



---

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

### 3. atskaite par posmu no 15.02.2019 līdz 10.09.2020.

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.

# 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

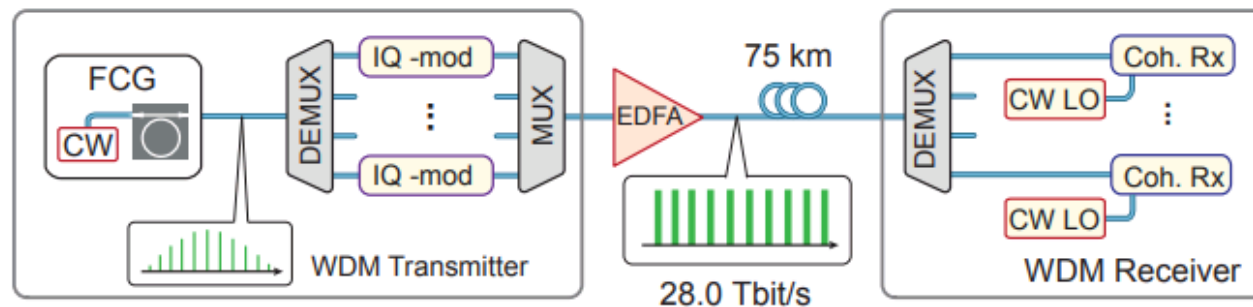
### 4.2. Intelektuālā īpašuma tiesību pārvaldīšana Tehnoloģiju tiesību - zinātības apraksts

### 4.3. Datu pārvaldes plāns

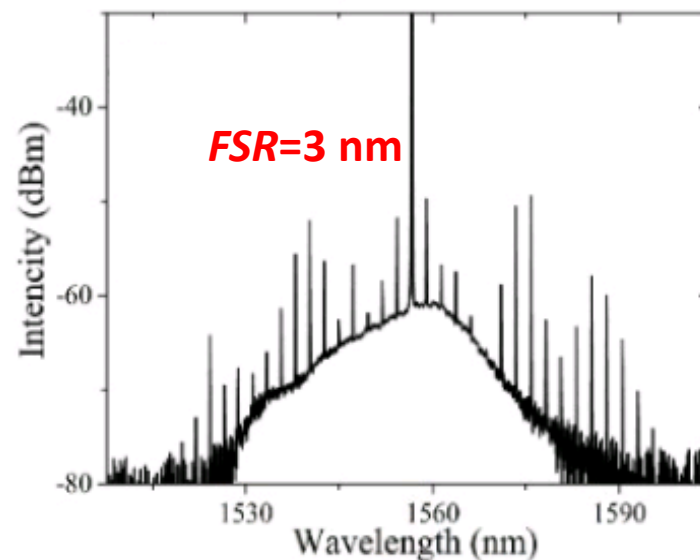
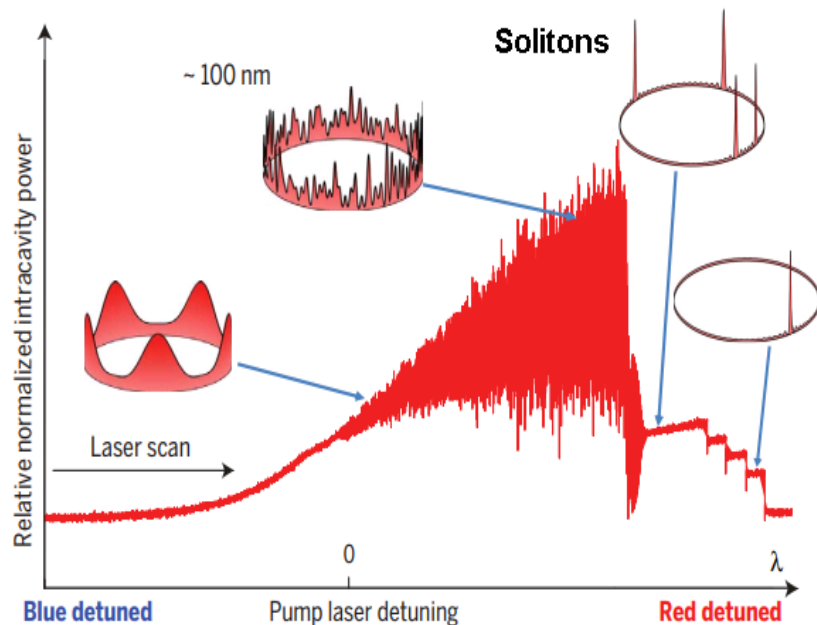
### 4.5. Publicitāte

# Project Objective: make a microresonator optical frequency comb, modulate comb lines with data for application in telecommunications

## Microresonator solitons for massively parallel coherent optical communications



Nature 546(7657)



Transmitted spectrum under optical pump.  
245  $\mu\text{m}$  diameter silica sphere.

OPTICS EXPRESS 16908 Vol. 21, 2013

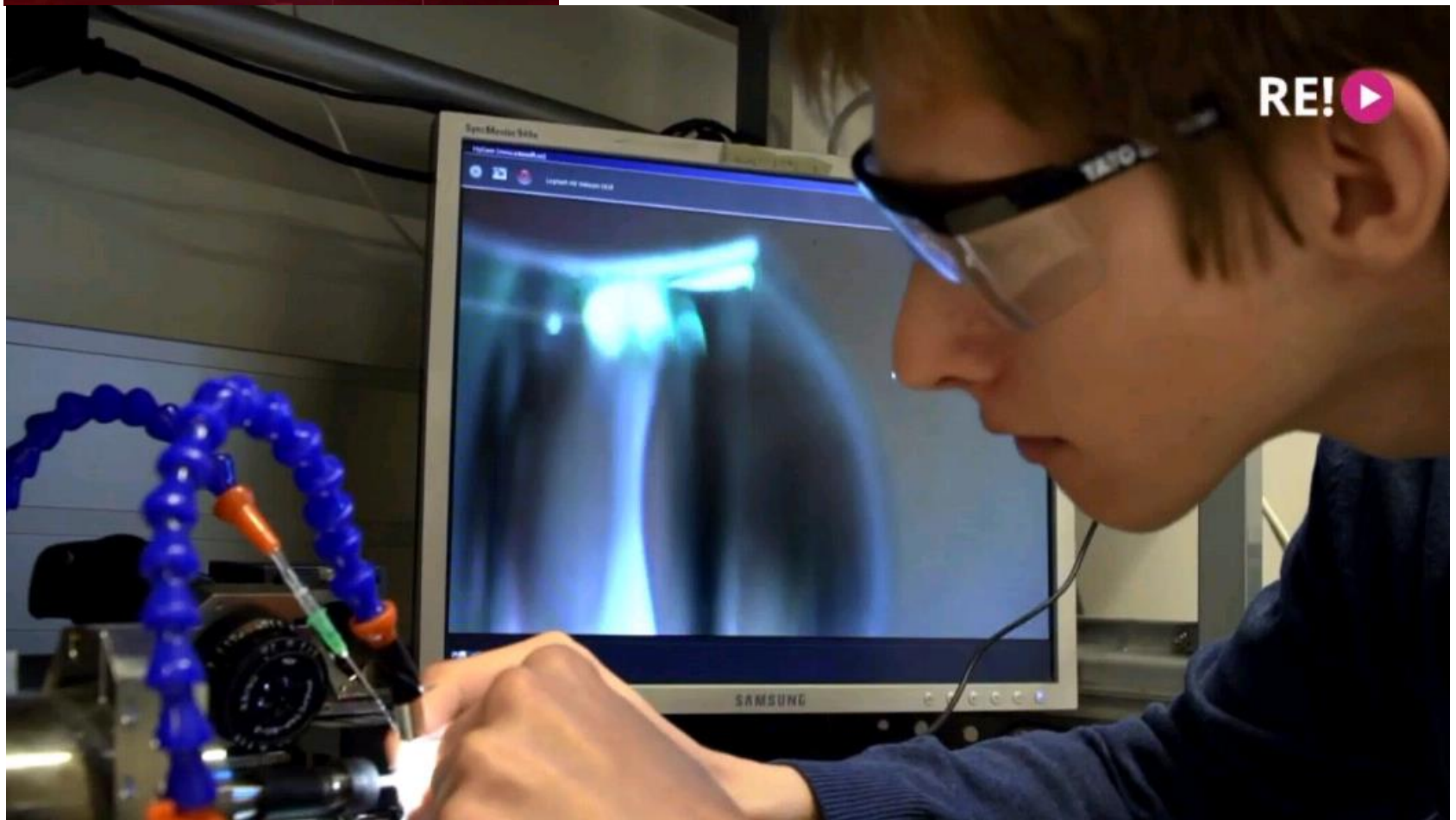
# Aktivitāte 1.1. Dažādu ČGM rezonatoru izstrāde un iegūšana

## Rezonatoru izgatavošana ar slīpēšanas un pulēšanas metodi

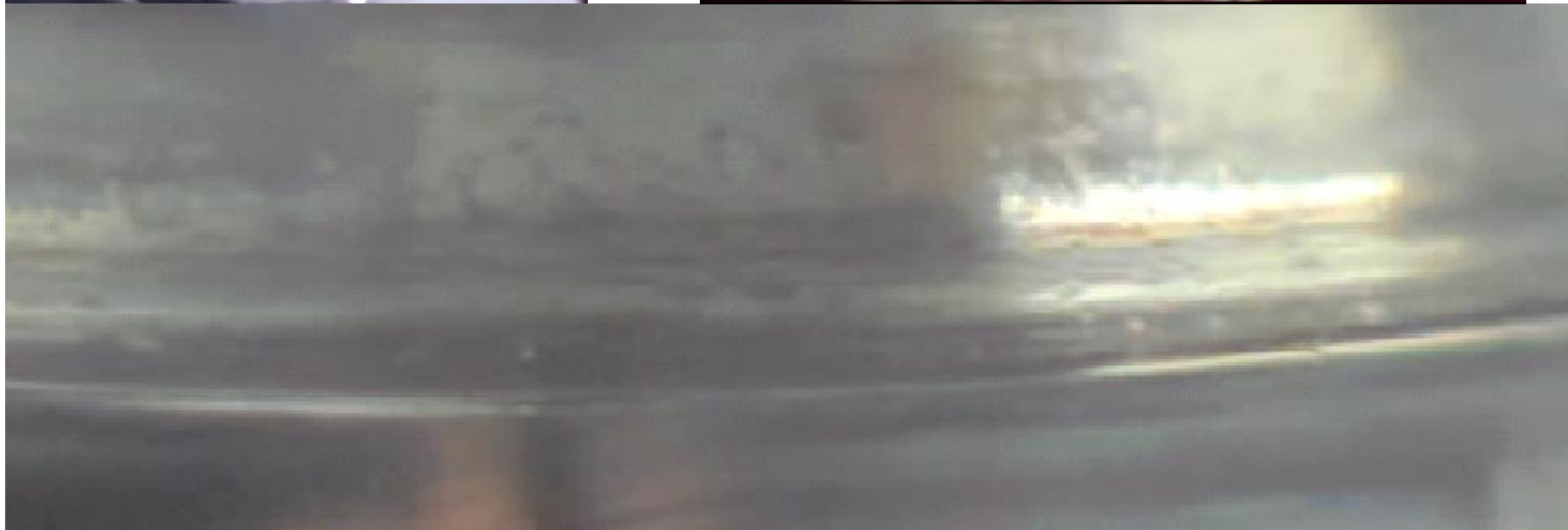
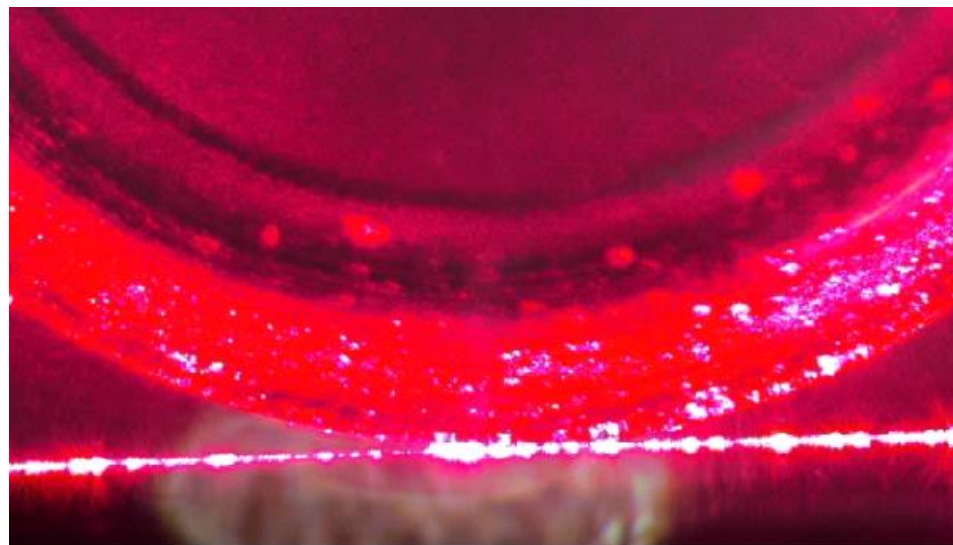
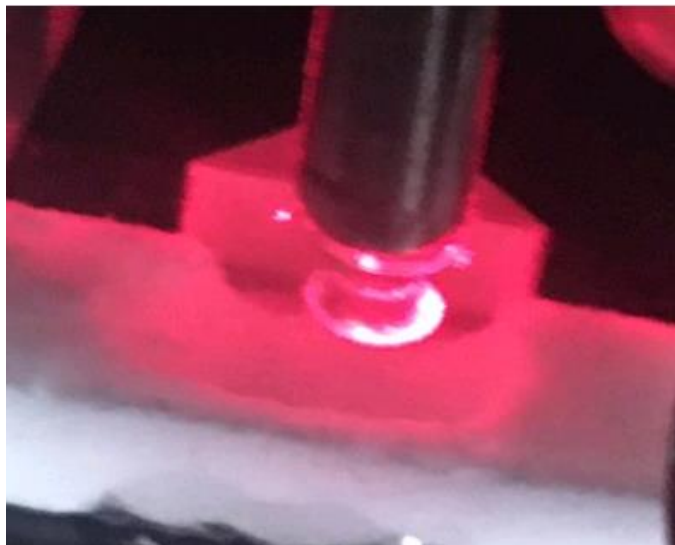


[https://www.youtube.com/watch?v=NgLNk1lx4\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=NgLNk1lx4_s)

2020.06.11. plkst.19:30.

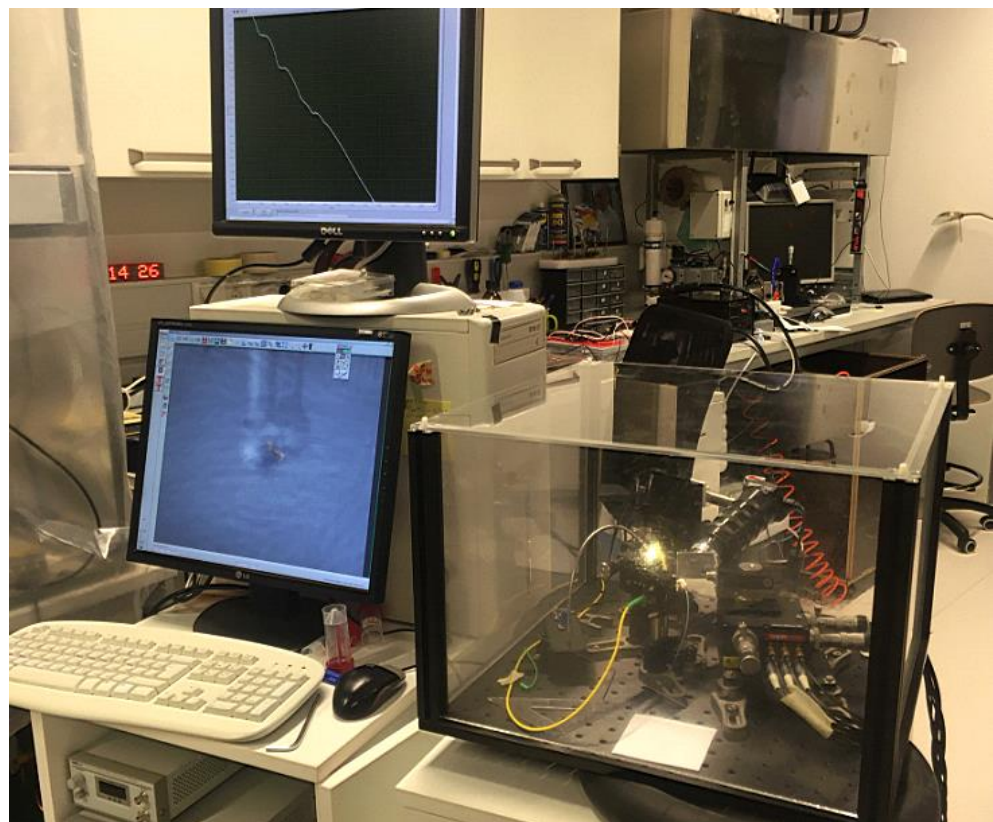
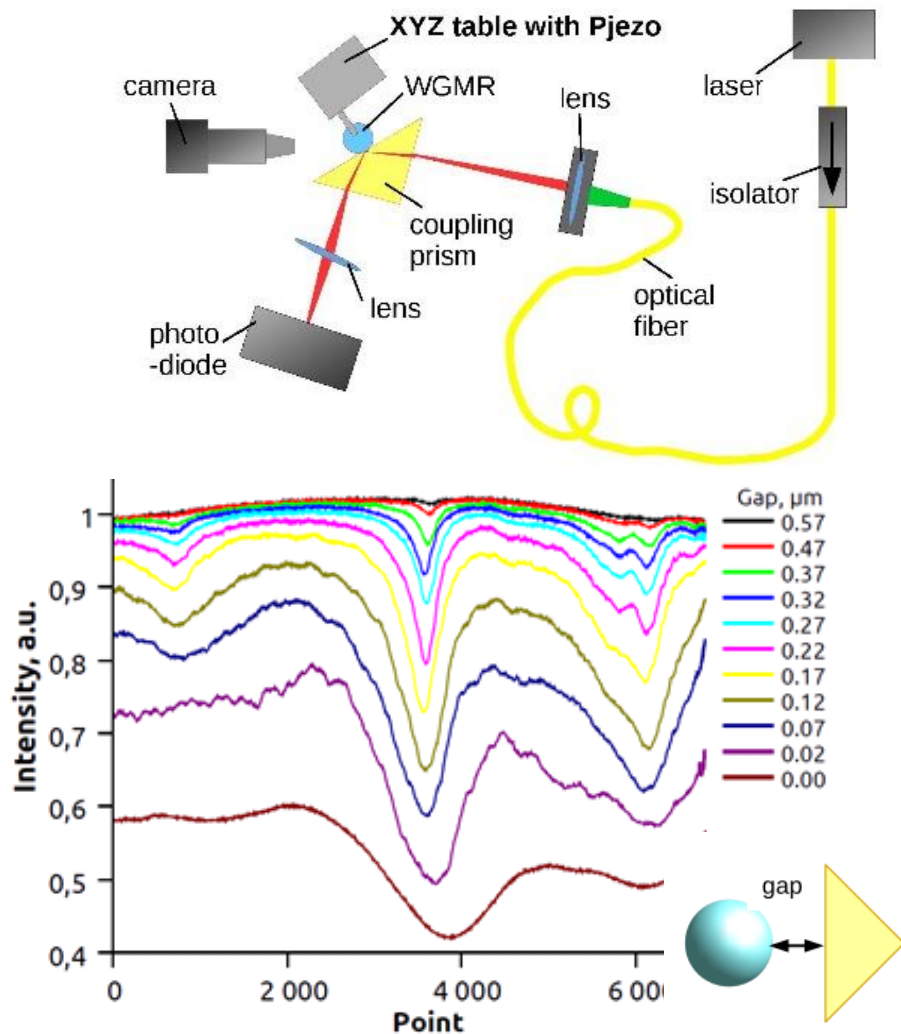


**Jūnijā pulētie rezonatori – rezonanses nebija.  
Tests ar sarkano lāzeri rāda, ka virsma stipri izkliedē – nav  
optiski gluda. Labāk jāapgūst pulēšanas tehnoloģijas.**



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

Vasarā tika strādāts pie šī prototipa izveides, aizņemoties nanopozicionieri no Artūra Ciniņa iekārtas. Prototips tika samontēts un reģistrētas rezonanses ar mazjaudas lāzeri. Kopīgu mērījumu kampaņā jūlijā, kad RTU atveda EDFA un OSA aparātus, kas nepieciešami ķemmes eksperimentam, ķemmi novērot neizdevās, jo rezonatoru Q bija nepietiekams.



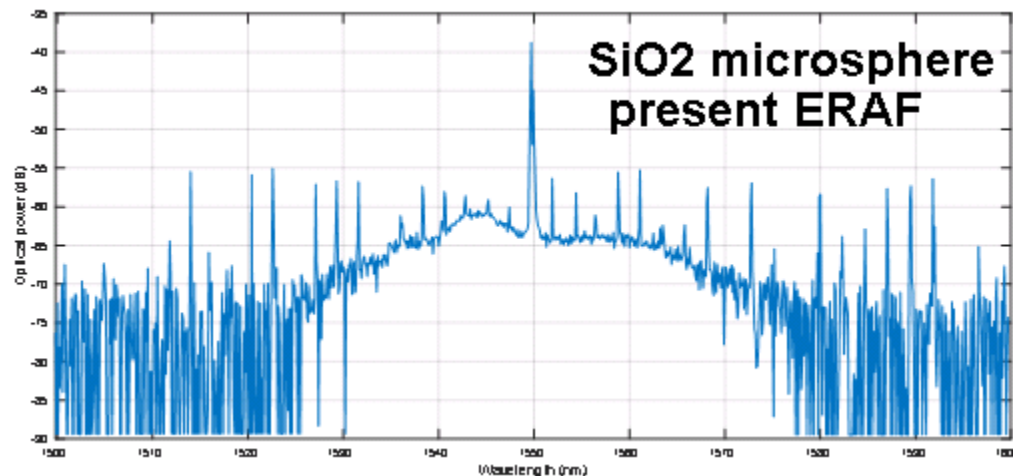
# Kāpēc praktiskām mikrorezonatoru ķemmēm biežāk kvarca stikla vietā izmanto fluorīda kristālus?

**SiO<sub>2</sub>** - virsma reaģē ar ūdeni un Q degradējas no 10<sup>8</sup> uz 10<sup>6</sup> dažu dienu laikā. (Jātur kastē ar sausu gaisu). Var virpot un kausēt ar lāzeri. Var slīpēt un pulēt, cietība 7 Moha skalā (cietākie ir dimanti 10 Moha skalas vienības).

**CaF<sub>2</sub>** – jāslīpē un jāpulē nevar virpot ar lāzeri cietība Moha skalā 4. ( $Q = 6 \times 10^{10}$  Grudin in JPL). Ķemme veidojas sākot no 30 mW un vairāk.

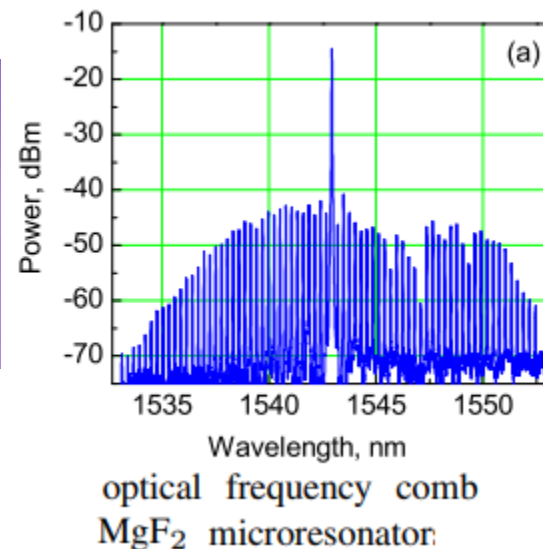
**MgF<sub>2</sub>** – nevar kausēt ar lāzeri, jāslīpē un jāpulē, cietība Moha skalā 7. Ķemme veidojas sākot no dažiem mW.

**NaF** neder, šķīst ūdenī, remineralizē zobus, jo fluors uz zobu emaljas saista Ca un Mg.

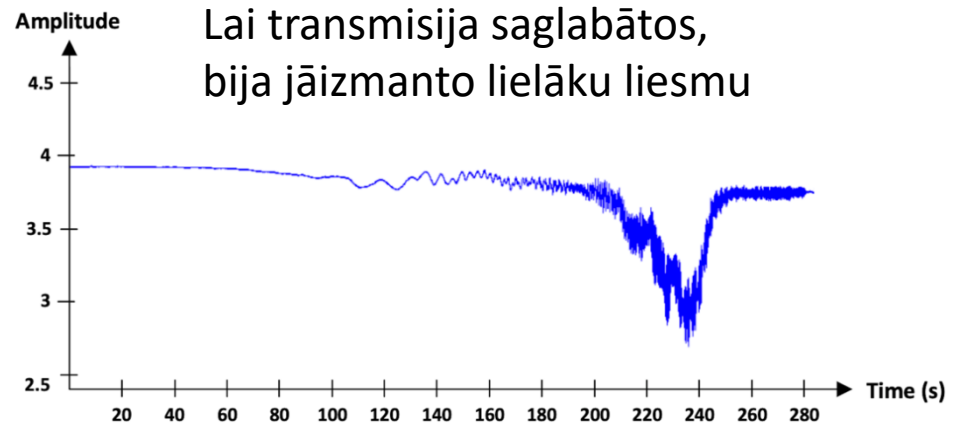
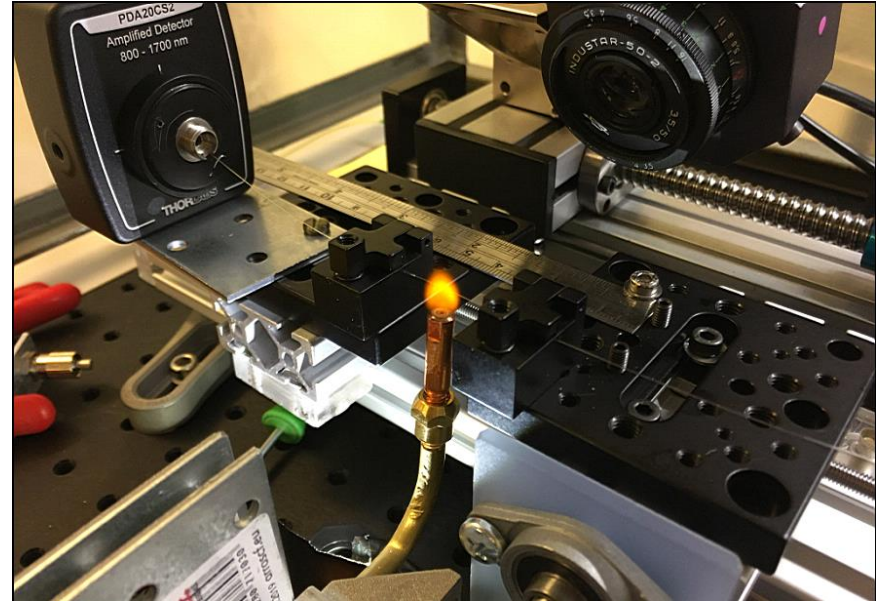
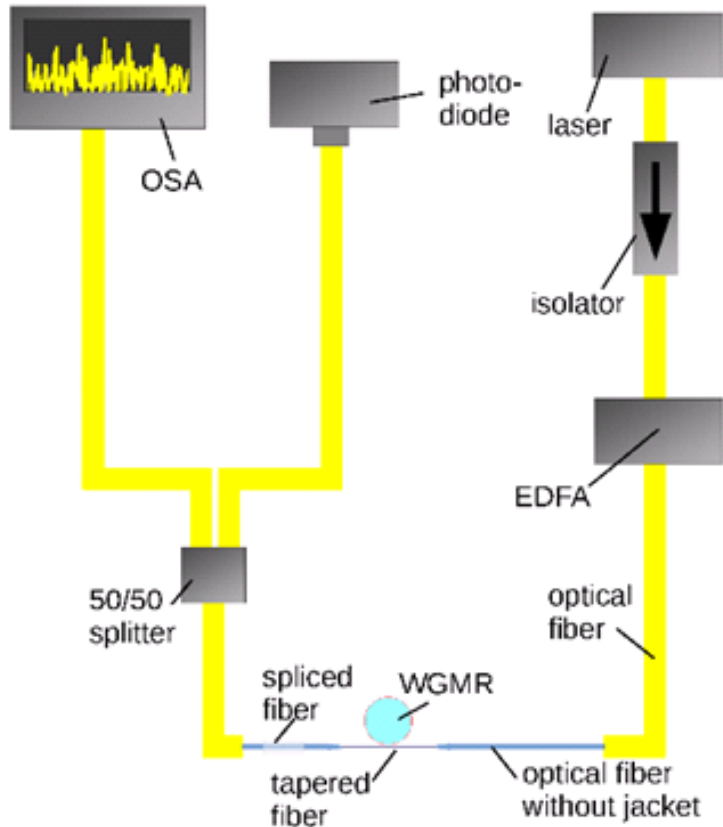


## Generation of Kerr Combs in MgF<sub>2</sub> and CaF<sub>2</sub> Microresonators

W. Liang, A. B. Matsko, A. A. Savchenkov, V. S. Ilchenko, D. Seidel, and L. Maleki



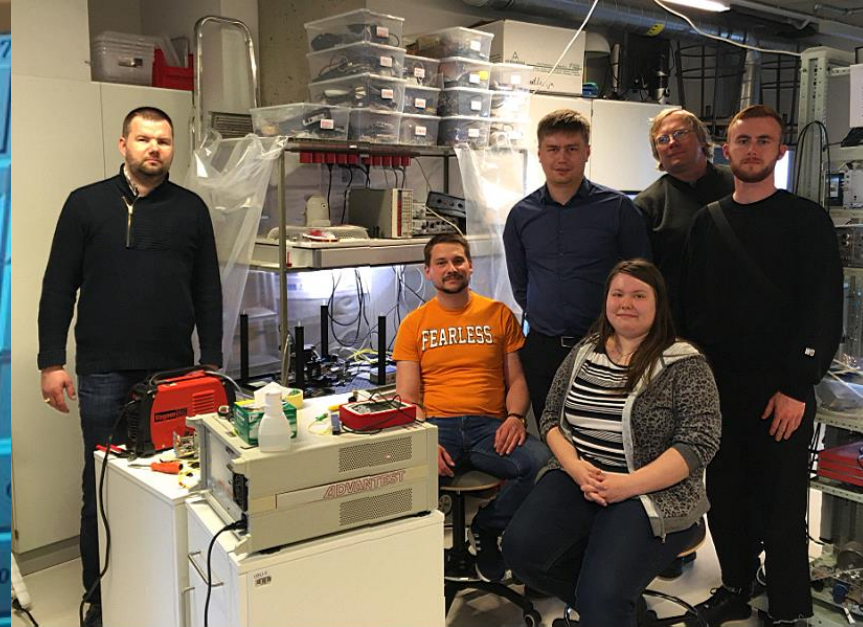
# Aktivitāte 1.3. WCOMB sistēmas, kur tiek izmantota izstieptā šķiedra, izveide, testēšana un optimizēšana.



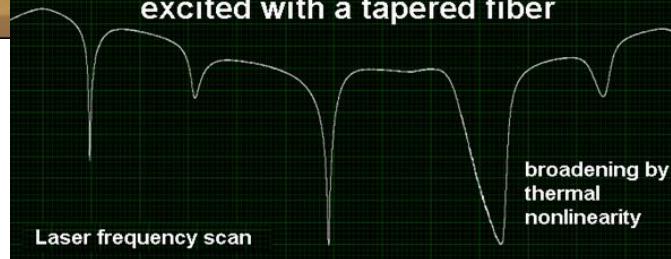


# Maijā LU ASI ieguvām frekvenču ķemmi no SiO<sub>2</sub> mikrolodītes. Ķemme tomēr bija samērā nestabila laikā.

ADVANTEST Q8384 OPTICAL SPECTRUM ANALYZER



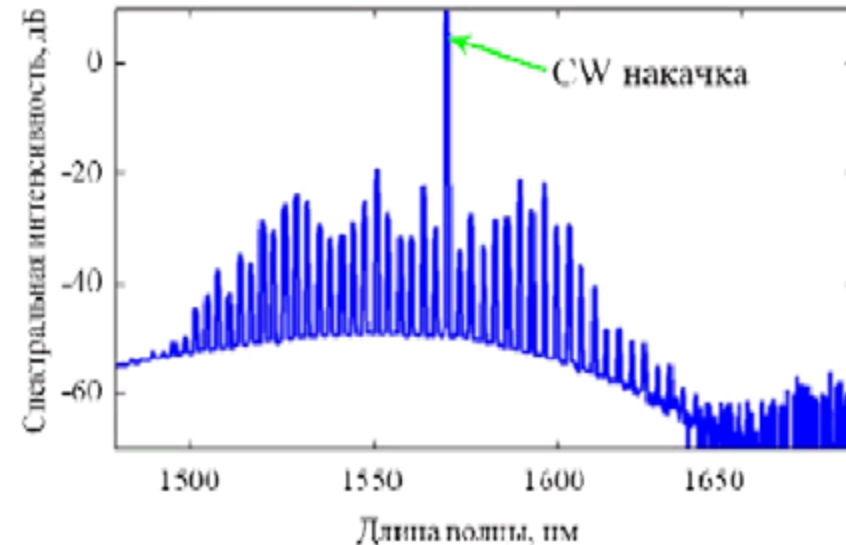
WGM resonances at 1550 nm  
from a microsphere  
excited with a tapered fiber



$$Q \approx 3 \times 10^7$$

Zinātnieki E. A. Anashkina un A.V. Andrianov no Niznij Novgorod mūs konsultēja caur Zoom kā ģenerēt ķemmi no  $\text{SiO}_2$  lodītes.

- Viņi ķemmi ieguva noslēgtā kastē, kur nepūš caurvējš, kas uzlabo stabilitāti un tīrību.
- Lietoja nanopozcionieri, lai optimizētu attālumu starp rezonatoru un šķiedru.
- Ķemmes iegūšanas laikā tika apstādināta lāzera skenēšana.
- Jāskenē lāzeri tik ātri ( $\approx 1\text{kHz}$ ), lai lodīte nepagūst uzsilt, jo termiskais efekts grūž prom rezonansi, bet Kerra efekts darbojas momentāli.
- Izmanto sarkanu lāzeri vizuālai novērtēšanai.



# Aktivitāte 1.4. ČGM rezonatoru efektu un WCOMB sistēmas matemātiskā modelēšana

## Lugiato-Lefever vienādojums ČGMR frekvenču ķemmes modelēšanai

Normalized LLE

$$\frac{\partial u}{\partial t'} = -(1 + i\theta)u + i \frac{\partial^2 u}{\partial \tau'^2} + d_3 \frac{\partial^3 u}{\partial \tau'^3} + i|u|^2 u + u_0$$

detuning

Strength of TOD

pump

Transformation equations:

$$t' = \alpha t / t_R$$
$$\tau' = \tau \sqrt{2\alpha / (L|\beta_2|)}$$
$$u(t', \tau') = E(t, \tau) \sqrt{\gamma L / \alpha}$$
$$u_0 = E_0 \sqrt{\gamma L \theta / \alpha^3}$$
$$\theta = \delta / \alpha$$
$$d_3 = \beta_3 \sqrt{2\alpha / (9L|\beta_2|^3)}$$

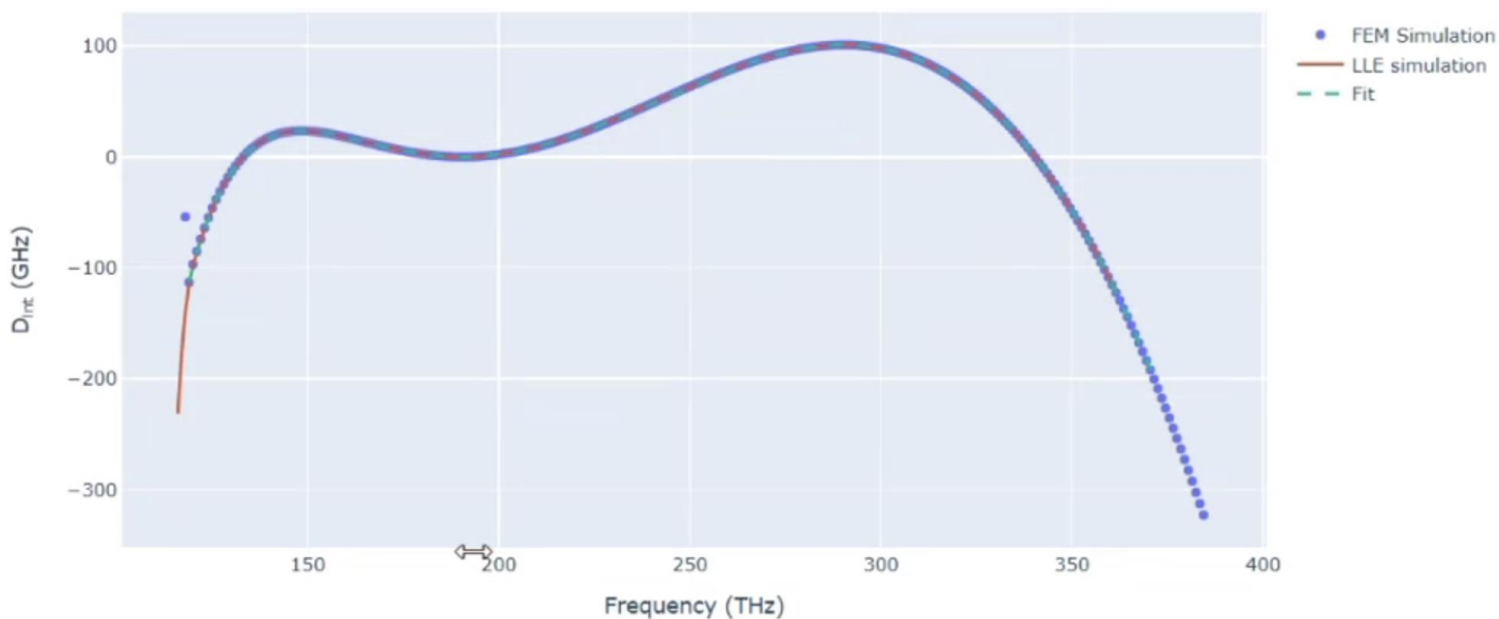
# Python bāzētā programma LLE aprēķiniem

**pyLLE**

A Fast and User-Friendly  
Lugiato Lefever Equation  
Solver

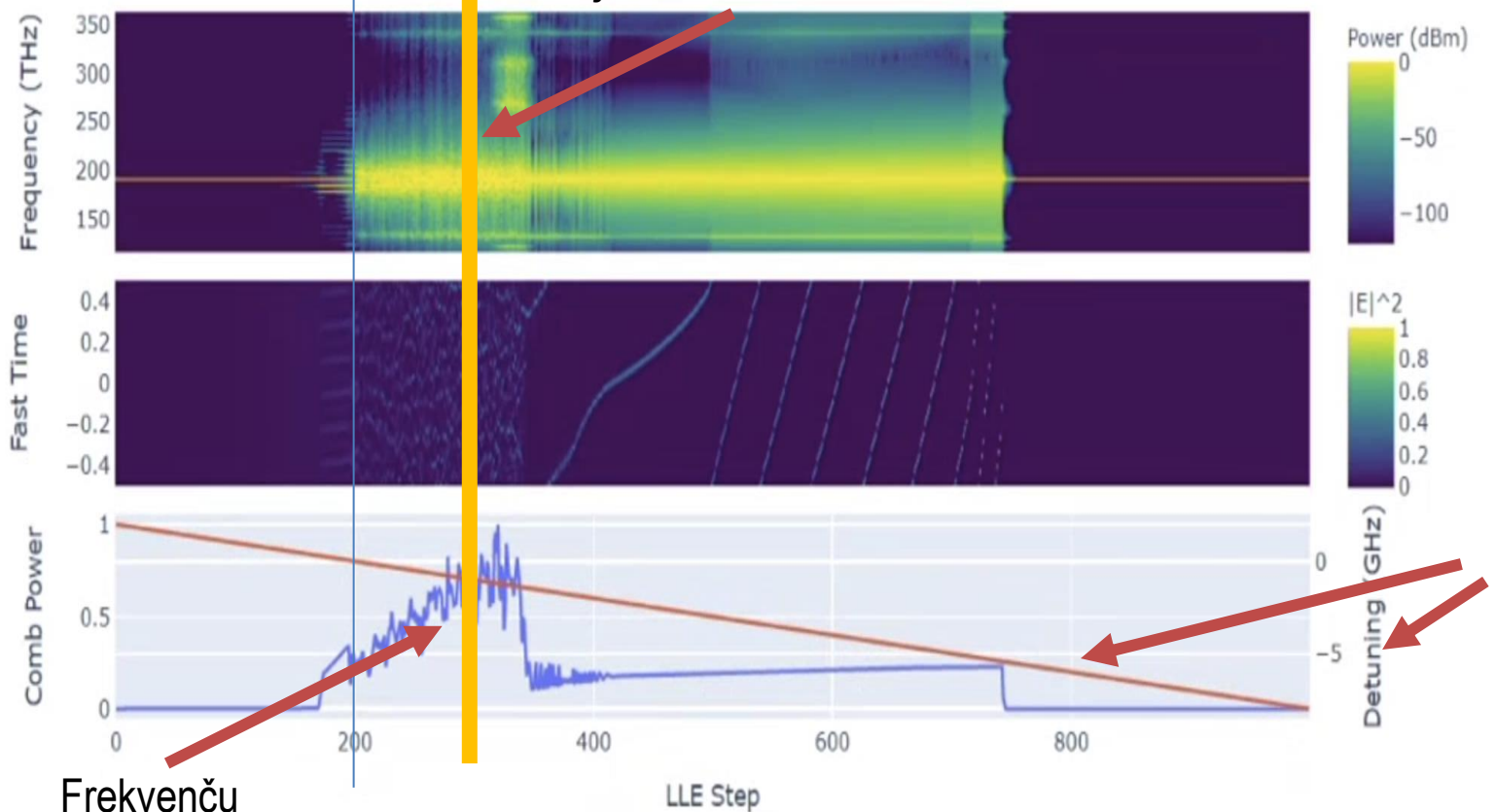
NIST izstrādātā python programma  
LLE risināšanai

Dispersijas analīze ČGMR rezonansēm



$D_{int}$  norādīta, par cik atsevišķas modas atšķiras no tuvākās ekvidistantās frekvenču ķemmes zara

# Rezonanšu intensitātes pie dotās izskaņošanās

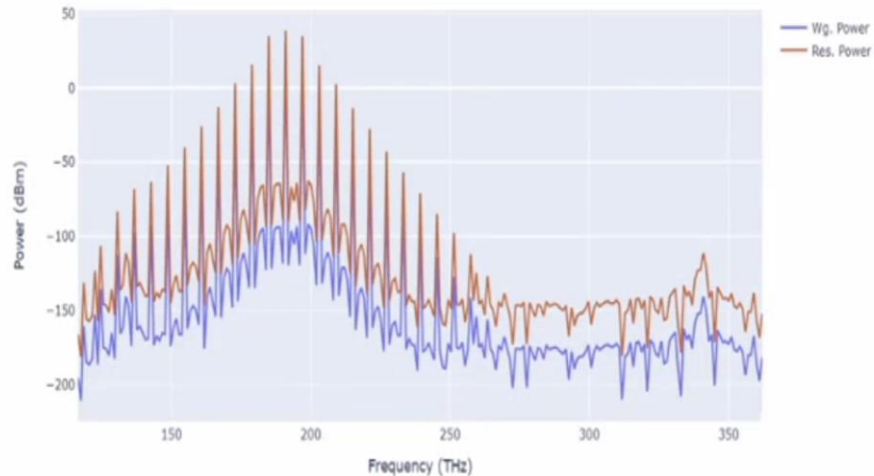
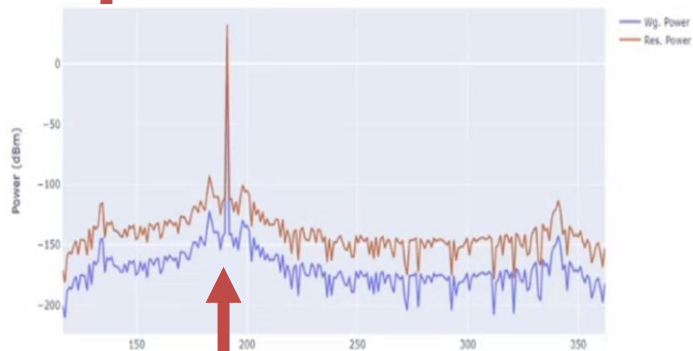
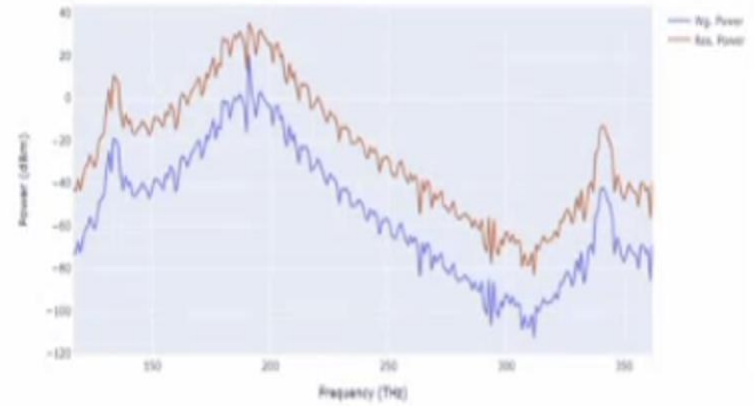
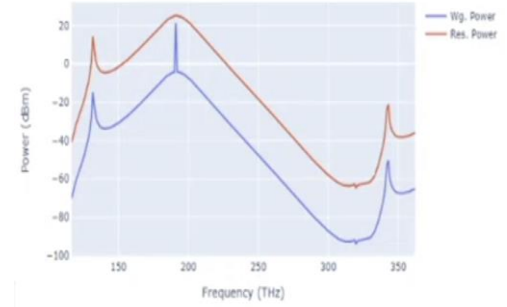
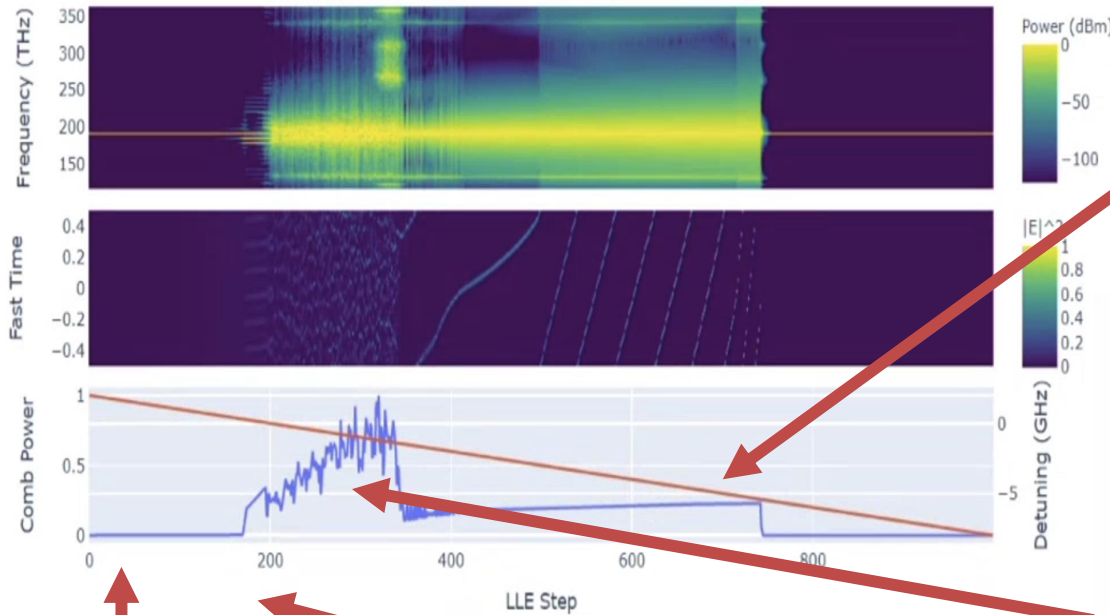


Frekvenču ķemmes jauda pie šīs izskaņošanās

Noteikta izskaņošanās

Ierosmes lāzera frekvences nobīde, GHz

# Frekvenču ķemmes pie dažādas izskaņošanas



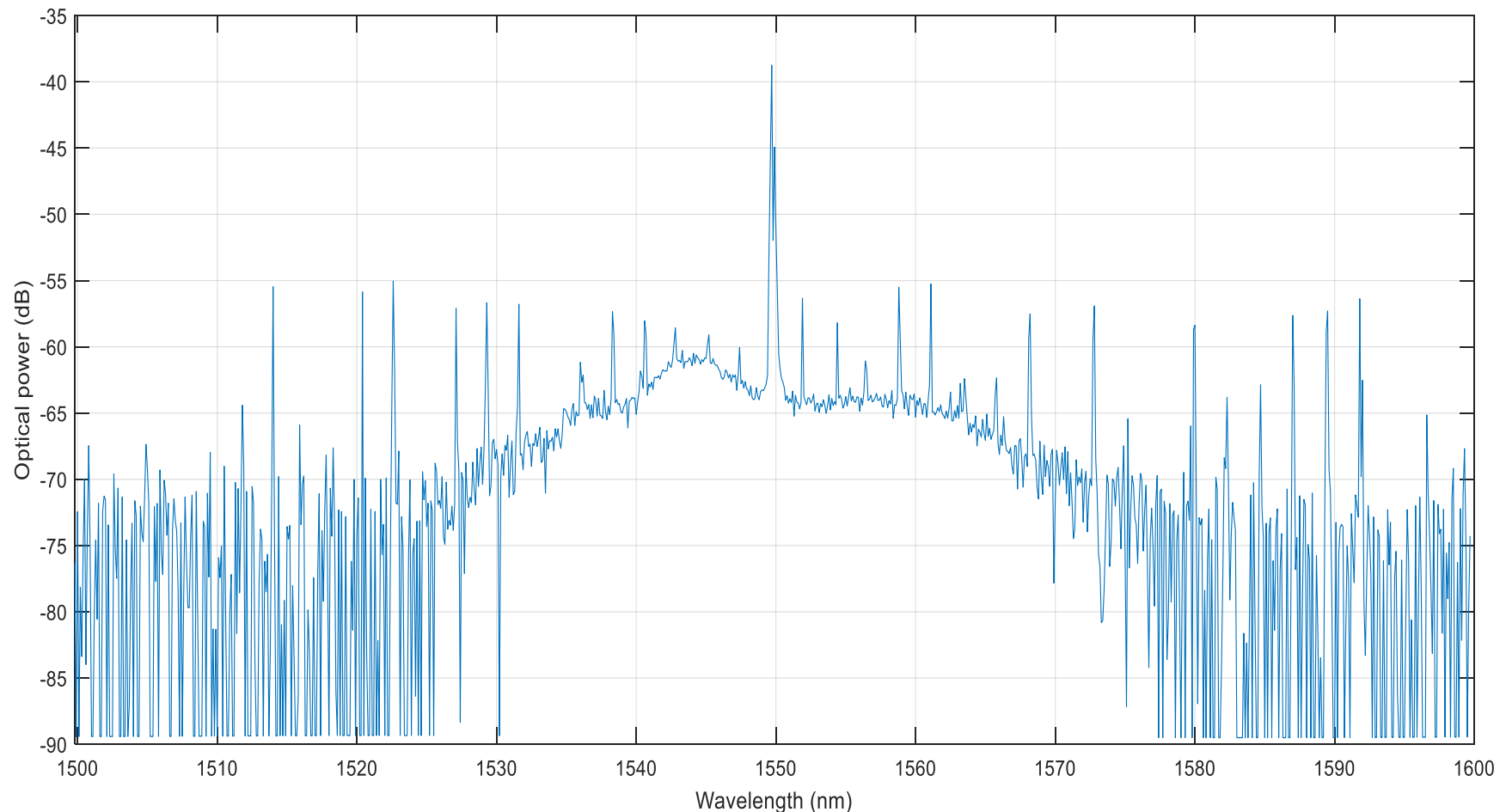
lerosmes lāzera frekvence

## Aktivitāte 4. Publikācija par ķemmes ģenerēšanu no SiO<sub>2</sub> mikrosfēras 1/2

Braunfelds, J., Mūrnieks, R., Salgals, T., Brice, I., Sharashidze, T., Lyashuk, I., Ostrovskis, A., Spolītis, S., Alnis, J., Poriņš, J., Bobrovs, V.

### Frequency Comb Generation in WGM Microsphere Based Generators for Telecommunication Applications.

*Quantum Electronics*, 2020, Vol. 10, No. 17, pp.1-12. ISSN 1063-7818. e-ISSN 1468-4799.



# Publikācija par ķemmes ģenerēšanu no SiO<sub>2</sub> mikrosfēras 2/2

Braunfelds, J., Mūrnieks, R., Salgals, T., Brice, I., Sharashidze, T., Lyashuk, I., Ostrovskis, A., Spolītis, S., Alnis, J., Poriņš, J., Bobrovs, V.

## Frequency Comb Generation in WGM Microsphere Based Generators for Telecommunication Applications.

*Quantum Electronics*, 2020, Vol. 10, No. 17, pp.1-12. ISSN 1063-7818. e-ISSN 1468-4799.

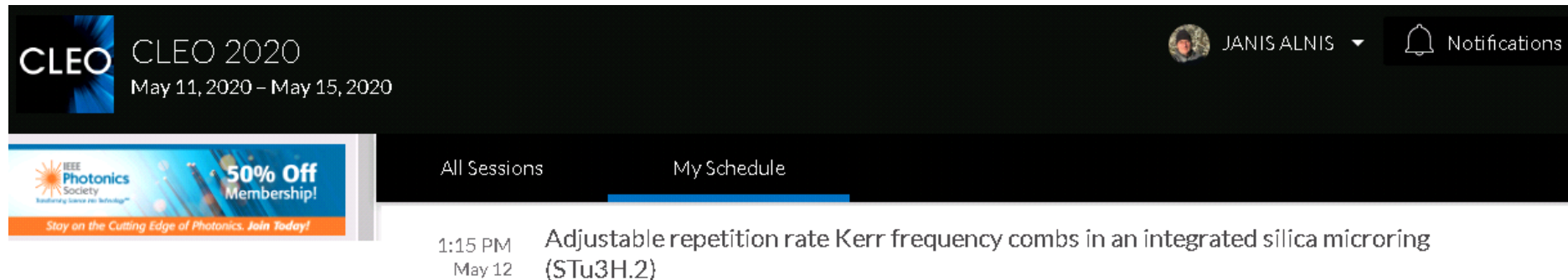
SPATIAL MICRORESONATORS AND NUMERICAL SIMULATIONS, THEIR PARAMETERS AND GENERATED FREQUENCY COMBS

Parameter	Spatial microresonators			Numerical simulations
	<i>CaF<sub>2</sub></i> [1, 24]	<i>MgF<sub>2</sub></i> [7, 8, 18, 35, 36, 37, 38]	<i>Silica</i> [22, 39, 40, 41, 42, 43, 44]	<i>Germanosilicate glasses</i> [20, 21]
Resonator type	Crystalline	Crystalline	Microsphere\ Microrod\ Micro-bubble	Microsphere
Q-factor	(2.5 - 6)×10 <sup>9</sup>	(1 - 3)×10 <sup>9</sup>	2×10 <sup>7</sup> - 9.7×10 <sup>8</sup>	1×10 <sup>5</sup> - 1×10 <sup>7</sup>
Radiuss (mm)	1.275 - 2.425	0.5 - 5.65	0.136	0.2 - 0.4
FSR (GHz)	13.8 - 25	5.8 - 43	12.9 - 1000	-
Pump wavelength (nm)	1550 - 1560	1543 - 1556	1549.5 - 1560	1550
Pump power (dBm)	14 - 17	3 - 28.5	4.8 - 24.5	20
Comb width (nm)	30 - 280	2 - 300	10 - 250	100 - 200
Comb spacing (GHz)	13.81 - 359	9.9 - 248.5	32.6 - 1000	-



## Aktivitāte 4.4. Konferences.

J. Alnis attālināti piedalījās konferencē CLEO (ASV) un klausījās prezentācijas par frekvenču ķemmēm:



The screenshot shows the CLEO 2020 conference website. The header includes the CLEO logo, the event name 'CLEO 2020', and the dates 'May 11, 2020 – May 15, 2020'. A user profile for 'JANIS ALNIS' is visible in the top right corner, along with a 'Notifications' bell icon. Below the header, there is a navigation bar with 'All Sessions' and 'My Schedule' tabs. A promotional banner for IEEE Photonics Society offers a '50% Off Membership!' with the tagline 'Stay on the Cutting Edge of Photonics. Join Today!'. The main content area displays a session titled 'Adjustable repetition rate Kerr frequency combs in an integrated silica microring (STu3H.2)' scheduled for 1:15 PM on May 12.

I. Brice pieteicās ar referātu SPIE konferencē.

Klausīsimies nākamnedēļ šo konferenci:



The advertisement is for the 'OSA FRONTIERS IN OPTICS LASER SCIENCE APS/DLS' conference. It is a 'Technical Conference & Virtual Exhibits' held from September 14 to 17, 2020. All sessions are held online in Eastern Daylight Time (EDT), GMT-04:00. A call to action asks 'Not Yet Registered?' and provides a 'Register Now for Free' button.

# Grupas vadība.

- LU ASI kvantu optikas laboratorijai notika iknedēļas piektdienas sapulces MS Teams.
- Modelēšanas aktivitāti Aigara Atvara vietā pārņēma Rita Veilande.