

Фазовый синхронизм (Phase matching)

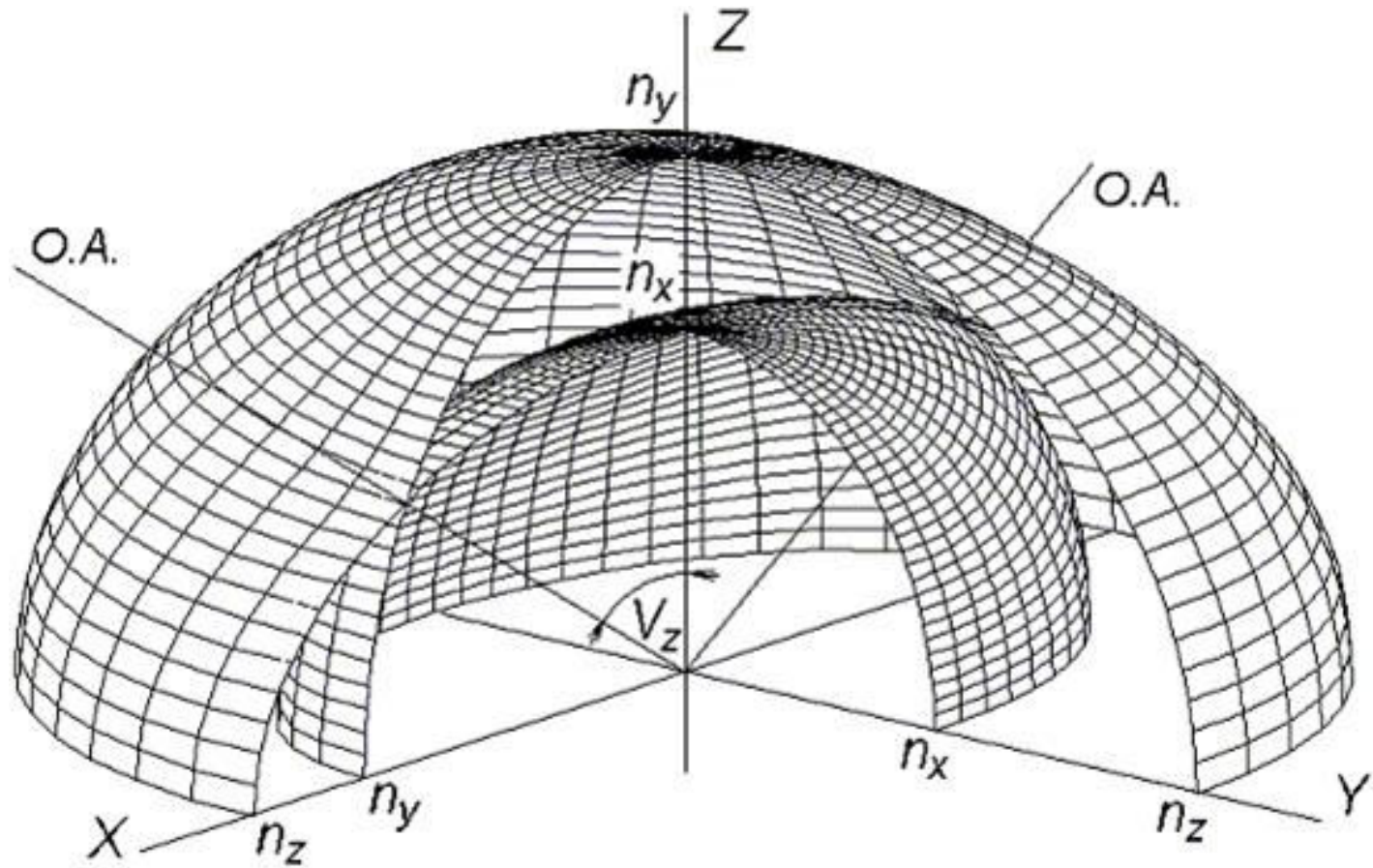
Право на глупость – одна из гарантий
свободного развития личности.

Марк Твен

Двухосные кристаллы

$$n_x < n_y < n_z$$

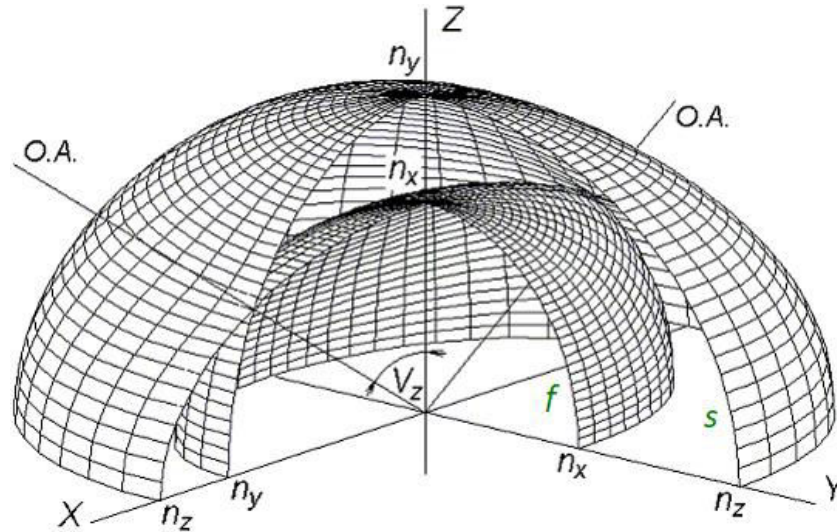
Соотношение показателей преломления



В общем случае (при различных значениях углов φ и θ):

$$n_s(\lambda_1, \varphi_1, \theta_1) \neq n_s(\lambda_2, \varphi_2, \theta_2) \quad n_f(\lambda_1, \varphi_1, \theta_1) \neq n_f(\lambda_2, \varphi_2, \theta_2)_3$$

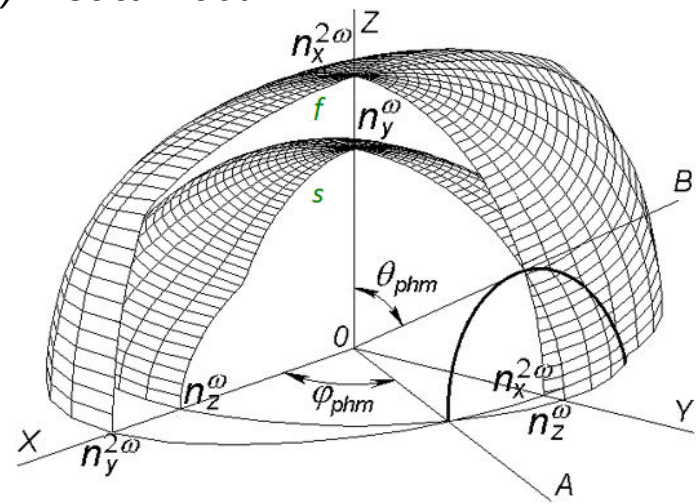
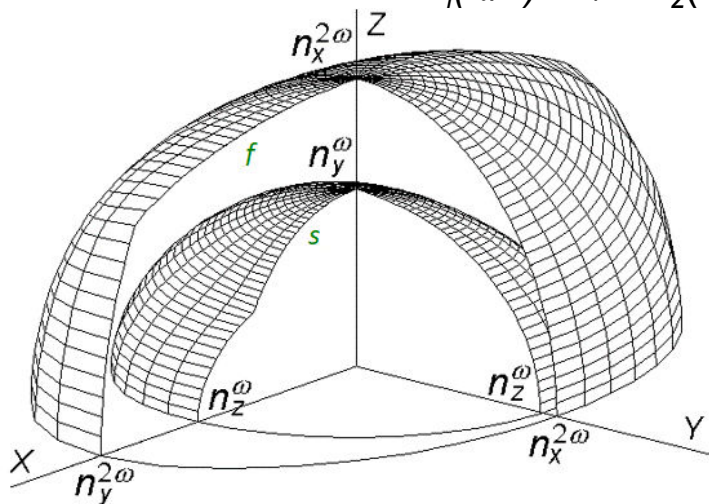
Фазовый синхронизм в двухосных кристаллах



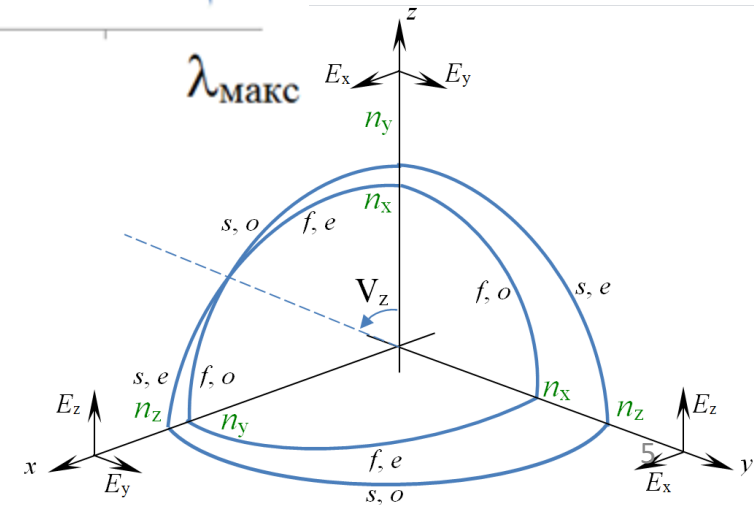
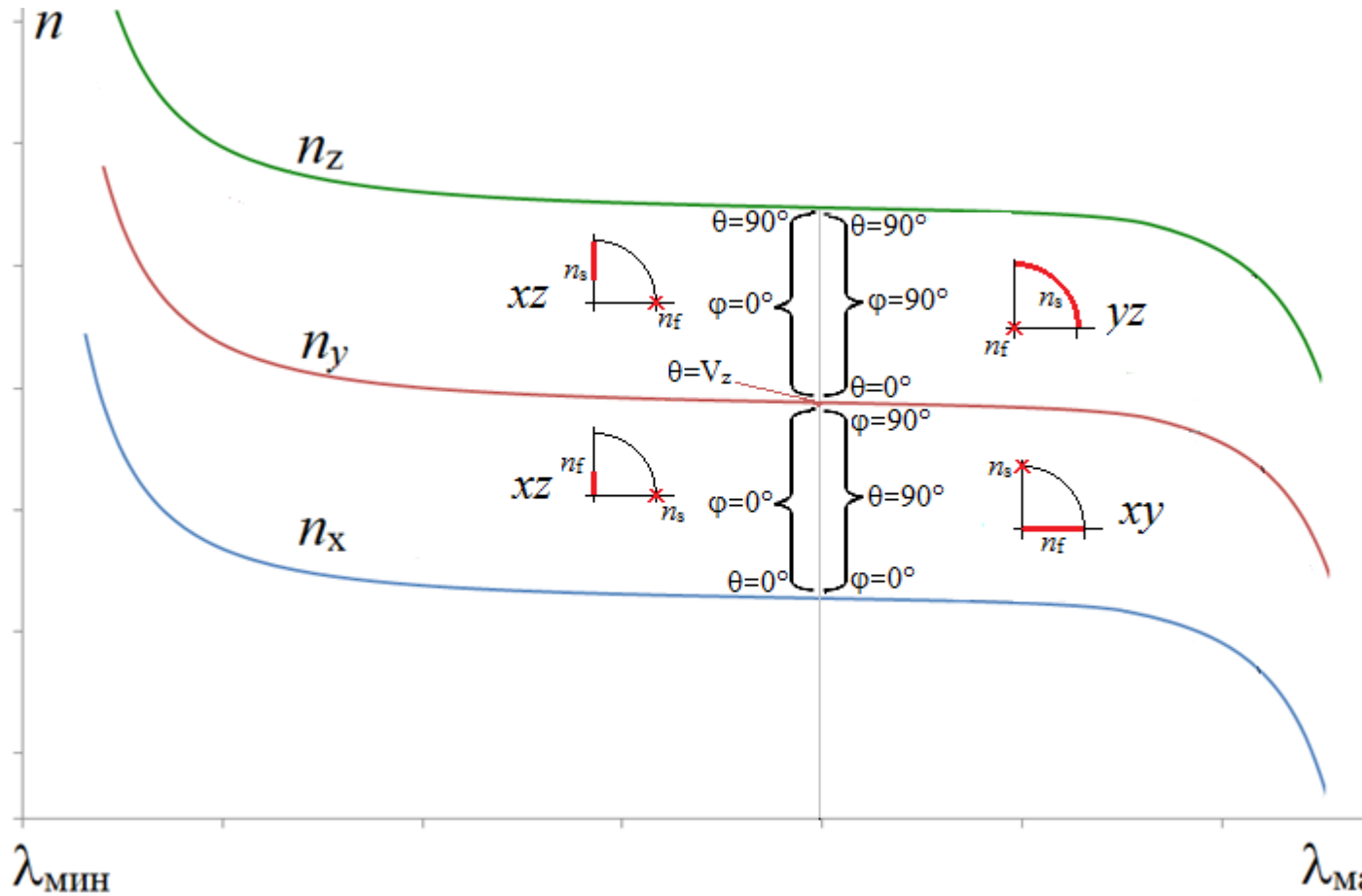
Генерация второй гармоники $n_i(\lambda) = n_j(\lambda/2)$

ssf - тип взаимодействия

Нормальный закон дисперсии: самое большое значение $n_i(\lambda) =$ самому маленькому значению $n_i(\lambda/2) \Rightarrow n_z(\lambda) = n_x(\lambda/2)$ – вдоль оси Y.

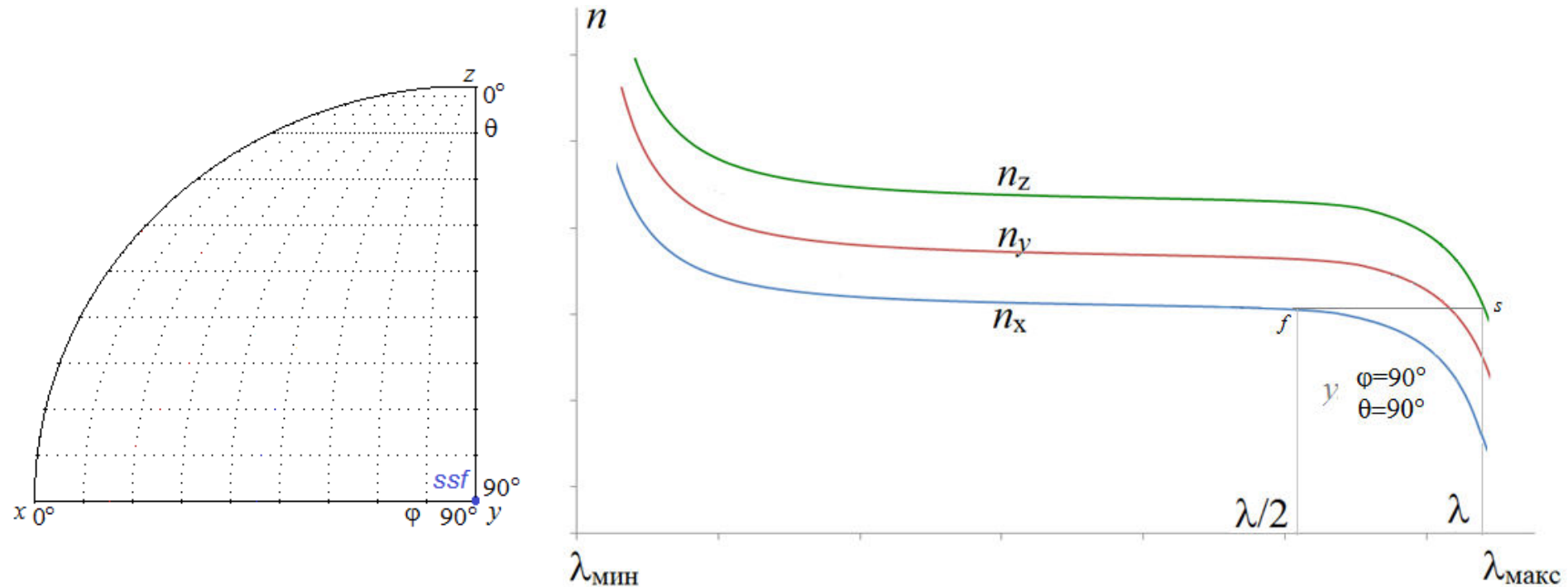


Показатели преломления в двухосных кристаллах



Фазовый синхронизм - Y

Появление фазового синхронизма

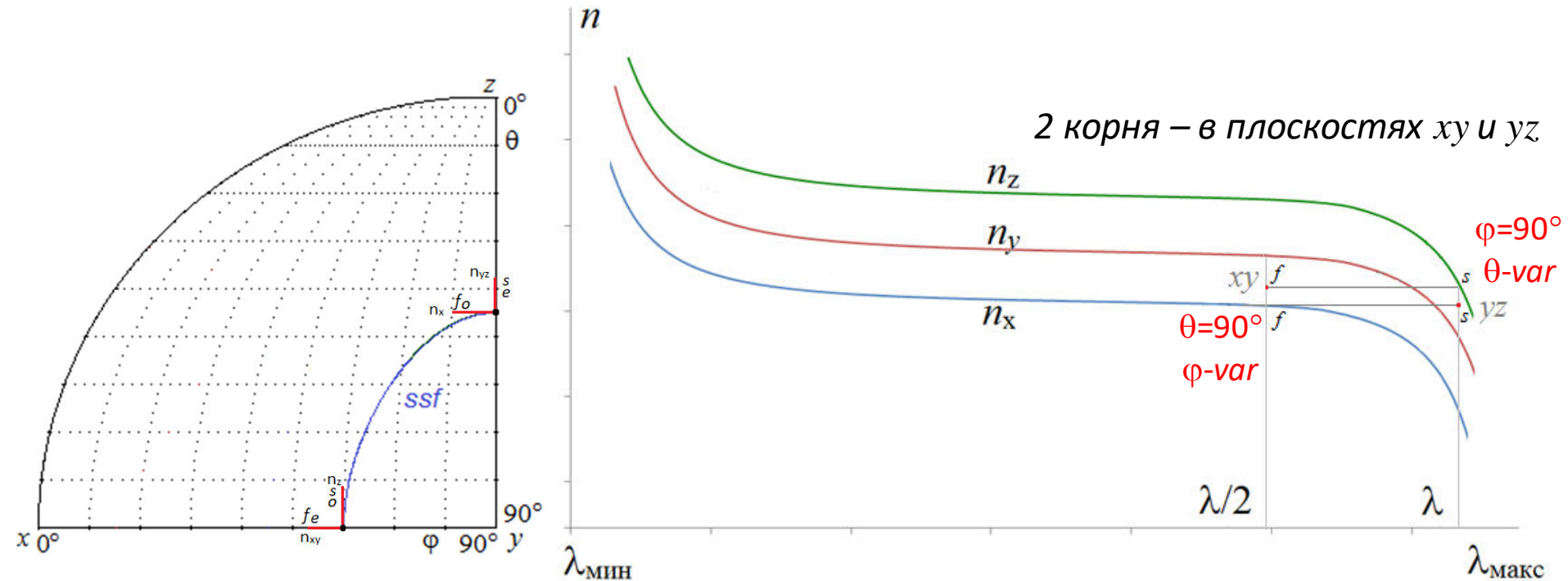


$$n_z(\lambda) = n_s(\lambda) = n_f(\lambda/2) = n_x(\lambda/2)$$

Вдоль оси Y

Фазовый синхронизм *ssf*: XY-YZ

В главных плоскостях кристалла



$$n_s(\lambda) = n_f(\lambda/2)$$

В главных плоскостях:

$$xy: n_z(\lambda, \phi=0^\circ, \theta=0^\circ) = n_{xy}(\lambda/2, \phi, \theta=90^\circ)$$

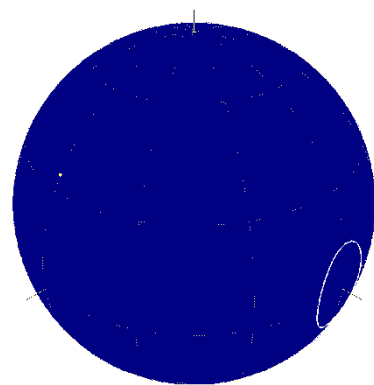
$$yz: n_{yz}(\lambda, \phi=90^\circ, \theta) = n_x(\lambda/2, \phi=0^\circ, \theta=90^\circ)$$

В главных плоскостях одна компонента E_i всегда совпадает с главной осью, и показатель преломления для нее равен главному значению.

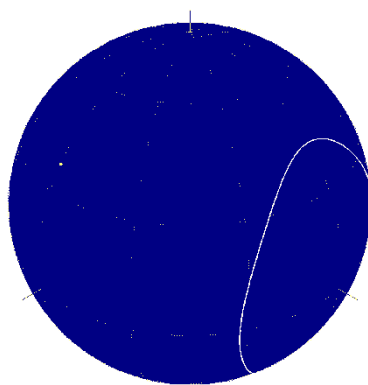
Генерация второй гармоники (ГВГ)

Кристалл LBO, ssf тип взаимодействия

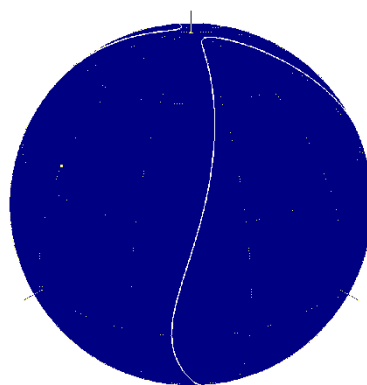
Диапазон прозрачности: 0,155 – 3,2 мкм



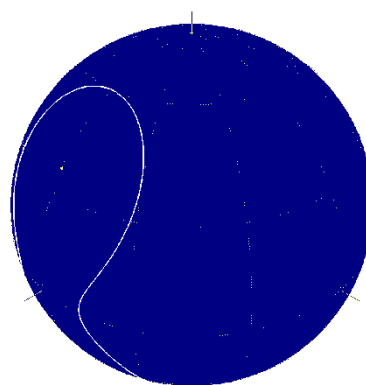
$\lambda=2,76$ мкм



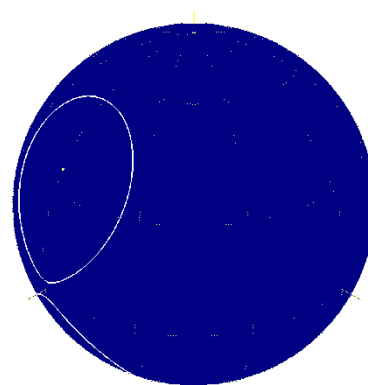
$\lambda=2,55$ мкм



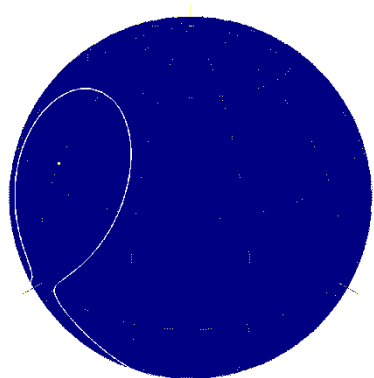
$\lambda=2,25$ мкм



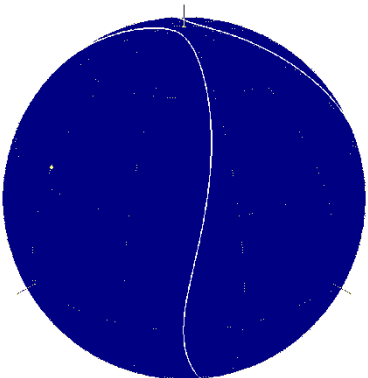
$\lambda=1,65$ мкм



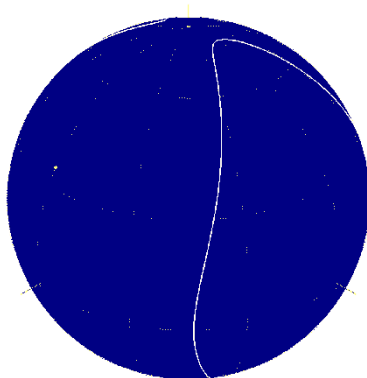
$\lambda=1,28$ мкм



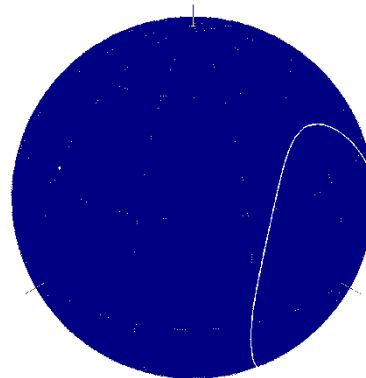
$\lambda=1,16$ мкм



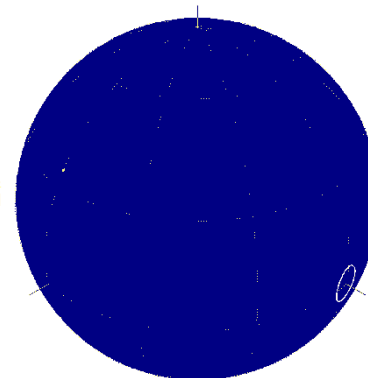
$\lambda=0,69$ мкм



$\lambda=0,67$ мкм



$\lambda=0,61$ мкм



$\lambda=0,555$ мкм

Типы синхронизма (взаимодействия)

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 > \lambda_3$$

Тип	
ssf	1-й тип
sff	
fsf	
fff	2-й тип
sss	
sfs	
ffs	
fss	

Невозможны из-за дисперсии среды

Направления фазового синхронизма - конус 4-го порядка.

$$\Phi C = \Phi C(\varphi, \theta, \lambda_i)$$

$$!!! \quad \theta_{\varphi c} \neq Vz(\lambda_i)$$

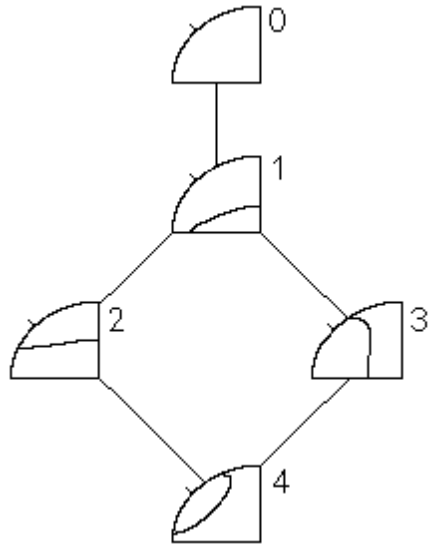
$$!!! \quad Vz = Vz(\lambda_i)$$

Диаграмма направлений фазового синхронизма

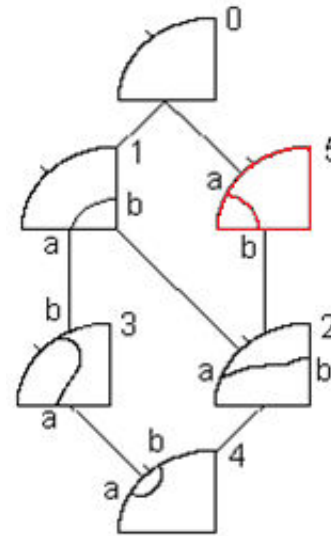
Генерация второй гармоники.

Основные конфигурации направлений фазового синхронизма для

ssf типа



sff типа.



Возможные переходы.

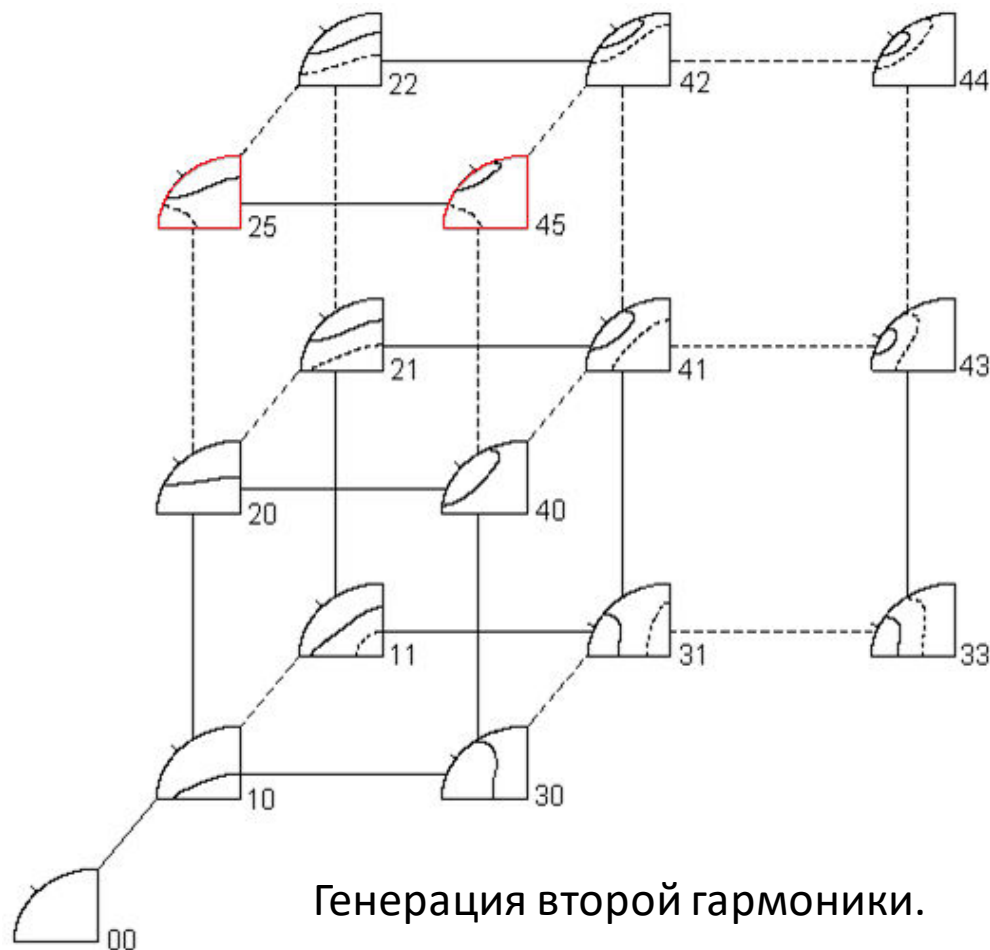
ssf тип:

0-1-0
0-1-3-1-0
0-1-2-1-0
0-1-3-4-3-1-0
0-1-2-4-2-1-0
0-1-2-4-3-1-0
0-1-3-4-2-1-0

sff тип:

0-1-0
0-5-0
0-1-3-1-0
0-5-2-5-0
0-1-2-1-0
0-1-2-5-0
0-5-2-1-0
0-1-3-4-3-1-0
0-5-2-4-2-5-0
0-1-2-4-2-1-0
0-1-3-4-2-1-0
0-1-2-4-3-1-0
0-5-2-4-3-1-0
0-1-2-4-3-1-0¹⁰

Диаграмма направлений фазового синхронизма



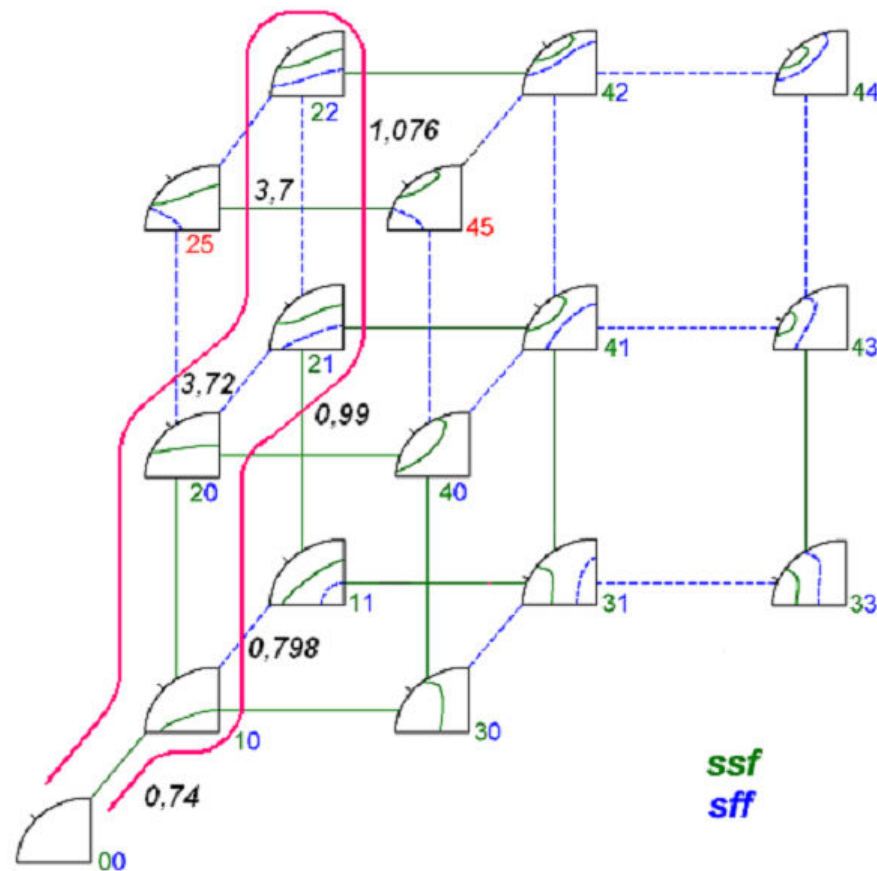
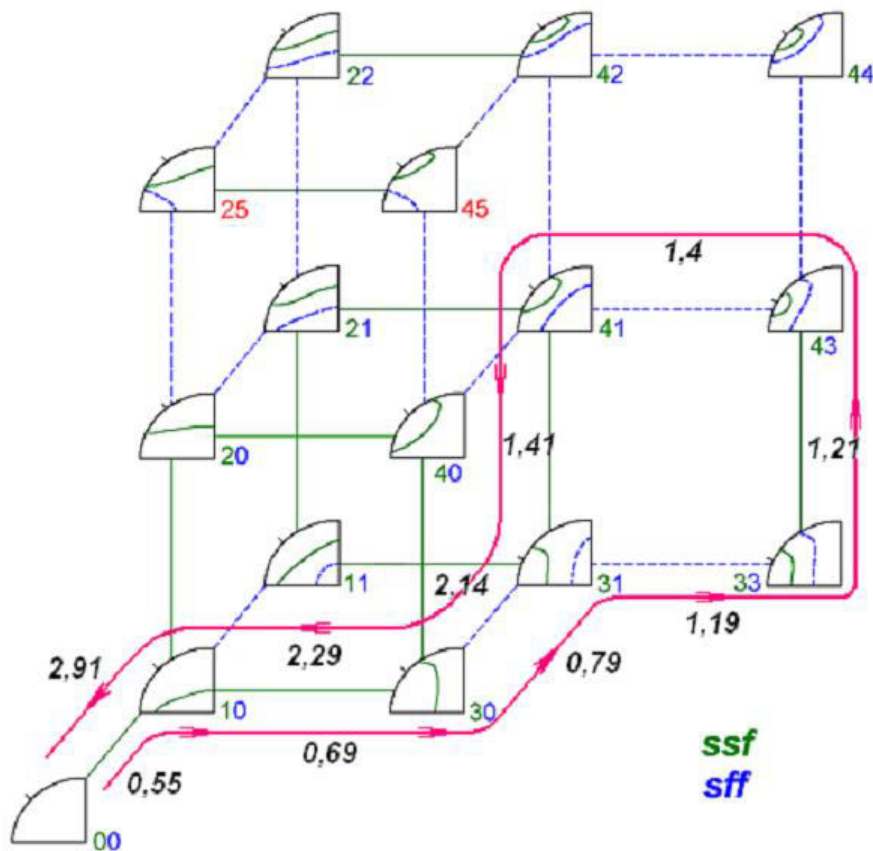
Генерация второй гармоники.

$$!!! \quad \theta_{\phi c} \neq V_z$$

M.V. Hobden. Phase-matching second harmonic generation in biaxial crystals. J. Appl. Phys, 1967, v.038, N11, p.4365-4372.

С.Г. Гречин, С.С. Гречин, В.Г. Дмитриев. Полная классификация типов взаимодействия при генерации второй гармоники в двухосных нелинейных кристаллах. Квант. электр., 2000, т.30, №5, с.377-386.

Диаграмма направлений фазового синхронизма



Дисперсия направлений ФС при ГВГ в кристаллах
LBO **KTP**

Двухосные кристаллы

Кристалл LBO. Диапазон прозрачности: 155 - 3200 нм

Генерация второй гармоники

ssf: 554,2 – 2914,0 **ssf:** 791,1 – 2141 нм

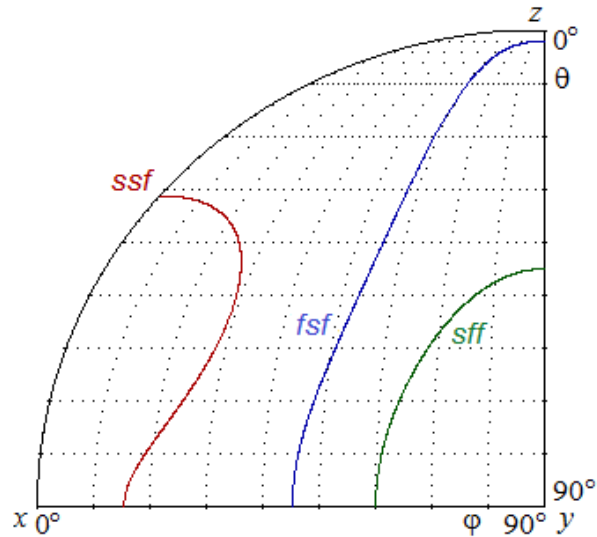
Диаграмма		LBO, mm ²	
		ssf	sff
00		310	
00-10	Y	<u>554,2</u>	
10			
10-30	Z	687,1	
30			
30-31	Y		<u>791,1</u>
31			
31-33	Z		1193
33			
33-43	X	1211	

43			
43-41	Z		1400
41			
41-31	X	1409	
31			
31-30	Y		<u>2141</u>
30			
30-10	Z	2288	
10			
10-00	Y	<u>2914</u>	
00		3200	

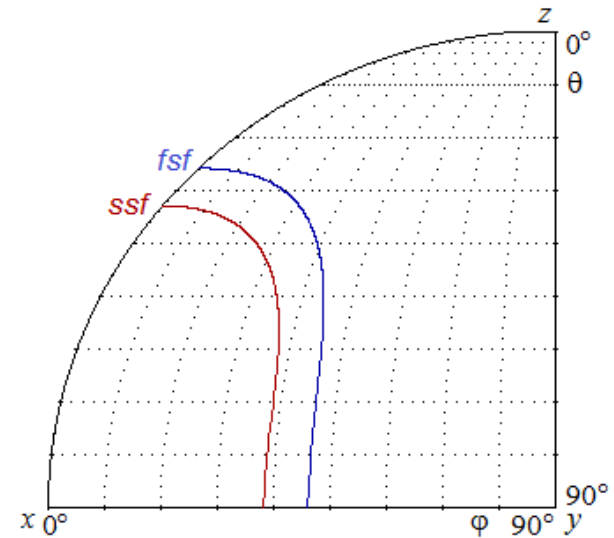
Двухосные кристаллы

Диаграмма		КТР, mm2		СТА, mm2		КТА, mm2		Banana, mm2	
		ssf	sff	ssf	sff	ssf	sff	ssf	sff
00		700		700		700		740	
00-10	 Y	<u>741</u>		<u>900,8</u>		<u>771</u>		<u>1020,6</u>	
10									
10-20	 X	796,2		1023		842,2		1021,9	
20									
20-21	 Y		<u>993,9</u>		1280		<u>1034,7</u>		<u>1433,3</u>
21									
21-22	 X		1079,5		1548		1141,7		1434,2
22								5000	
22-21	 X		3105,5		2947		3448		
21									
21-20	 Y		<u>3105,5</u>		2947		<u>3448</u>		
20									
20-10	 X	4054		3697		4547,7			
10									
10-00	 Y	<u>4251</u>		<u>4244</u>		<u>4701,7</u>			
00		4500		5300		5300			14

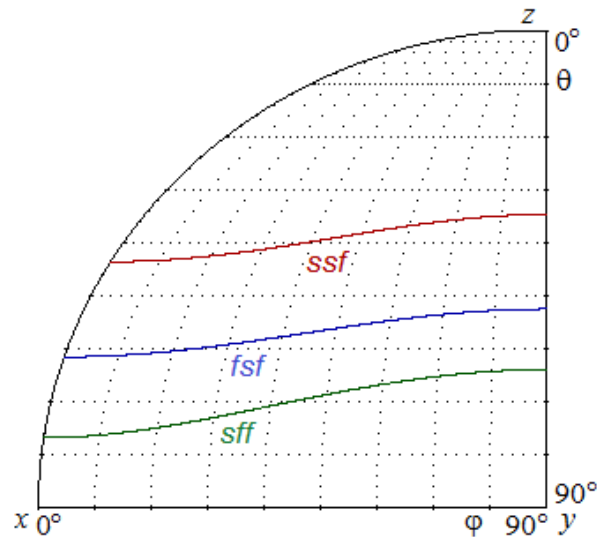
Трехчастотное (трехволновое) взаимодействие



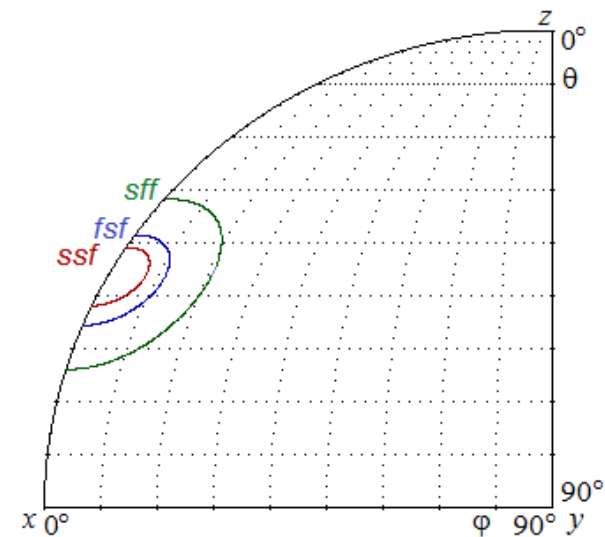
LBO: $\lambda_1=1,125$ мкм, $\lambda_2=0,9$ мкм, $\lambda_3=0,5$ мкм



LSe: $\lambda_1=5,49$ мкм, $\lambda_2=1,32$ мкм, $\lambda_3=1,064$ мкм



KTP: $\lambda_1=1,32$ мкм, $\lambda_2=1,064$ мкм, $\lambda_3=0,509$ мкм



CBO: $\lambda_1=1,125$ мкм, $\lambda_2=0,9$ мкм, $\lambda_3=0,5$ мкм

Диаграмма направлений фазового синхронизма – трехчастотное взаимодействие

Jin Jer Huang, Tao Shen, Guang Jü Ji, Wei Gao, Hong Wang, Yu.M. Andreev, A.V. Shaiduko.
Complete classification of the direction loci for three-wave collinear quadratic parametric
interactions in biaxial acentric crystals. Optics Communications, 2008, v.281, N11, p.3208-
3216

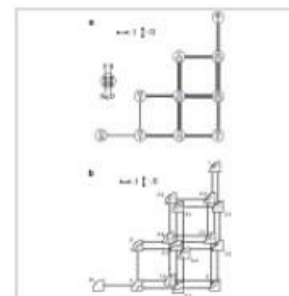
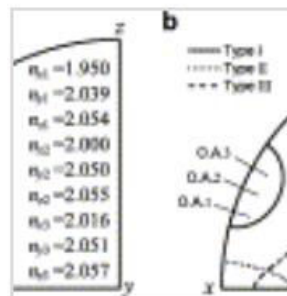
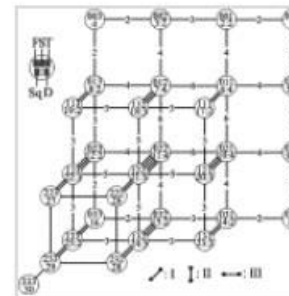
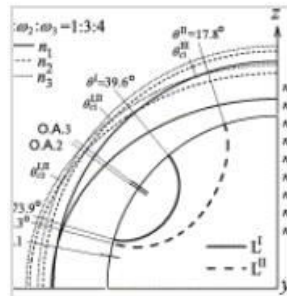
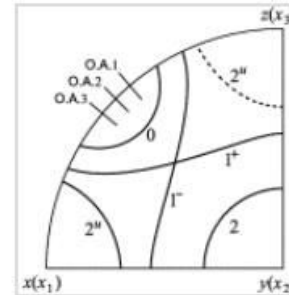
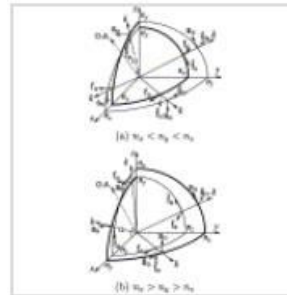
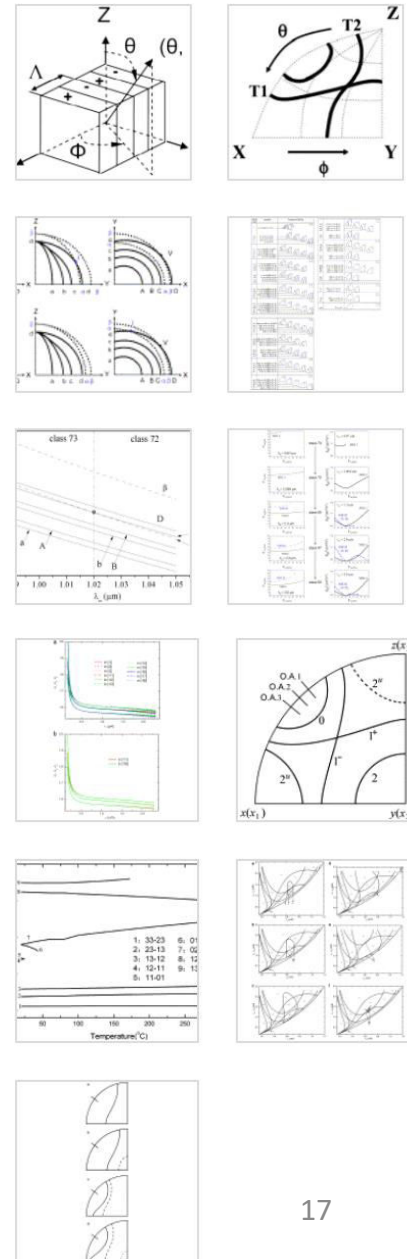


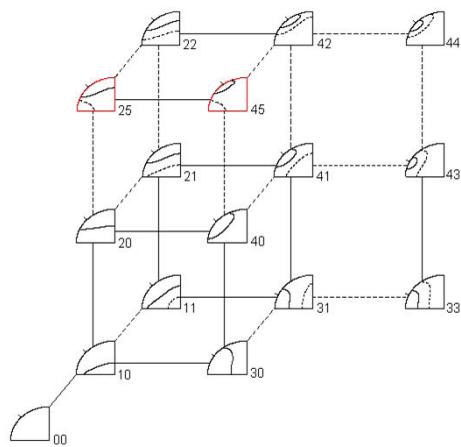
Диаграмма направлений фазового синхронизма.

Yannick Petit, Pierre Brand, Benoît Boulanger, Patricia Segonds.
Classification of angular quasi-phase matching loci in periodically poled uniaxial crystals. Optical Materials, 2010, v.32, N11, p.1501-1507.

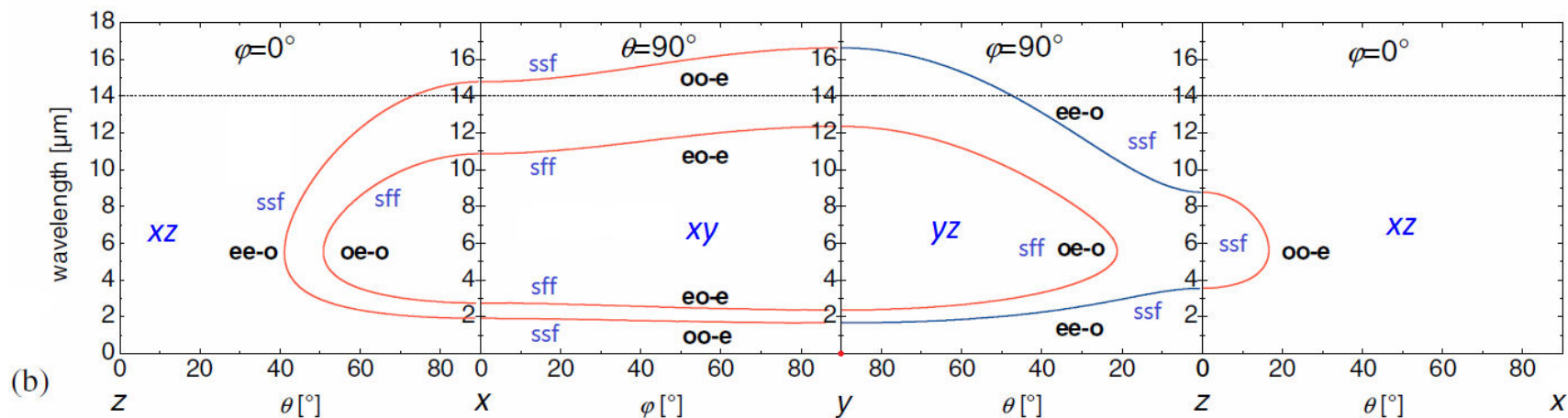
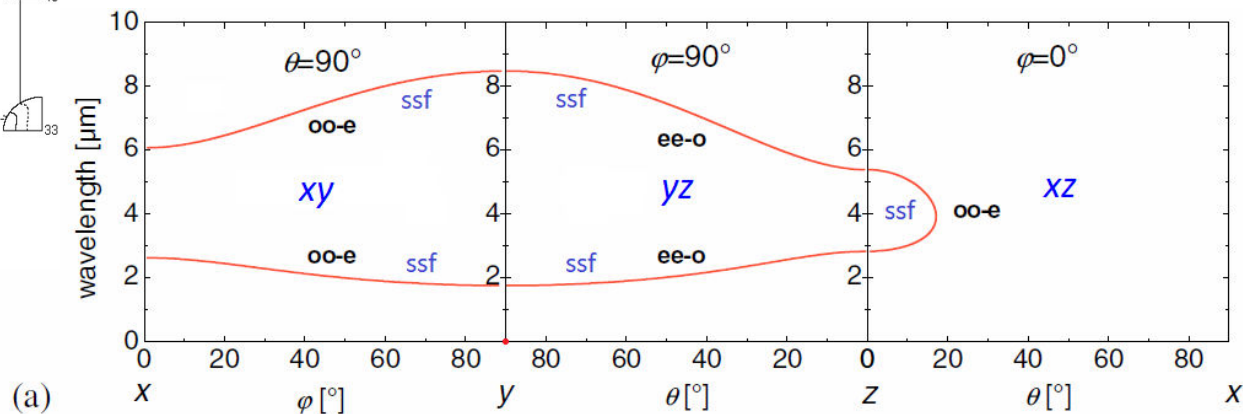


Tao Shen, Jin Jer Huang, Liu Yang, Zhang Yu, Qiang Yang, Wei Gao.
Collinear phase-matching loci of LBO crystal in three-wave interactions. Optik, 2012, v.123, N4, p.333-337.

Диаграмма направлений фазового синхронизма в главных плоскостях кристалла



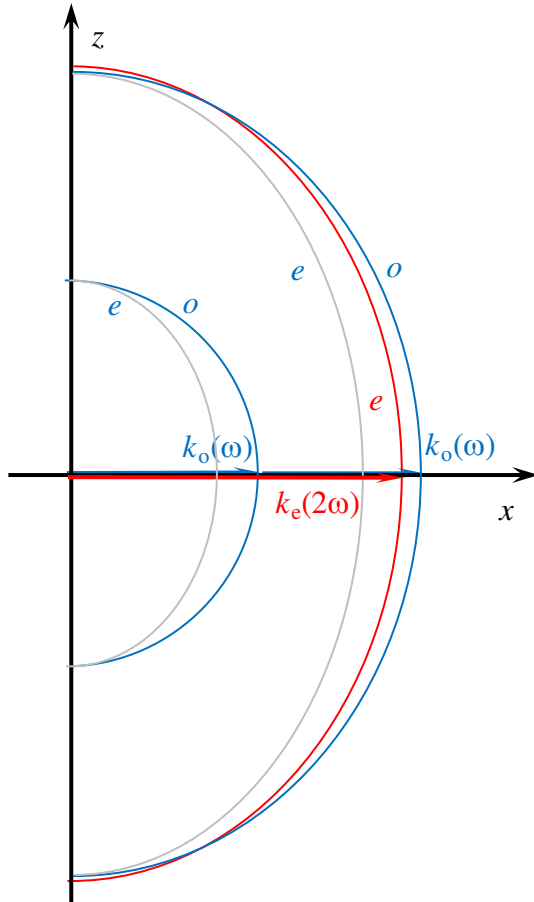
По типам волн с ориентацией собственных поляризаций в главных плоскостях кристалла.



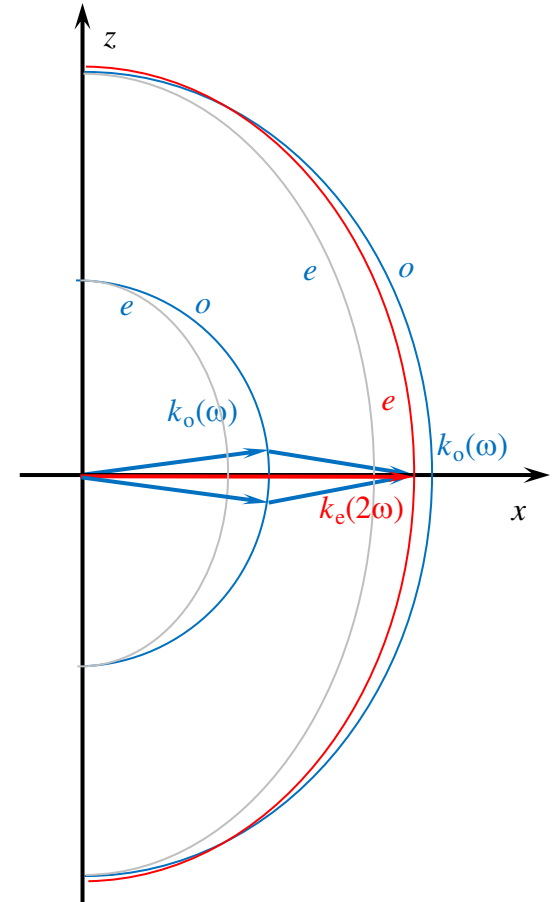
Зависимости направлений фазового синхронизма для генерации второй гармоники в кристаллах а) – BGS, и б) - BGSe.

Векторный фазовый синхронизм

Одноосные кристаллы – оое тип

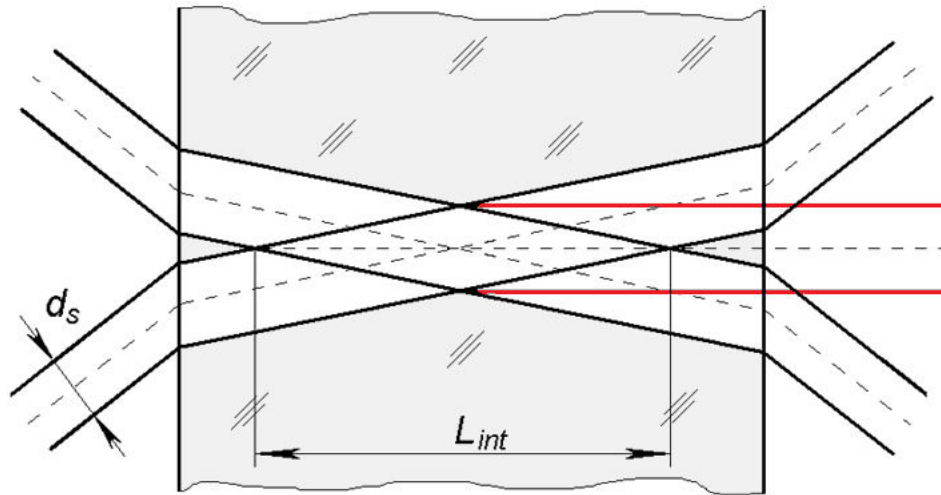


$$\bar{k} = \bar{k}_2 - 2\bar{k}_1 < 0$$



$$\bar{k} = \bar{k}_2 - \bar{k}_1(+\Delta\theta) - \bar{k}_1(-\Delta\theta)$$

Векторный фазовый синхронизм



$$L_{int} = d_s / \sin \Delta\theta$$

Достоинства:

- возможность реализации взаимодействия при угле синхронизма, равном 90° ,
- возможность реализации синхронизма за пределами диапазона длин волн, в пределах которого имеет место скалярный фазовый синхронизм.

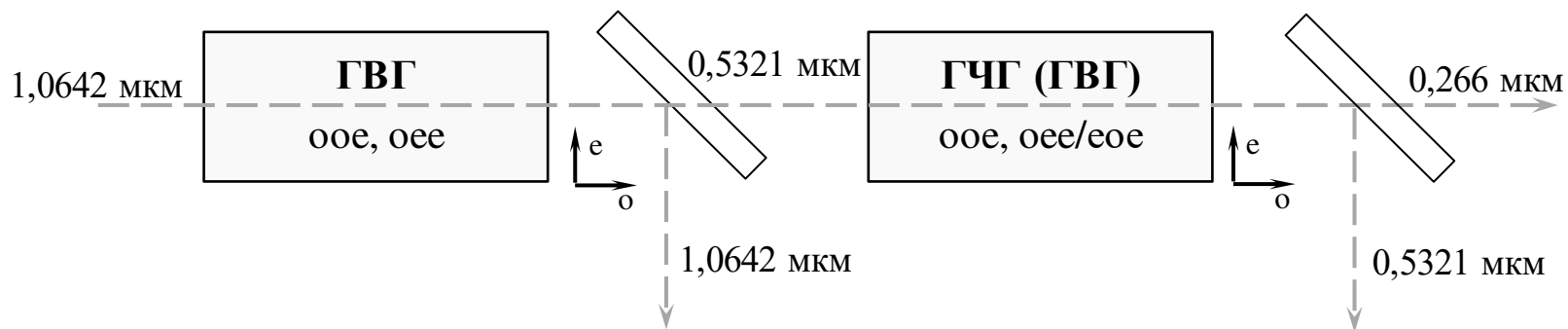
Недостатки:

- ограниченная длина взаимодействия.

Комбинации типов синхронизма

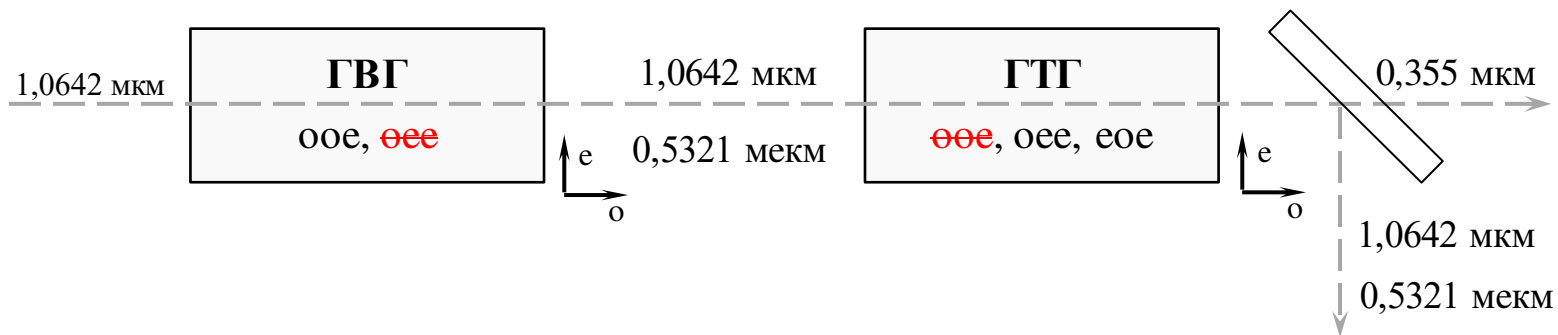
Отрицательные кристаллы.

Генерация четвертой гармоники



Возможны все комбинации типов синхронизма ГВГ - ГЧГ.

Генерация третьей гармоники



Возможны комбинации: ГВГ ooe – ГТГ oee и eoe .