

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
FIZIKAS, MATEMĀTIKAS UN OPTOMETRIJAS FAKULTĀTE  
FIZIKAS NODAĻA



# ČUKSTOŠĀS GALERIJAS MODU MIKROREZONATORU DISPERSIJAS OPTIMIZĒŠANA KERRA FREKVENČU ĶEMMES ĢENERĒŠANAI VIENA SOLITONA REŽĪMĀ

MAĢISTRA DARBS  
PRIEKŠAIZSTĀVĒŠANA

Kristians Draguns, LU ASI zinātniskais asistents

Darba vadītājs: Aigars Atvars

Rīga, 10.06.2021.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
Eiropas Reģionālās  
attīstības fonds



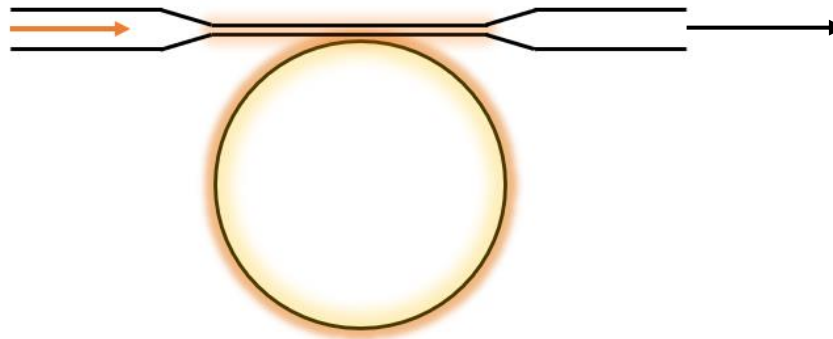
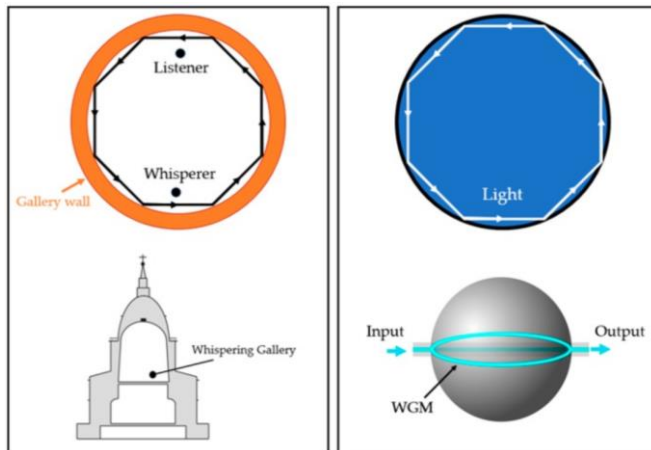
FLPP  
FUNDAMENTĀLO UN  
LIETIŠKO PĒTĪJUMU  
PROJEKTI

# Saturs

- Aktualitāte
- Darba mērķis un uzdevumi
- Metodika
- Rezultāti
- Secinājumi

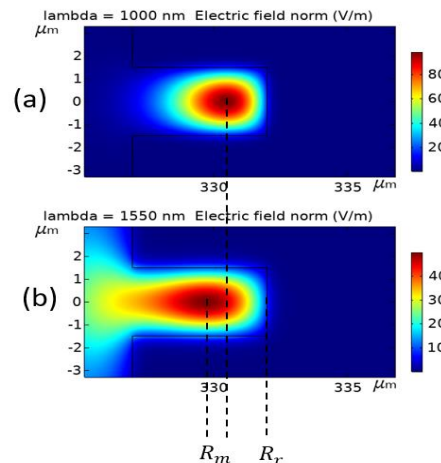
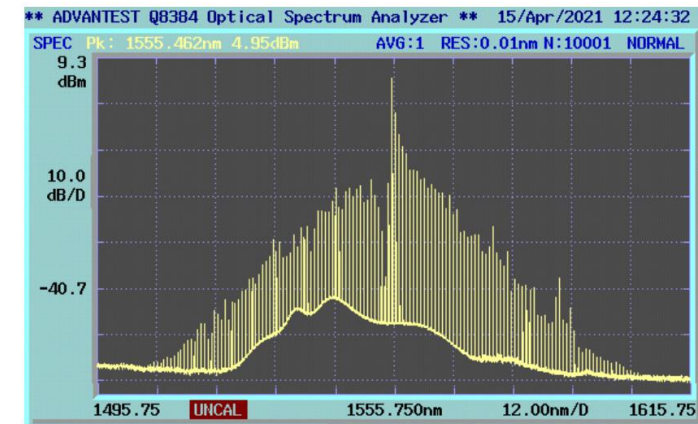
Aktualitāte

# Čukstošās galerijas modu rezonatora (ČGMR) frekvenču ķemme

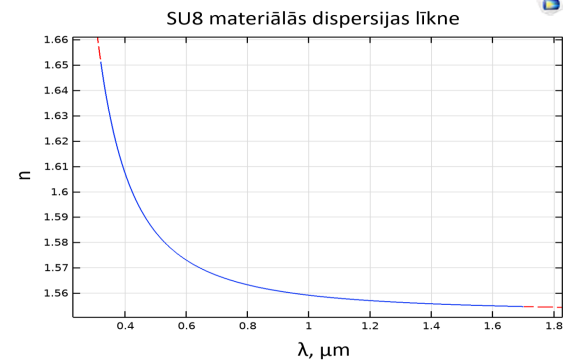


$$2\pi Rn = m\lambda$$

$$\hbar\omega_1 + \hbar\omega_2 \rightarrow \hbar\omega_3 + \hbar\omega_4$$



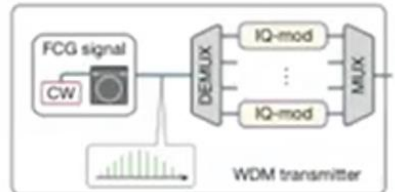
Kerra efekts:  
 $n = n_0 + n_2 I$



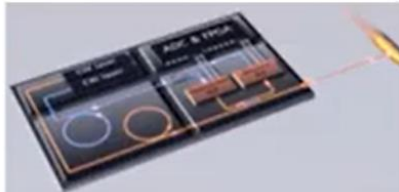
Astronomijas spektrometru kalibrācija



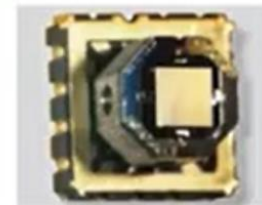
Koherentas telekomunikācijas



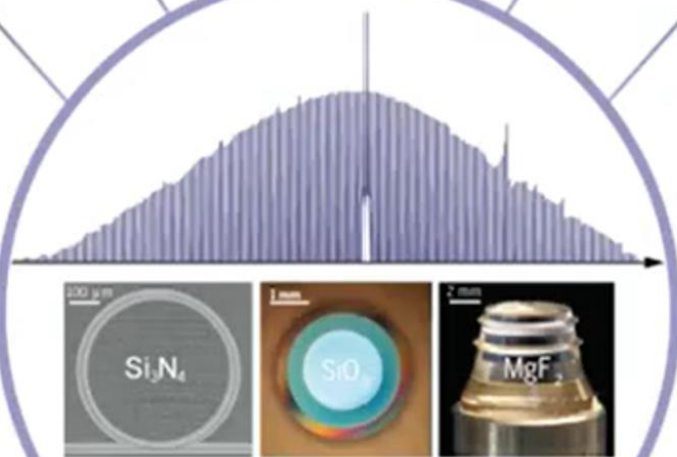
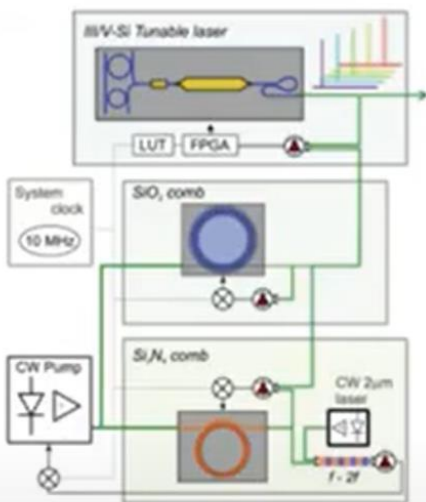
LIDAR tehnoloģija



Optiskie atompulksteņi



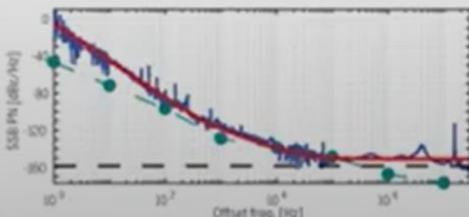
Optiskā frekvenču sintēze



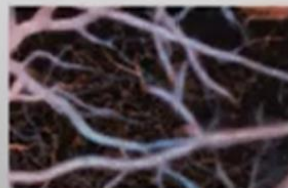
Fotoniskais radars



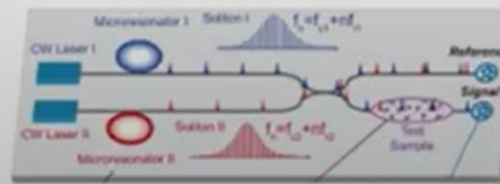
Zema trokšņa mikroviļņu ģenerēšana



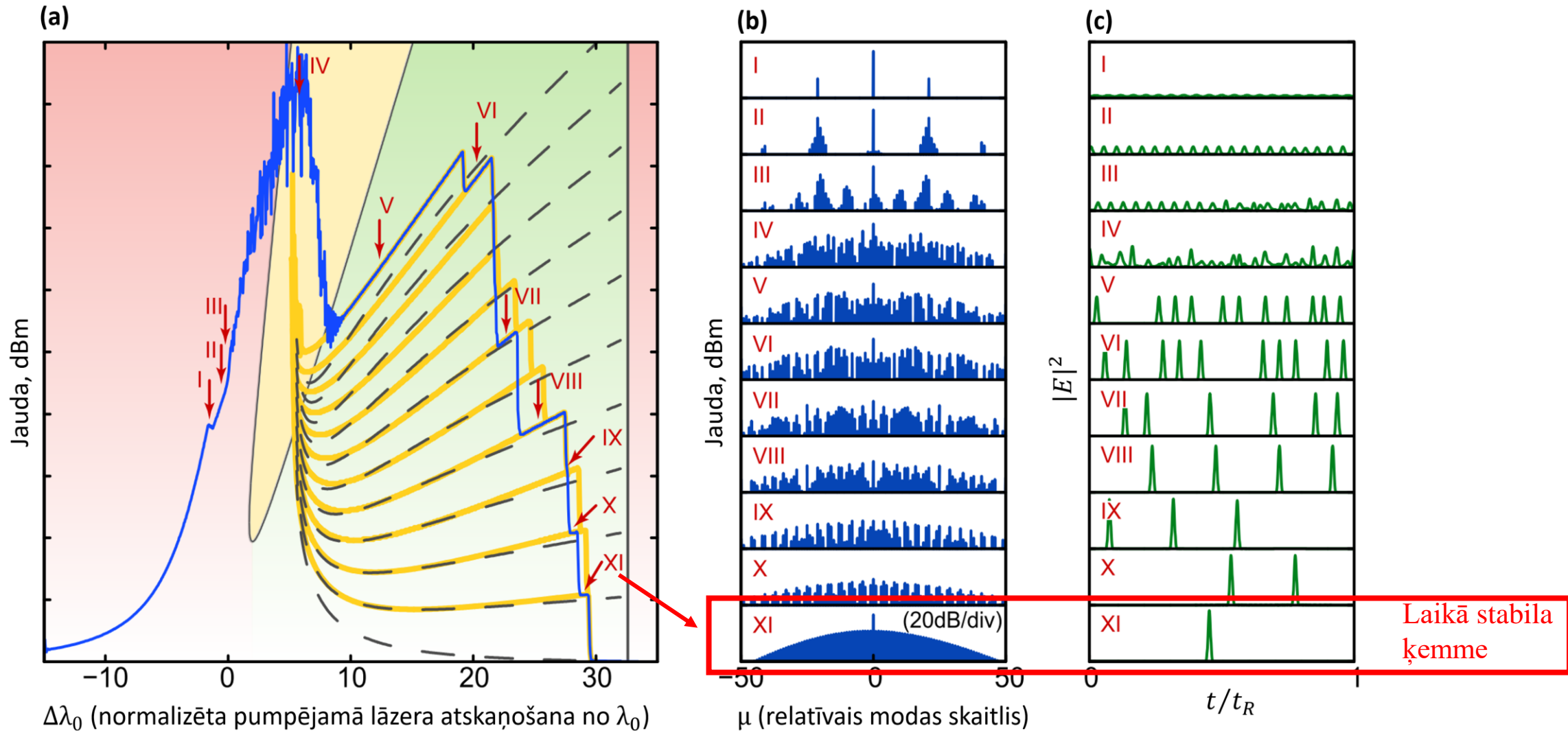
Optiskā koherences tomogrāfija



Dubultā-ķemju spektroskopija



# Kerra frekvenču ķemmes solitonu režīmi



Lai iegūtu **solitonu režīmu**, Kerra **nonlinearitātei** jābūt līdzsvarā ar rezonatora **dispersiju**, kas ir atkarīga no rezonatora ģeometrijas. Tādēļ tiek veikta **dispersijas optimizēšana** (*Dispersion Engineering*).

## **Darba mērķis:**

Optimizēt ČGM rezonatora ģeometriju priekš pielietošanas telekomunikāciju vajadzībām.

## **Darba uzdevumi:**

- izstrādāt COMSOL datorprogrammu precīzai rezonanses frekvenču aprēķināšanai, ņemot vērā gaismas laušanas koeficienta atkarību no viļņa garuma;
- veikt COMSOL datu apstrādi MATLAB programmā dispersijas parametra atrašanai;
- izpētīt aprēķinātās dispersijas precizitātes atkarību no tādiem simulācijas parametriem kā iterāciju skaita un simulācijas režģa smalkuma un salīdzināt rezultātu ar literatūru;
- atrast optimālo SU8 riņķa rezonatora ģeometriju, kurā tas darbosies viena solitona režīmā ar brīvo spektrālo apgabalu ap 100 GHz;
- veikt frekvenču ķemmes simulāciju pie optimālās rezonatora ģeometrijas, skaitliski risinot Lugiato-Lefevēra vienādojumu atvērtā koda programmā pyLLE.

# Metodika

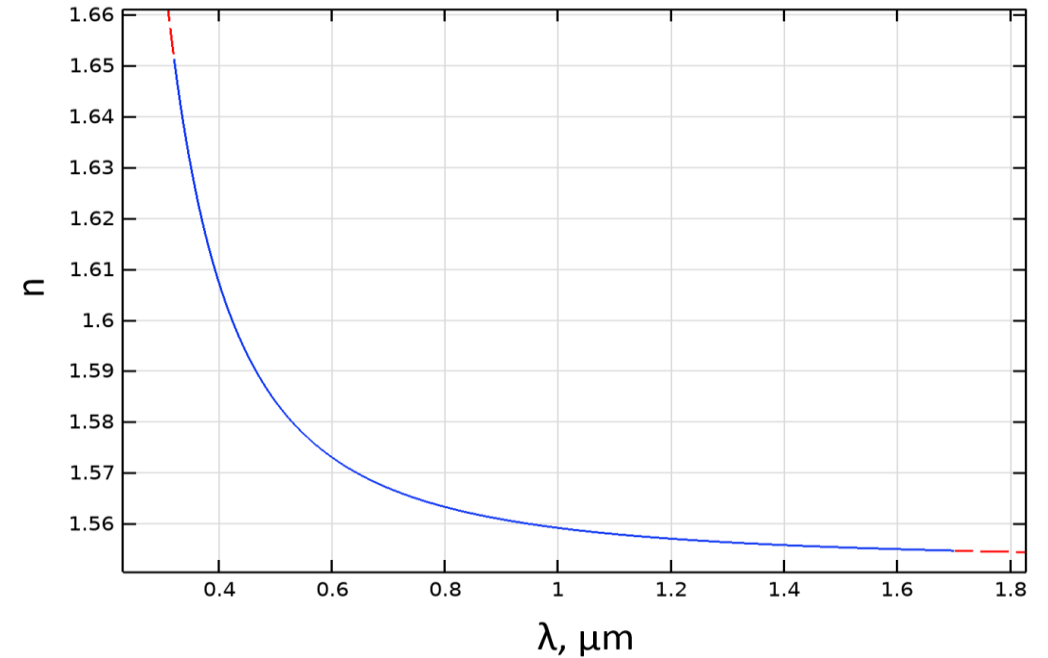


# COMSOL Multiphysics lietojums

Īpašfrekvenču aprēķina problēma

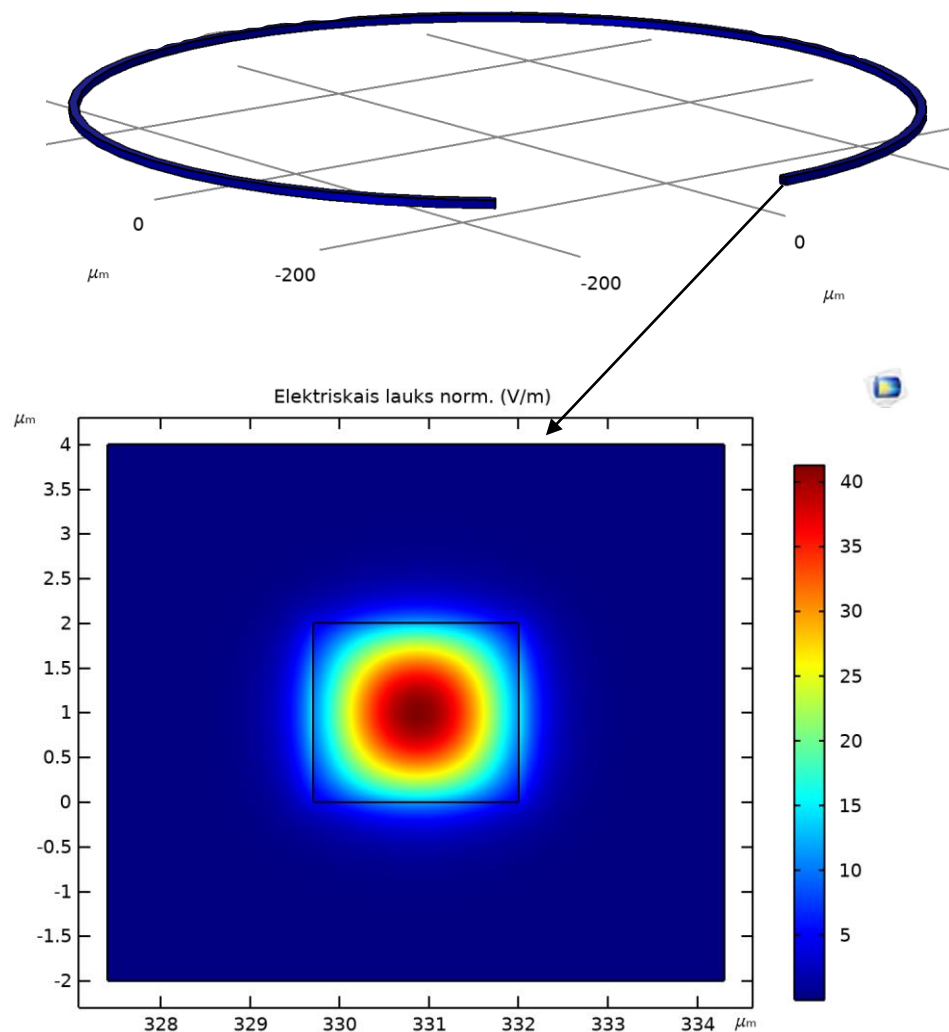
- $f = f(m, n, R_r, \dots)$
- $n = n(f)$

SU8 materiālās dispersijas līkne



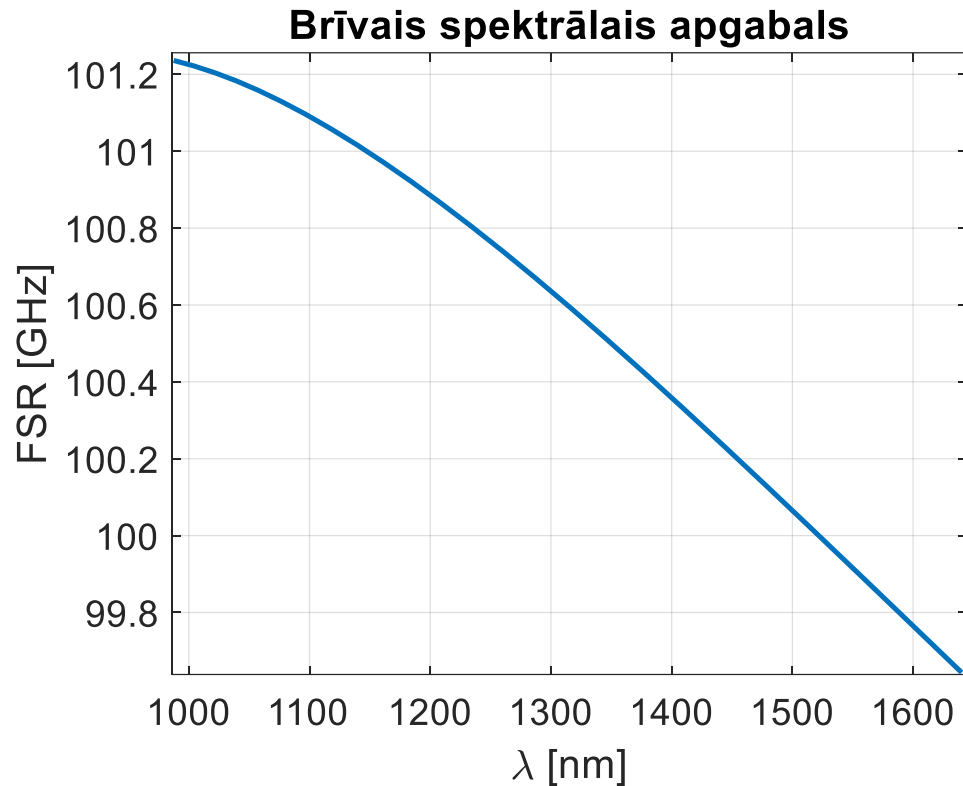
Problēmu atrisina ar interpolācijas funkcijām

# COMSOL Multiphysics rezultāti

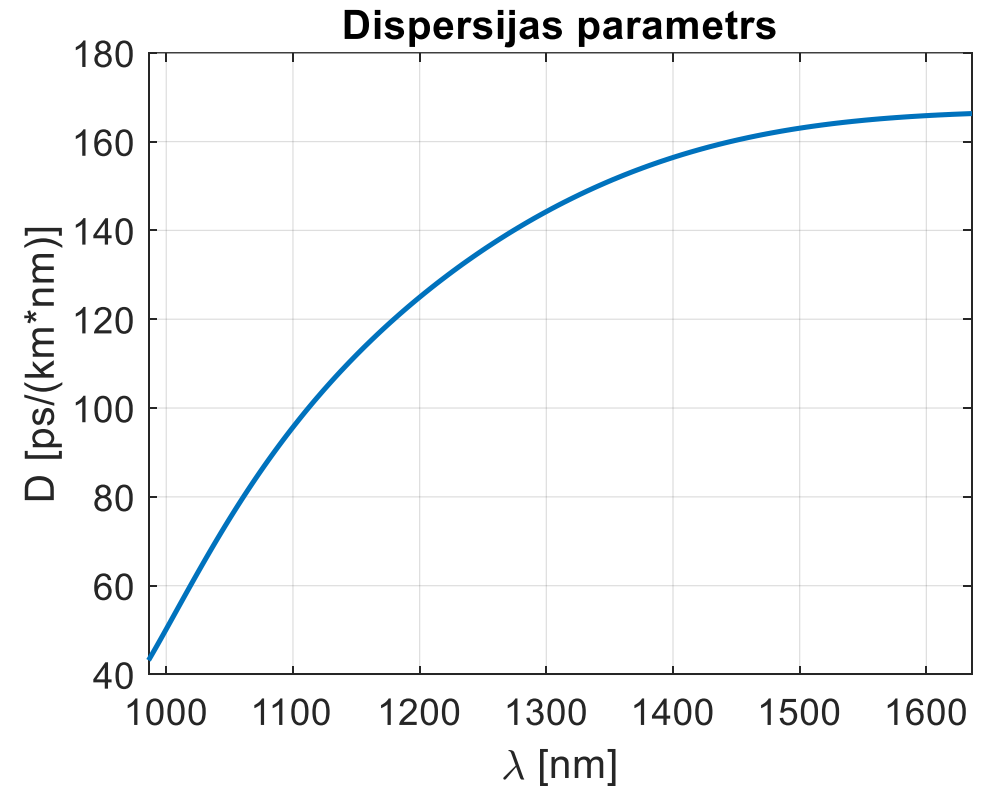


m	$\lambda$ , $\mu\text{m}$	Frekvence, Hz	neff	reff, m	Aeff, $\mu\text{m}^2$
1600	1.613964	185749204925205	1.406245	0.00029226237019	3.33276793
1601	1.613099	185848744960256	1.406372	0.00029226207363	3.33146485
1602	1.612236	185948290218364	1.406498	0.00029226177662	3.33016082
1603	1.611373	186047840685406	1.406624	0.00029226147916	3.32885584
1604	1.610511	186147396350256	1.406751	0.00029226118125	3.32754990
1605	1.60965	186246957197855	1.406877	0.00029226088288	3.32624297
1606	1.60879	186346523216125	1.407002	0.00029226058406	3.32493507
1607	1.607931	186446094392028	1.407128	0.00029226028479	3.32362616
...	...	...	...	...	...

# MATLAB lietojums



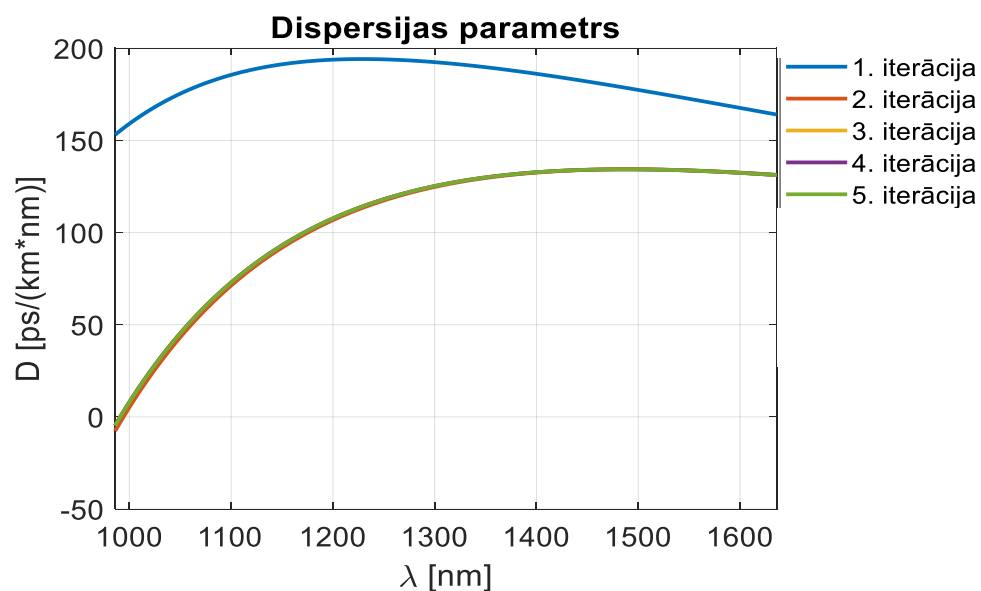
$$\text{FSR} = \frac{\partial f}{\partial m} [\text{GHz}]$$



$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \left[ \frac{\text{ps}}{\text{nm km}} \right]$$

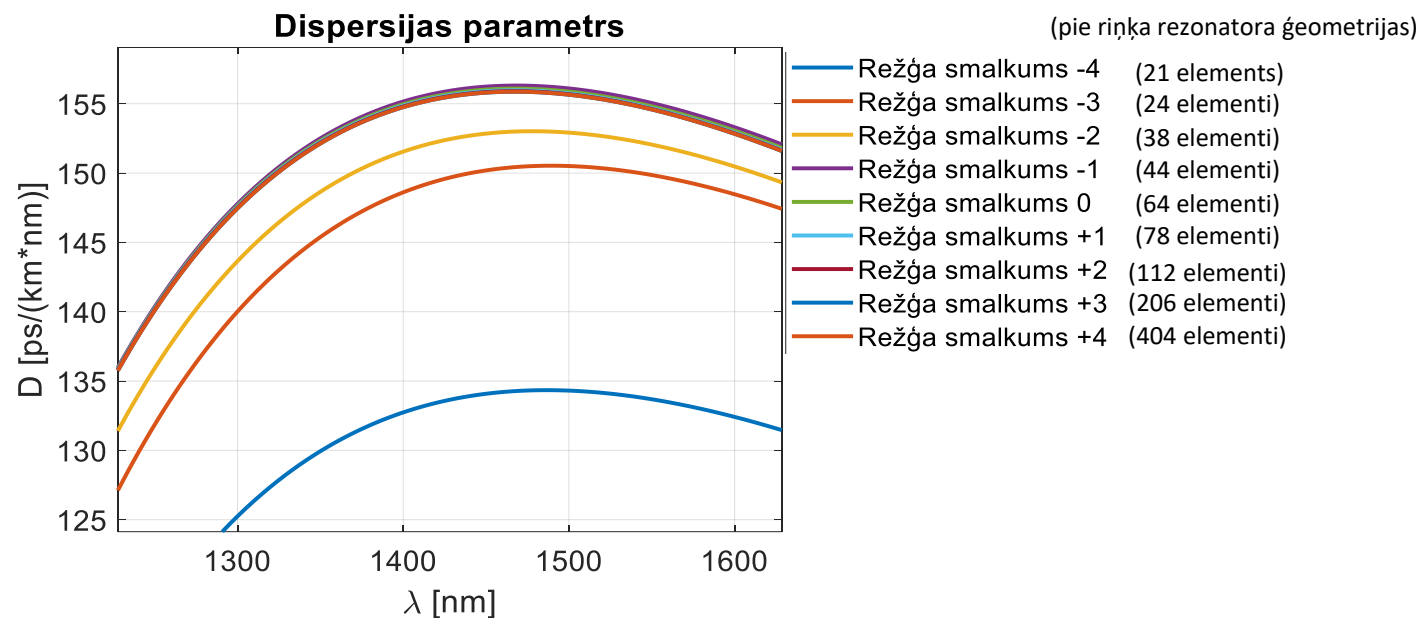
Tiek meklēta ģeometrija, kurai pie FSR = 100 GHz, dispersijas parametra līknes maksimums ir pie 1550 nm

# Iterācijas skaita ietekme uz dispersiju



Pietiek ar trīs iterācijām, lai rezultāts būtu nokonverģējis

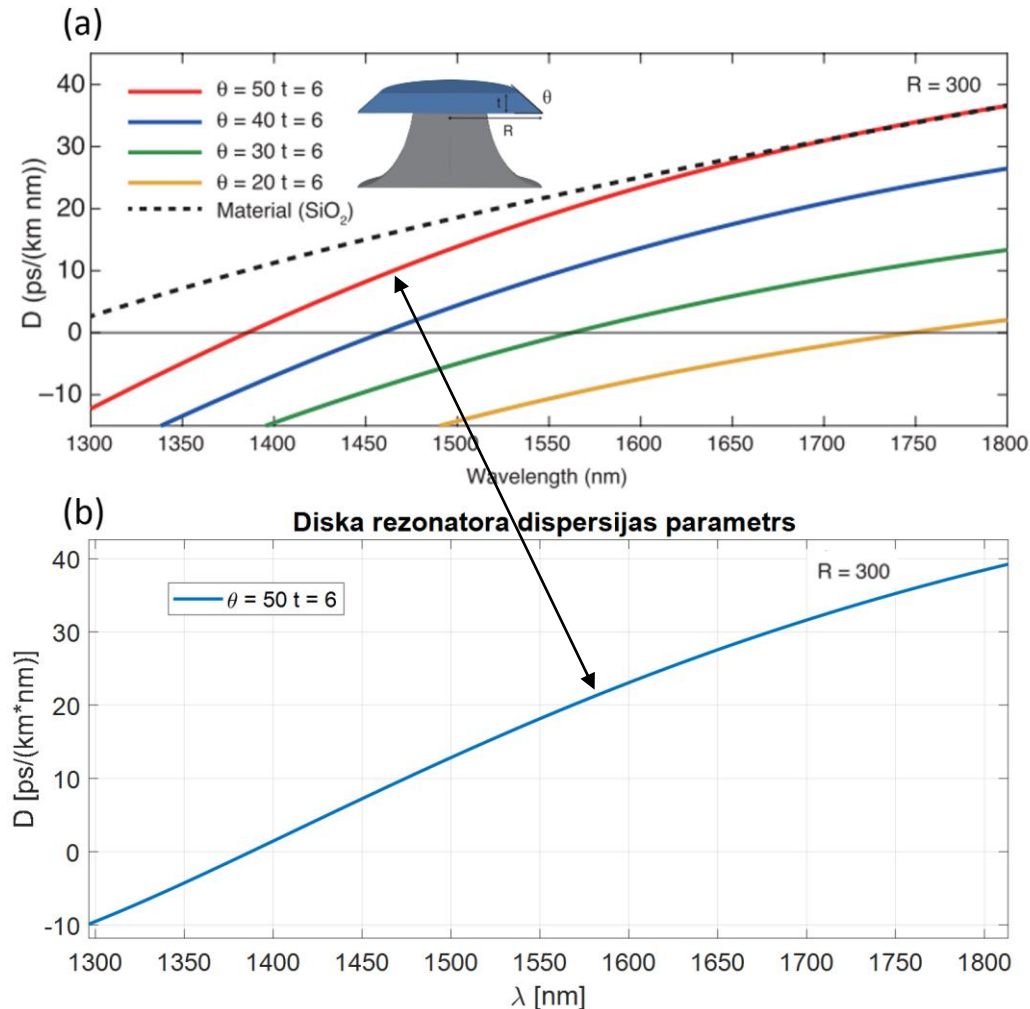
# Režģa smalkuma ietekme uz dispersiju



Pietiek ar režģa smalkumu 0 (*Normal*), lai rezultāts būtu nokonverģējis

# Darbā izmantotās dispersijas aprēķinu metodes rezultāta salīdzinājums ar literatūru

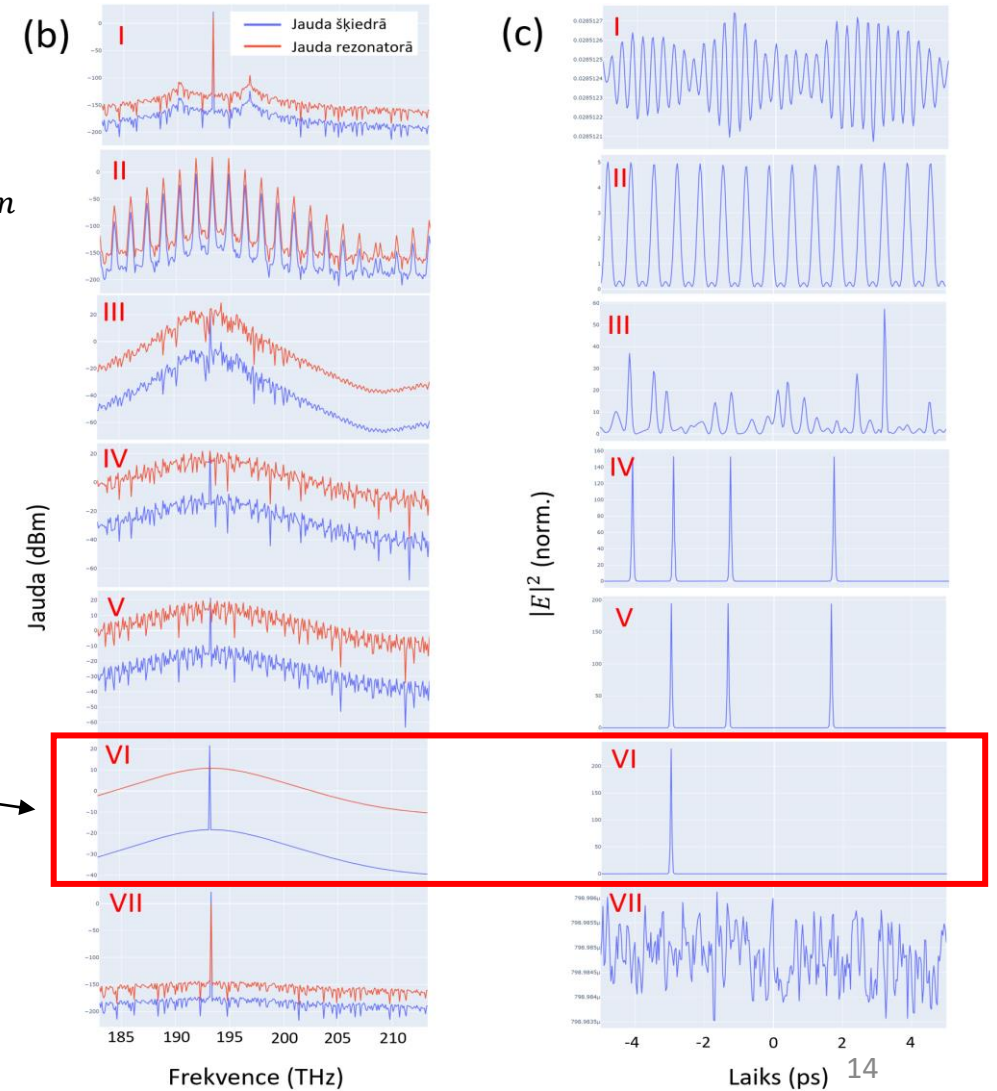
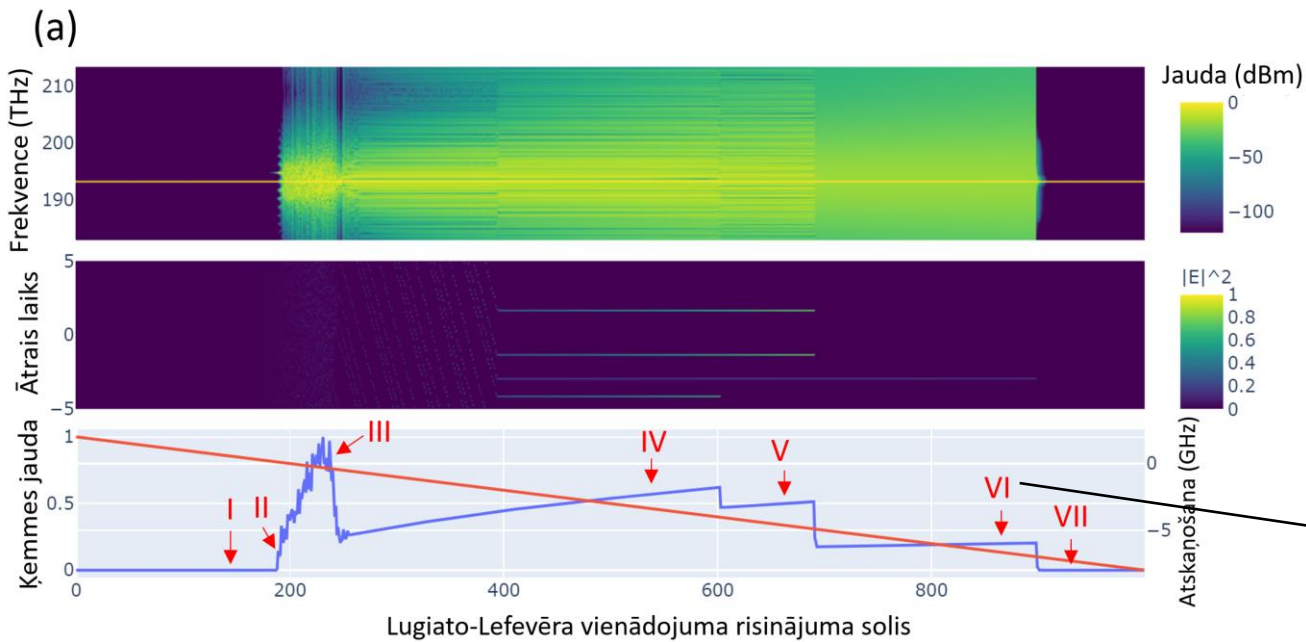
Literatūras dati [Fujii 2020]



Darbā iegūtie dati

# Nelineāro efektu modelēšana mikrorezonatoros ar Lugiato-Lefevēra vienādojumu python pyLLE datorprogrammā

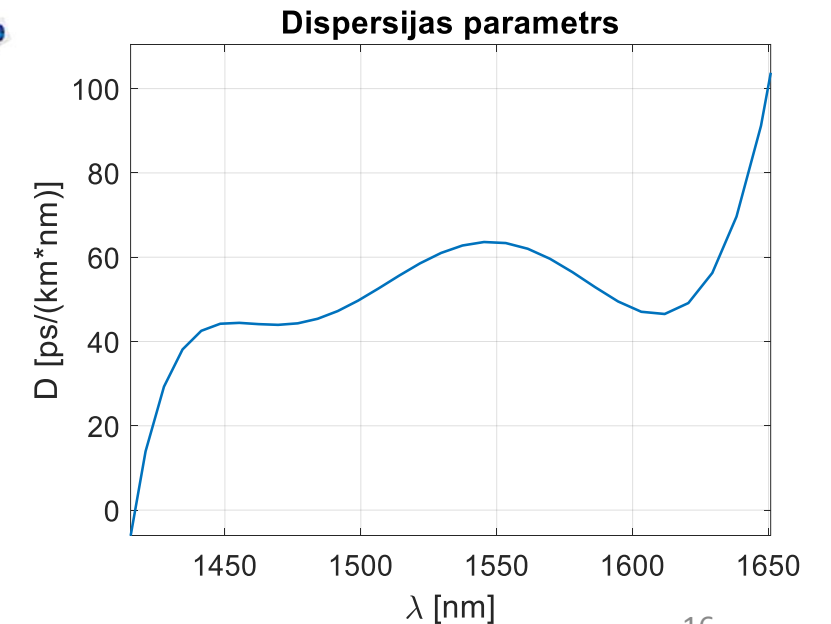
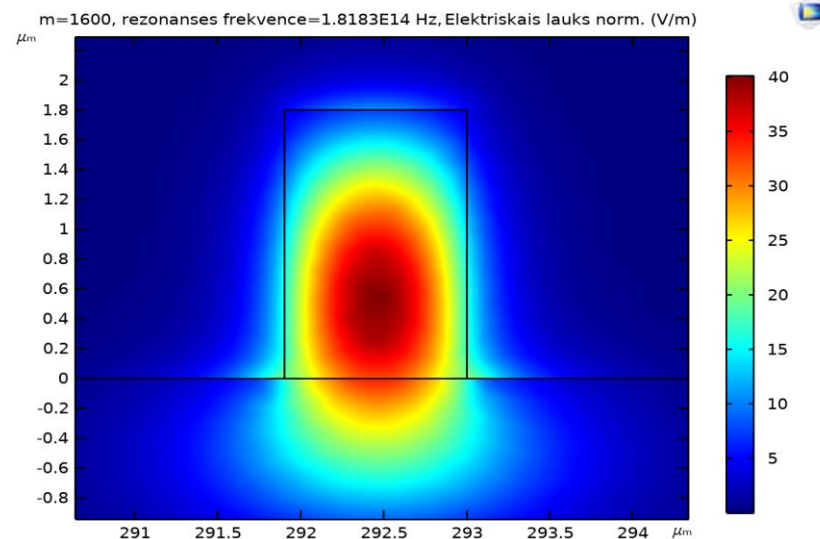
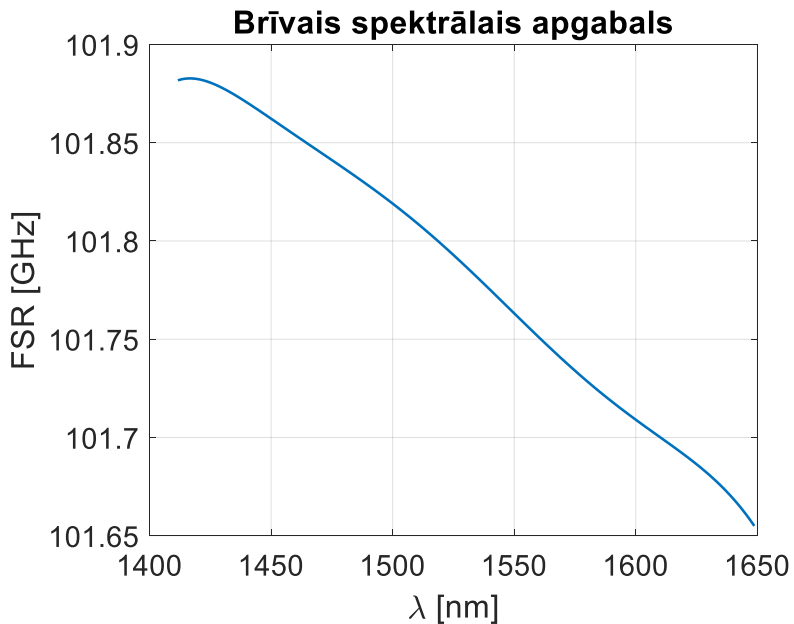
$$t_R \frac{\partial E(t, \tau)}{\partial t} = -\left(\frac{a'}{2} - i\delta_0\right) E + i \cdot FT^{-1}[-t_R D_{int}(\omega) \cdot FT[E(t, \tau)]] + \gamma |E|^2 E + \sqrt{\theta} E_{in}$$



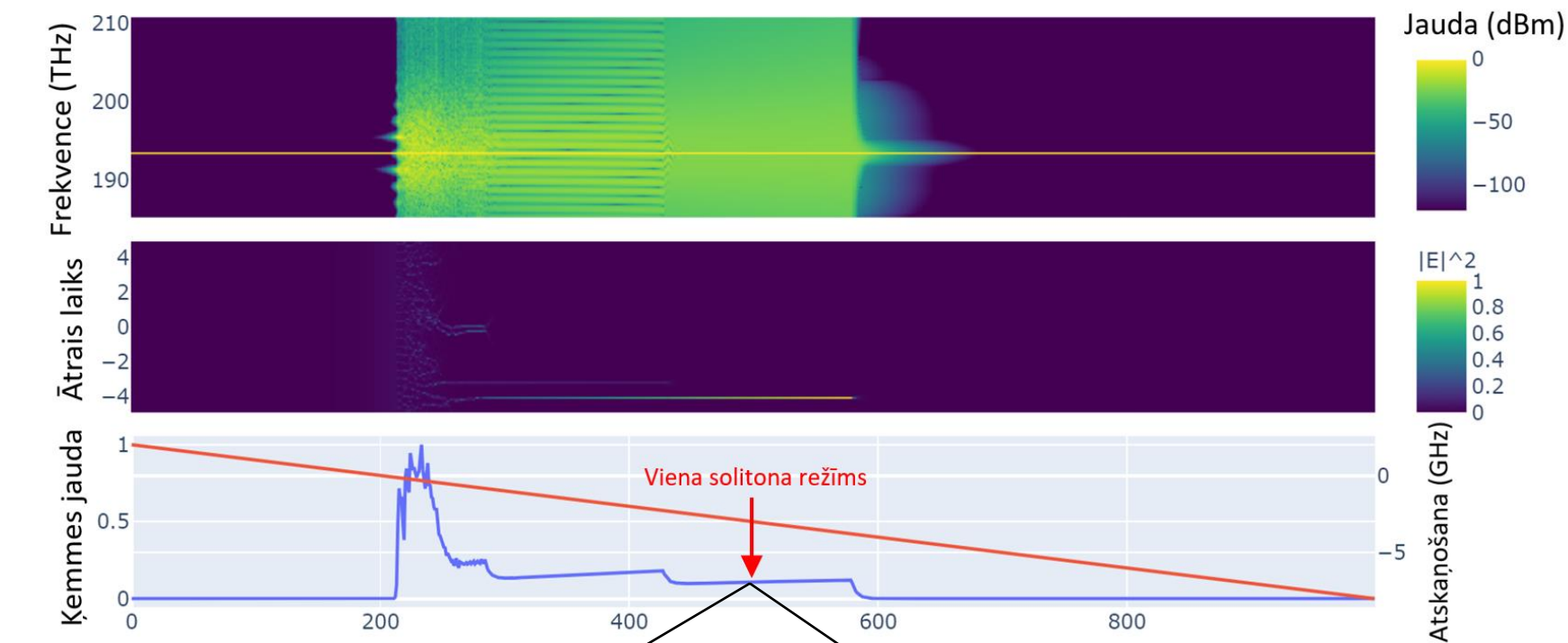
# Rezultāti

Tika atrasts, ka uz boro-silikāta stikliņa novietotam SU8 materiāla riņķa rezonatoram ar ārējo rādiusu  $293\ \mu\text{m}$ , platumu  $1,1\ \mu\text{m}$  un augstumu  $1,8\ \mu\text{m}$ :

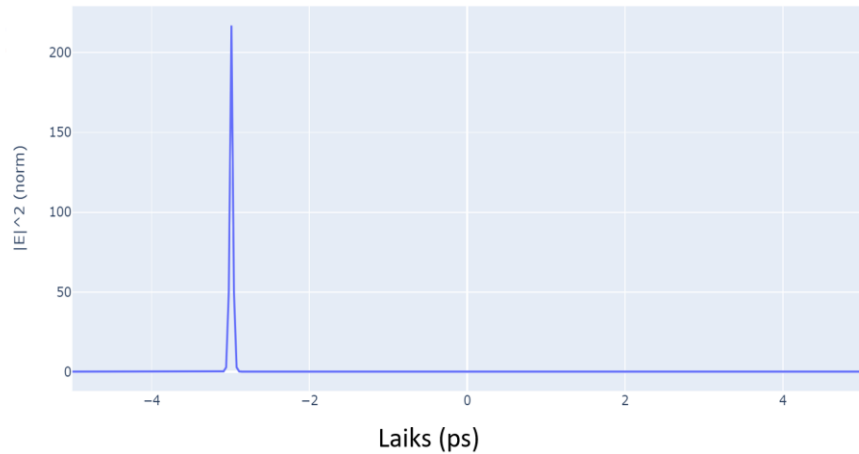
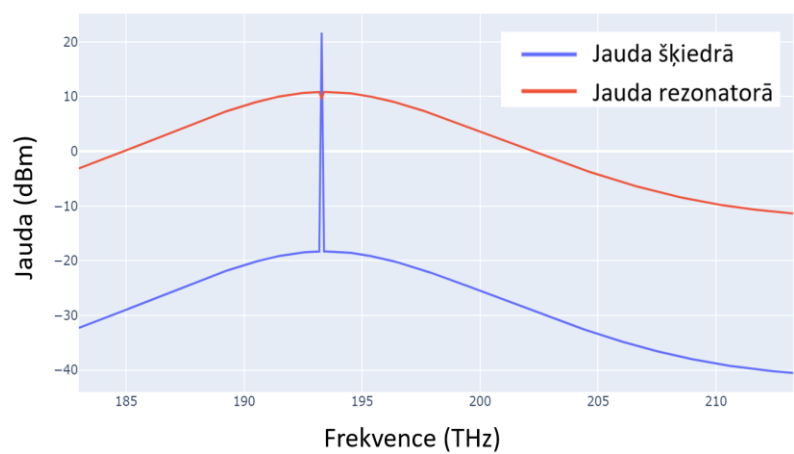
- intervāls starp modām ir  $\sim 100\ \text{GHz}$
- pie  $1550\ \text{nm}$  ir novērojams dispersijas parametra ekstrēms (lokālais maksimums)
- rezonators atļauj viena solitona režīma veidošanos pie ierosinošā lāzera viļņa garuma  $1550\ \text{nm}$







Lugiato-Lefevēra vienādojuma risinājuma solis



# Secinājumi

Darbā tika izpildīti uzdotie darba uzdevumi:

- tika izstrādāta COMSOL datorprogramma precīzai rezonanses frekvenču aprēķināšanai, ņemot vērā gaismas laušanas koeficienta atkarību no viļņa garuma;
- tika veikta COMSOL datu apstrāde MATLAB programmā dispersijas parametra atrašanai;
- tika izpētīta aprēķinātās dispersijas precizitātes atkarība no tādiem simulācijas parametriem kā iterāciju skaits un simulācijas režģa smalkums, kā arī rezultāts tika salīdzināts ar literatūru;
- tika atrasta optimālā SU8 riņķa rezonatora ģeometrija, kurā tas darbojas viena solitona režīmā ar brīvo spektrālo apgabalu ap 100 GHz;
- tika veikta frekvenču ķemmes simulācija pie optimālās rezonatora ģeometrijas, skaitliski risinot Lugiato-Lefevēra vienādojumu atvērtā koda programmā pyLLE.

# Secinājumi

- Tika atrasts, ka, lai ģenerētu frekvenču ķemmi viena solitona režīmā, optimāla SU8 riņķa rezonatora ģeometrija uz boro-silikāta materiāla stikliņa ir ar ārējo rādiusu **293  $\mu\text{m}$** , platumu **1,1  $\mu\text{m}$**  un augstumu **1,8  $\mu\text{m}$**
- Tika atrasts, ka gana precīzām riņķa rezonatora dispersijas aprakstam **pietiek ar 3 iterācijām** pie 0 (*Normal*) režģa smalkuma
- Tā kā ģeometriskā dispersija ir ļoti jūtīga pret mazām ģeometrijas izmaiņām, rezonatorus būtu optimāli izgatavot ar **litogrāfijas metodi**, kur ar dažādām metodēm iespējams sasniegt precizitāti līdz dažiem nanometriem.
- Turpmākie pētījuma virzieni: lietot citus rezonatora materiālus ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ), pārklājumus riņķa rezonatoram; veidot vairāku rezonatoru sistēmas; frekvenču ķemmes & neironu tīkli

# Rezultātu izplatīšana

Darba rezultāti prezentēti konferencēs:

1. Draguns, K. ČGM mikrorezonatora uzpumpēšanas par frekvenču ķemmi modelēšana. *Latvijas Universitātes 79. starptautiskā zinātniskā konference. Rīgā, Latvijā, tiešsaistē, 12.02.2021*
2. Draguns, K., Brice, I., Salgals, T., Alnis, J. Dispersion Engineering of Whispering Gallery Mode Resonators for Frequency Comb Generation and Telecommunication Applications. *Open Readings 2021, Viļņā, Lietuvā, tiešsaistē, 19.03.2021.* (Referāta kopsavilkums publicēts konferences materiālos)
3. Draguns, K. Dispersion engineering of whispering gallery mode resonators for Kerr frequency comb generation. *Developments in Optics and Communications 2021, Rīgā, Latvijā, tiešsaistē, 15.04.2021.* (Referāta kopsavilkums publicēts konferences materiālo)
4. Draguns, K., Brice, I., Atvars, A., Alnis J. Dispersion engineering of whispering gallery mode resonators (WGMRs). *Quantum Optics and Photonics 2021, Rīgā, Latvijā, tiešsaistē, 23.04.2021.* (Referāta kopsavilkums publicēts konferences materiālos)

# Rezultātu izplatīšana

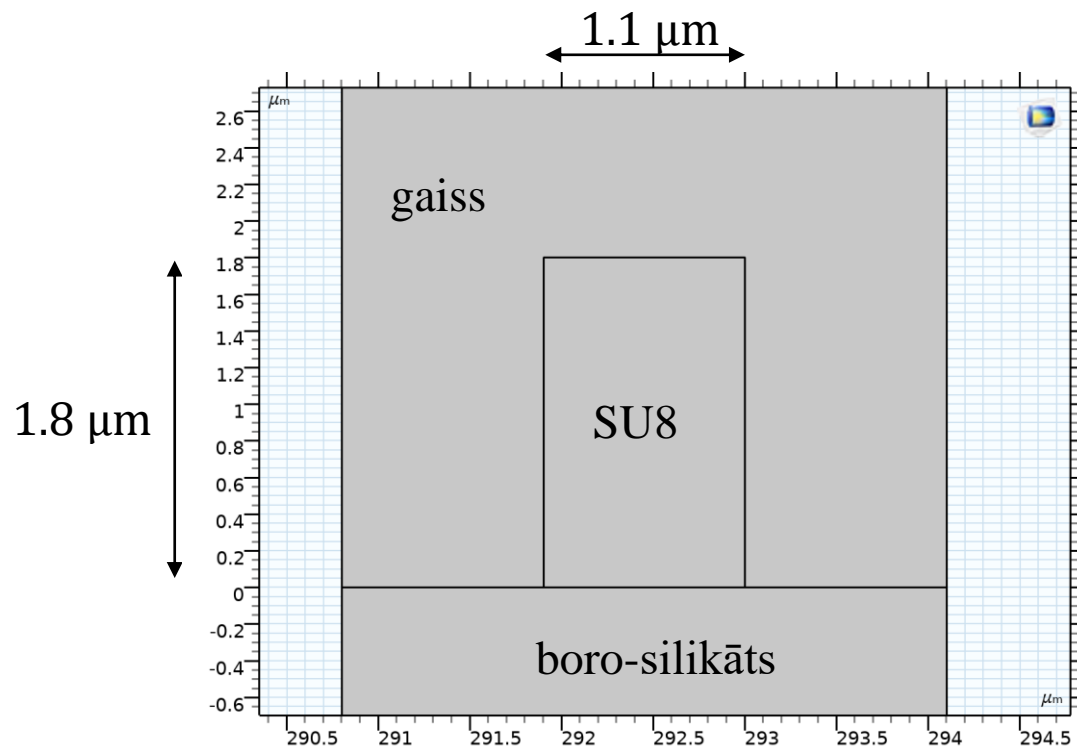
Par radniecīgu tēmu ir publikācijas žurnālos:

1. Brice, I., Viter, R., Draguns, K., Grundsteins, K., Atvars, A., Alnis, J., Coy, E., Iatsunskyi, I., Whispering gallery mode resonators covered by a ZnO nanolayer, **Optik** 219, 165296 (2020). (Q2 publikācija indeksēta SCOPUS)
2. Reinis, P. K., Milgrave, L., Draguns, K., Brice, I., Alnis, J., Atvars, A., High-sensitivity whispering gallery mode humidity sensor based on glycerol microdroplet volumetric expansion, **Sensors** 21, 1–13 (2021). (Q1 publikācija indeksēta SCOPUS)

Paldies par uzmanību!

# Recenzenta jautājumi

1. Darbā iegūti optimālas rezonatora ģeometrijas parametri. Vai ir iespējams novērtēt parametru kļūdu?



$$R = 293 \mu\text{m}$$

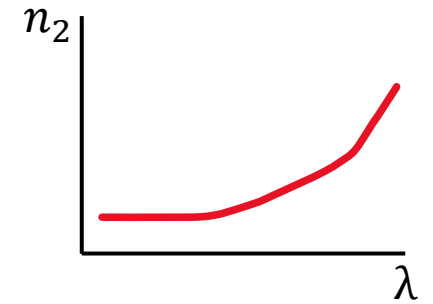
kļūda  $\sim 0.01 \mu\text{m}$



2. SU8 fotorezists tika modelēts, pieņemot nelinearitātes koeficientu gaismas laušanas indeksam, kāds tas ir SiO<sub>2</sub>. Materiāli ir strukturāli atšķirīgi. Kāds ir pamatojums šādam pieņēmumam? Kā pieņēmums var ietekmēt iegūtos rezultātus?

Material	nonlinear index	Reference
air	$1.22 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2/\text{W}$ at 308 nm, 1 atm	[2]
fused silica	$2.19 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
sapphire	$2.8 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1550 nm	[11]
yttrium aluminum garnet ( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ )	$6.13 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
yttrium vanadate ( $\text{YVO}_4$ ), $n_o$	$15.6 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
yttrium vanadate ( $\text{YVO}_4$ ), $n_e$	$14.9 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), $n_o$	$3.22 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), $n_e$	$2.12 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]
calcium fluoride ( $\text{CaF}_2$ )	$1.71 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ at 1030 nm	[13]

$2.7 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{W}$   
at 1500 nm



2. SU8 fotorezists tika modelēts, pieņemot nelinearitātes koeficientu gaismas laušanas indeksam, kāds tas ir SiO<sub>2</sub>. Materiāli ir strukturāli atšķirīgi. Kāds ir pamatojums šādam pieņēmumam? **(Literatūras trūkums)** Kā pieņēmums var ietekmēt iegūtos rezultātus?

# Kerra efekts:

$$n = n_0 + n_2 I$$

$$I = \frac{c \epsilon_0 n}{2} |E|^2$$

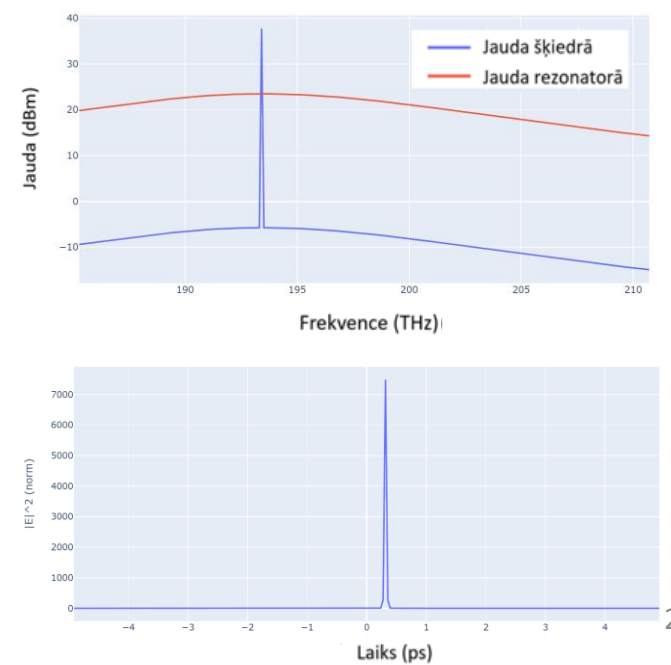
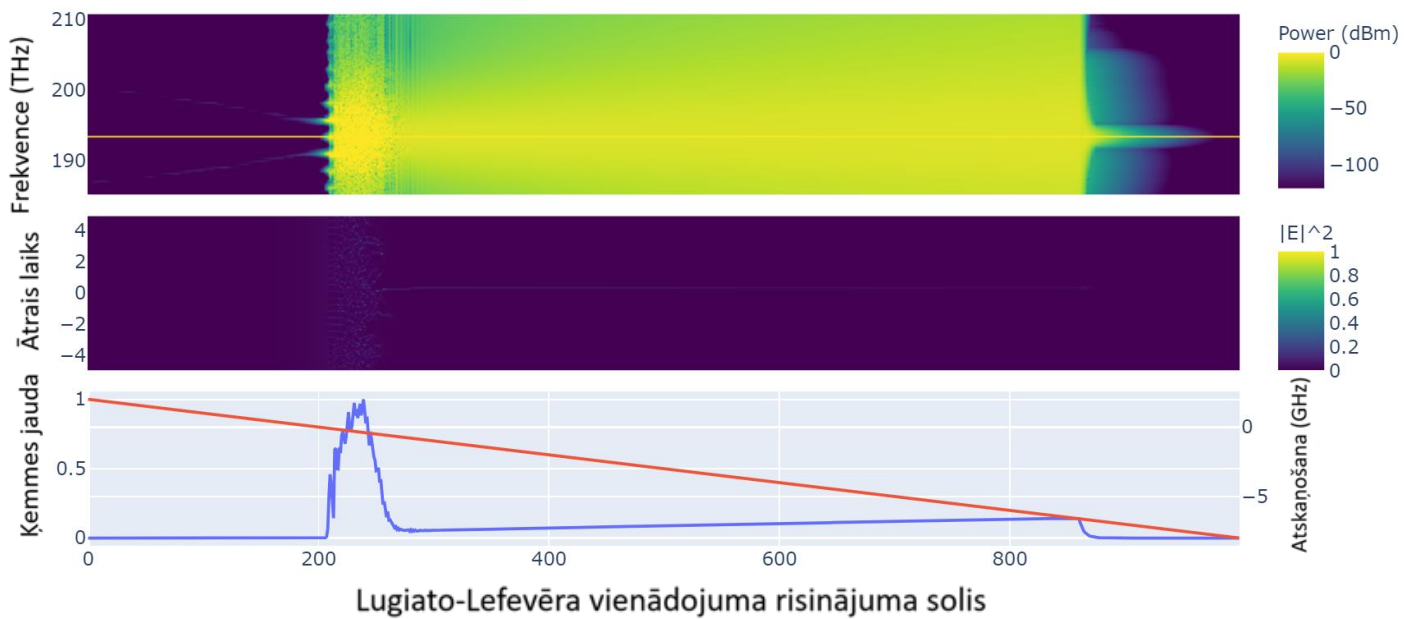
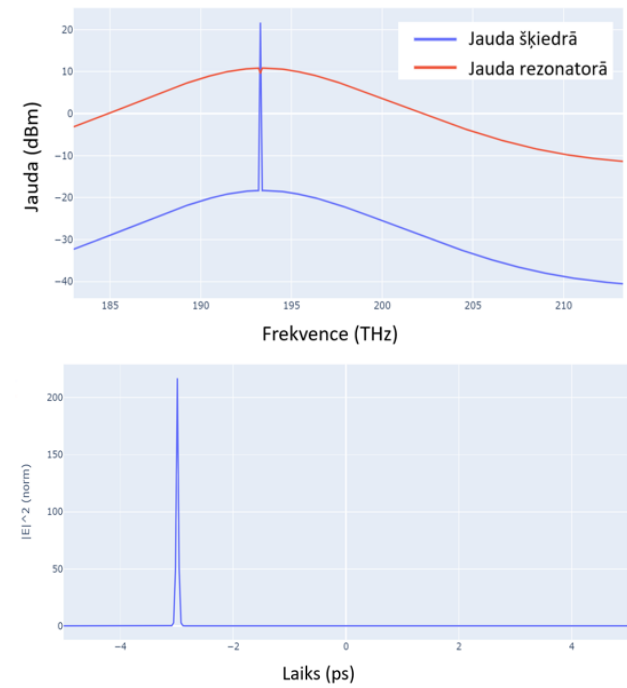
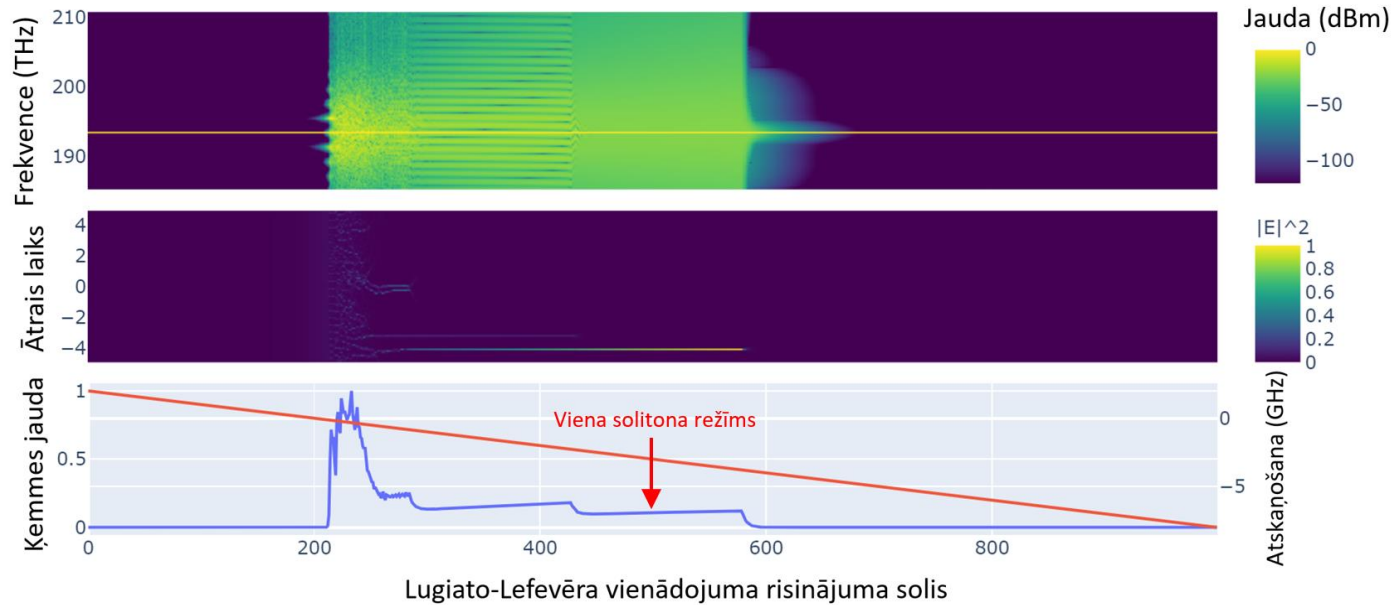
$$t_R \frac{\partial E(t, \tau)}{\partial t} = - \left( \frac{\alpha}{2} - i \delta_0 \right) \vec{E} + i \cdot FT^{-1} \left[ -t_R D_{int}(\omega) \cdot FT[E(t, \tau)] \right] + \gamma |E|^2 \vec{E} + \sqrt{\theta} E_{in}$$

$$n_2(SU8) \approx \frac{1}{40} n_2(SiO_2) = 6.75 \cdot 10^{-18} \left[ \frac{m^2}{W} \right]$$

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{eff}} = 10.5185 \left[ \frac{1}{W \cdot m} \right]$$

$$\lambda = 1550 \text{ [nm]}$$

$$A_{eff} = \frac{(\int |E|^2 dS)^2}{\int |E|^4 dS} = 2.601335 \text{ [\mu m}^2\text{]}$$



3. Literatūras apskata daļā minēts, ka rezonatora labumu ietekmē vairāki faktori, tajā skaitā zudumi materiālā, ko rada cietvielu defekti un materiāla tīrība. Par kāda veida defektiem un piemaisījumiem ir runa; kādās koncentrācijās sāk izpausties to nevēlamās īpašības?

# Zudumi

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_{\text{virsmas izkliede}}} + \frac{1}{Q_{\text{materiāla}}} + \frac{1}{Q_{\text{savienojuma}}} + \frac{1}{Q_{\text{starojuma}}}$$

Sīki putekļi un virsmas neregularitātes

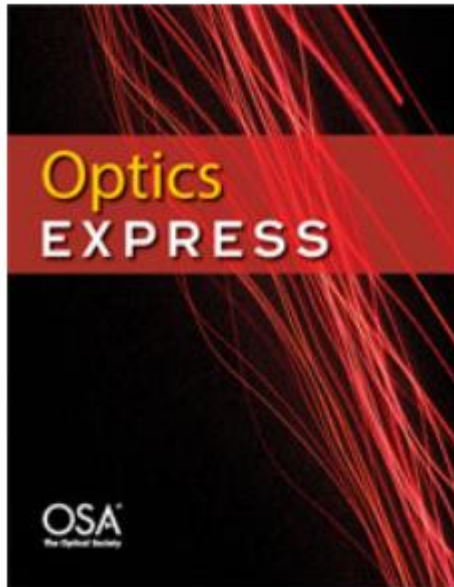
Materiāla absorbcija un cietvielu defekti

Rezonators par tuvu vai tālu no šķiedras

Izpaužas ļoti maziem rezonatoriem, kur pilnvērtīgi nenotiek pilnīgā iekšējā atstarošanās

$$P_{\text{circ}} = \frac{\lambda Q P_{\text{in}}}{\pi^2 n_{\text{eff}} R}$$

# Ar atkvēlināšanu sansniedzams $Q = 3 \cdot 10^{11}$

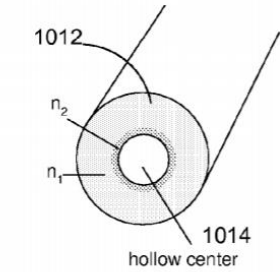


We increased the temperature of the furnace core from room temperature to 650 C during 3 hours, kept the temperature stabilized for one day, cooled the core back during 3 hours, and repolished the fluorite resonator. We repeated iterations three times keeping the same annealing duration but gradually decreasing the size of the grain of diamond slurry we used for polishing.

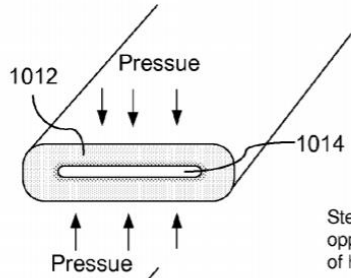
Therefore, with sufficiently high-purity material, much smaller attenuation in the middle of the transparency window can be expected—as both the Rayleigh scattering edge and multiphonon absorption edge are pushed further apart towards ultraviolet and infrared regions, respectively. Moreover, crystals may suffer less, or not at all, the extrinsic absorption effects caused by chemisorption of OH<sup>-</sup> ions and water, a reported limiting factor for the  $Q$  of fused silica near the bottom of its transparency window at 1.55  $\mu\text{m}$  [13,14].



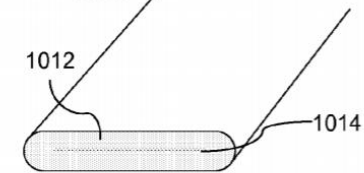
FIG. 10



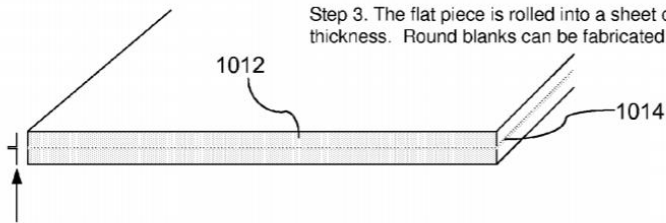
Step 1. A preform tube is fabricated by standard fiber preform fabrication techniques. A layer of high purity doped material is deposited inside the high purity fused silica tube. The inside layer has higher refractive index than that of the outside tube, similar to fiber fabrication. Layer thickness and index of refraction are the design parameters.



Step 2. The tube is collapsed with pressure applied from two opposing direction to form a flat piece with eventual elimination of hollow center channel.



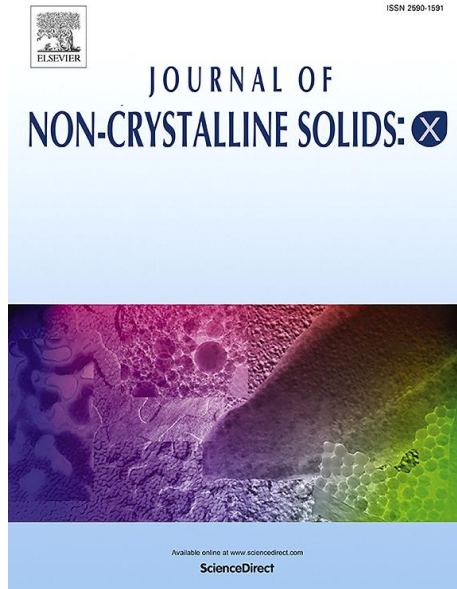
Step 3. The flat piece is rolled into a sheet of desired thickness. Round blanks can be fabricated from such a sheet.



Profile of the reflective index in the cross-section of the material

The deposition processes such as various chemical vapor deposition processes are known to provide a controlled environment to produce highly pure material layers and may be used to minimize or eliminate various contaminations such as OH contents and other light scattering or absorbing contents.

3. Litratūras apskata daļā minēts, ka rezonatora labumu ietekmē vairāki faktori, tajā skaitā zudumi materiālā, ko rada cietvielu defekti un materiāla tīrība. Par kāda veida defektiem un piemaisījumiem ir runa ( $\text{OH}^-$ ); kādās koncentrācijās sāk izpausties to nevēlamās īpašības?



We also made resonators using FTx00UMT (x = 2, 3, 4; high OH; ThorLabs), but the peaks were about three times as broad as those made from FT300EMT. Therefore, these high-OH fibers were not actively employed in the study reported here.

We used a multimode fiber FT300EMT (low OH of 0.2 ppm,

$$Q = \frac{f}{\Delta f_{\text{FWHM}}}$$

We used a multimode fiber FT300EMT (low OH of 0.2 ppm,

**Ø300 µm Core TECS-Clad Multimode Optical Fiber, 0.39 NA**



Item #	Wavelength Range	Hydroxyl Content	Core Diameter	Cladding Diameter	Coating Diameter	Core / Cladding	Coating	Stripping Tool	Proof Test
FT300UMT	300 - 1200 nm	High OH	300 ± 6 µm	325 ± 10 µm	650 ± 30 µm	Pure Silica / TECS Hard Cladding	Tefzel	<a href="#">T16S31</a>	≥100 kpsi
FT300EMT	400 - 2200 nm	Low OH							

Item #	NA	Core Index	Cladding Index	Maximum Attenuation @ 808 nm	Bandwidth @ 820 nm	Max Power Capability		Max Core Offset	Bend Radius		Operating Temperature
						Pulsed	CW		Short Term	Long Term	
FT300UMT	0.39	436 nm: 1.466757 589.3 nm: 1.458434 1020 nm: 1.450174	436 nm: 1.406000 589.3 nm: 1.398200 1020 nm: 1.392306	14 dB/km	15 MHz·km	2.3 MW	0.5 kW	5 µm	11 mm	22 mm	-65 - 135 °C
FT300EMT		436 nm: 1.467287 589.3 nm: 1.458965 1020 nm: 1.450703	436 nm: 1.406000 589.3 nm: 1.398200 1020 nm: 1.392306	10 dB/km							

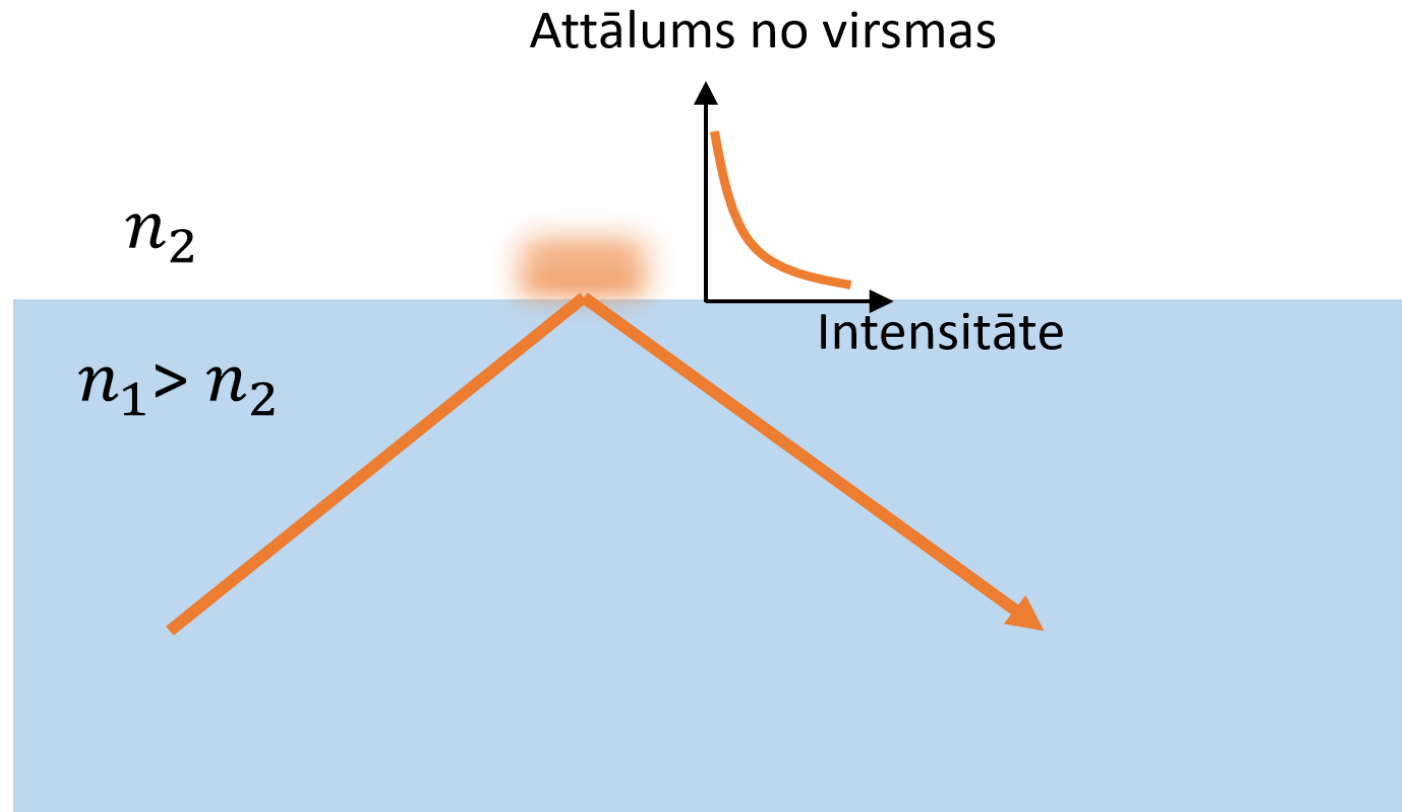
Based on your currency / country selection, your order will ship from Munich, Germany

3. Litratūras apskata daļā minēts, ka rezonatora labumu ietekmē vairāki faktori, tajā skaitā zudumi materiālā, ko rada cietvielu defekti un materiāla tīrība. Par kāda veida defektiem un piemaisījumiem ir runa ( $\text{OH}^-$ ); kādās koncentrācijās sāk izpausties to nevēlamās īpašības? ( $\gg 0.2 \text{ ppm}$ )

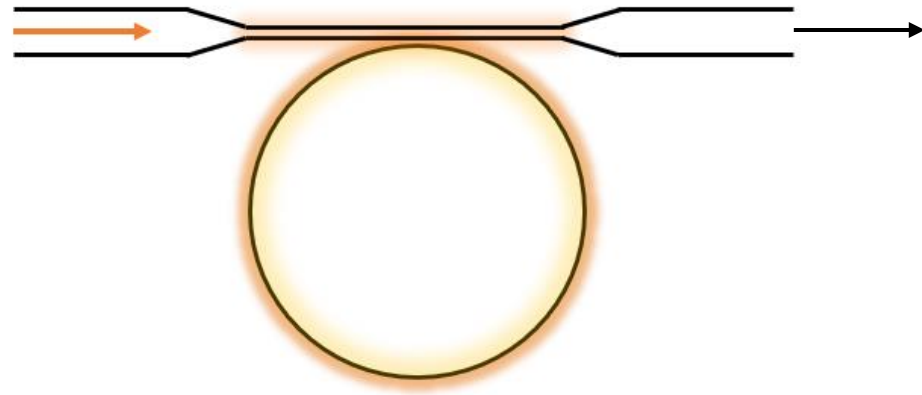
# Pateicības

Pielikumi

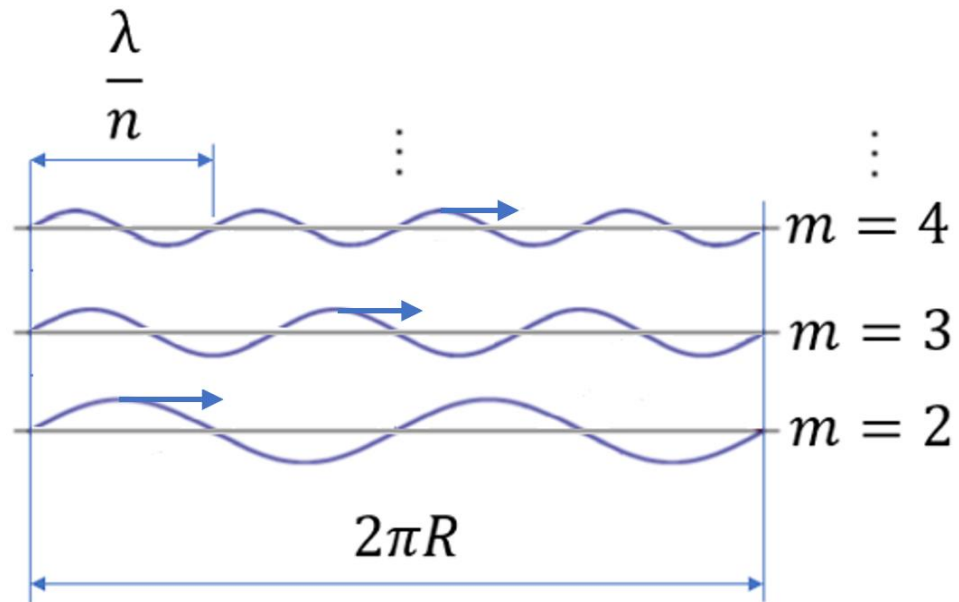
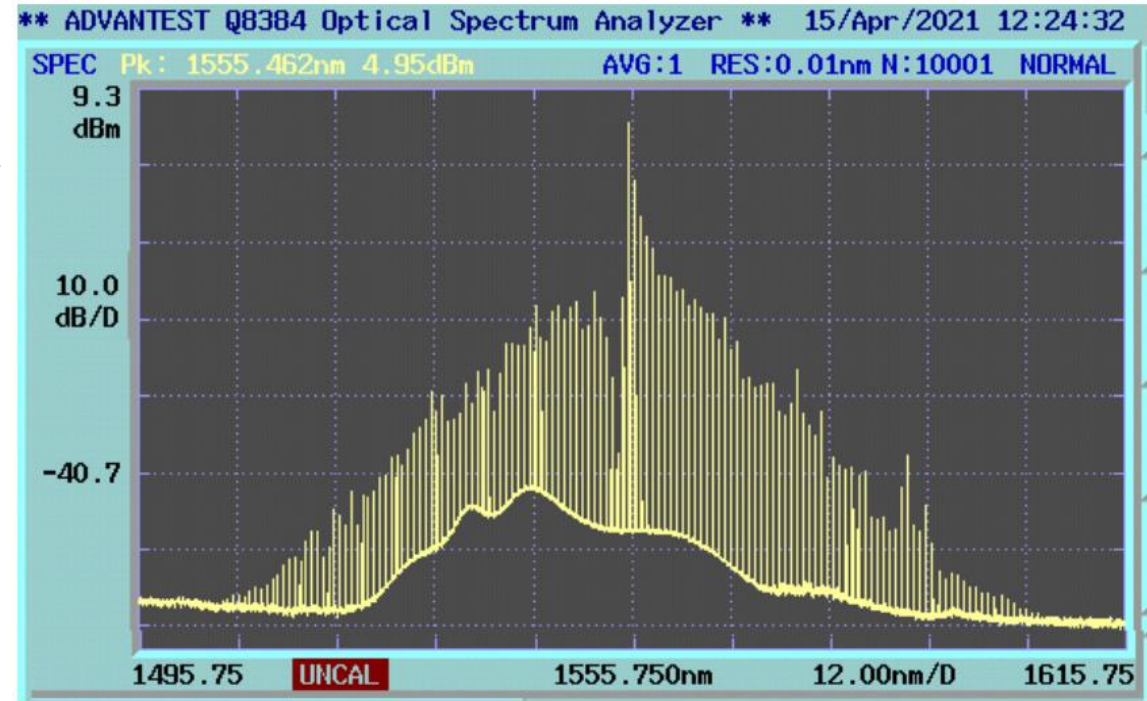
# Virsmas viļņa gaistošais gaismas lauks

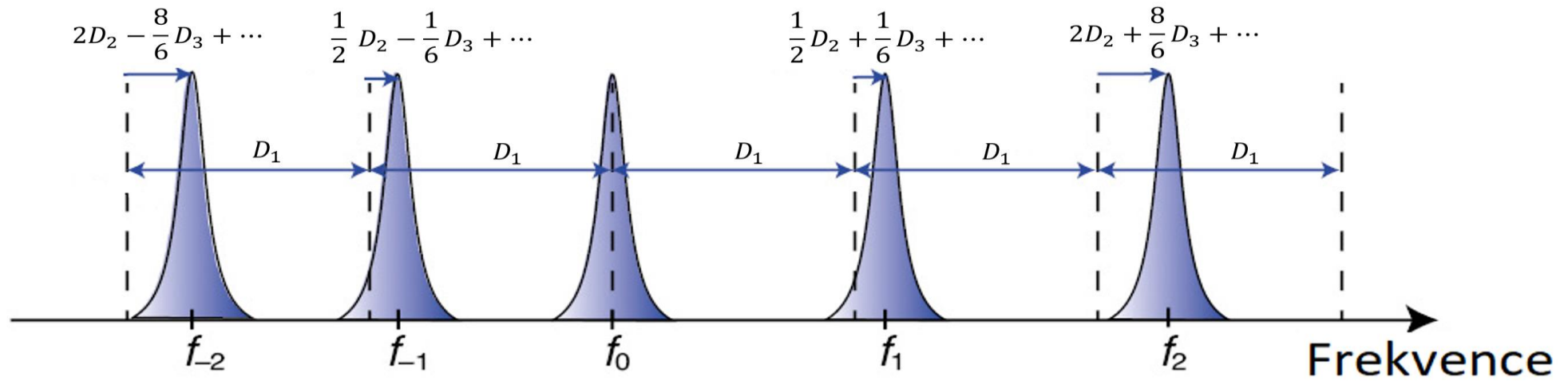






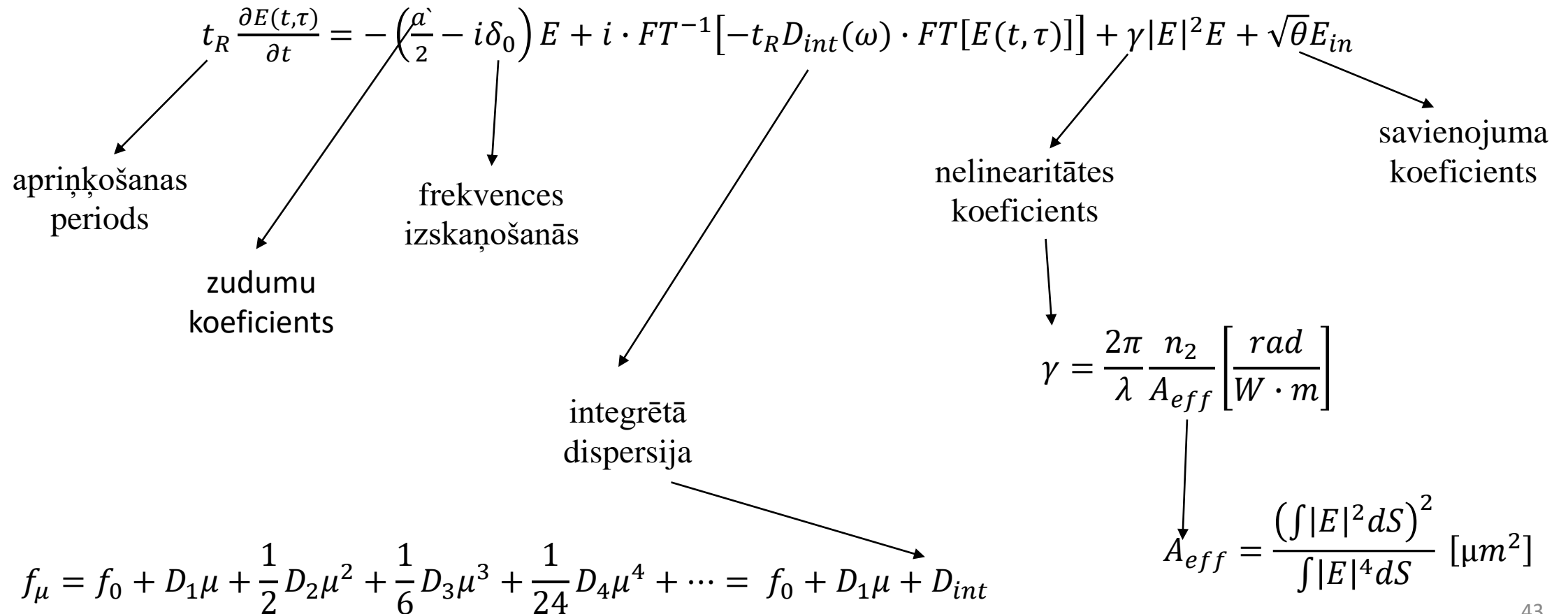
$$2\pi Rn = m\lambda$$



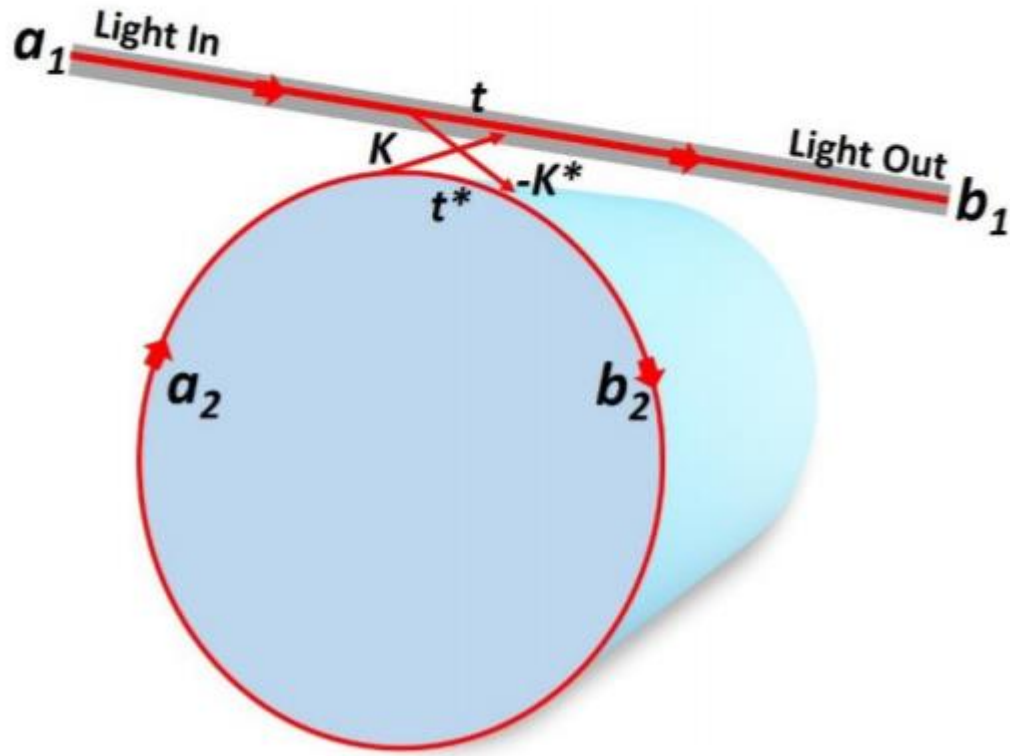


$$f_{\mu} = f_0 + D_1\mu + \frac{1}{2}D_2\mu^2 + \frac{1}{6}D_3\mu^3 + \frac{1}{24}D_4\mu^4 + \dots = f_0 + D_1\mu + D_{int}$$

# Lugiato-Lefevēra vienādojums



# Zudumu koeficients



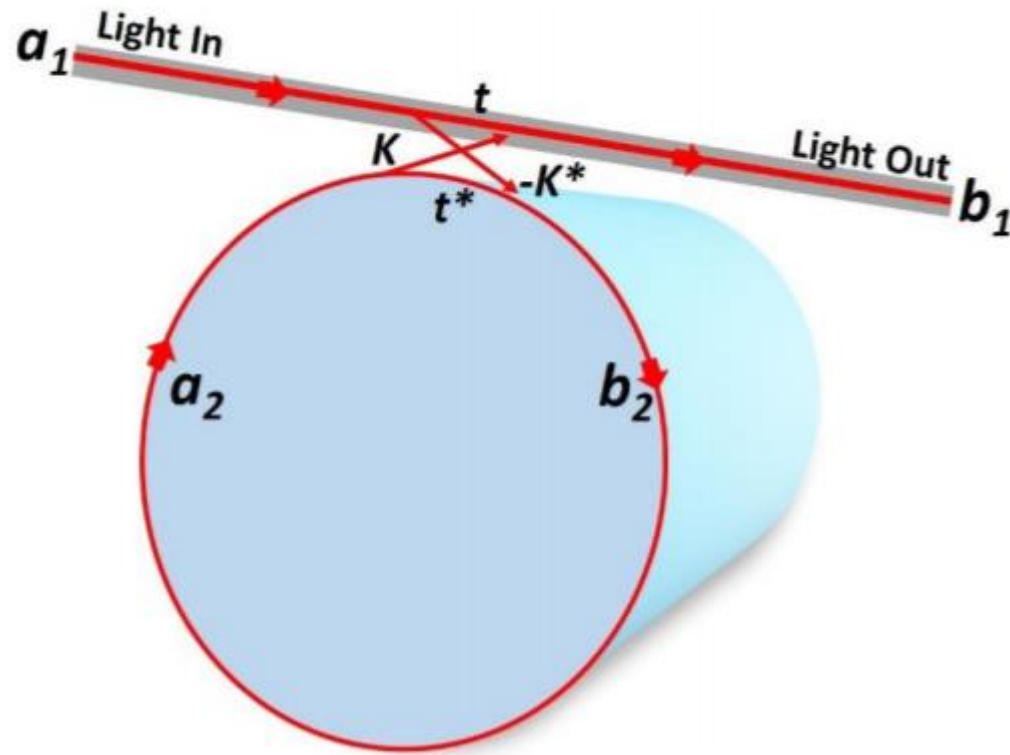
$$a_2 = \alpha e^{i\theta} b_2$$

Fāzes nobīde

$$\theta = \frac{4\pi^2 R n_{eff}}{\lambda}$$

$$Q_{mat} = \frac{2\pi n}{\alpha \lambda}$$

# Savienojuma koeficients



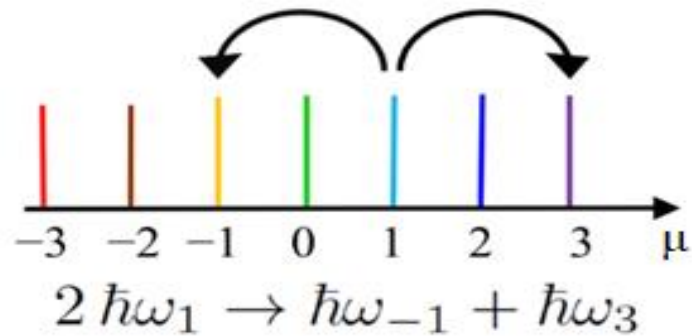
$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t & \kappa \\ -\kappa^* & t^* \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$|\kappa^2| + |t^2| = 1$$

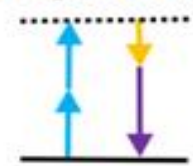
Transmisijas  
koeficients

# Nelineārie efekti: četrviļņu sajaukšanās (ČVS) un Kerra efekts

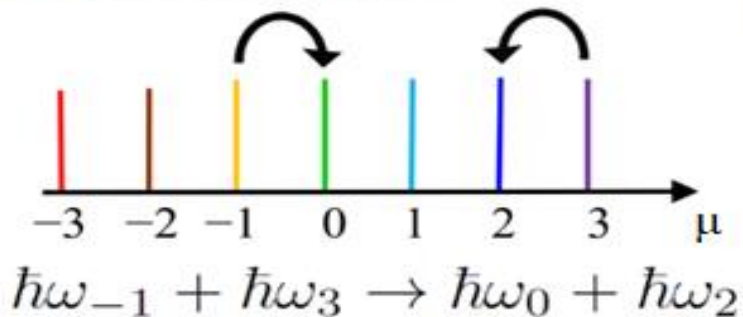
(a) Degeneratīvā ČVS



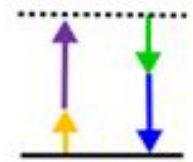
Energijas diagramma



(b) Ne-degeneratīvā ČVS



Energijas diagramma



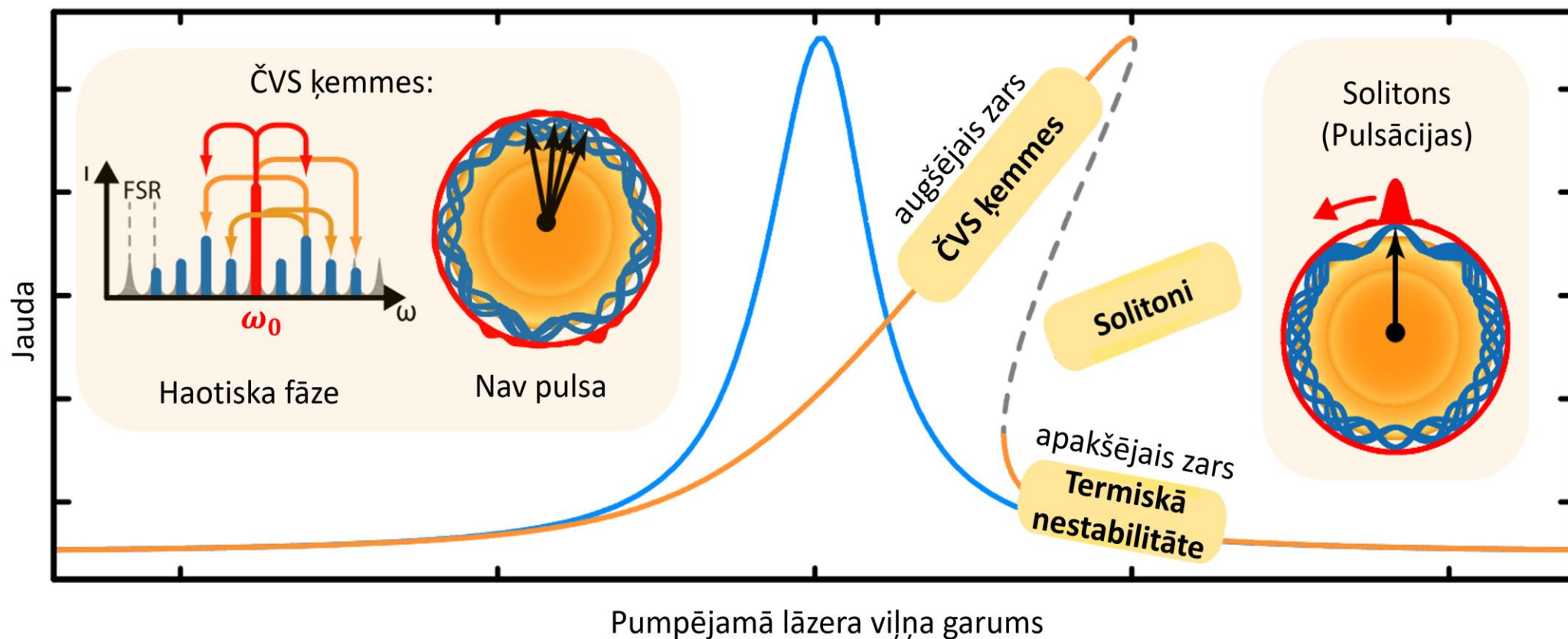
Kerra efekts:

$$n = n_0 + n_2 I$$

$$n_2 = 2.7 \cdot 10^{-16} \text{ [cm}^2/\text{W]}$$

izraisa kāpjošu čirkstu

# Kerra efekta ietekme



$$n = n_0 + n_2 I$$

$$2\pi R n = m \lambda$$

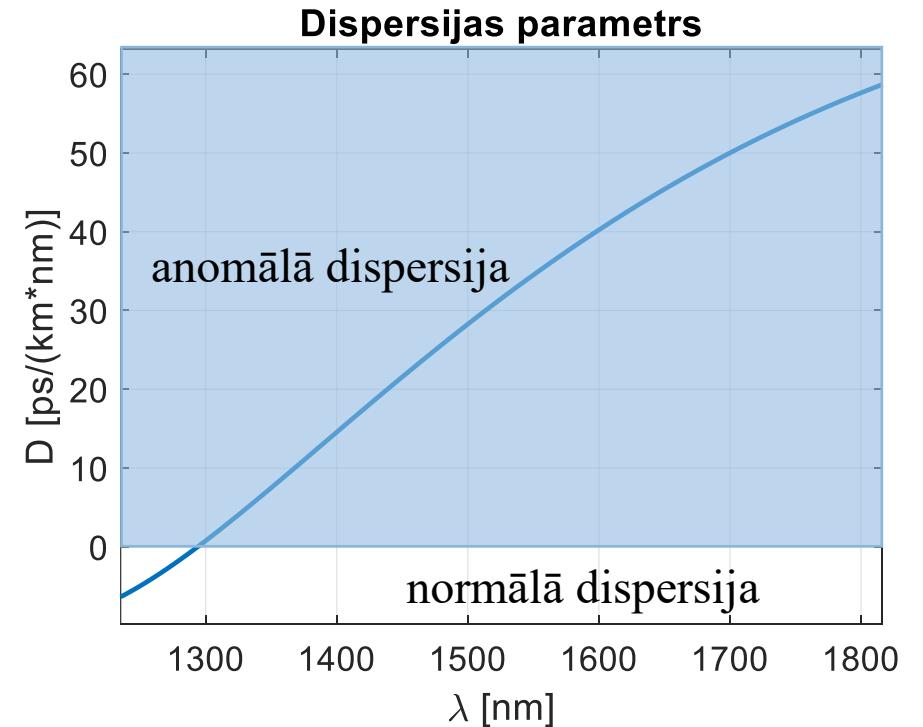
# Dispersijas aprēķināšana

Viļņa skaitlis  $k = \frac{2\pi n}{\lambda} \left[ \frac{rad}{m} \right] \longrightarrow 2\pi R n = m\lambda \longrightarrow k = \frac{2\pi n}{\lambda} = \frac{m}{R}$

1/grupas ātrums  $k' = \frac{\partial k}{\partial \omega} = \frac{1}{v_g} \left[ \frac{s}{m} \right]$

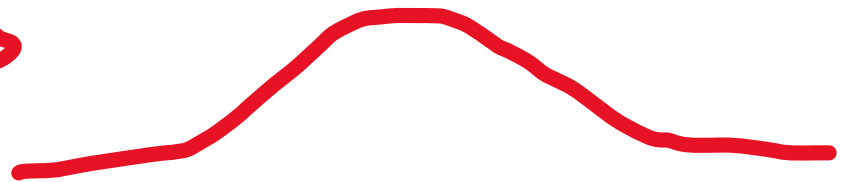
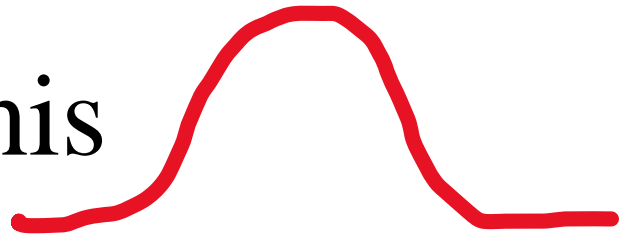
Grupas aiztures dispersija  $k'' = \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \left[ \frac{fs^2}{mm} \right]$

Dispersijas parametrs  $D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \frac{\partial^2 k}{\partial \omega^2} \left[ \frac{ps}{nm \cdot km} \right]$

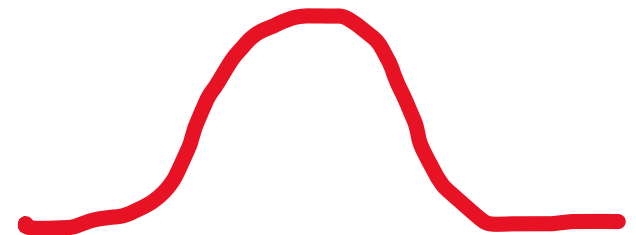
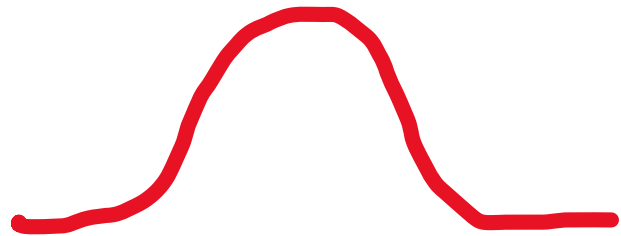




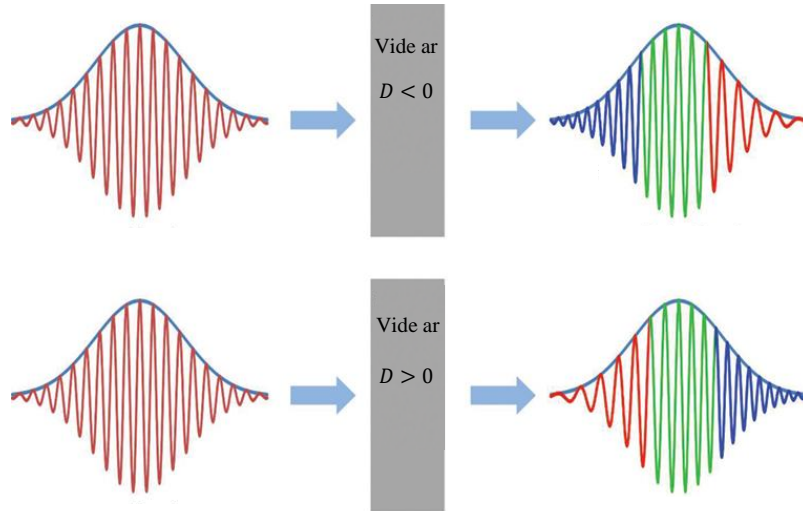
Parasts vilnis



Solitons



# Dispersijas ietekme

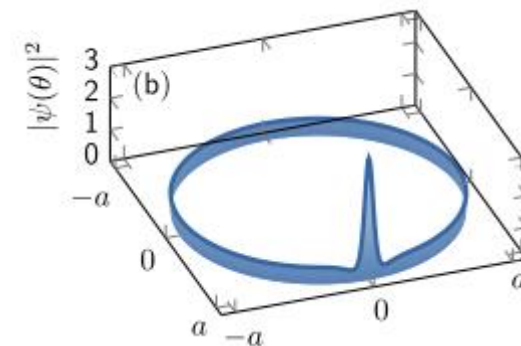
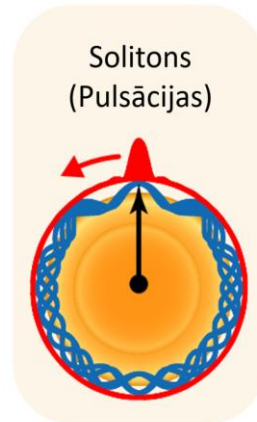


Kāpjošs čirksts (normālā dispersija & Kerra efekts)

Krītošs čirksts (anomālā dispersija)

+

=



### Darba aizstāvēšanas procedūra

Nr.p. k.	Darbība	Laiks minūtēs, nepārsniedzot
1.	Maģistra darba prezentācija	<b>10</b>
2.	Komisijas un klātesošo jautājumi studentam	<b>5</b>
3.	Vārds vadītājam, lai raksturotu darba autora (studenta) ieguldījumu darba izstrādāšanā, īpaši, ja darbs ir daļa no kolektīva darba	<b>2</b>
4.	Jautājumi vadītājam	<b>3</b>
5.	Iepazīšanās ar recenzenta vērtējumu un atbildes uz recenzijas jautājumiem (ja recenzents nav klāt, tad ar recenziju iepazīstina komisijas sekretārs)	<b>5</b>
6.	Jautājumi recenzentam	<b>3</b>
7.	Diskusija (ja tāda veidojas)	<b>5</b>
8.	Pretendenta noslēguma vārds (ja to vēlas)	<b>1</b>
	<b>Kopā:</b>	<b>34</b>





