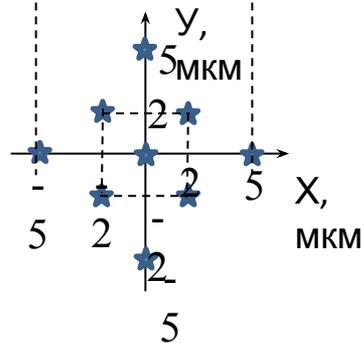
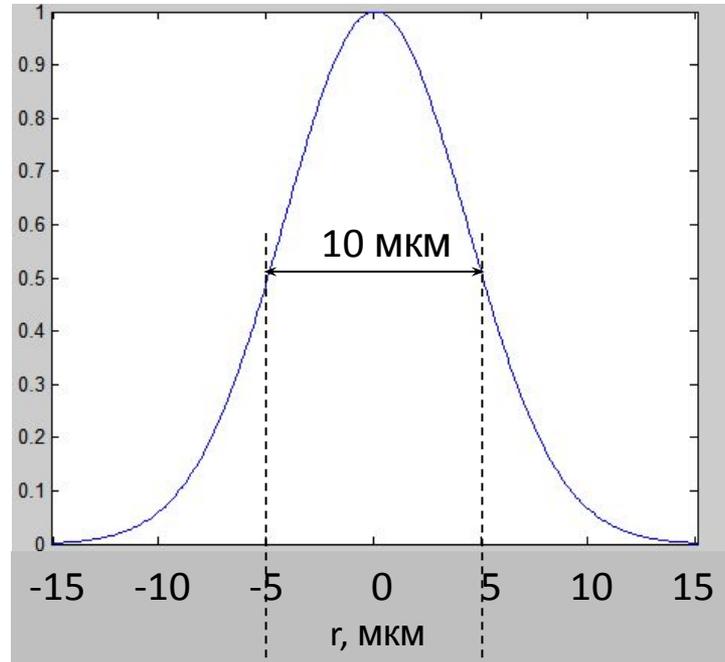


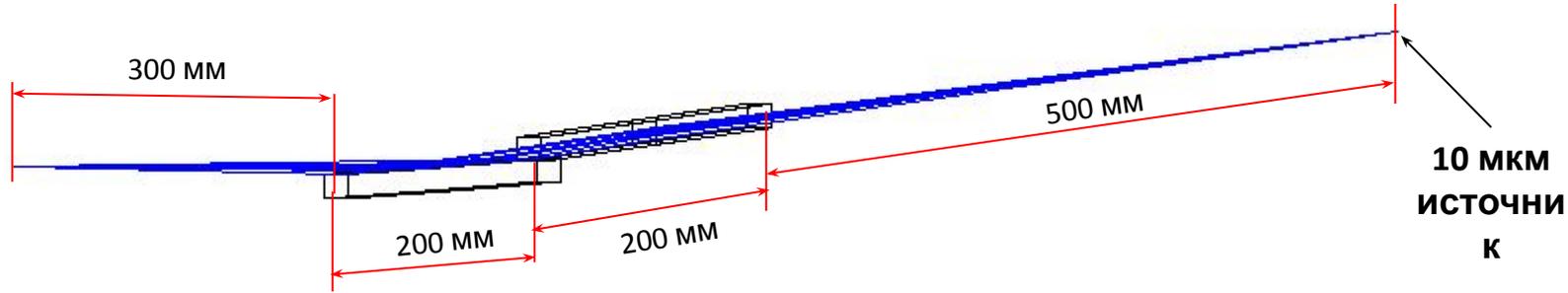
Осесимметричный гауссов источник с 10 мкм-шириной на полувысоте в Zemax задавался в виде 9-ти точек (звёздочек) с единичной интенсивностью каждая:

$I$ , отн. ед.

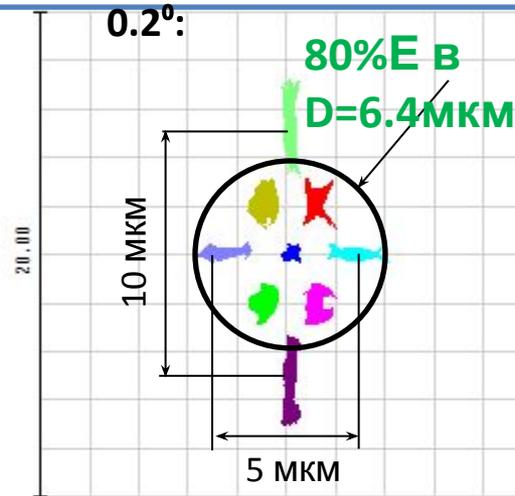


# Схема Кирпатрика-Баеза.

Угол сбора лучей  $0.32^\circ \times 0.229^\circ$ . Уменьшение по Y = 1. Уменьшение по X = 0.5. Угол падения центрального луча на зеркала  $\beta=0.8^\circ$



Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей  $0.32^\circ \times 0.229^\circ$



Поверхность: Изображения

Точечные диаграммы пятна рассеяния для всего

29.10.2019 Ед. измер. - ум.

Радиус кружка Эйри : 0.0147 ум

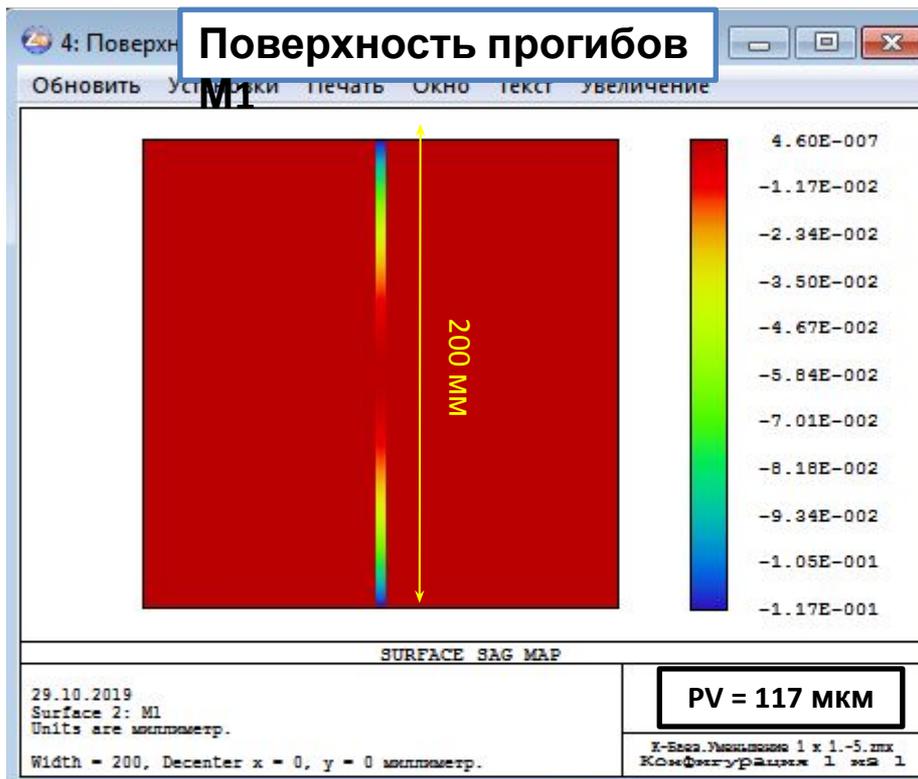
СКЗ радиуса : 3.185

Геометр. радиус : 7.241

Длина масштабного бара : 20

Референтная точка: Главный луч

К-Баез.  
К



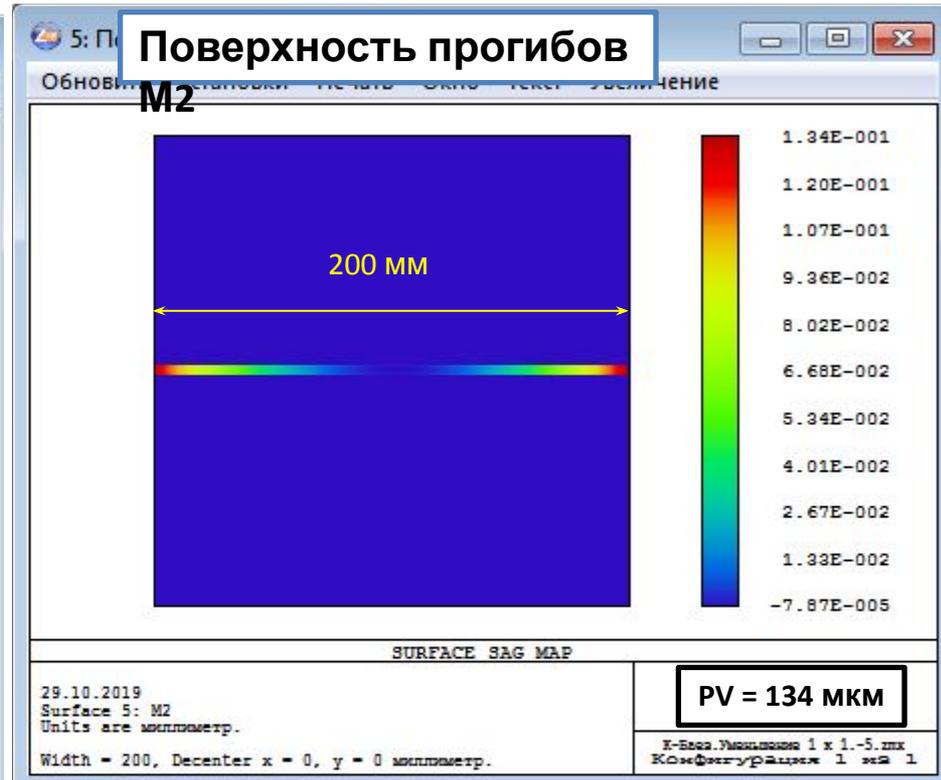
Units are МИЛЛИМЕТР.  
 Ед. измер. наклонов - безразмерные.  
 Semi-Diameter of surface 2: 1.000000E+002.  
 Algorithm assumes +z goes from air to glass.

Method: Minimum Volume Removal  
 Best Fit Sphere Radius : -4.286889E+004.  
 Best Fit Sphere Vertex Offset : -3.502020E-008.  
 Maximum Depth to Remove : 1.948337E-004.



**PV отн. верш. сф. с R=42868 = 0.194 МКМ (для M1)**

*\*проверить профиль асферизации в Matlab*



Units are МИЛЛИМЕТР.  
 Ед. измер. наклонов - безразмерные.  
 Semi-Diameter of surface 5: 1.000000E+002.  
 Algorithm assumes +z goes from air to glass.

Method: Minimum Volume Removal  
 Best Fit Sphere Radius : 9.942238E+002.  
 Best Fit Sphere Vertex Offset : -2.961514E-006.  
 Maximum Depth to Remove : 1.973392E-003.



**PV отн. верш. сф. с R=994.2 = 1.97 МКМ (для M2)**

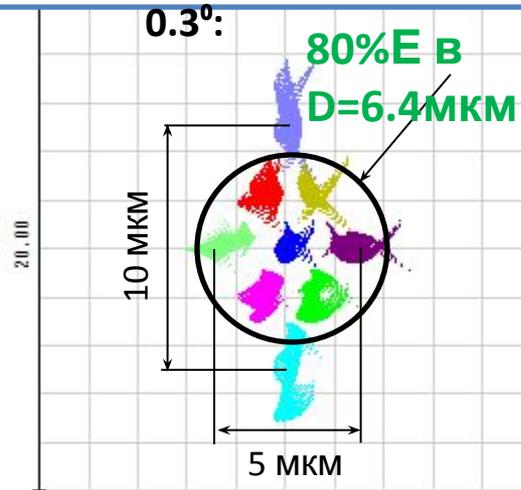
*\*проверить профиль асферизации в Matlab*

**Схема Кирпатрика-Баеза. Средние углы скольжения =  $0.8^\circ$   
 Угол сбора лучей  $0.48^\circ \times 0.343^\circ$ . Уменьшение по Y = 1. Уменьшение по X = 0.5.**

**Угол падения центрального луча на зеркала  $\beta=1.2^\circ$**



**Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей  $0.48^\circ \times 0.3^\circ$ :**



Поверхность: Изображения

Точечные диаграммы пятна рассеяния для всего

29.10.2019	Ед. измер. - мкм.	Радиус кружка Эйри : 0.009824	мкм
СКЗ радиуса :	3.211		
Геометр. радиус :	7.837		
Длина масштабного бара :	20	Референтная точка: Главный луч	Ков

PV асферизации M1 = 0.28  
мкм

PV асферизации M2 = 2.7 мкм

\*Получено в Matlab

Все системы К-Б с 200 мм зеркалами и уменьшением  $G_x=0.5$ ,  $G_y=1$  обеспечивают диаметр изображения 10 мкм источника, равный 6.4 мкм (по уровню 80% энергии).

Вычислим общую эффективность с учётом сбора лучей и коэффициента

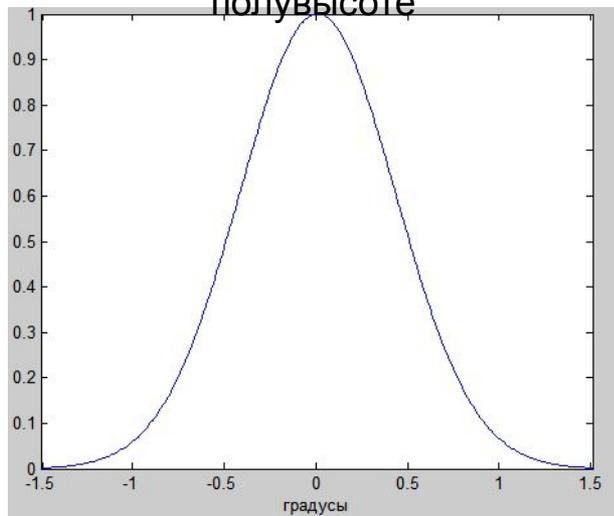
угол скольжения $\beta$	эффективность 3 MLS = отражённая в полосе энергия	угол сбора лучей системой Кирпатрика-Баеза	Общая эффективность = (Эффективность 3 MLS) <sup>2</sup> · $I_{collect}/I_{source}$
0,4°	47 %	0,16° x 0,115°	0.47*0.0124=0.0058
0,6°	25 %	0,24° x 0,171°	0.25*0.0272=0.0068
0,8° и 300мм зеркала	15 %	0,32° x 0,229°	0.15*0.0482=0.0072
	15 %	0,48° x 0,3°	0.15*0.0973=0.0146
1°	9,1 %	0,4° x 0,286°	0.091*0.0754=0.0068
1,2°	5.7 %	0,48° x 0,343°	0.057*0.1037=0.0059

\* в таблице все строки для 200мм зеркал, кроме строки «0.8° и 300мм зеркала»

В последнем столбце заниженные значения, потому что считал, что сечение собираемого пучка эллиптическое, а оно прямоугольное (см. слайд 7)

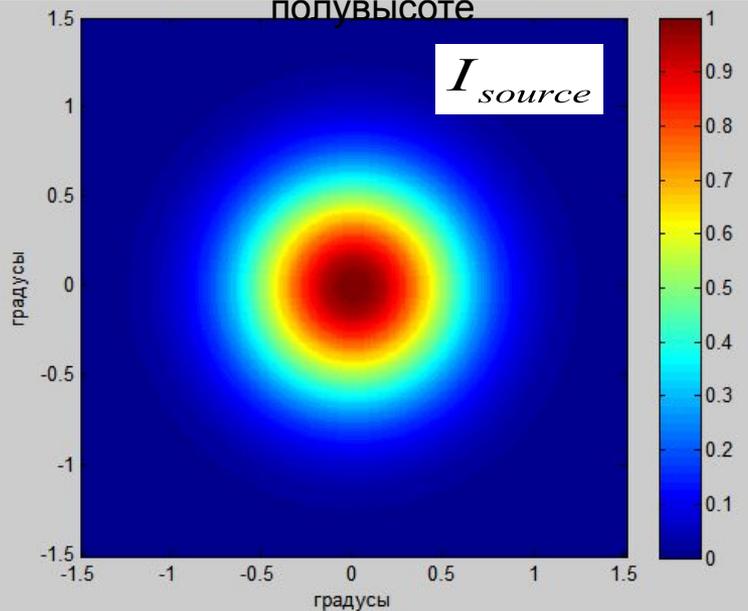
Гауссов источник с шириной  $1^\circ$  на

полувысоте



Гауссов источник с шириной  $1^\circ$  на

полувысоте



$$\frac{I_{collect}^\Sigma}{I_{source}^\Sigma} = \frac{\sum_{points\_in\_elips} I_{collect}}{\sum_{all\_points} I_{source}}$$

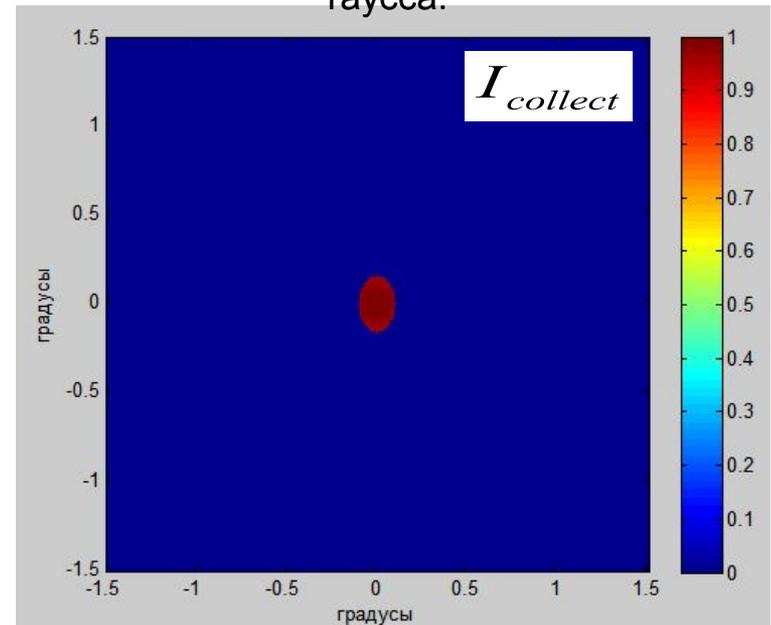
$$\frac{I_{collect}^\Sigma}{I_{source}^\Sigma} (\beta = 0.8^\circ) = 0.0482$$

**Общая эффективность**  
**( $\beta=0.8^\circ$ ) =**

$$= 0.15 \cdot 0.0482 = 0.72 \%$$

К-Б с  $\beta=0.8^\circ$  собирает такую площадь

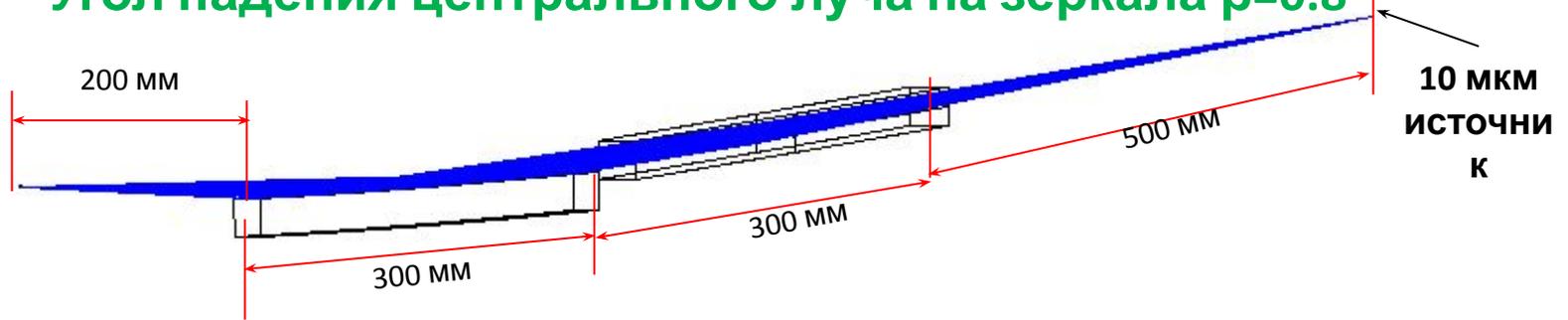
гаусса:



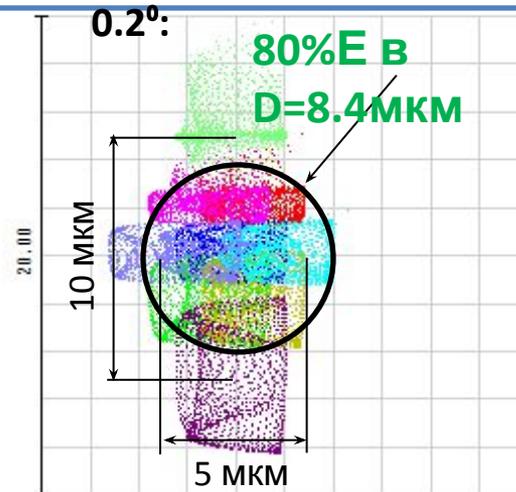
# Схема Кирпатрика-Баеза.

Угол сбора лучей  $0.48^\circ \times 0.3^\circ$ . Уменьшение по Y = 1. Уменьшение по X = 0.37.

Угол падения центрального луча на зеркала  $\beta=0.8^\circ$



Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей  $0.32^\circ \times 0.2^\circ$ :



Поверхность: Изображения

Точечные диаграммы пятна рассеяния для все

30.10.2019 Ед. измер. - ум.

СКЗ радиуса : 4.218

Геометр. радиус : 9.784

Длина масштабного бара : 20

Референтная точка: Главный луч

PV асферизации M1 = 0.813

мкм

PV асферизации M2 = 15.6 мкм

\*Проверено в Matlab

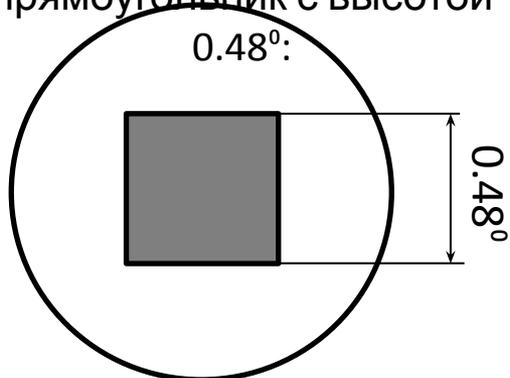
Какой угловой сектор «вырезают» зеркала из падающего на них пучка с круглым сечением:

К-Б с 300 мм зеркалами и  $\beta = 0.8^\circ$

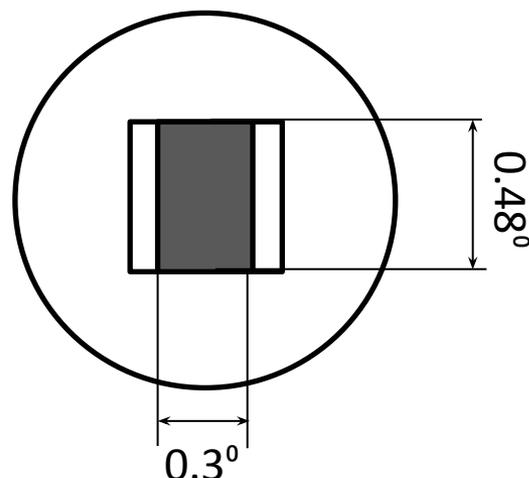
Зеркало М1 вырезает из пучка

прямоугольник с высотой

$0.48^\circ$ :



Зеркало М1 дополнительно обрезает ширину «прямоугольника» пришедшего от М1 до  $0.3^\circ$ :



Поэтому К-Б вырезает из падающего пучка, имеющего круглое сечение,

прямоугольное сечение со сторонами  $0.3^\circ \times 0.48^\circ$ .

Площадь прямоугольника со сторонами  $0.3^\circ \times 0.48^\circ$  больше площади эллипса со сторонами  $0.3^\circ \times 0.48^\circ$ , поэтому эффективность для всех углов

выше рассчитанной в таблице

$$\frac{V S_{\text{прямоугольника}}}{S_{\text{эллипса}}} = (2a \cdot 2b) / (\pi \cdot a \cdot b) = 1,274 \text{ раз}$$

Угол скольжения $\beta$	Эффективность (отражённая в спектральной полосе энергия)	$\alpha_{\text{сбора}} = \text{Угол сбора лучей системой Кирпатрика-Баеза (имеет прямоугольное сечение)}$	Общая эффективность = Эффективность · $I_{\text{collect}}/I_{\text{source}}$
0,4 °	47 %	0,16 ° x 0,115 °	0.47*0.0124=0.0074
0,6 °	25 %	0,24 ° x 0,171 °	0.25*0.0272=0.0086
0,8 ° <b>0.8° и 300мм зеркала</b>	15 % <b>15 %</b>	0,32 ° x 0,229 ° <b>0,48 ° x 0,3 °</b>	0.15*0.0482=0.0092 <b>0.15*0.0973=0.0186</b>
1 °	9,1 %	0,4 ° x 0,286 °	0.091*0.0754=0.0086
1,2 °	5.7 %	0,48 ° x 0,343 °	0.057*0.1037=0.0075

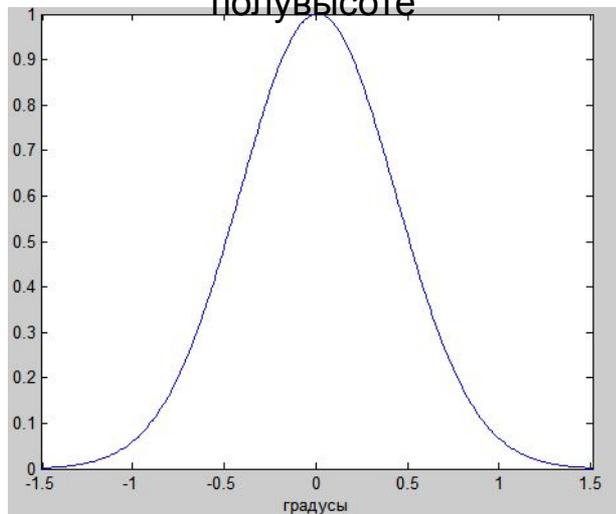
\* в таблице все строки для 200мм зеркал, кроме строки «0.8° и 300мм зеркала»

**Вывод: К-Б с 300мм зеркалами и с углом скольжения 0.8° предпочтителен.**

**Сможем собрать 1.86% энергии источника**

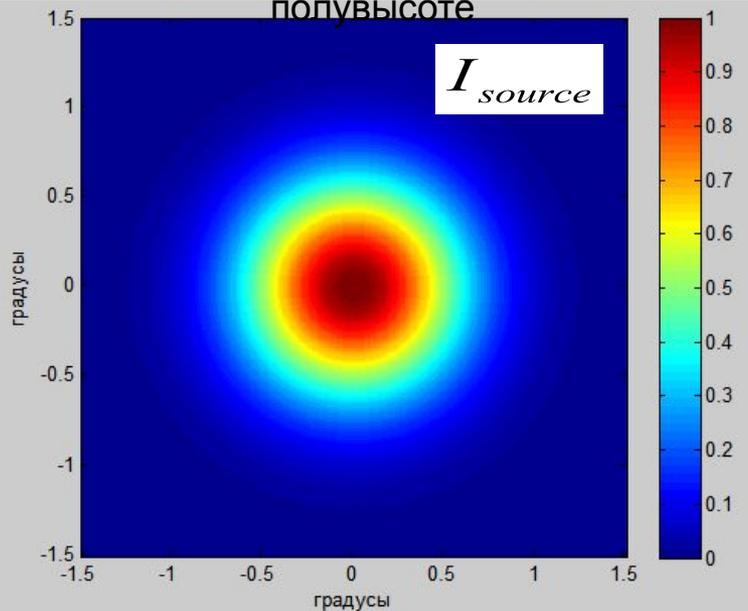
Гауссов источник с шириной  $1^\circ$  на

полувысоте



Гауссов источник с шириной  $1^\circ$  на

полувысоте



Одно зеркало с  $\beta=0.8^\circ$  собирает такую площадь

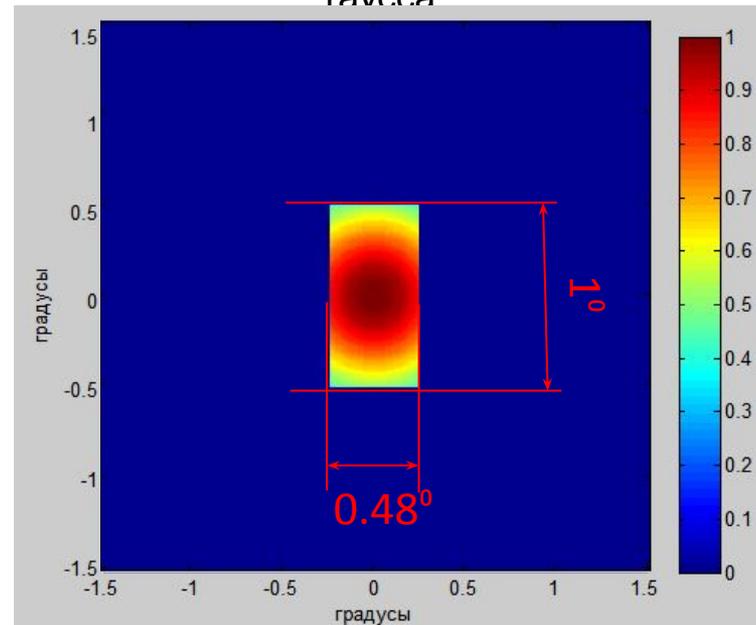
равно:

$$\frac{I_{collect}^\Sigma}{I_{source}^\Sigma} = \frac{\sum I_{collect}}{\sum_{all\_points} I_{source}}$$

$$G = \frac{I_{collect}^\Sigma}{I_{source}^\Sigma} (\beta = 0.8^\circ) = 0.33$$

**Общая эффективность**  
**( $\beta=0.8^\circ$ ) =**

$$= 0.40 \cdot 0.33 = 13.2 \%$$



## Расчёт по новой, с учётом двух неучтенных ранее факторов:

- 1) Фотоны с  $E < 10$  кэВ, которые рассеиваются в телесный угол с  $|\alpha| > 0.5^\circ$ , нам неинтересны, поэтому при расчёте геометрической эффективности сбора лучей G хвосты гаусса с  $|\alpha| > 0.5^\circ$  брать не будем
- 2) Форму гауссовой зависимости интенсивности источника от угла возьмем из статьи:

Compact x-ray source based on burst-mode inverse Compton scattering at 100 kHz

W. S. Graves,<sup>1</sup> J. Bessuille,<sup>2</sup> P. Brown,<sup>2</sup> S. Carbajo,<sup>3</sup> V. Dolgashev,<sup>4</sup> K.-H. Hong,<sup>1</sup> E. Ihloff,<sup>2</sup> B. Khaykovich,<sup>1</sup> H. Lin,<sup>1</sup> K. Murari,<sup>3</sup> E. A. Nanni,<sup>1</sup> G. Resta,<sup>1</sup> S. Tantawi,<sup>4</sup> L.E. Zapata,<sup>1,3</sup> F.X. Kärtner,<sup>1,3</sup> and D.E. Moncton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA

<sup>2</sup>MIT-Bates Laboratory, Middleton, MA 02139, USA

<sup>3</sup>CFEL, Hamburg, Germany

<sup>4</sup>SLAC, Stanford, USA

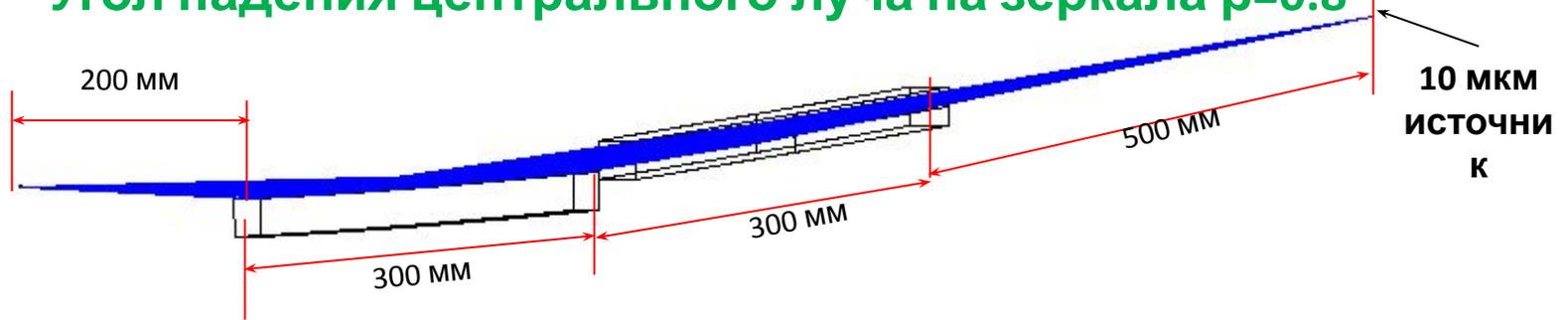
(Dated: October 10, 2014)

# **1. Фокусировка света в пятно системой Кирпатрика-Баеза**

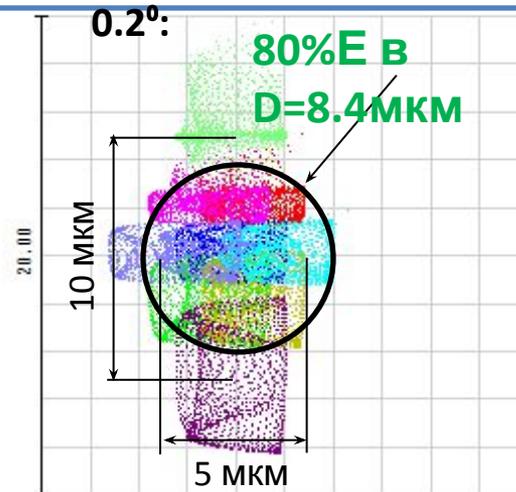
# Схема Кирпатрика-Баеза.

Угол сбора лучей  $0.48^\circ \times 0.3^\circ$ . Уменьшение по Y = 1. Уменьшение по X = 0.37.

Угол падения центрального луча на зеркала  $\beta=0.8^\circ$



Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей  $0.32^\circ \times 0.2^\circ$ :



Поверхность: Изображения

Точечные диаграммы пятна рассеяния для все

30.10.2019 Ед. измер. - ум.

СКЗ радиуса : 4.218

Геометр. радиус : 9.784

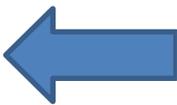
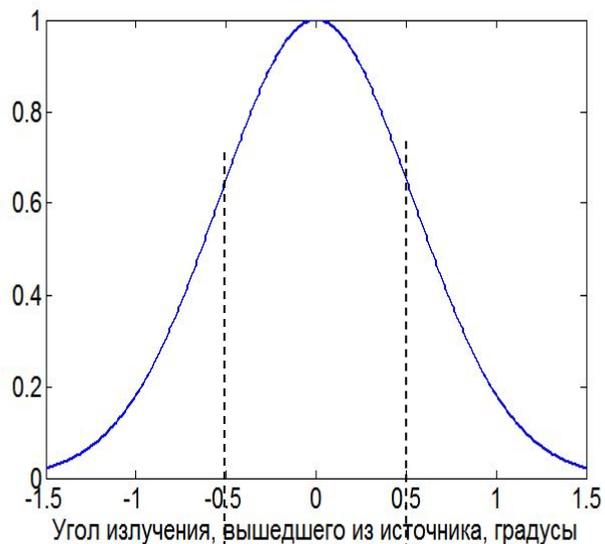
Длина масштабного бара : 20

Референтная точка: Главный луч

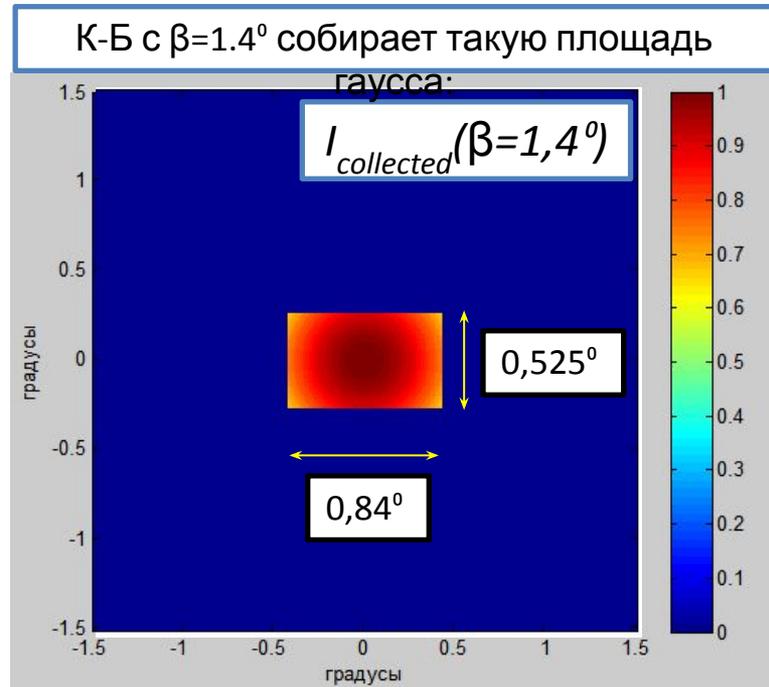
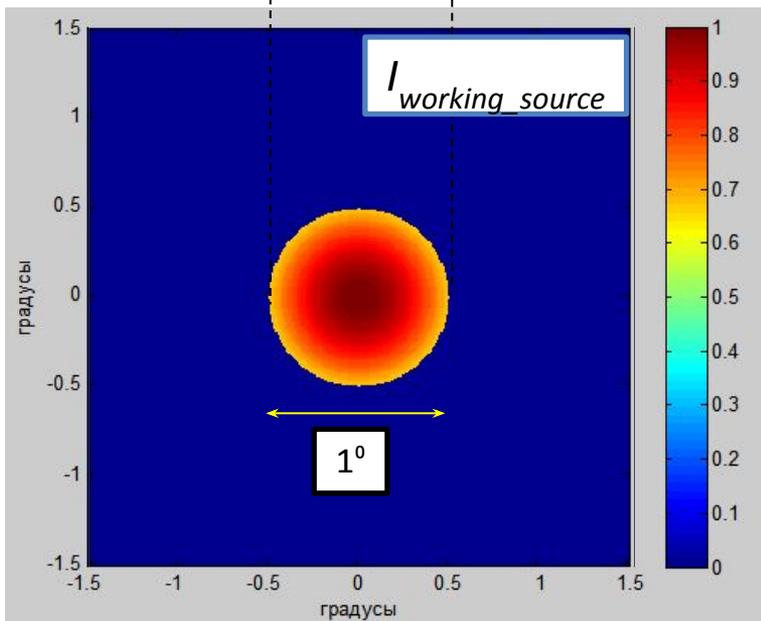
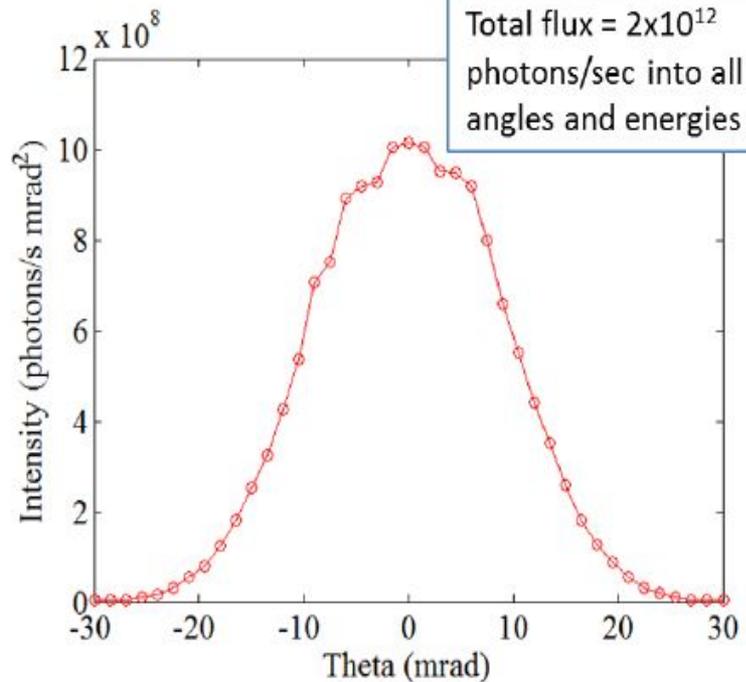
PV асферизации M1 = 0.813  
мкм

PV асферизации M2 = 15.6 мкм

\*Проверено в Matlab



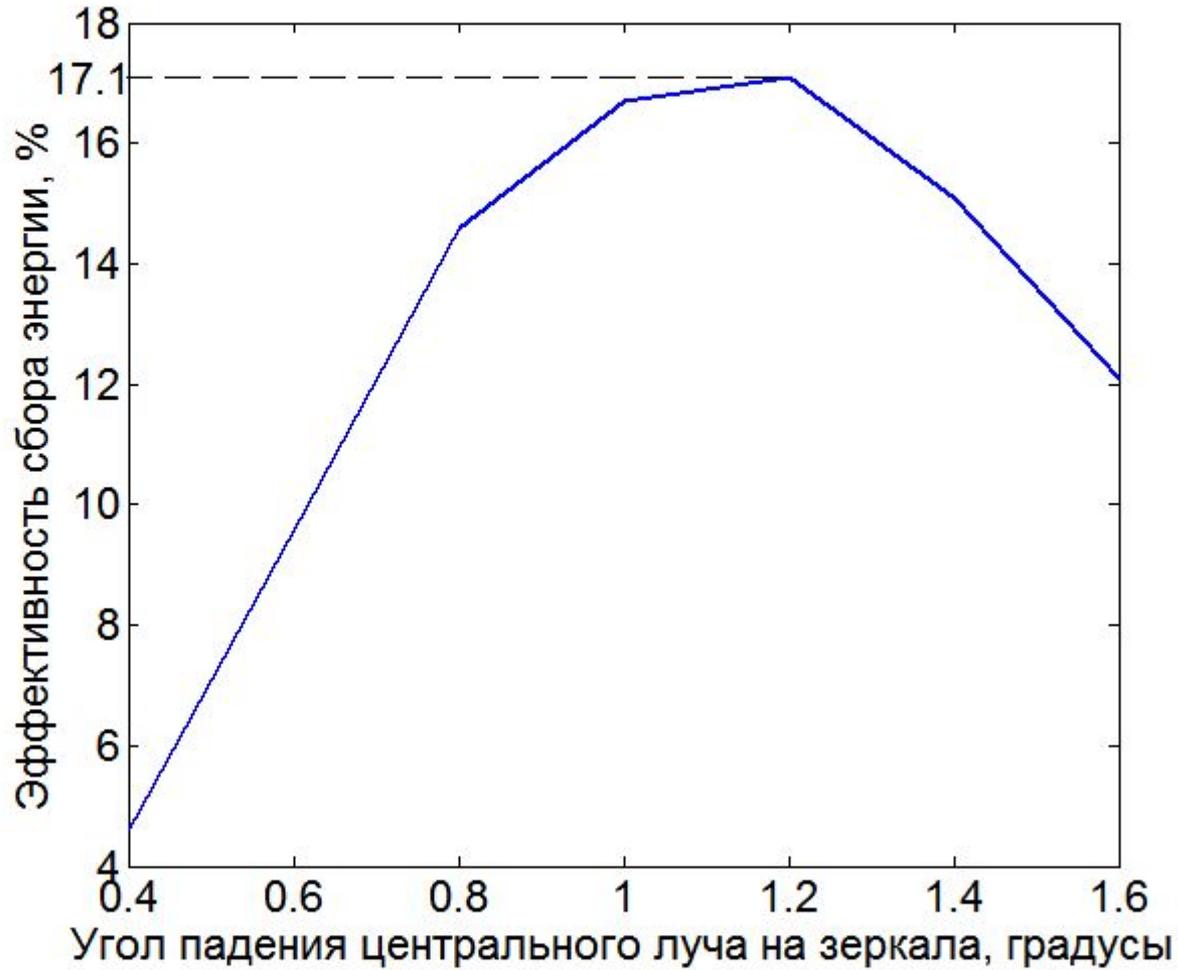
с учётом,  
что  
 $3^\circ = 52 \text{ мрад}$



$\beta$ - угол падения центрального луча на зеркала	$R_{\Sigma}$ - отражённый в спектральной полосе 10-12.4 кэВ процент энергии	$\alpha_{\text{сбора}}$ - угол сбора лучей системой Кирпатрика-Баеза (имеет прямоугольное сечение)	Геометрическая эффективность $G = \frac{I_{\text{collect}}}{I_{\text{working\_source}}}$	Эффективность сбора энергии = $R_{\Sigma} \cdot G$
0,1°		0,06° x 0,0375°	0.4%	
0,2°		0,12° x 0,075°	1.5%	
0,4°	80%	0,24° x 0,15°	5.8%	4,6%
0,6°	74,5%	0,36° x 0,225°	12.9%	9,6%
0,8°	64,5%	0,48° x 0,3°	22.6%	14,6%
1°	51%	0,6° x 0,375°	32.8%	16,7%
1,2°	36,9%	0,72° x 0,45°	46.3%	17,1%
1,4°	24,6%	0,84° x 0,525°	61.3%	15,1%
1,6°	16,2%	0,96° x 0,6°	74.8%	12,1%

*\* Все расчёты в этой таблице для 300 мм*

Для системы Кирпатрика-  
Баеза:

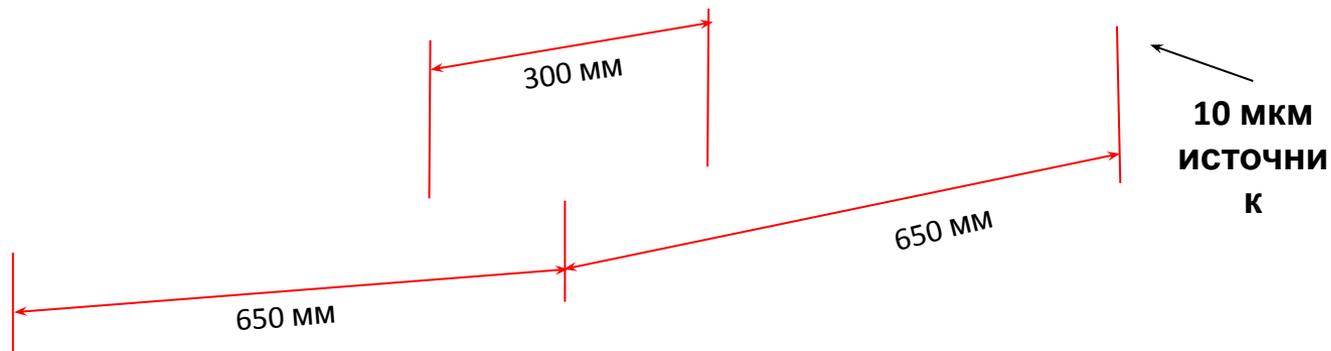


## **2. Фокусировка света в полосу эллиптическим зеркалом**

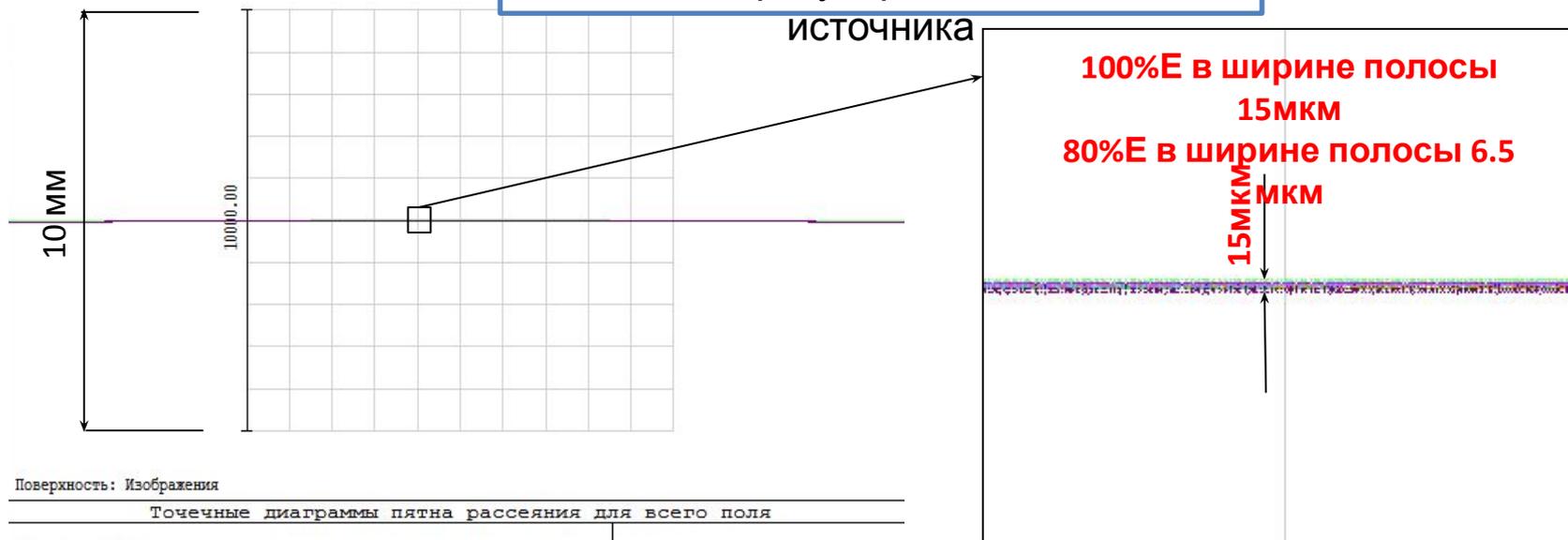
# 300мм эллиптическое зеркало, фокусирующее свет 10 мкм источника в полосу.

Угол сбора лучей  $0.48^\circ \times 1^\circ$

Уменьшение по Y = 1. Угол падения центрального луча на зеркало  $\beta=0.8^\circ$



Полоса фокусировки от 10 мкм

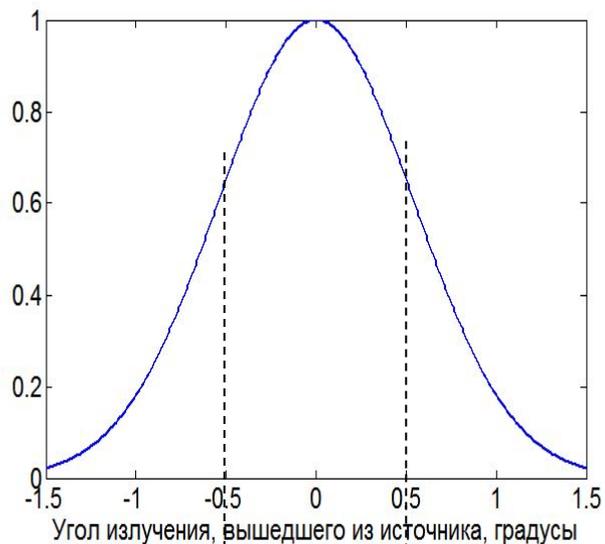


Поверхность: Изображения

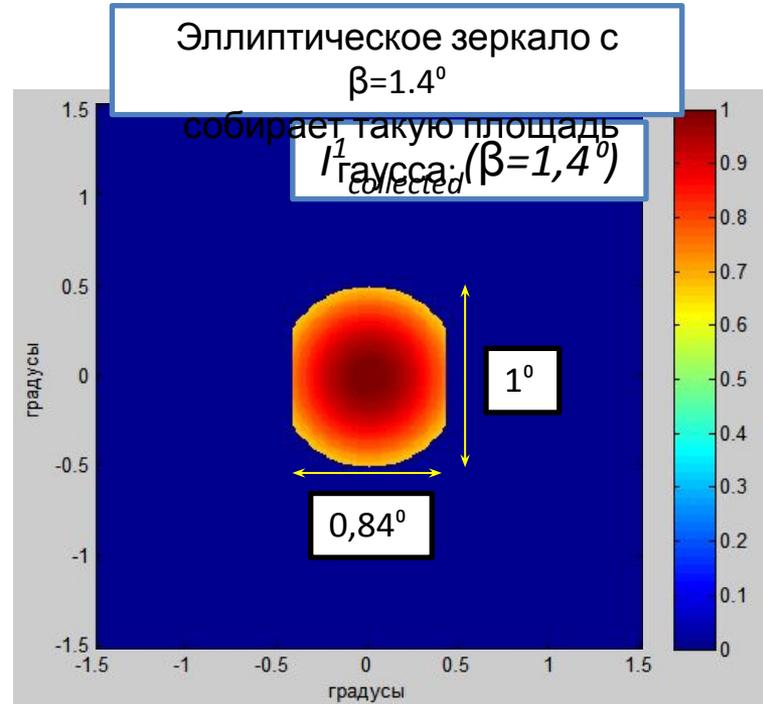
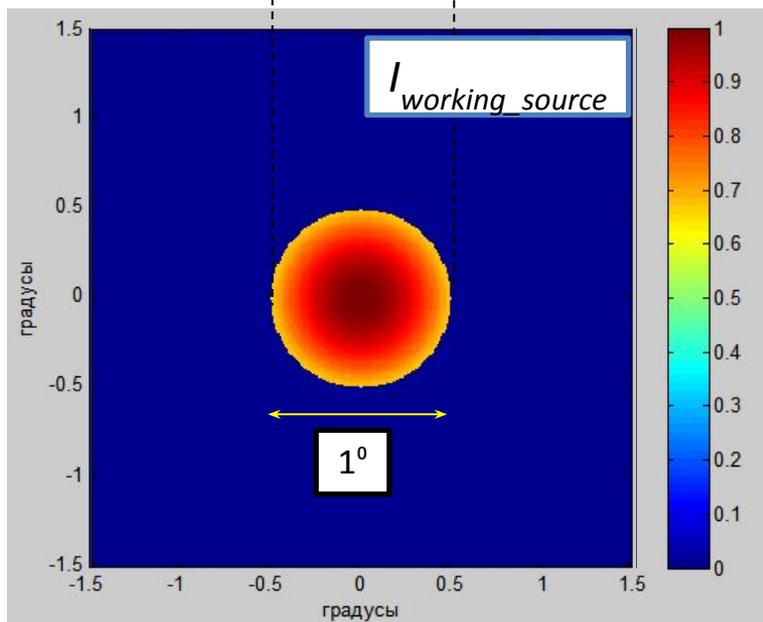
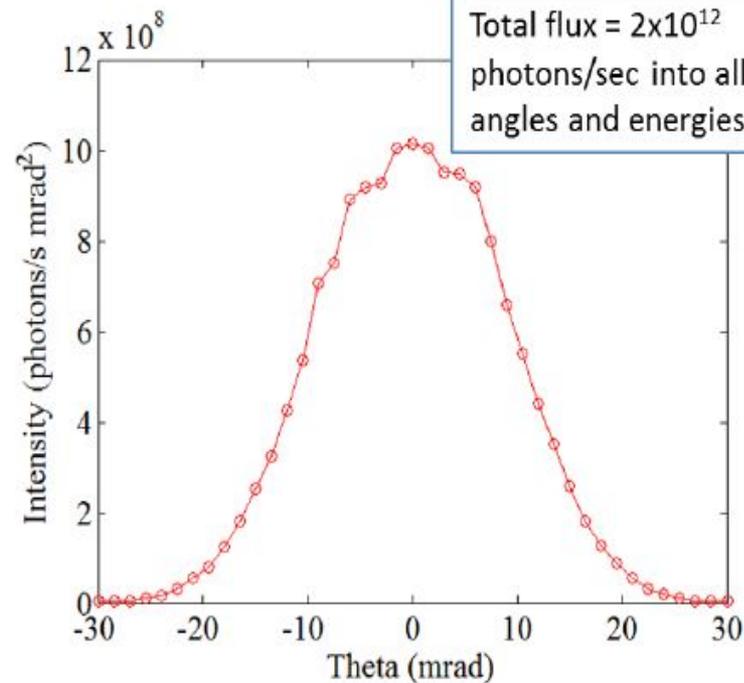
Точечные диаграммы пятна рассеяния для всего поля

06.11.2019 Ед. измер. - мкм.

PV асферизации = 0.856



с учётом,  
что  
 $3^\circ = 52 \text{ мрад}$



$\beta$ - угол падения центрального луча на зеркало	$R_{\Sigma}^1$ - отражённый в спектральной полосе 10-12.4 кэВ процент энергии	$\alpha_{\text{сбора}}^1$ - угол сбора лучей одним эллиптическим зеркалом	Геометрическая эффективность $G^1 = \frac{I_{\text{collect}}^1}{I_{\text{working\_source}}}$	Эффективность сбора энергии $= R_{\Sigma}^1 \cdot G^1$
0,1°		0,06° x 1°	9,5%	
0,2°		0,12° x 1°	17,6%	
0,4°	89,4%	0,24° x 1°	33,5%	30%
0,6°	86,2%	0,36° x 1°	48,7%	42%
0,8°	80%	0,48° x 1°	62,7%	50,2%
1°	69,1%	0,6° x 1°	75,2%	52%
1,2°	55,5%	0,72° x 1°	85,9%	47,7%
1,4°	41,6%	0,84° x 1°	94,3%	39,2%
1,6°	30,9%	0,96° x 1°	99,6%	30,8%

Для одного эллиптического  
зеркала:

