

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ЗОННЫХ ПЛАСТИНОК ДЛЯ ФОКУСИРОВКИ ЖЕСТКОГО СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Кон Виктор Германович
РНЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

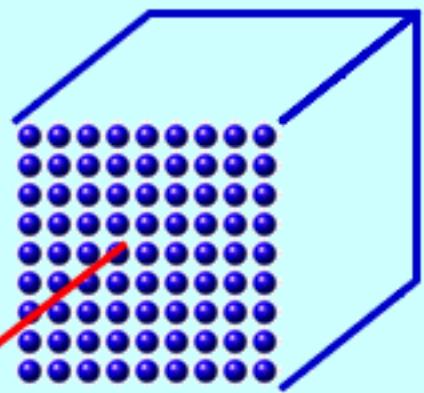
<http://kohnvict.chat.ru>



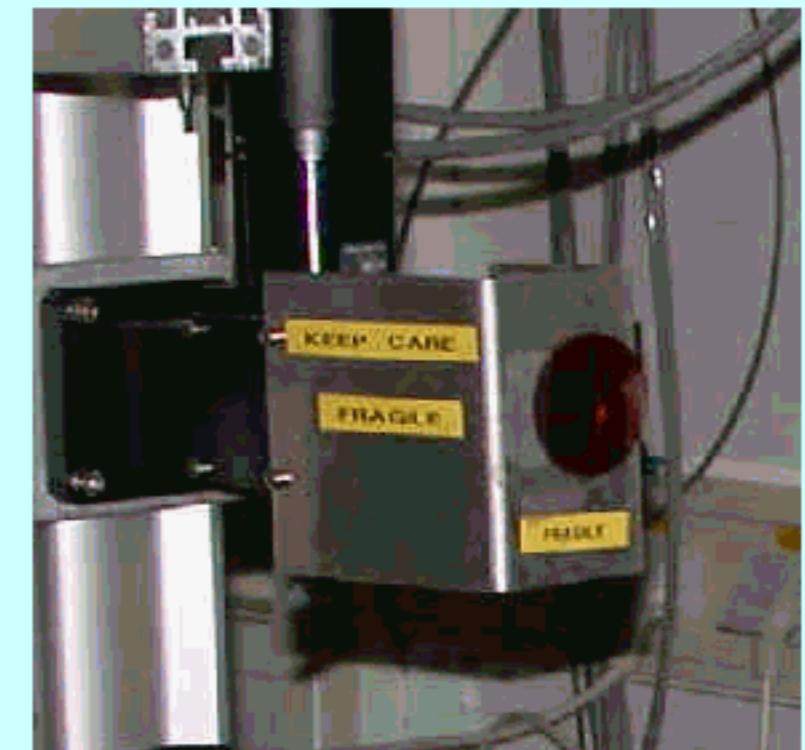
ESRF



SR



FReLoN
2D pixel matrix
Resolution: $\sim 1 \mu m$



Численное моделирование in-line изображений.

Встроенные модельные объекты:

Зонные пластиинки Френеля (линейные и круглые)

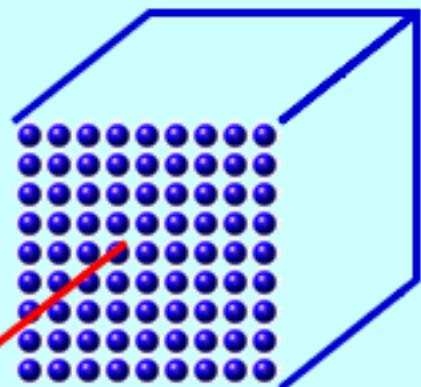
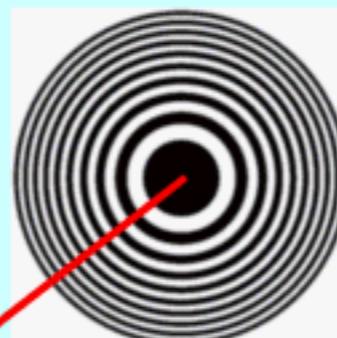
с любыми вариациями структуры

Прямоугольные щели и экраны

Круглые цилиндры (файбера)

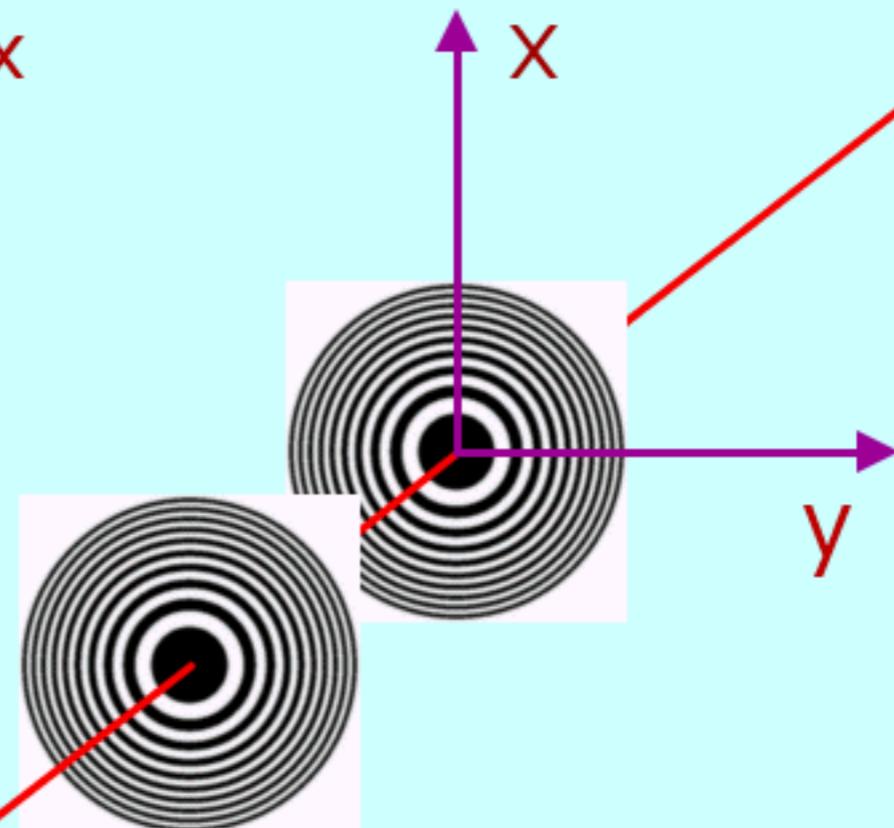
Трехосные эллипсоиды

Параболические линзы



Кристаллы под углом Брэгга
(Лауз и Брэгг геометрии)

Запоминая амплитуду когерентной волны $A(x,y)$ в разных точках на оси z можно учесть несколько объектов, последовательно расположенных на оптической оси.



x, y размеры до 500 микрон
 z от 0 до 20 метров

Когерентная волна $A(x,y)(z)$ изменяется объектом методом умножения на транспарантную функцию (прибл. геом. опт.)

$$A(x,y)(z) \Rightarrow A(x,y)(z) T(x,y), \quad T(x,y) = \exp(i\Phi(x,y) - M(x,y))$$

Распространение волны в пустом пространстве описывается сверткой с пропагатором Кирхгофа

$$A(x,y)(Z) = P(x,y)(Z-z) @ A(x,y)(z),$$

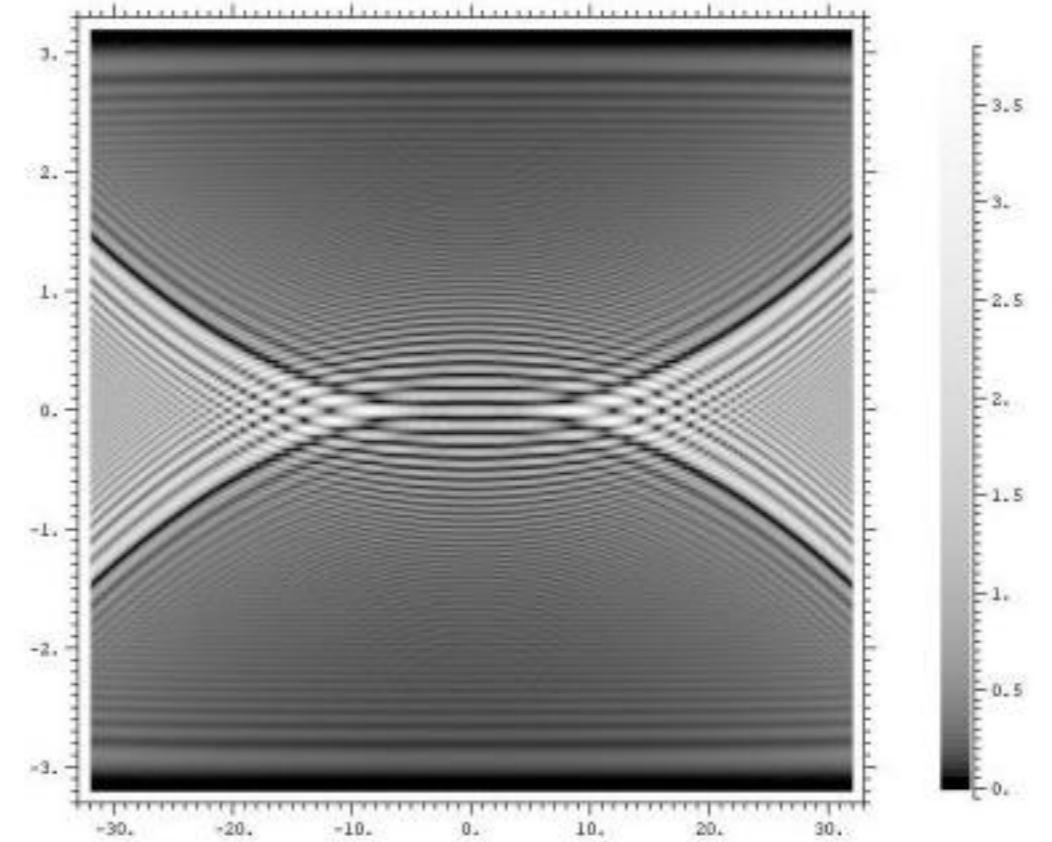
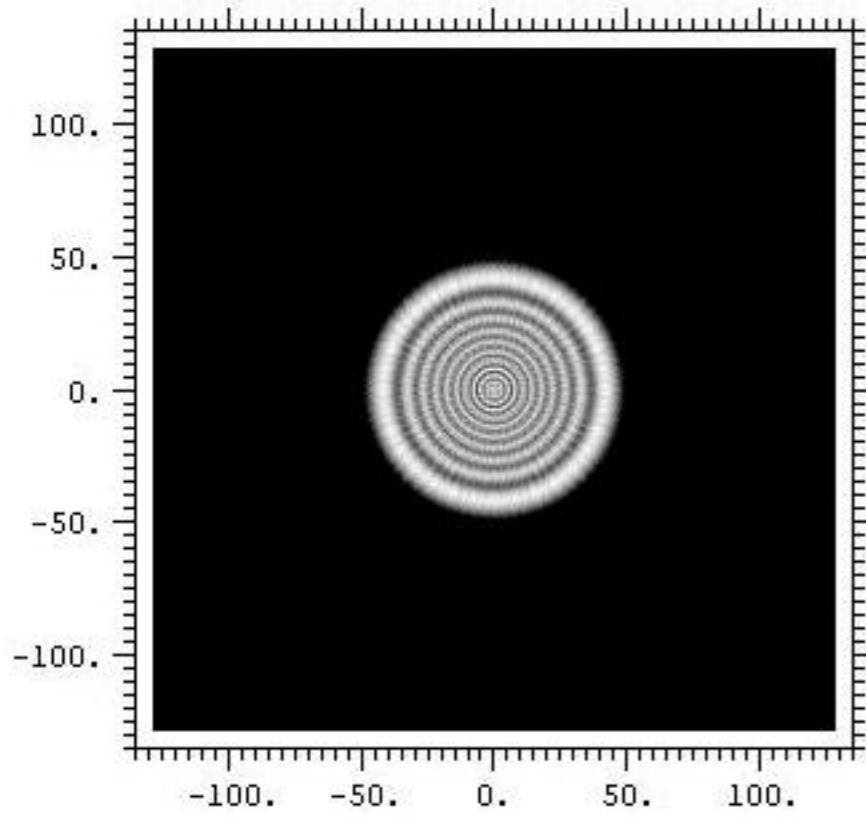
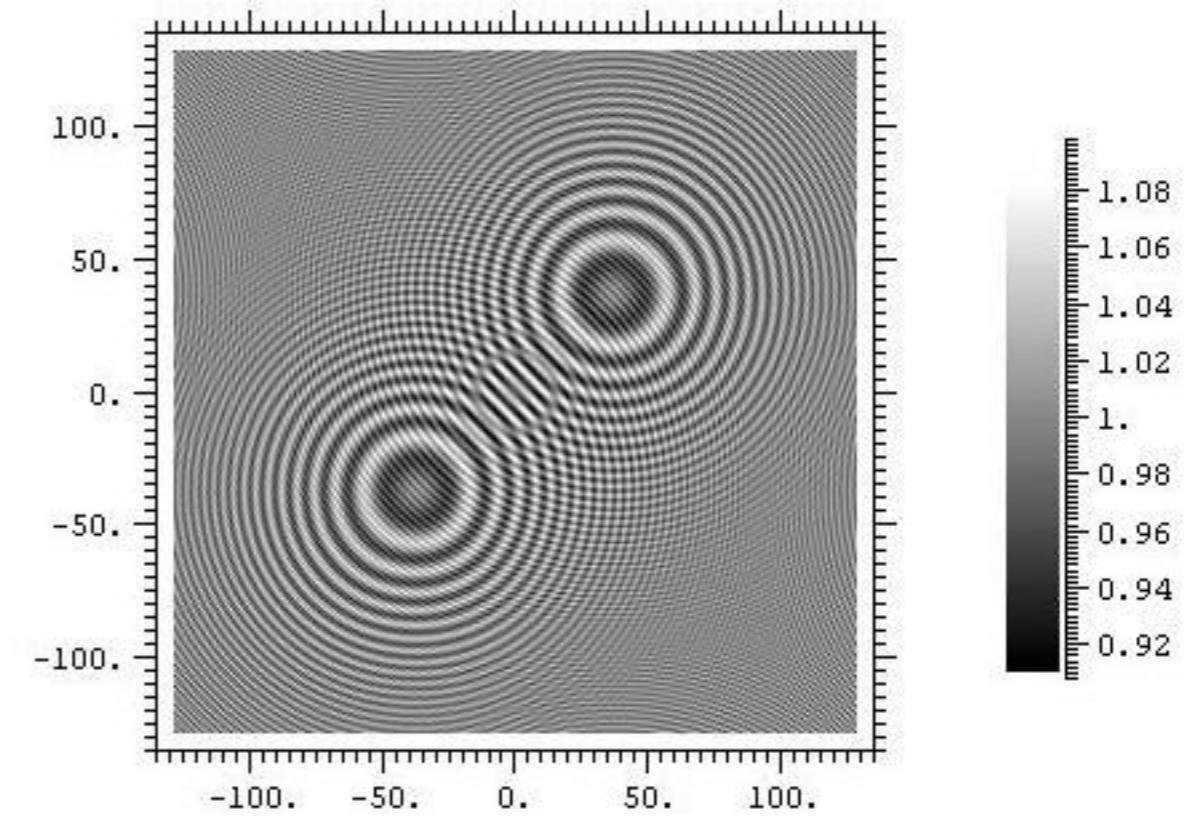
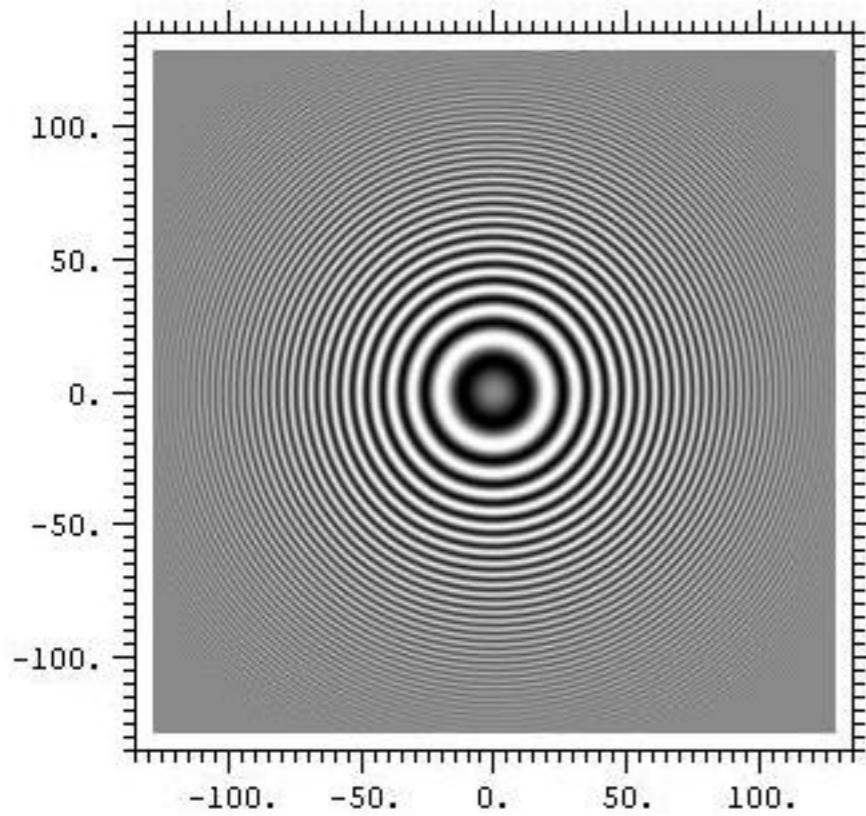
$$P(x,y)(z) = (1/i\lambda z) \exp(i\pi(x^2 + y^2)/\lambda z)$$

Свертка вычисляется методом двойной процедуры FFT

Реально возможная сетка точек:

для 2D матрицы не более 2048x2048

для 1D матрицы не более 65536 = 2^{16}



Для численных экспериментов выбраны две линейные ЗП,
радиус первой зоны = 5 мкм, число зон = 624,
ширина крайней зоны = 0.1 мкм, апертура = 250 мкм.

Расчетная область = 655 мкм, число точек сетки FFT = 65536.

Энергия = 12.4 кэв, длина волны = 1 ангстрем.

Фокусное расстояние ЗП: $F = 25$ см.

Расстояние от точечного источника до первой ЗП: $r_0 = 50$ м,
фокусное расстояние для двух ЗП вычисляется по формуле

$$r_1 = L + F (1 - L A) / (1 + (F - L) A), \quad A = 1/F - 1/r_0.$$

где L - расстояние между двумя ЗП.

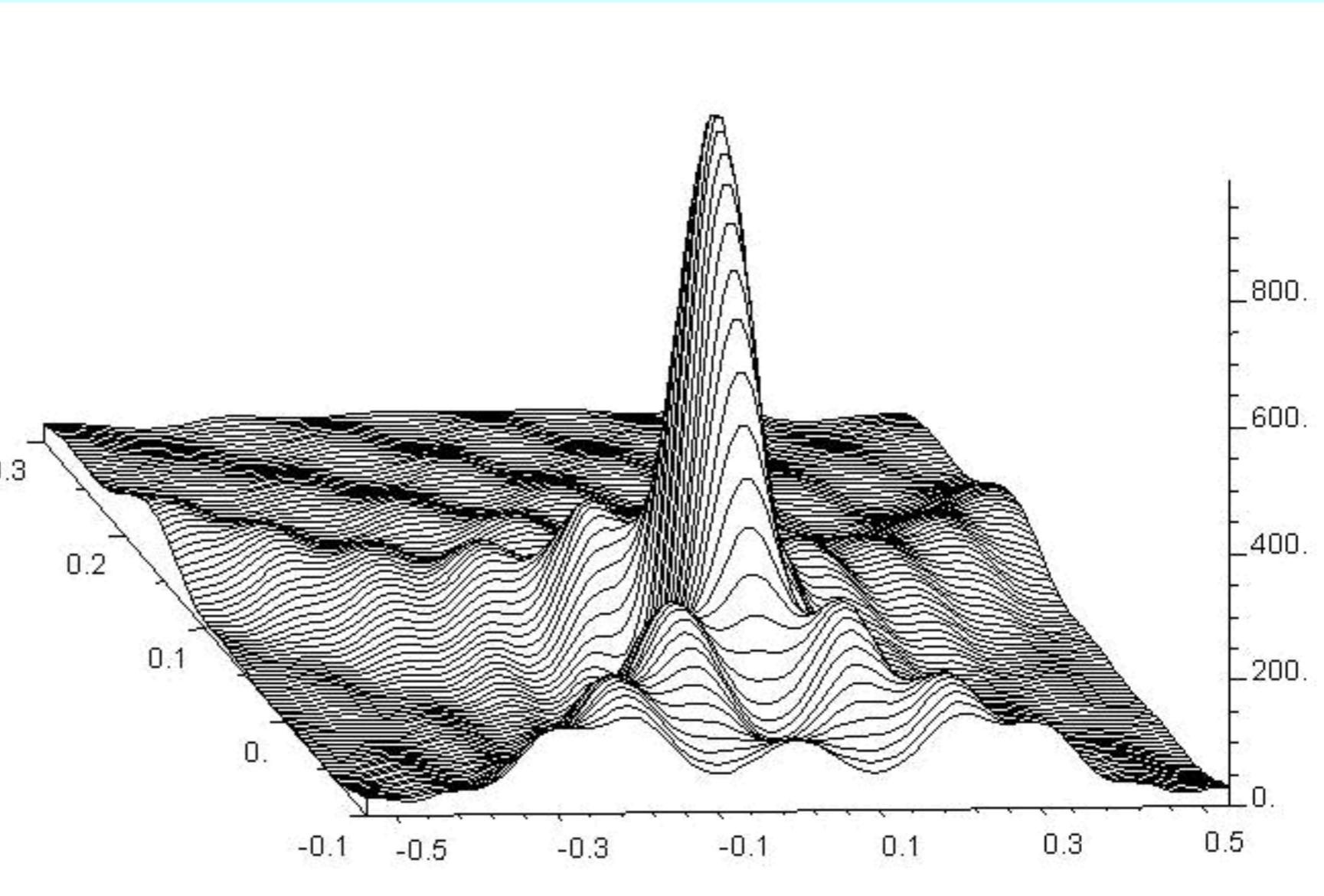




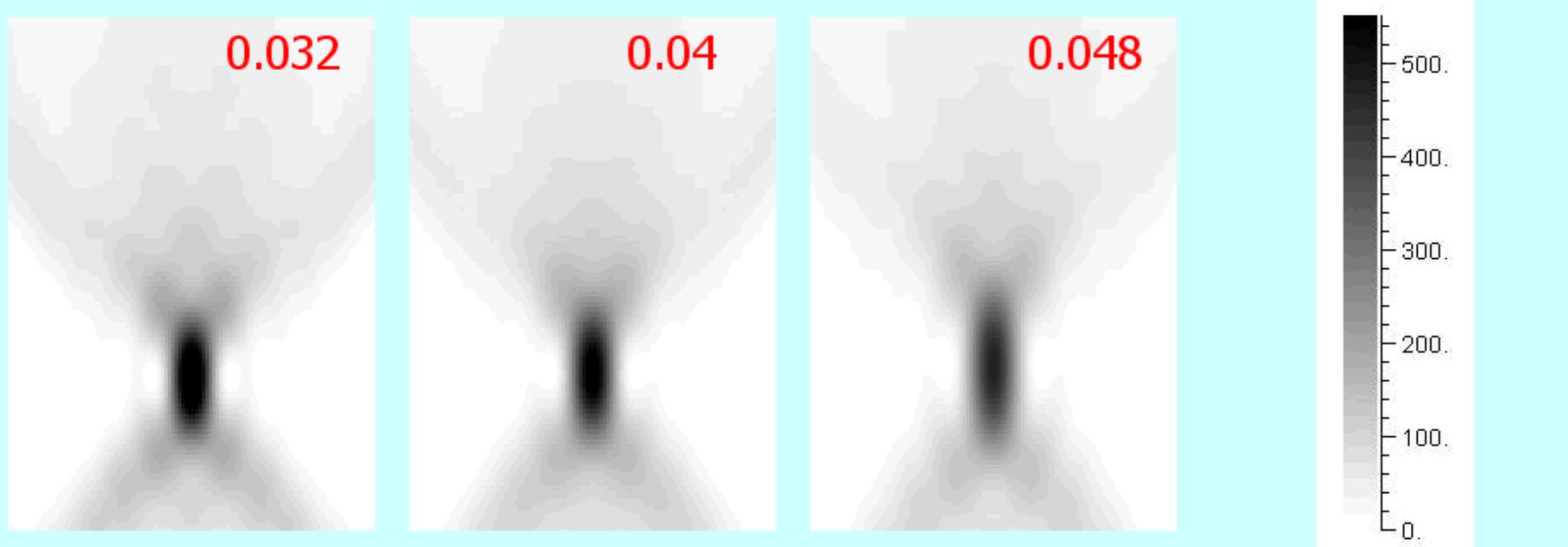
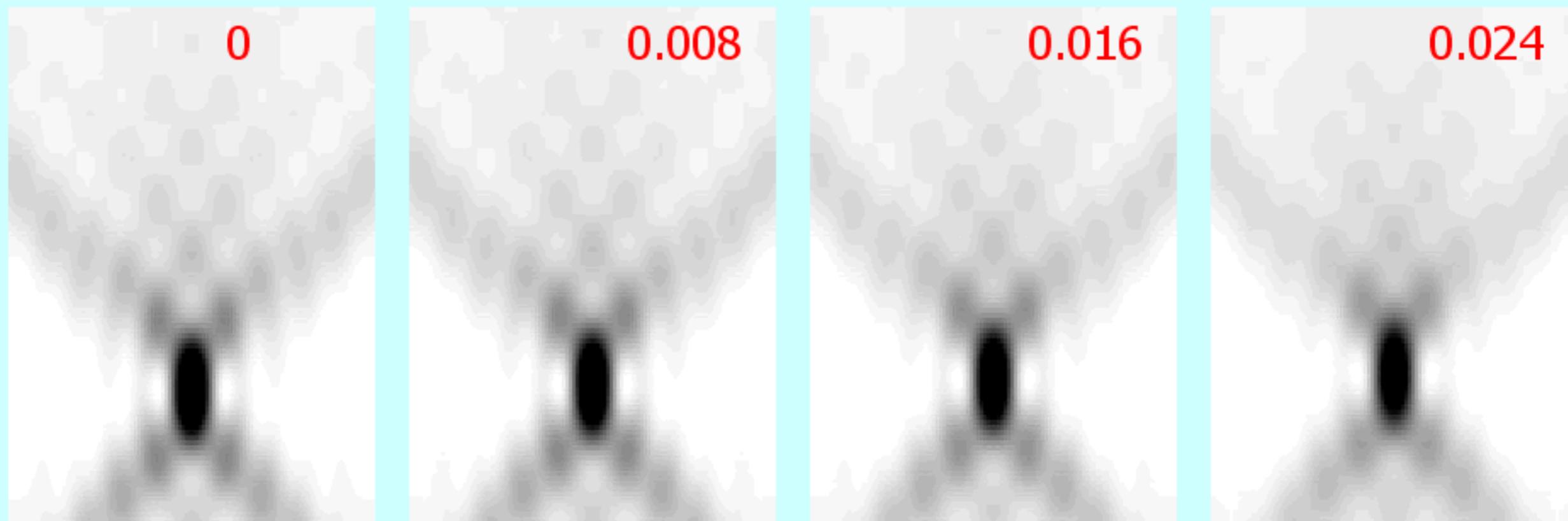
0.4 см

1.08 $\mu\text{м}$

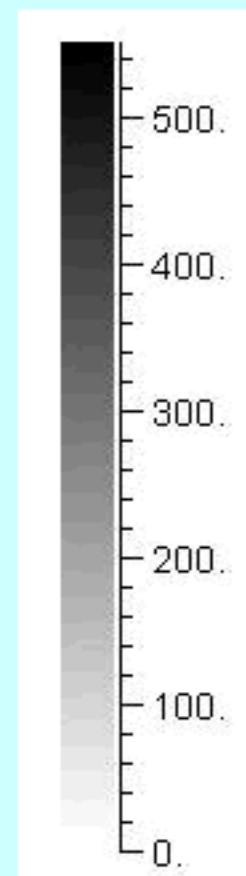
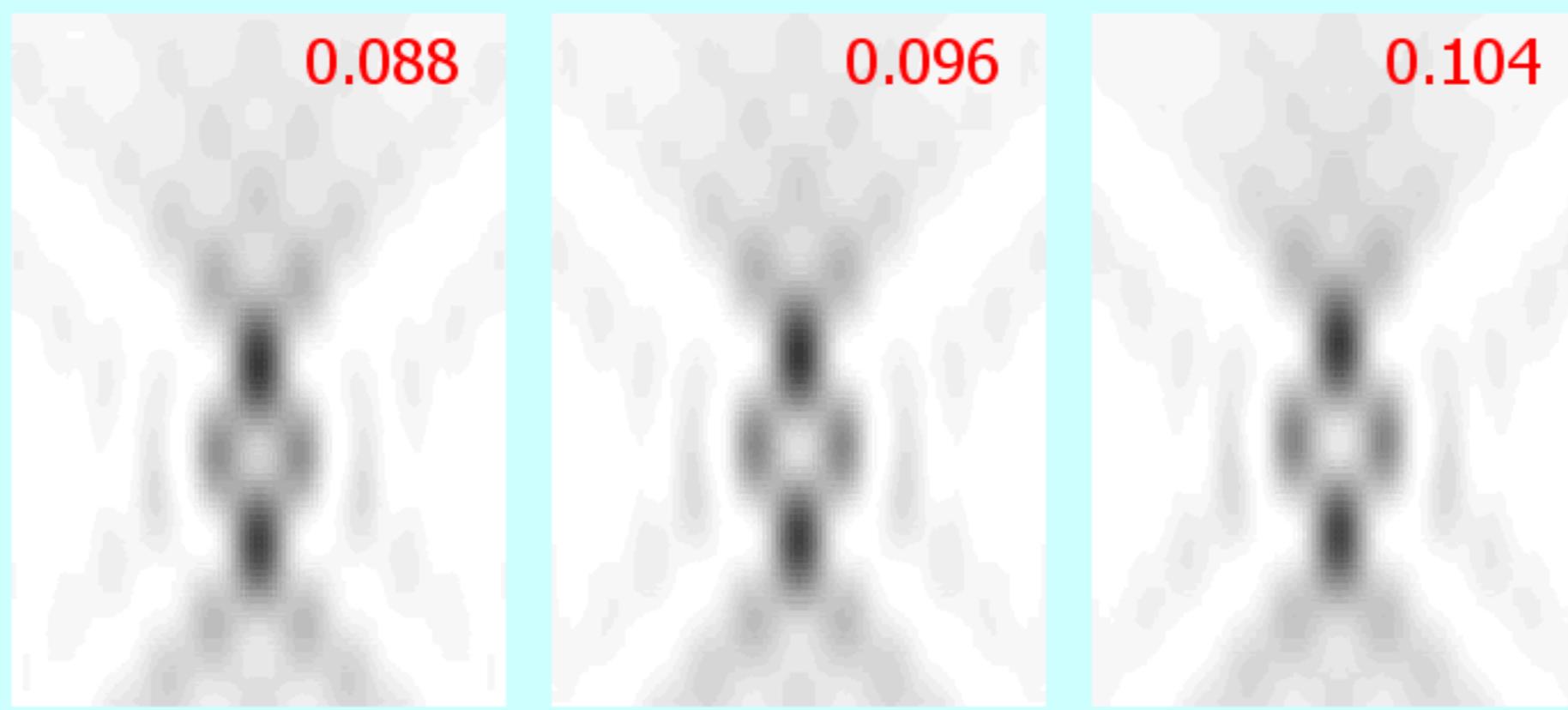
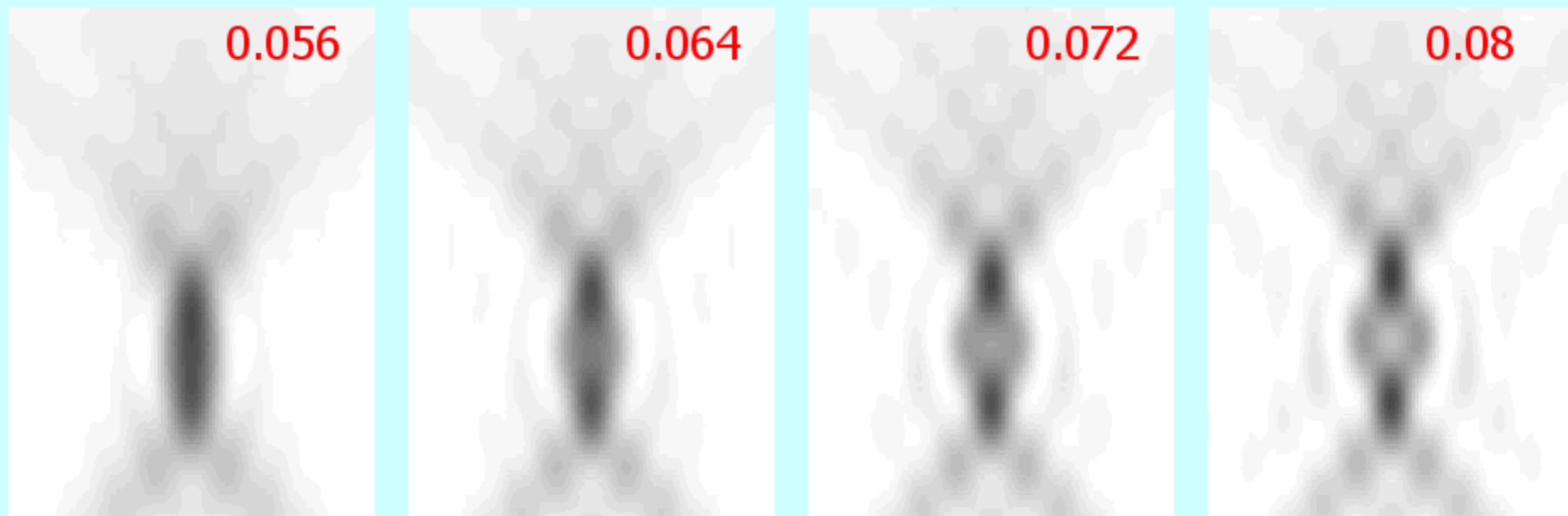
z (cm)
x ($\mu\text{м}$)



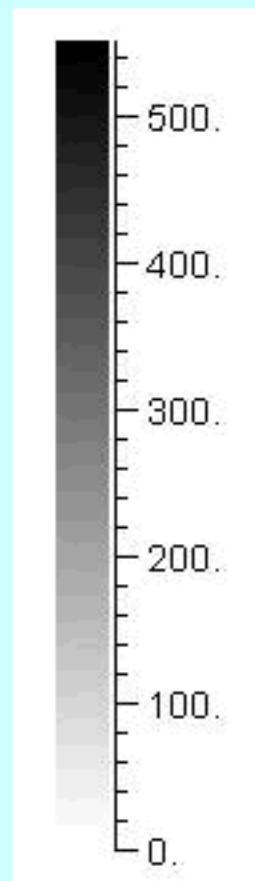
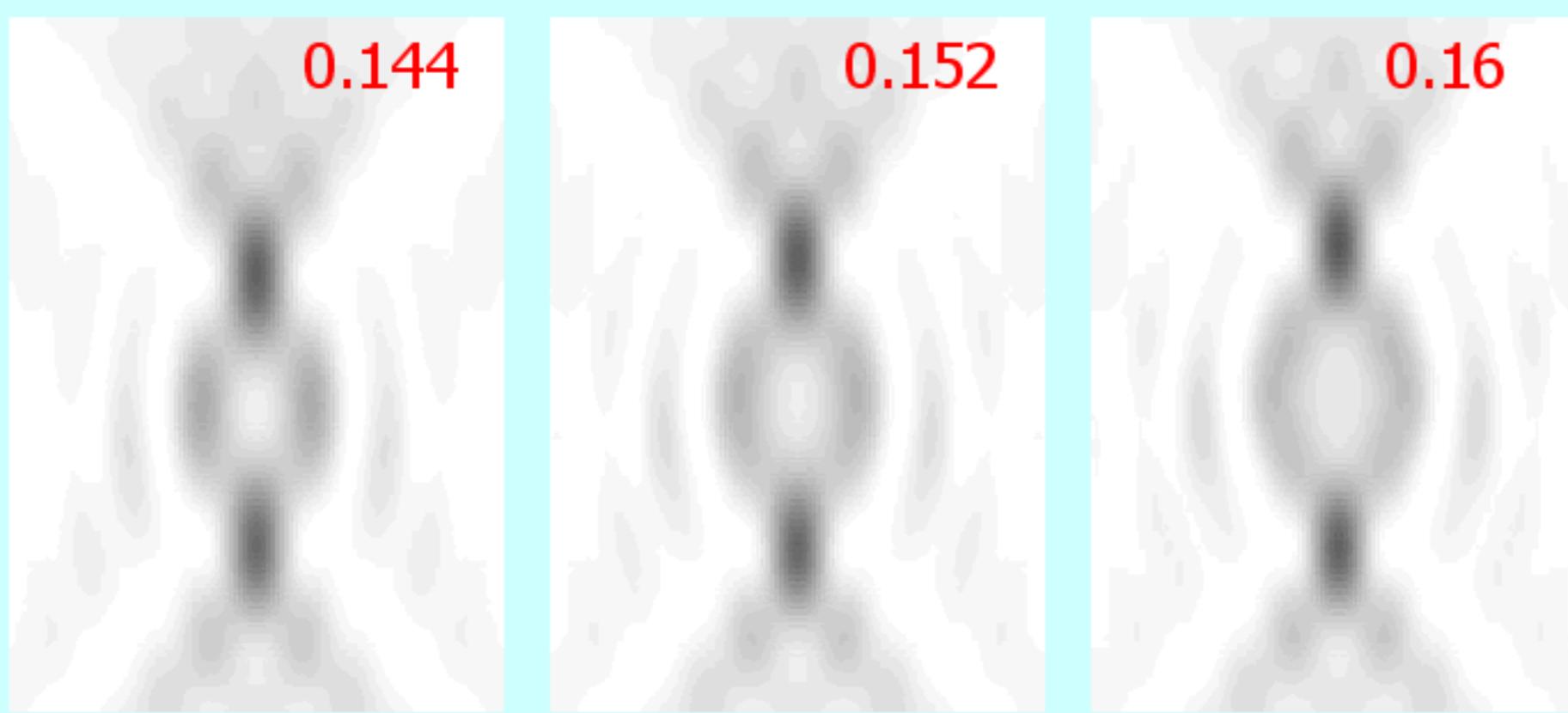
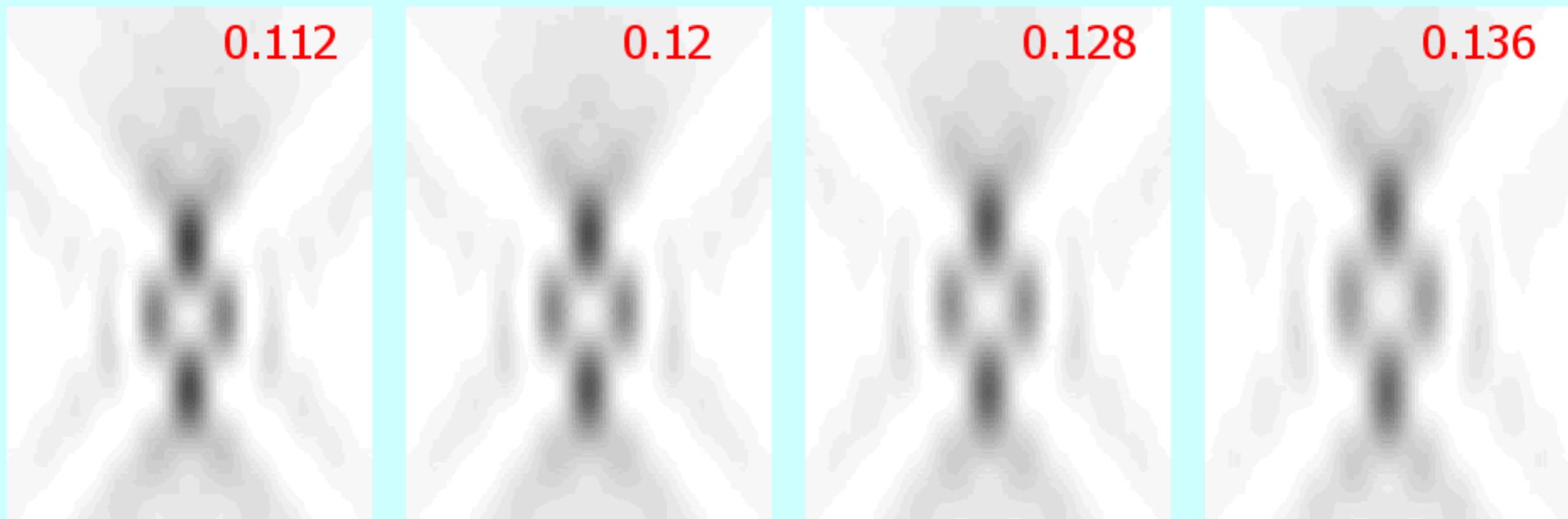
Две ЗП, сдвиг фазы $\pi/2$ в каждой без зазора, работают как одна ЗП с фазовым сдвигом π .
В каждом сечении из 65536 точек берется всего 108 точек.



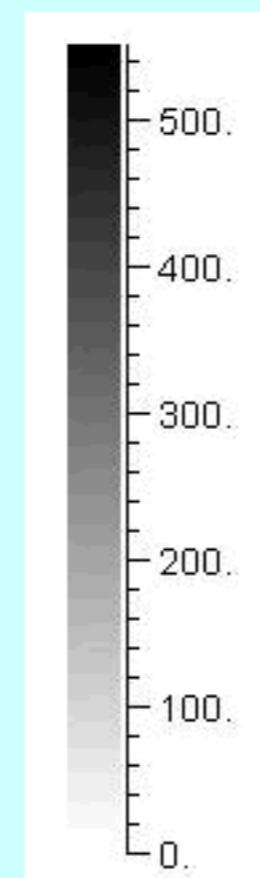
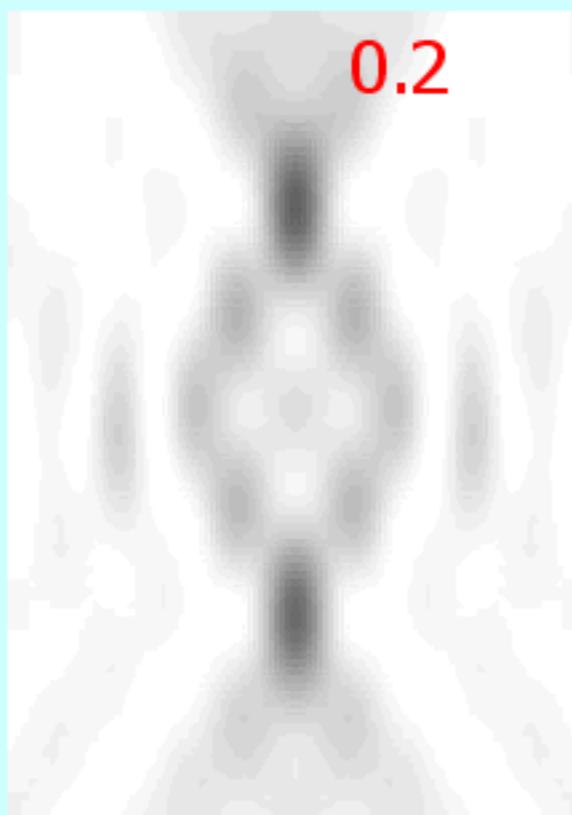
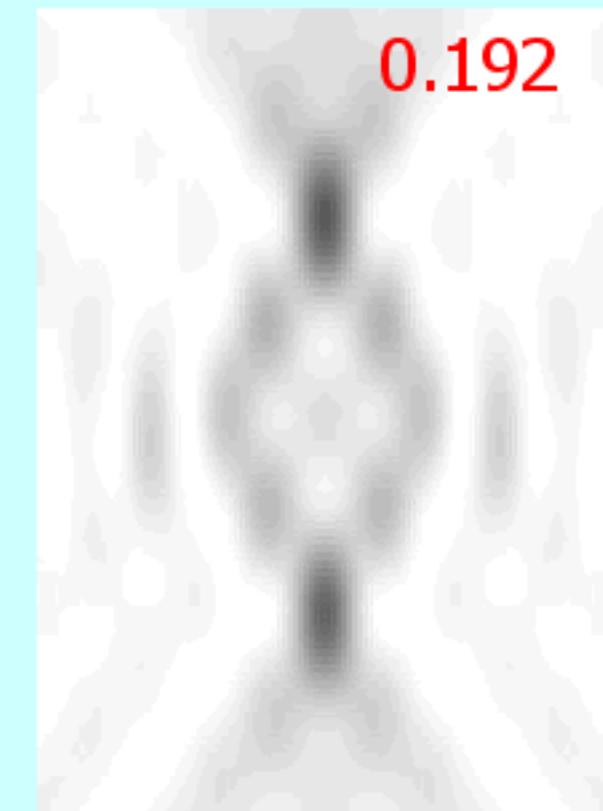
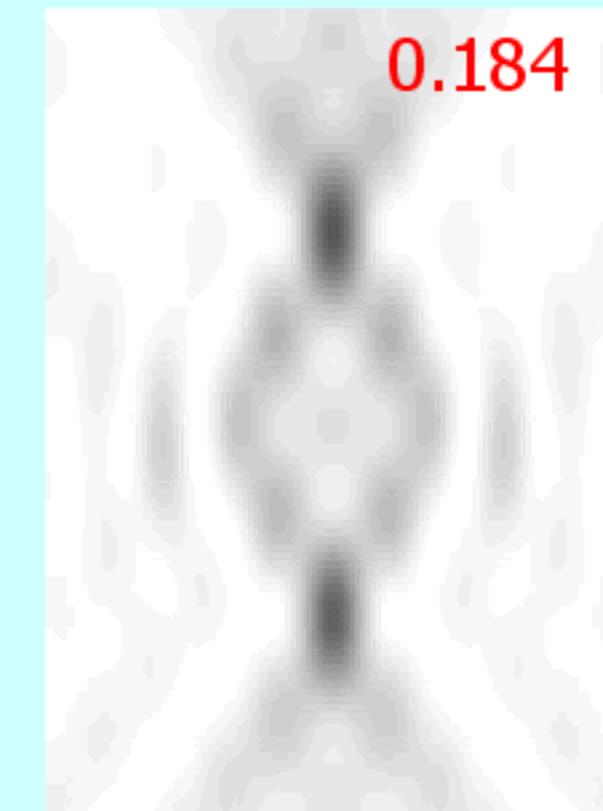
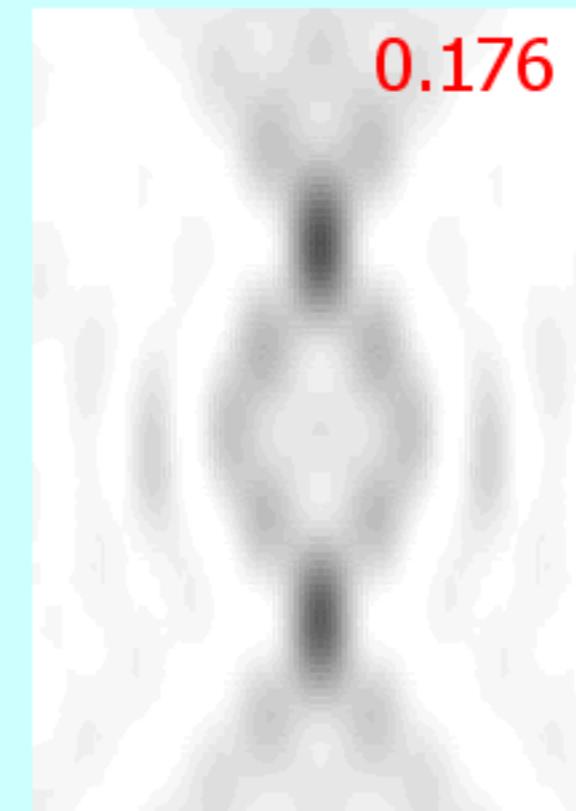
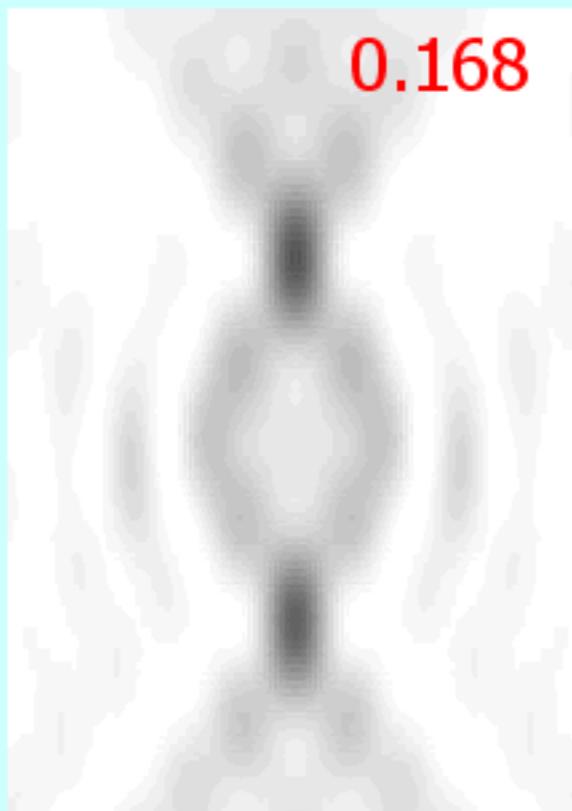
цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.



цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.



цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.

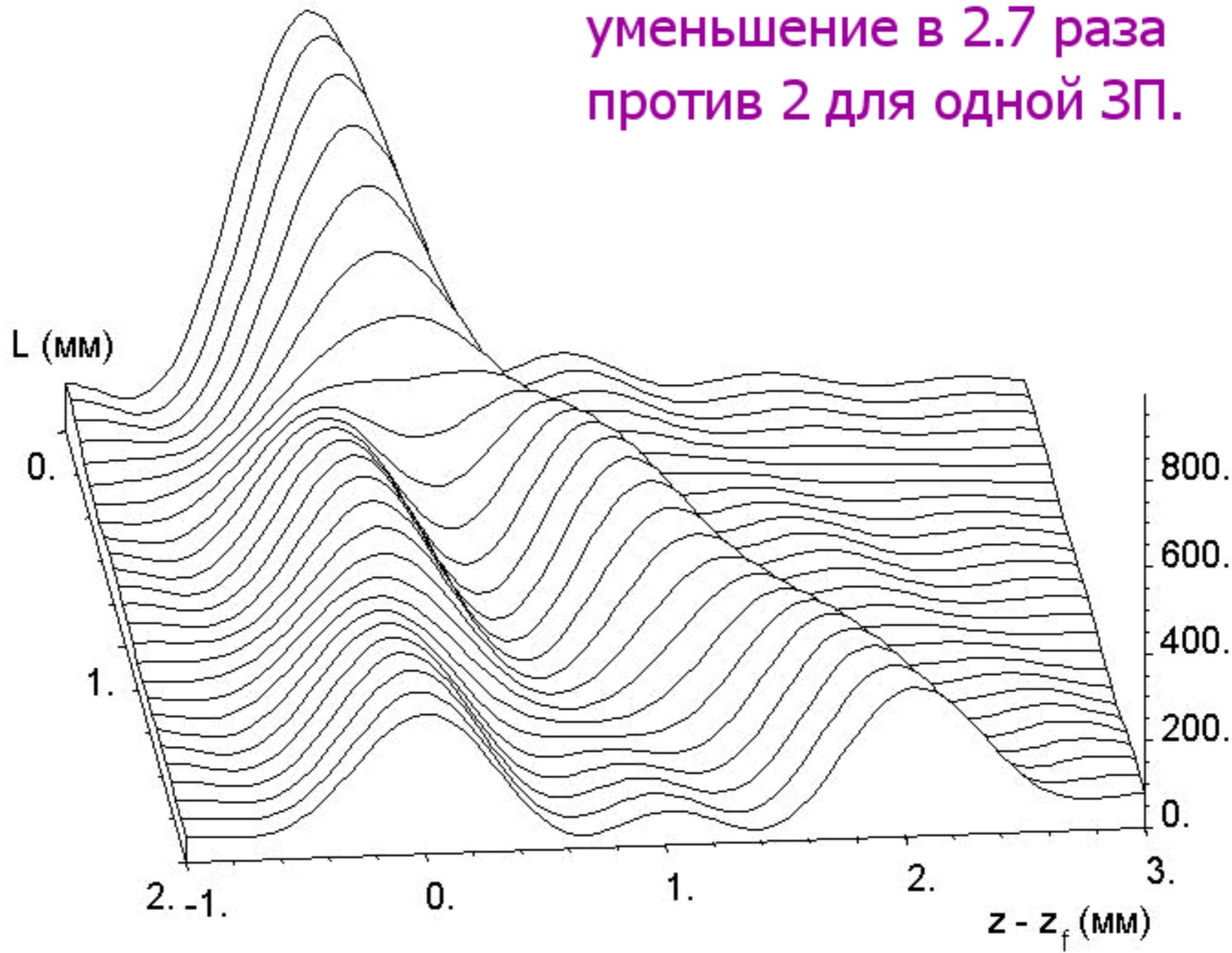


Главный вывод:
при зазоре равном примерно
глубине резкости фокуса две ЗП
фокусируют независимо нулевой
порядок друг друга.

цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.

Сечения вдоль оптической оси в зависимости от величины зазора между двумя ЗП

Максимум 950 --> 350
уменьшение в 2.7 раза
против 2 для одной ЗП.

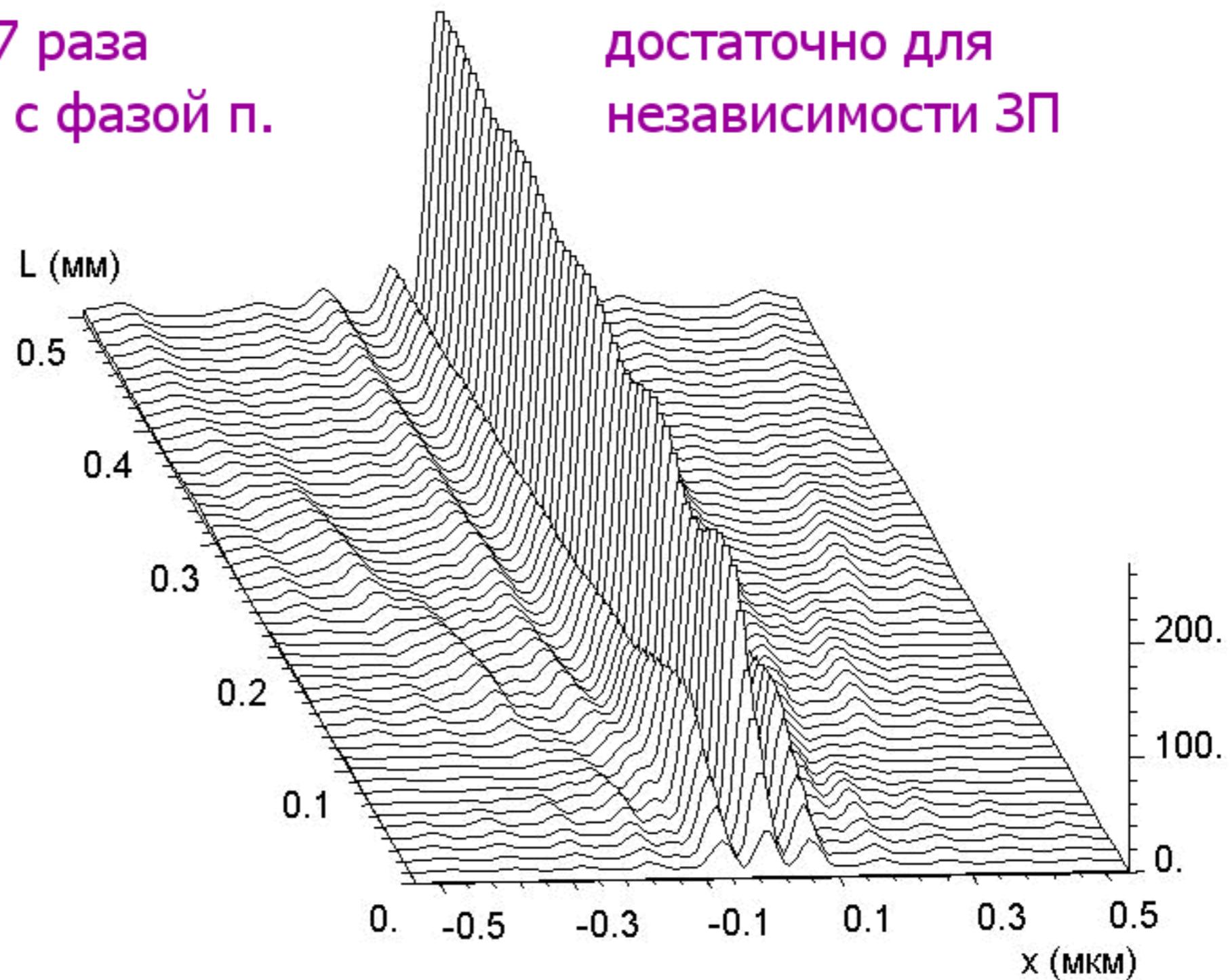


Две ЗП с фазой π не фокусируют ни вместе ни отдельно (нет нулевого порядка). Есть только общий фокус, зависящий от величины зазора, на расстоянии около 12.5 см

Максимум 950 \rightarrow 260
уменьшение в 3.7 раза
против одной ЗП с фазой π .

Очень малого зазора
достаточно для
независимости ЗП

Результат
неочевидный !



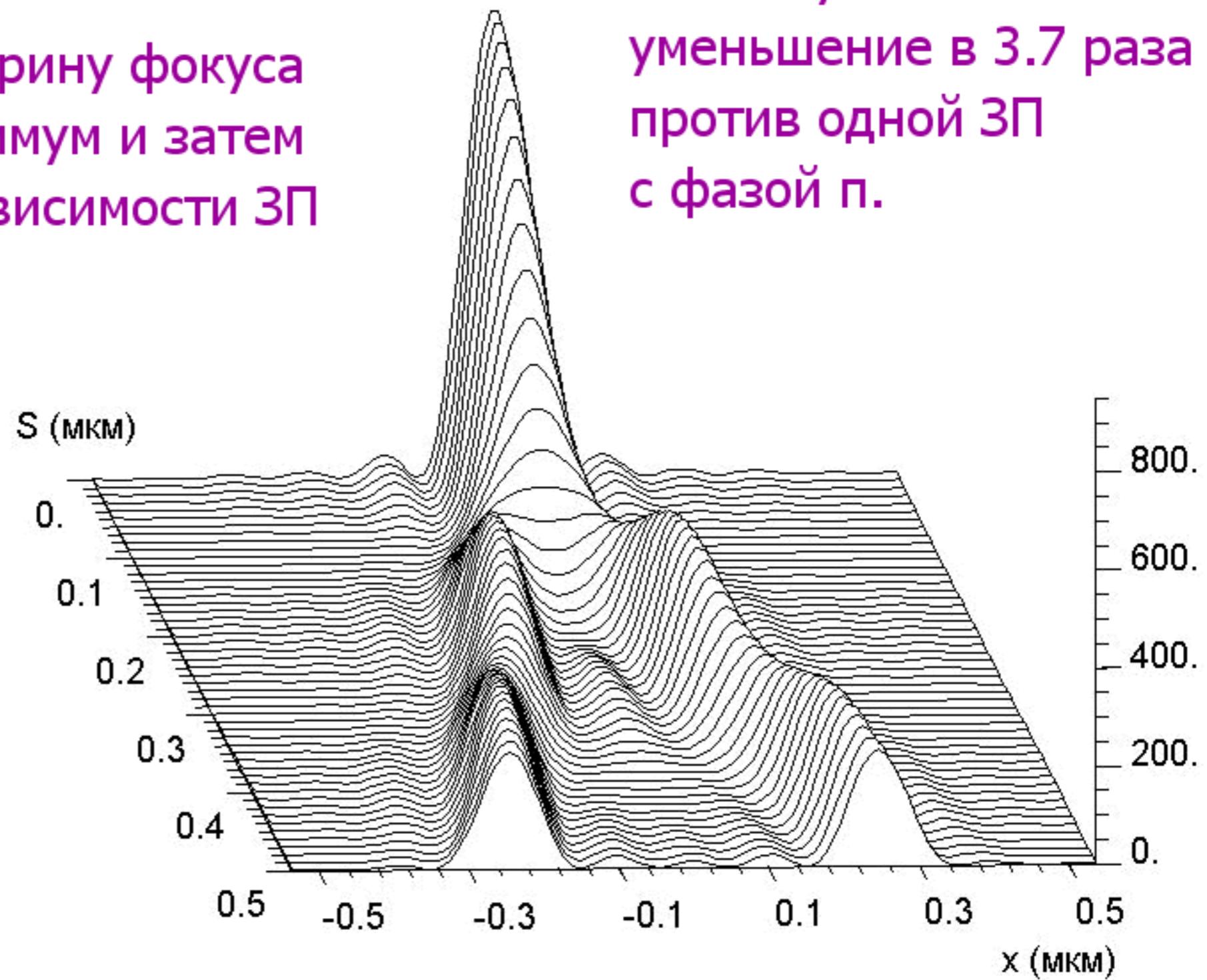
Две ЗП с фазой $\pi/2$ и с нулевым зазором.

Зависимость от поперечного сдвига S в области фокуса.

Смещение на ширину фокуса уменьшает максимум и затем приводит к независимости ЗП

Максимум 950 --> 260
уменьшение в 3.7 раза
против одной ЗП
с фазой π .

Результат
предсказуемый



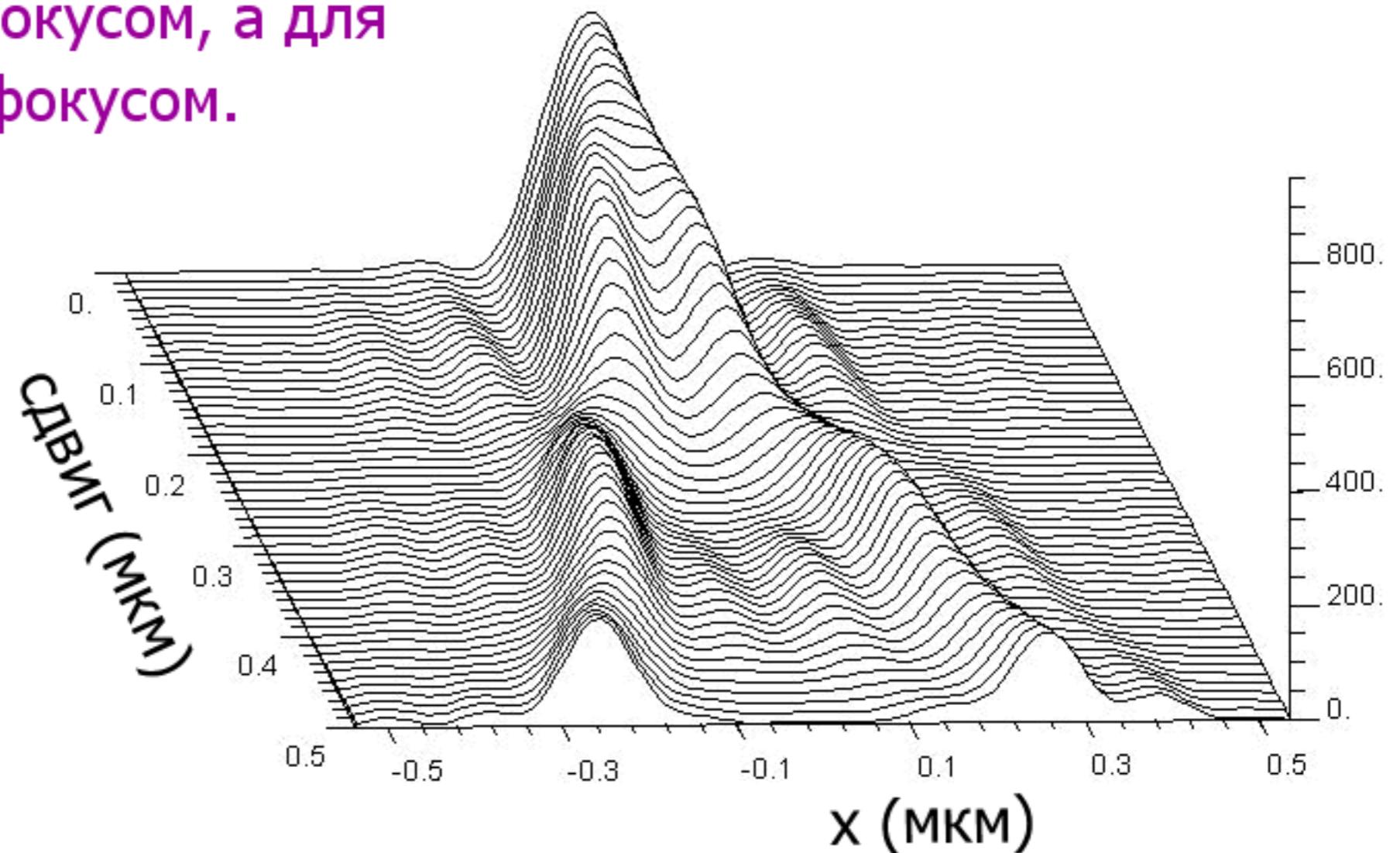
Две ЗП с фазой $\pi/2$ и с зазором $L = 0.5$ мм.

Зависимость от поперечного сдвига в области фокуса.

Фокусное расстояние считается от середины зазора.

Асимметрия связана с тем, что для первой ЗП данное расстояние за фокусом, а для второй - перед фокусом.

Максимум меньше 950 уже при нулевом сдвиге. Первая ЗП сдвинута влево, а вторая - вправо.



Две ЗП с фазой $\pi/2$ без зазора.

Муар в области апертуры ЗП при поперечном сдвиге.

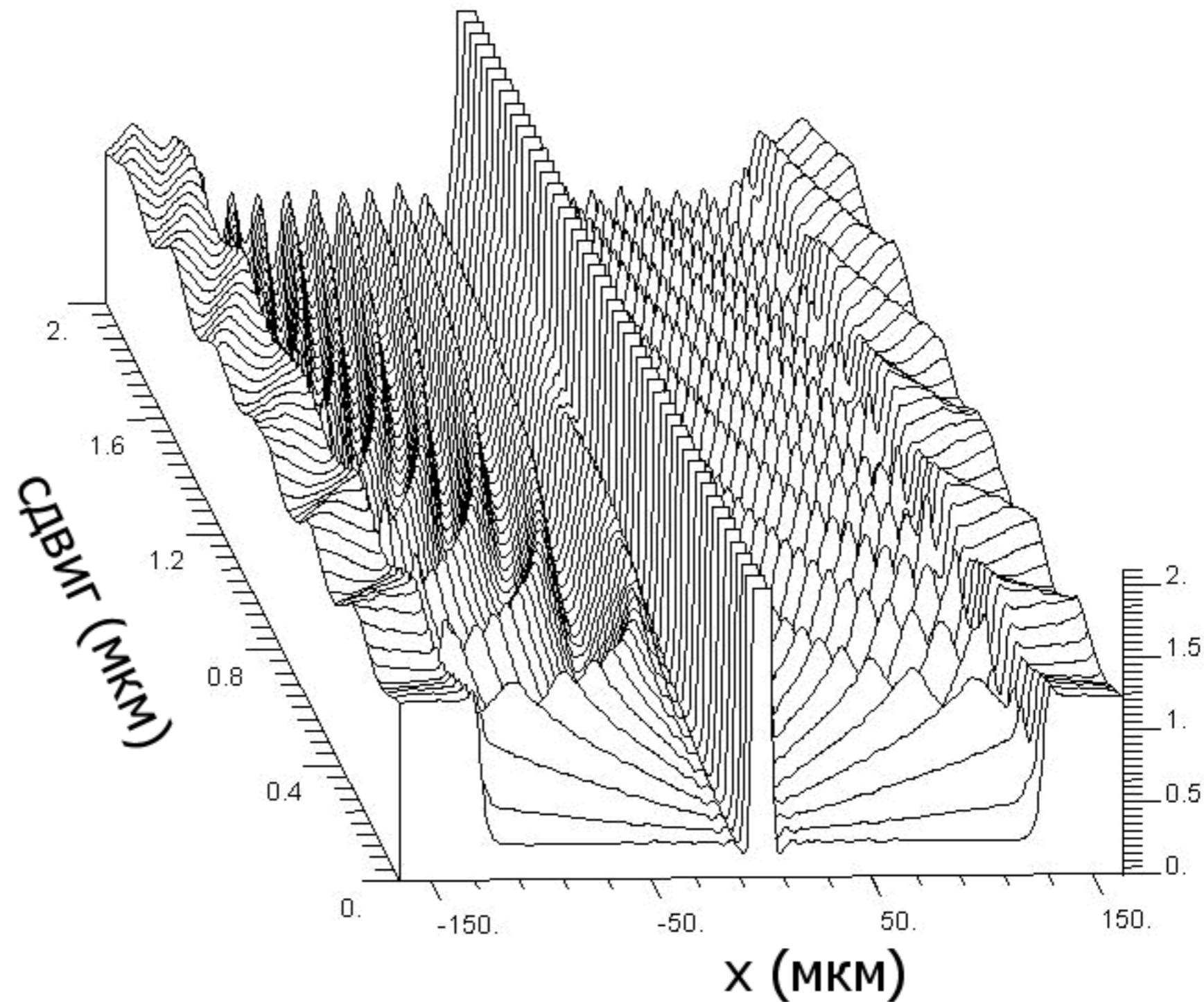
Половина расчетной области просуммирована 64 точки в одну и затем 512 точек сглажены сверткой с гауссом с сигмой = 3 точки.

Муар неоднородный.

Минимумы через раз
то глубже, то выше.

Глубокие минимумы
продолжаются
в минимумах за
пределами апертуры.

Фокус обрезан
на высоте = 2.



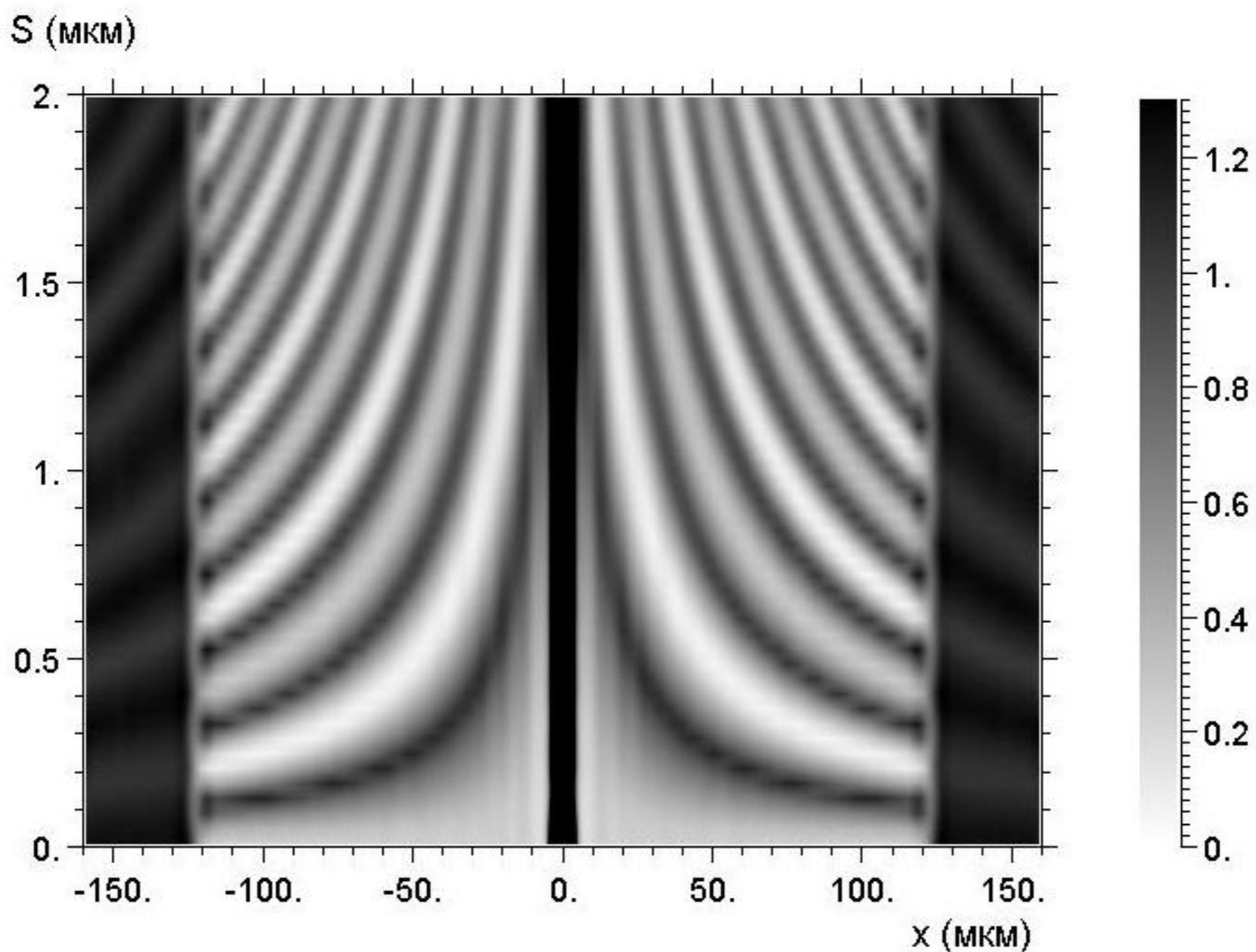
Две ЗП с фазой $\pi/2$ без зазора.

Муар в области апертуры ЗП при поперечном сдвиге.

Расстояние между полосами (период) оценивается по формуле

$$d = r_1^2 / S, \text{ где } S - \text{сдвиг, } r_1 - \text{радиус первой зоны ЗП.}$$

При $r_1 = 5 \text{ мкм}, S = 2 \text{ мкм}$ получаем $d = 12.5 \text{ мкм.}$



**Благодарю
за
внимание**