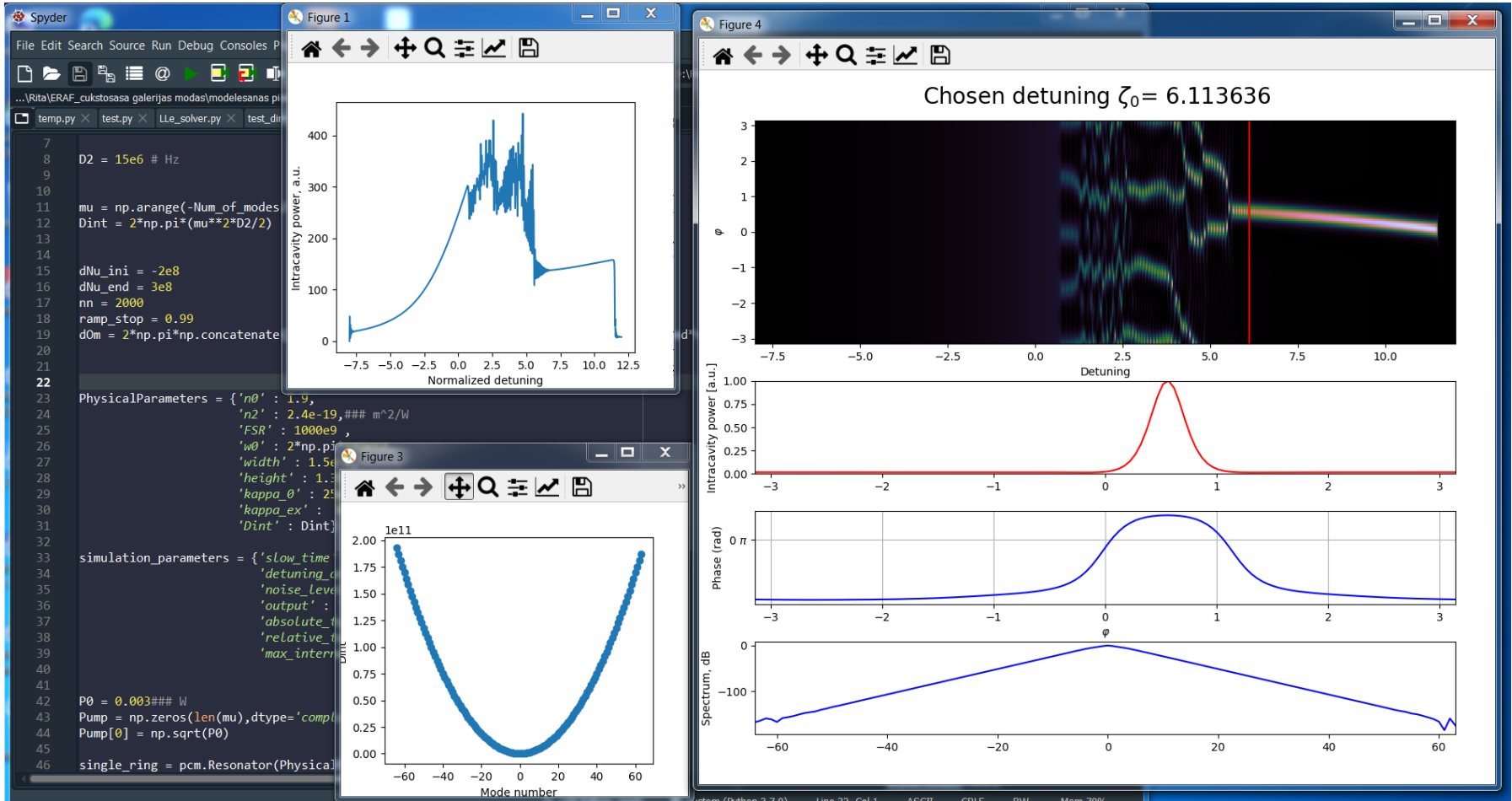


$R = 327.00 \mu\text{m}$
 $Q = 10.00 \text{ M}$
 $\mu = [-40.00, 40.00]$
 Center Pump: 193.479 THz
 FSR: 100.15 GHz

pyLLE

- Priekšrocības:
 - Gatava lietošanai, kompakta programma;
 - Pietiekami skaidrs, publicēts manuāls;
- Trūkumi:
 - Nav iespējams mainīt programmu;
 - Rezultāti ļoti jūtīgi no maināmajiem parametriem;
 - Salīdzinoši ilgstoši rēķina, sarēķina pie visiem LLE soļiem, gan tur kur vēl nav iestājies solitonu režīms, gan tur kur ir.

Cita Python rakstīta programma



Cita Python rakstīta programma

- Priekšrocības:
 - Gatava lietošanai, vienkāršāka programma, uzrakstīta tikai Python;
 - iespējams programmu mainīt, uzlabot, pielāgot savām vajadzībām;
 - Aprēķina ilgums ir ātrāks par iepriekšējo programmu.
- Trūkumi:
 - nav skaidrs, publicēts manuāls;
 - Disperijas aprēķini ir ļoti vienkāršoti.
- **Turpmākās tuvākās darbības:**
 - Izveidot savu programmu balstoties uz iepriekš minētajām brīvpieejas programmām;
 - Salīdzināt modelēšanas rezultātus pie noteiktiem parametriem ar E.Anaškinas grupas iegūtajiem, t.sk. bezdimensionālam Lugiato-Lefevēra vienādojumam.