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

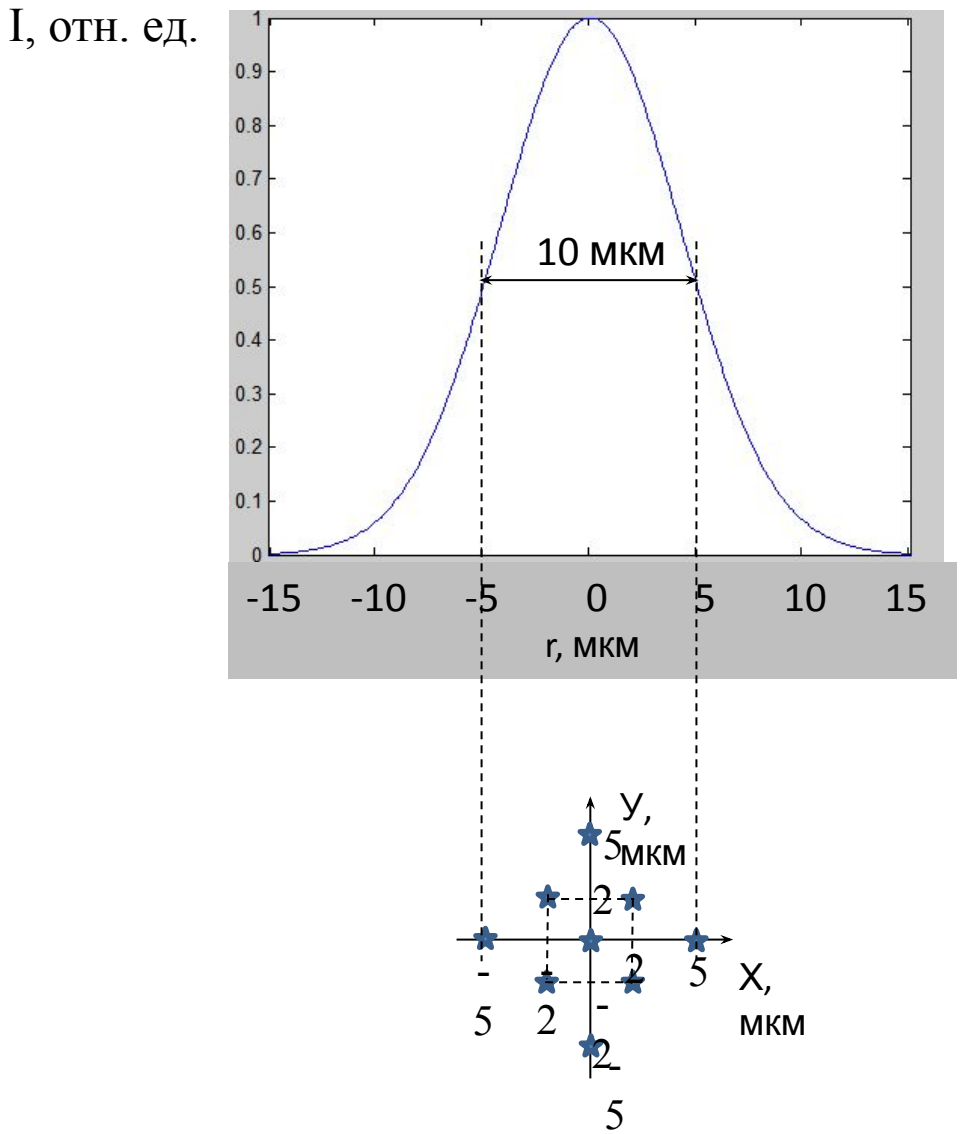
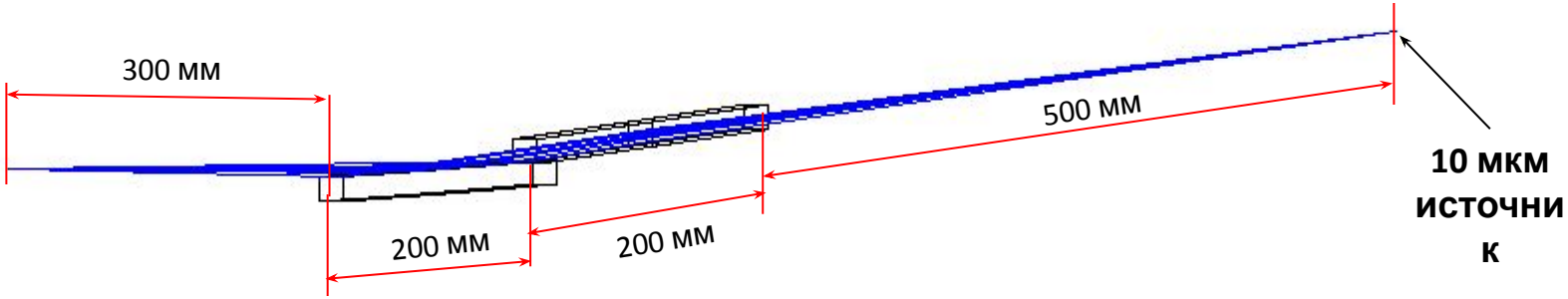
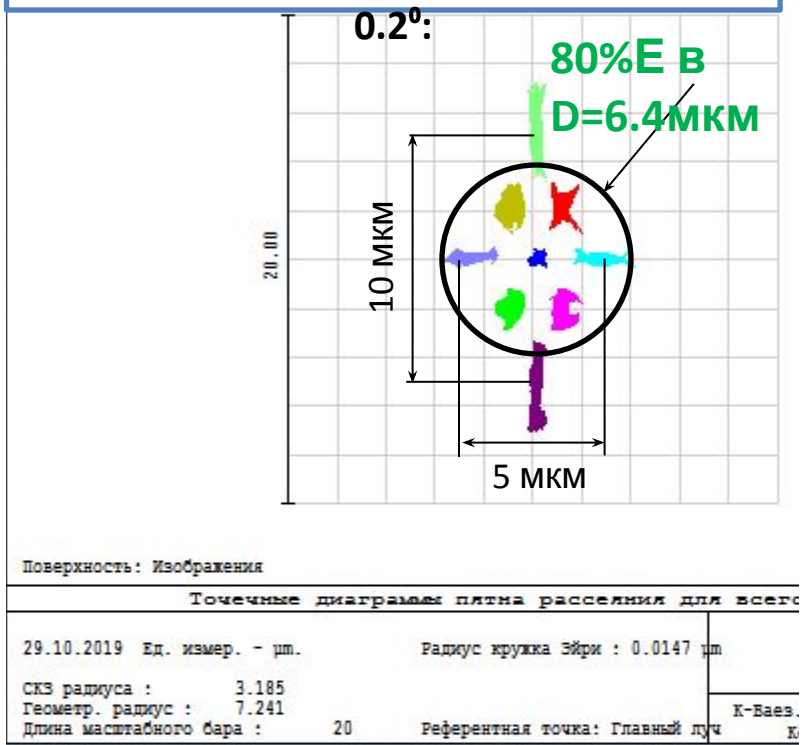
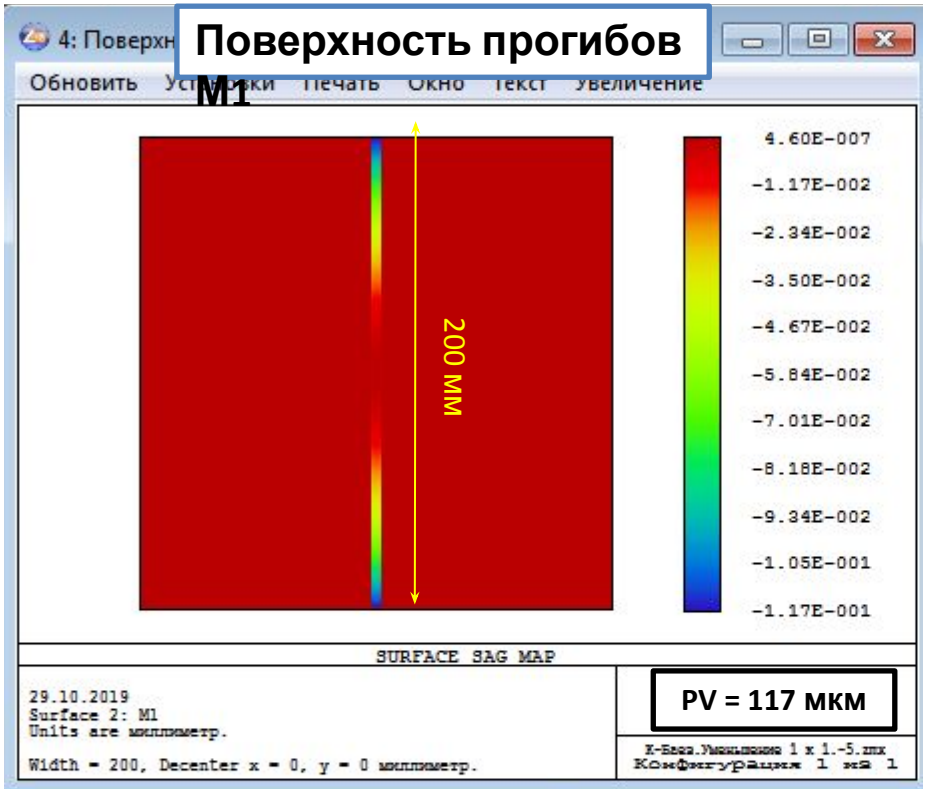


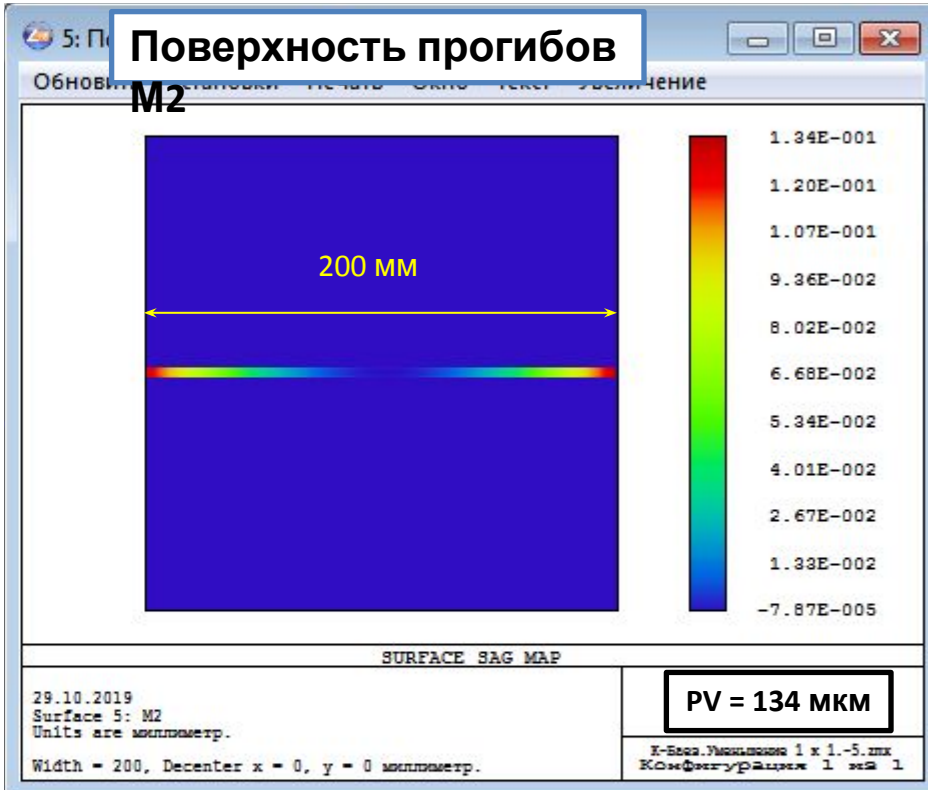
Схема Кирпатрика-Баеза.
Угол сбора лучей 0.32⁰ x 0.229⁰.Уменьшение по У = 1. Уменьшение по Х = 0.5. Угол падения центрального луча на зеркала β=0.8⁰



Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей 0.32⁰ x 0.2⁰:








```
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

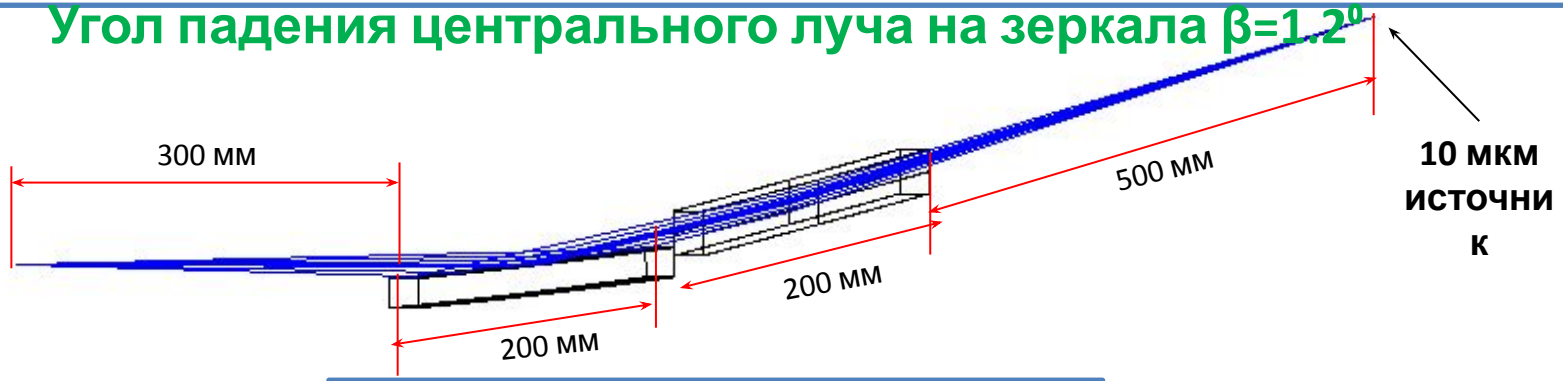
```
Units are миллиметр.
Ед. измер. наклонов - безразмерные.
Semi-Diameter of surface 5:  1.000000E+002.
Algorithm assumes +z goes from air to glass.

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)

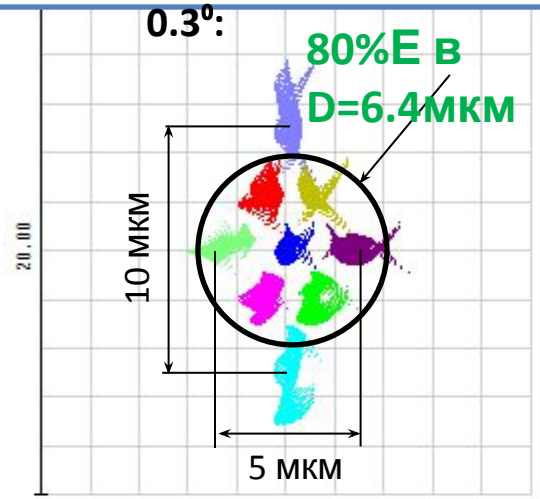
**проверить профиль асферизации в Matlab*

Схема Кирпатрика-Баеза. Средние углы скольжения = 0.8^0
Угол сбора лучей 0.48^0 x 0.343^0. Уменьшение по У = 1. Уменьшение по Х = 0.5.

Угол падения центрального луча на зеркала β=1.2^0



Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей 0.48^0 x 0.3^0:



Поверхность: Изображения

Точечные диаграммы пятна рассеяния для всего

29.10.2019 Ед. измер. - µm. Радиус кружка Эйри : 0.009824 µm

СКЗ радиуса : 3.211
Геометр. радиус : 7.837
Длина масштабного бара : 20 Референтная точка: Главный луч

К-Баез.У
Кон

PV асферизации M1 = 0.28 мкм
PV асферизации M2 = 2.7 мкм
проверить в Matlab

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

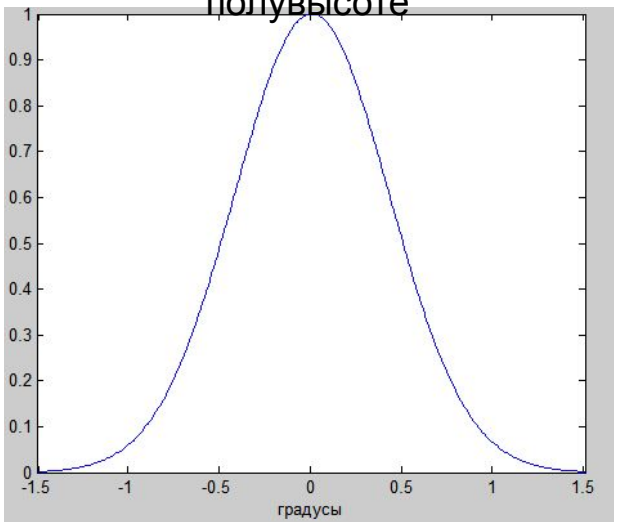
Вычислим общую эффективность с учётом сбора лучей и коэффициента отражения

Угол скольжения β	**Эффективность 3 MLS = отражённая в полосе энергия**	**$\alpha_{сбора}$ = Угол сбора лучей системой Кирпатрика-Баеза**	**Общая эффективность = (Эффективность 3 MLS)^2 · $I_{collect}/I_{source}$**
0,4 ^{0}	47 %	0,16 ^{0} x 0,115 ^{0}	0.47*0.0124=0.0058
0,6 ^{0}	25 %	0,24 ^{0} x 0,171 ^{0}	0.25*0.0272=0.0068
0,8 ^{0} **0.8^0 и 300мм зеркала**	15 % 15 %	0,32 ^{0} x 0,229 ^{0} 0,48 ^{0} x 0,3 ^{0}	0.15*0.0482=0.0072 0.15*0.0973=0.0146
1 ^{0}	9,1 %	0,4 ^{0} x 0,286 ^{0}	0.091*0.0754=0.0068
1,2 ^{0}	5.7 %	0,48 ^{0} x 0,343 ^{0}	0.057*0.1037=0.0059

** в таблице все строки для 200мм зеркал, кроме строки «0.8^0 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 1^0 на полувысоте



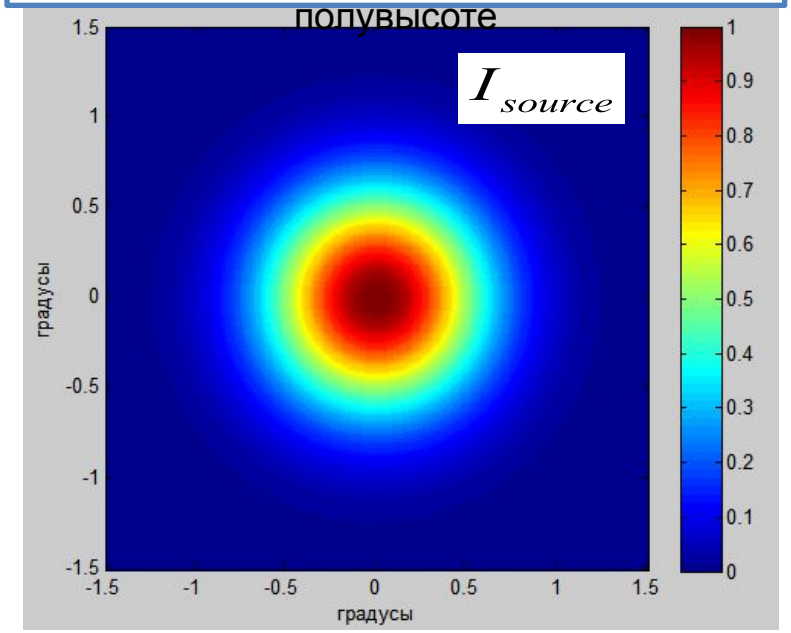
$$\frac{I^{\Sigma}_{collect}}{I^{\Sigma}_{source}} = \frac{\sum_{points_in_elips} I_{collect}}{\sum_{all_points} I_{source}}$$

$$\frac{I^{\Sigma}_{collect}}{I^{\Sigma}_{source}}(\beta = 0.8°) = 0.0482$$

Общая эффективность (β=0.8^0) =

= 0.15·0.0482 = 0.72 %

Гауссов источник с шириной 1^0 на полувысоте



К-Б с β=0.8^0 собирает такую площадь гаусса:

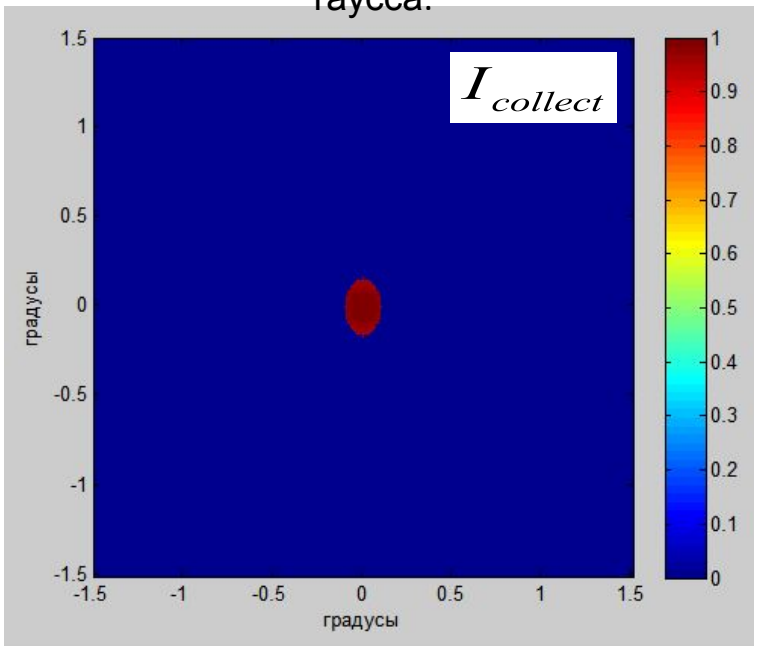
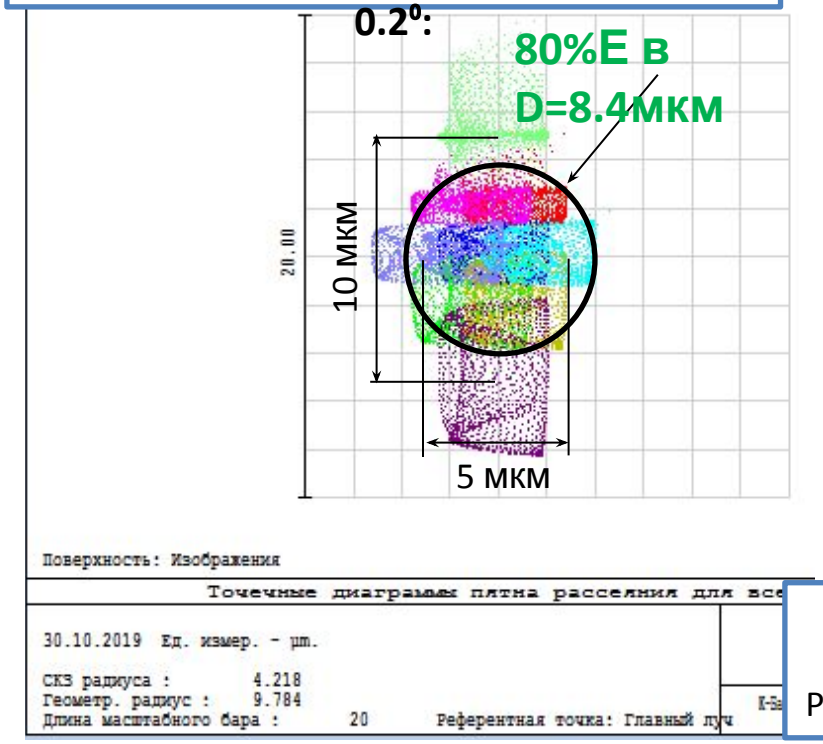


Схема Кирпатрика-Баеза.
Угол сбора лучей 0.48⁰ x 0.3⁰.Уменьшение по У = 1. Уменьшение по Х = 0.37.

Угол падения центрального луча на зеркала β=0.8⁰

Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей 0.32⁰ x 0.2⁰:



PV асферизации M1 = 0.813 мкм

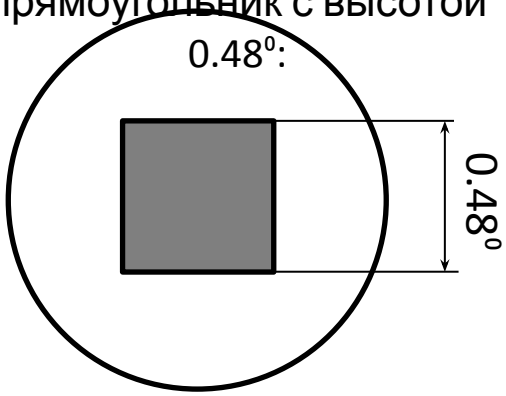
PV асферизации M2 = 15.6 мкм

проверить в Matlab

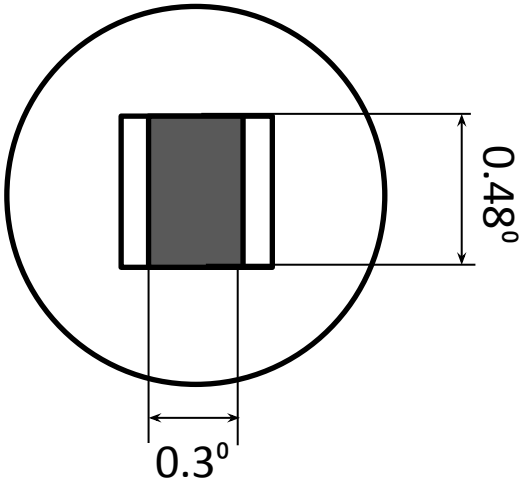
Какой угловой сектор «вырезают» зеркала из падающего на них пучка с круглым сечением:

К-Б с 300 мм зеркалами и β = 0.8^0

Зеркало М1 вырезает из пучка прямоугольник с высотой 0.48^0:



Зеркало М1 дополнительно обрезает ширину «прямоугольника» пришедшего от М1 до 0.3^0:



Поэтому К-Б вырезает из падающего пучка, имеющего круглое сечение,
прямоугольное сечение со сторонами 0.3^0 x 0.48^0.
Площадь прямоугольника со сторонами 0.3^0 x 0.48^0 больше площади эллипса со сторонами 0.3^0 x 0.48^0, поэтому <u>эффективность для всех углов</u>
<u>выше рассчитанной в таблице</u>
<u>в $S_{прямоугольника}$ / $S_{эллипса}$ =(2a*2b)/(π*a*b)=1,274 раз</u>

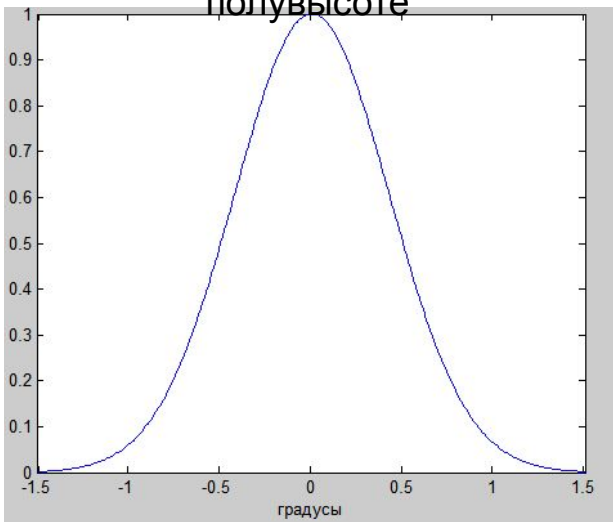
Угол скольжения β	Эффективность (отражённая в спектральной полосе энергия)	$\alpha_{сбора}$ = Угол сбора лучей системой Кирпатрика-Баеза (имеет прямоугольное сечение)	Общая эффективность = Эффективность · $I_{collect}/I_{source}$
0,4 ^{0}	47 %	0,16 ^{0} x 0,115 ^{0}	0.47*0.0124=0.0074
0,6 ^{0}	25 %	0,24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

** в таблице все строки для 200мм зеркал, кроме строки «0.8^0 и 300мм зеркала»*

Вывод: К-Б с 300мм зеркалами и с углом скольжения 0.8^0 предпочтителен.

<u>Сможем собрать 1.86% энергии источника</u>

Гауссов источник с шириной 1^0 на полувысоте



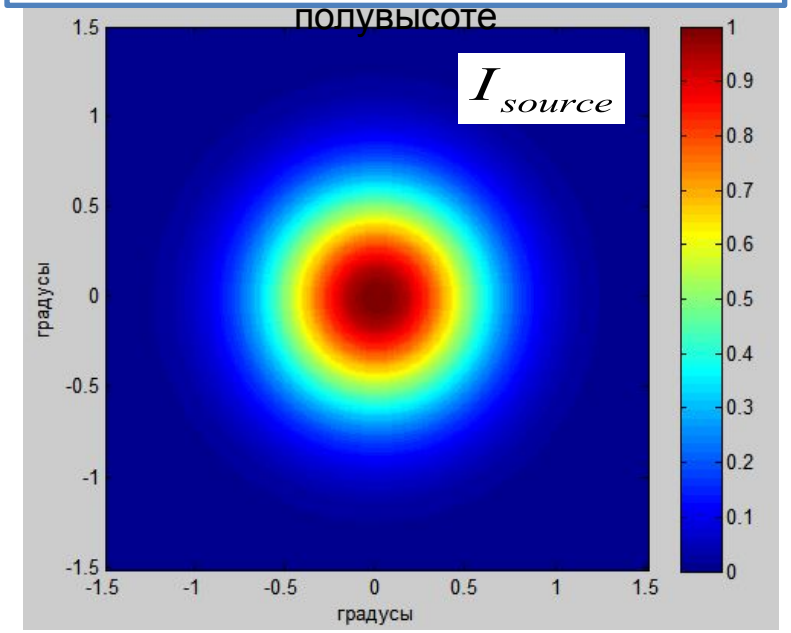
$$\frac{I^{\Sigma}_{collect}}{I^{\Sigma}_{source}} = \frac{\sum_{points_in_elips} I_{collect}}{\sum_{all_points} I_{source}}$$

$$G = \frac{I^{\Sigma}_{collect}}{I^{\Sigma}_{source}}(\beta = 0.8°) = 0.33$$

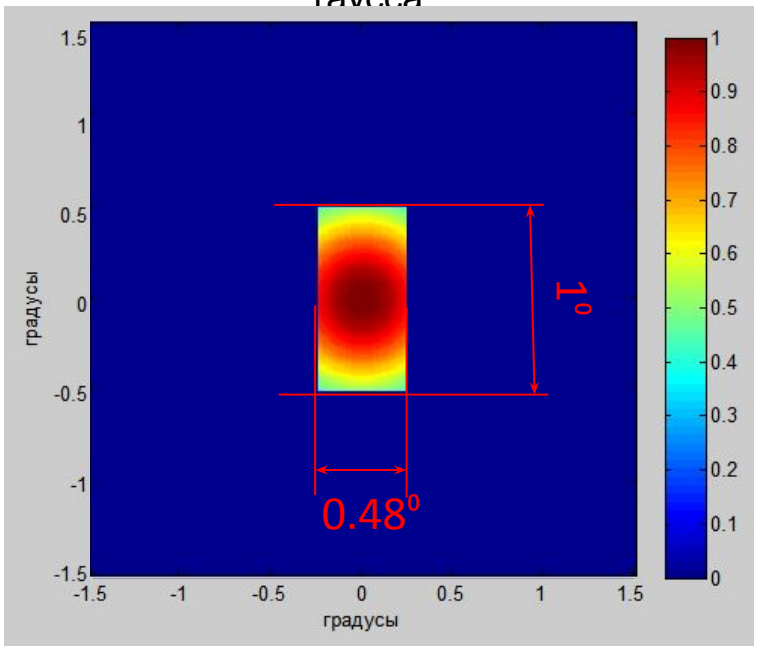
Общая эффективность (β=0.8^0) =

= 0.40·0.33= 13.2 %

Гауссов источник с шириной 1^0 на полувысоте



Одно зеркало с β=0.8^0 собирает такую площадь гаусса:



Расчёт по новой, с учётом двух неучтенных ранее факторов:

1) Фотоны с E<10 кэВ, которые рассеиваются в телесный угол с $|\alpha|>0.5^0$, нам неинтересны, поэтому при расчёте геометрической эффективности сбора лучей G хвосты гаусса с $|\alpha|>0.5^0$ 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,[1] J. Bessuille,[2] P. Brown,[2] S. Carbajo,[3] V. Dolgashev,[4] K.-H. Hong,[1] E. Ihloff,[2] B. Khaykovich,[1] H. Lin,[1] K. Murari,[3] E. A. Nanni,[1] G. Resta,[1] S. Tantawi,[4] L.E. Zapata,[1,3] F.X. Kärtner,[1,3] and D.E. Moncton[1]

[1] *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139, USA*
[2] *MIT-Bates Laboratory, Middleton, MA 02139, USA*
[3] *CFEL, Hamburg, Germany*
[4] *SLAC, Stanford, USA*

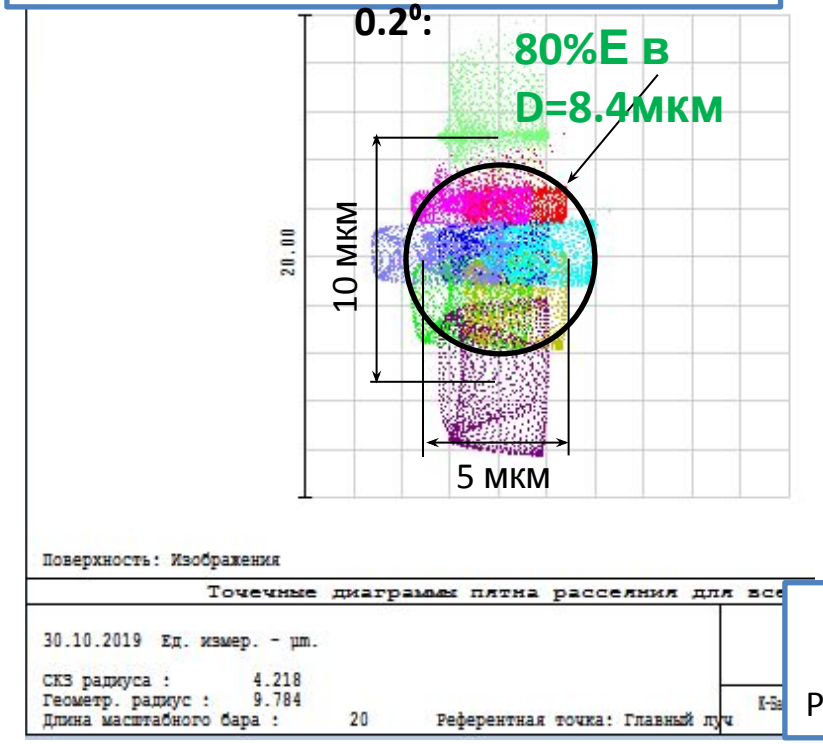
(Dated: October 10, 2014)

1. Фокусировка света в пятно системой Кирпатрика-Баеза

Схема Кирпатрика-Баеза.
Угол сбора лучей 0.48⁰ x 0.3⁰.Уменьшение по У = 1. Уменьшение по Х = 0.37.

Угол падения центрального луча на зеркала β=0.8⁰

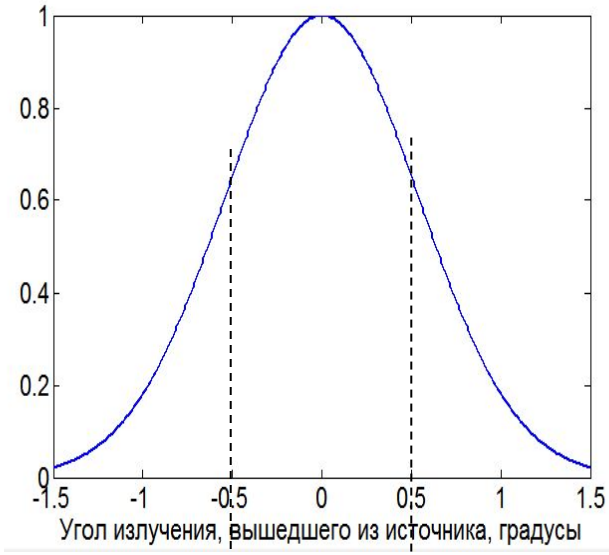
Изображение 10 мкм источника системой КБ, собирающей 0.32⁰ x 0.2⁰:



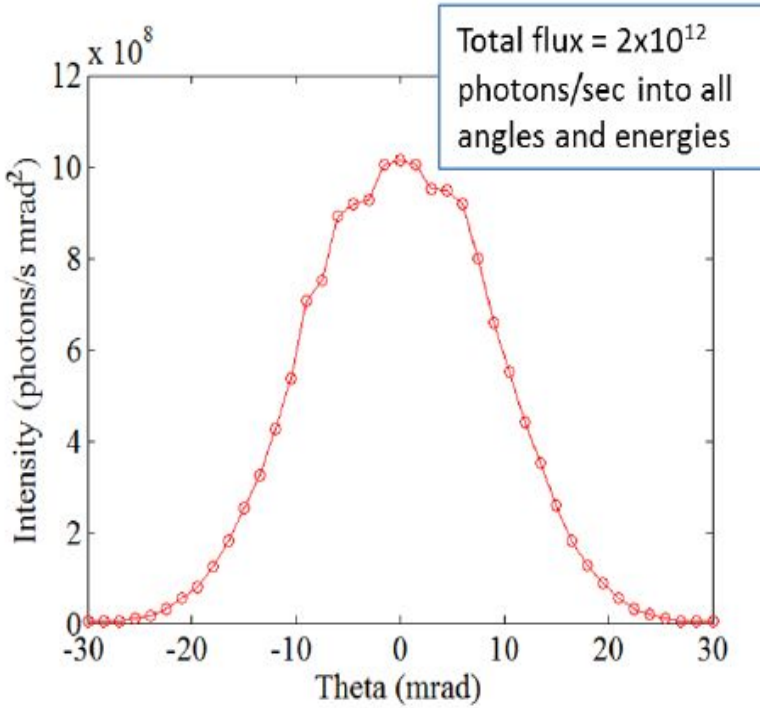
PV асферизации M1 = 0.813 мкм

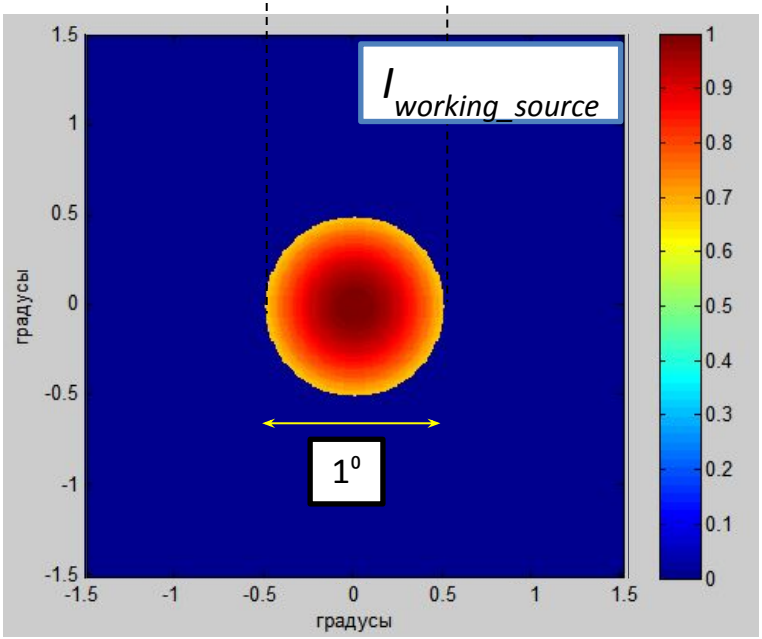
PV асферизации M2 = 15.6 мкм

проверить в Matlab

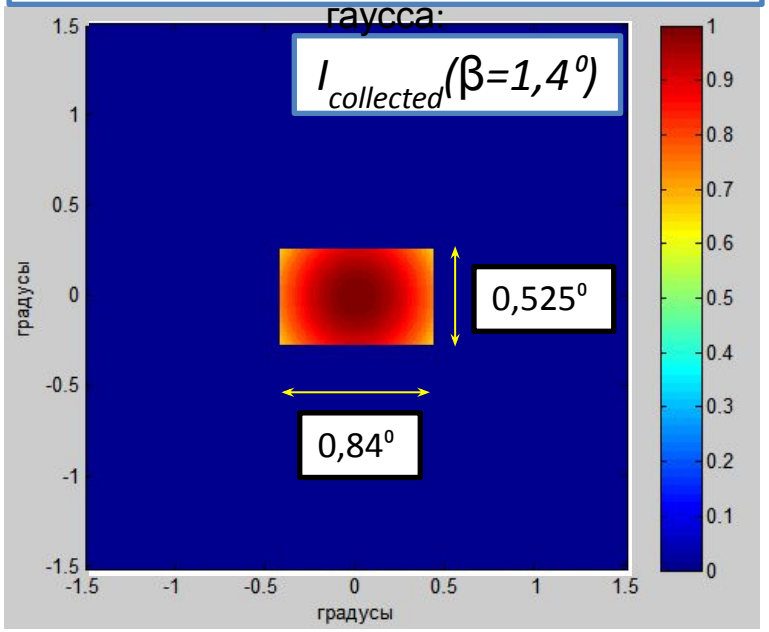


с учётом, что
3^0 = 52 мрад





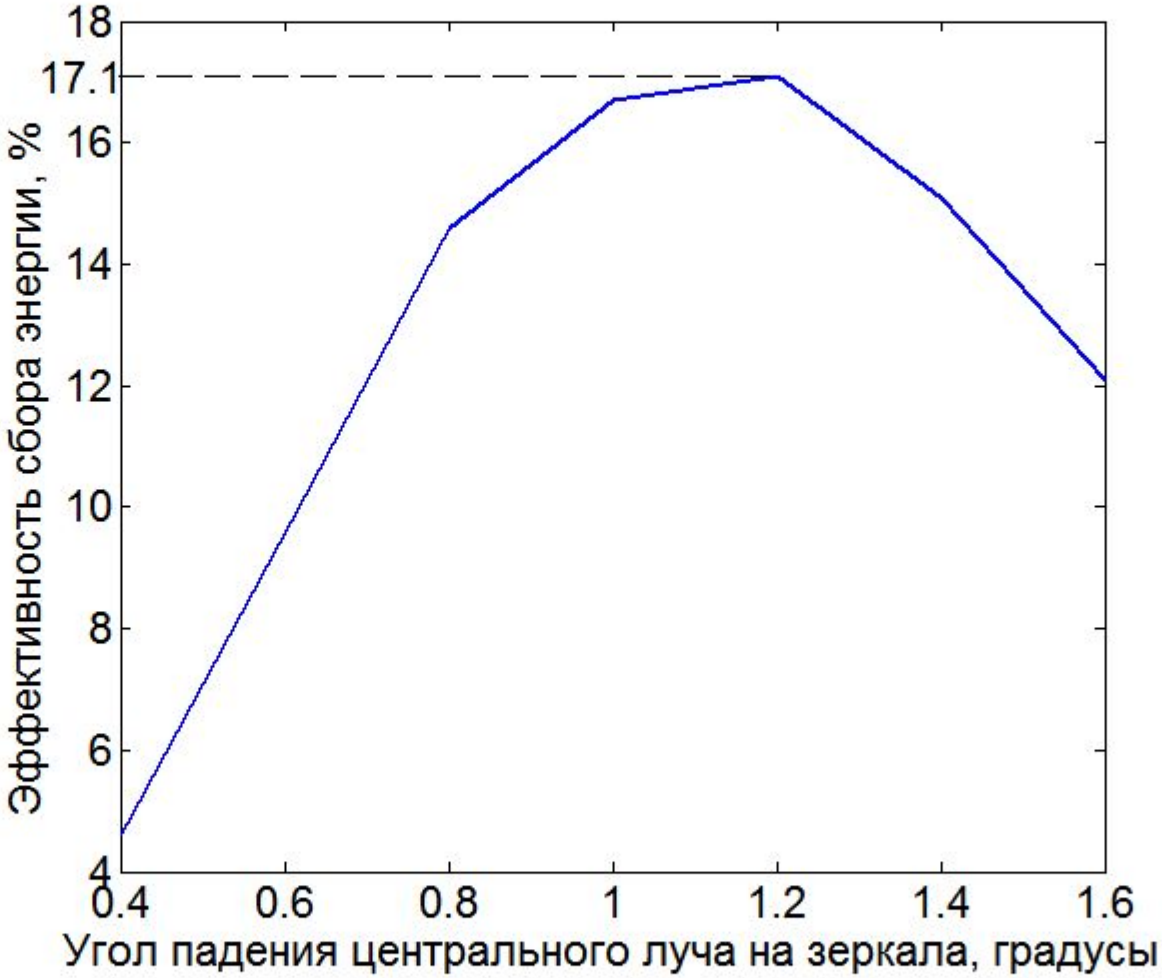
К-Б с β=1.4⁰ собирает такую площадь гаусса:



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

** Все расчёты в этой таблице для 300 мм*

Для системы Кирпатрика-Баеза:

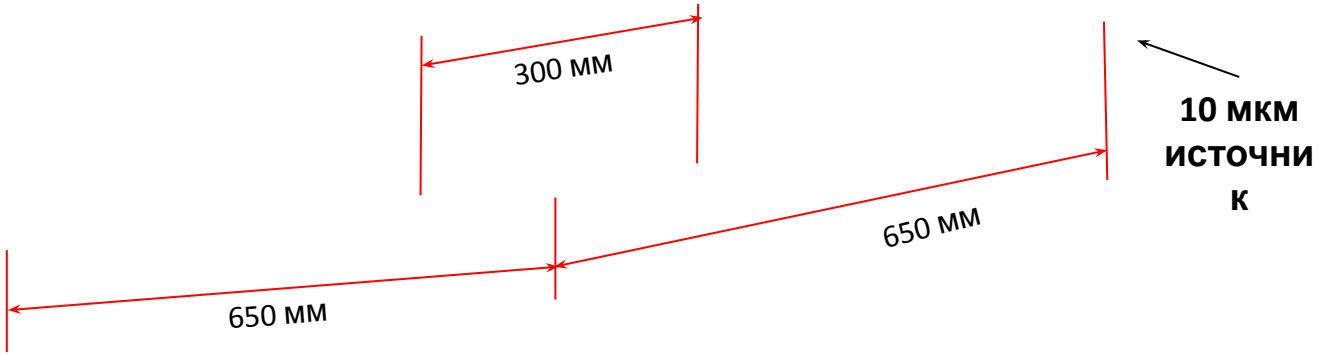


2. Фокусировка света в полосу эллиптическим зеркалом

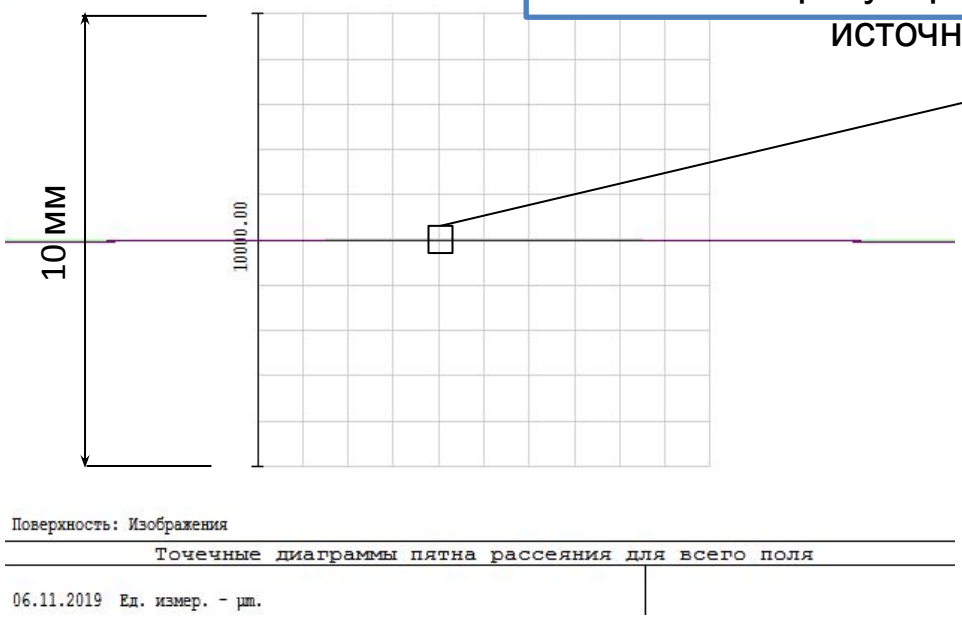
300мм эллиптическое зеркало, фокусирующее свет 10 мкм источника в полосу.

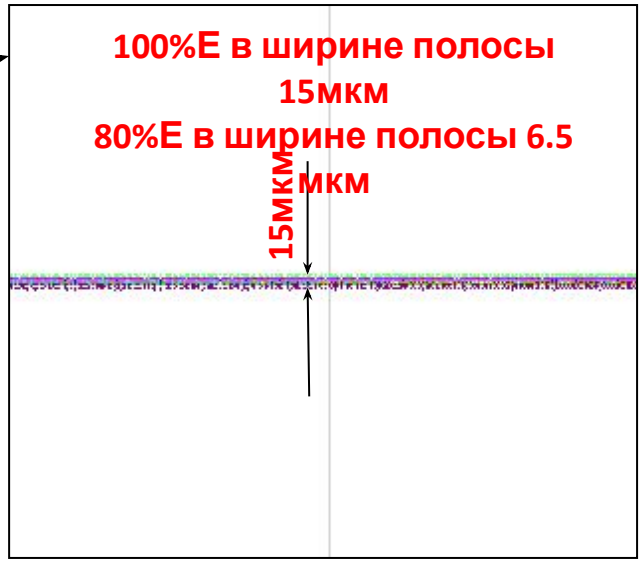
Угол сбора лучей 0.48^0 x 1^0

Уменьшение по У = 1. Угол падения центрального луча на зеркало β=0.8^0

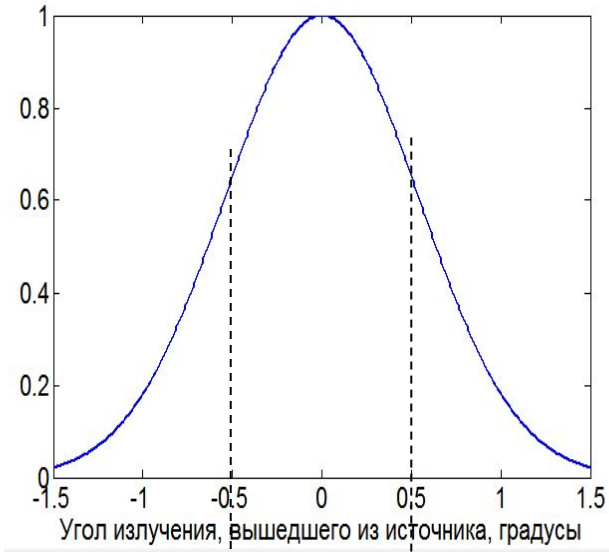


Полоса фокусировки от 10 мкм источника

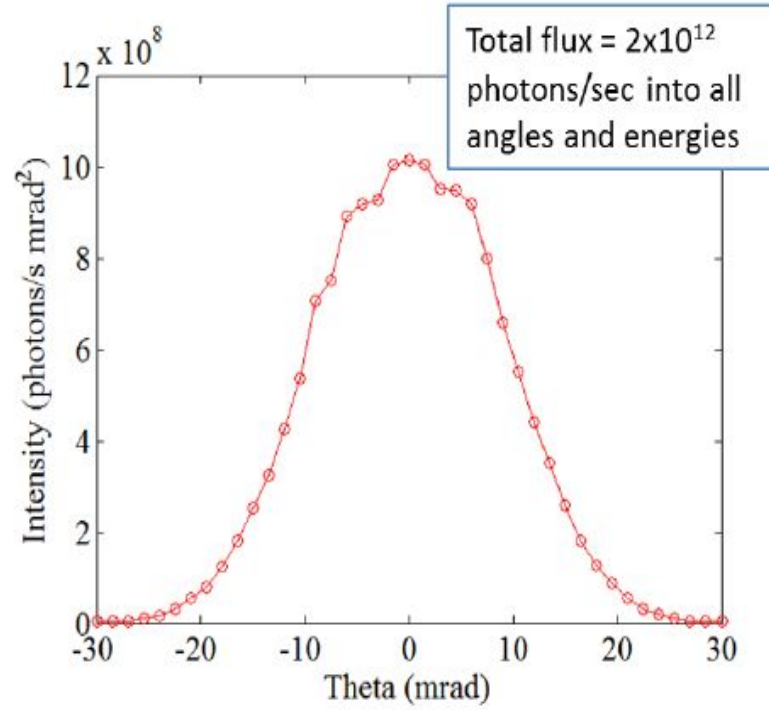




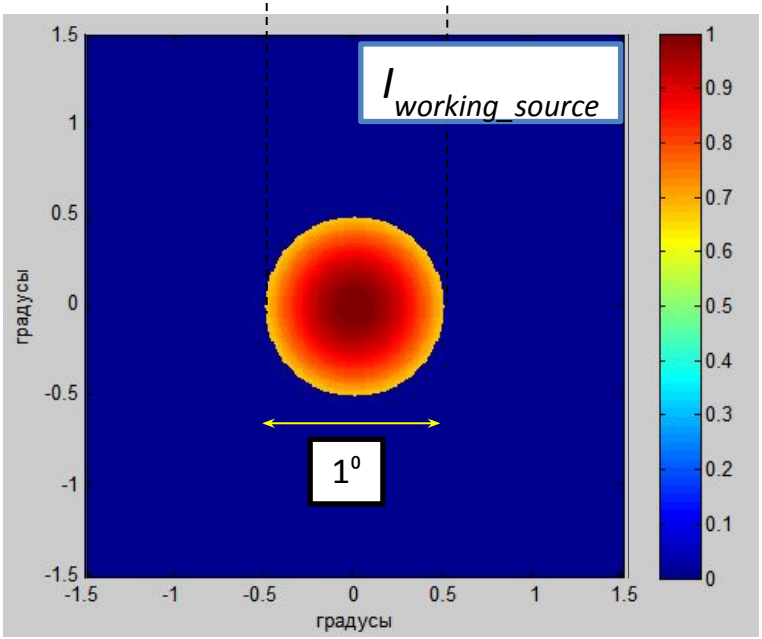
PV асферизации = 0.856

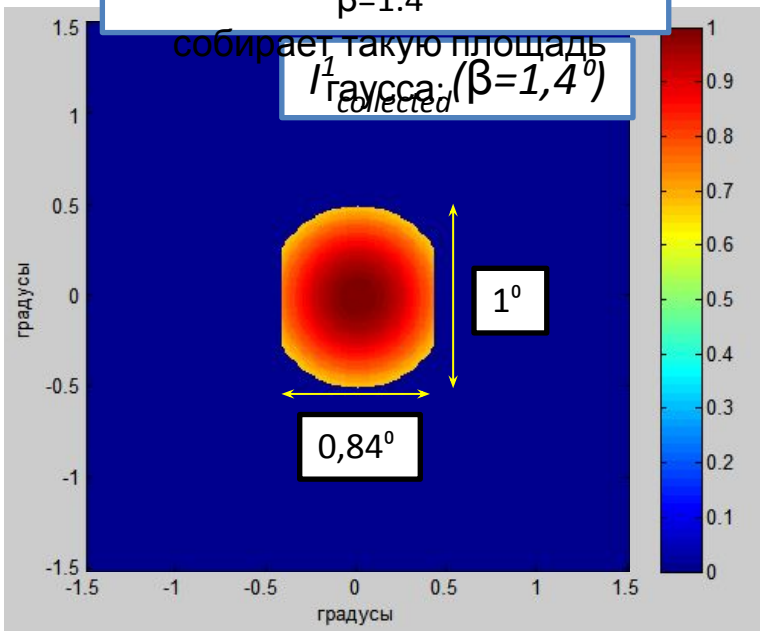


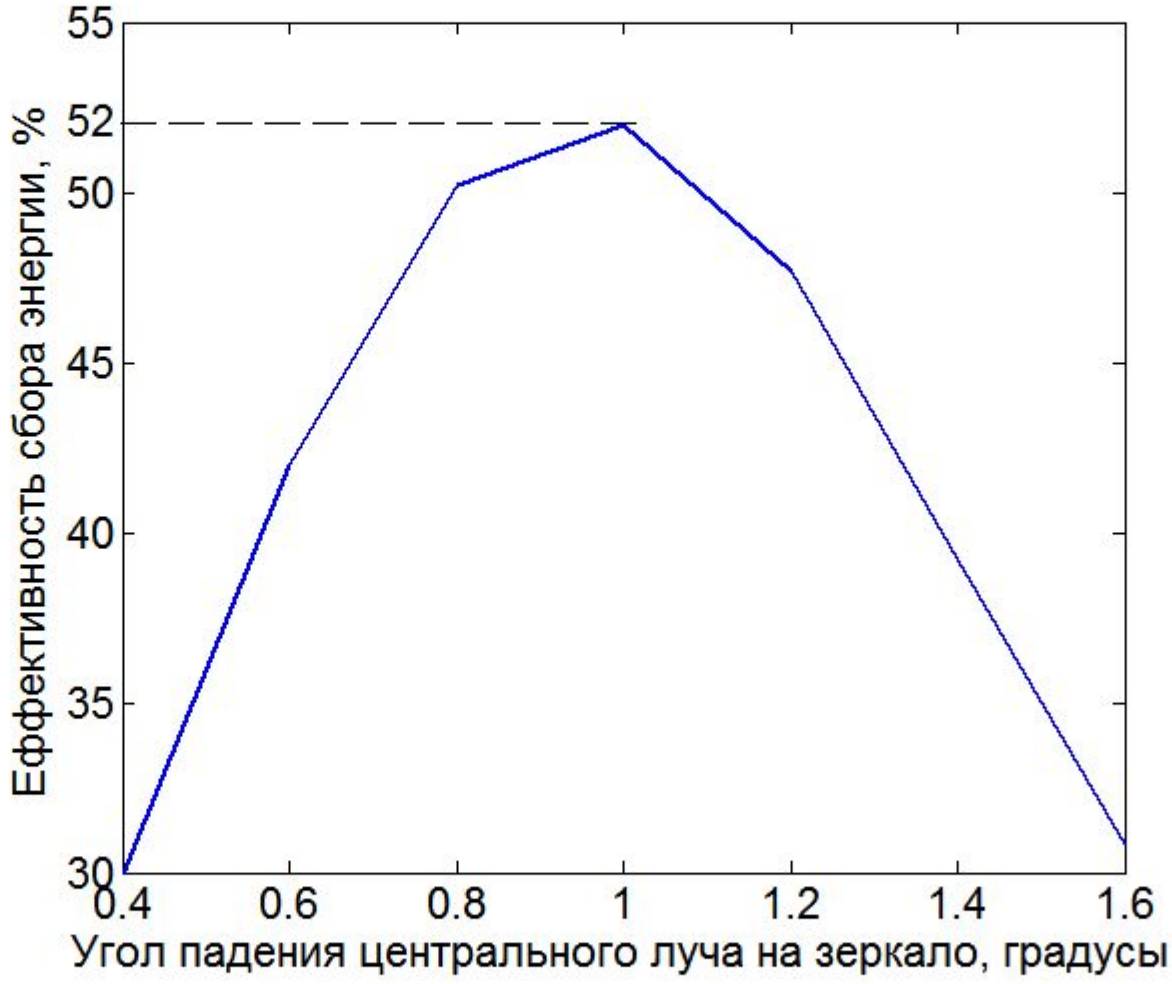
с учётом, что
3^0 = 52 мрад



Эллиптическое зеркало с β=1.4⁰
собирает такую площадь
гаусса: (β=1,4⁰)





β - угол падения центрального луча на зеркало	R^1_Σ - отражённый в спектральной полосе 10-12.4 кэВ процент энергии	$\alpha^1_{сбора}$ - угол сбора лучей одним эллиптическим зеркалом	Геометрическая эффективность $G^1 = I^1_{collect} : I_{working_source}$	Эффективность сбора энергии $= R^1_\Sigma \cdot G^1$
$0{,}1^0$		$0{,}06^0 \times 1^0$	9,5%	
$0{,}2^0$		$0{,}12^0 \times 1^0$	17,6%	
$0{,}4^0$	89,4%	$0{,}24^0 \times 1^0$	33,5%	30%
$0{,}6^0$	86,2%	$0{,}36^0 \times 1^0$	48,7%	42%
$0{,}8^0$	80%	$0{,}48^0 \times 1^0$	62,7%	50,2%
1^0	69,1%	$0{,}6^0 \times 1^0$	75,2%	52%
$1{,}2^0$	55,5%	$0{,}72^0 \times 1^0$	85,9%	47,7%
$1{,}4^0$	41,6%	$0{,}84^0 \times 1^0$	94,3%	39,2%
$1{,}6^0$	30,9%	$0{,}96^0 \times 1^0$	99.6%	30,8%

Для одного эллиптического зеркала: