

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

Кон Виктор Германович
РНЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"

<http://kohnvict.chat.ru>



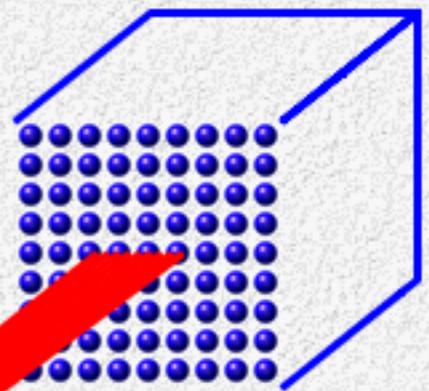


СИ



Пучок СИ расходится
Иногда его нужно
фокусировать

Детектор

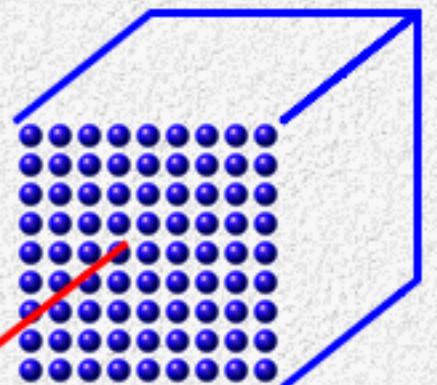
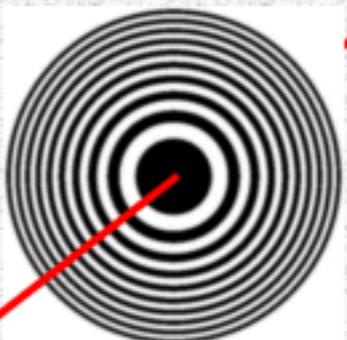


Одним из возможных фокусирующих элементов является зонная пластиинка Френеля (FZP).

Она дает фокус размером, равным ширине крайней зоны. Возможно изготовить FZP с размером крайней зоны 25 нм и менее

(Nature, v.435, p.1210, 2005)

СИ



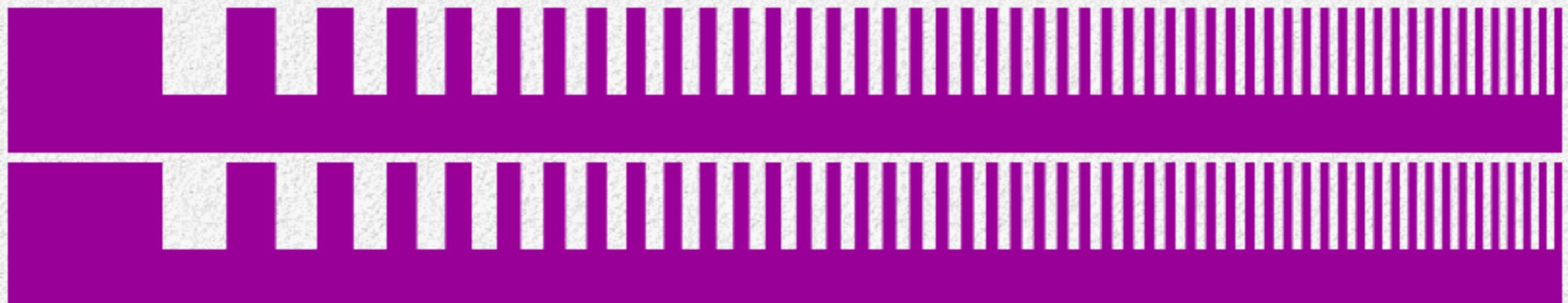
Детектор

*Проблема: для жесткого рентгена
велико аспектное отношение.*

Идея: заменить одну такую FZP

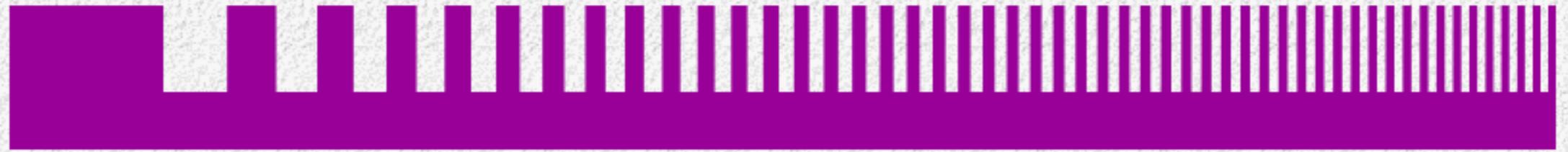
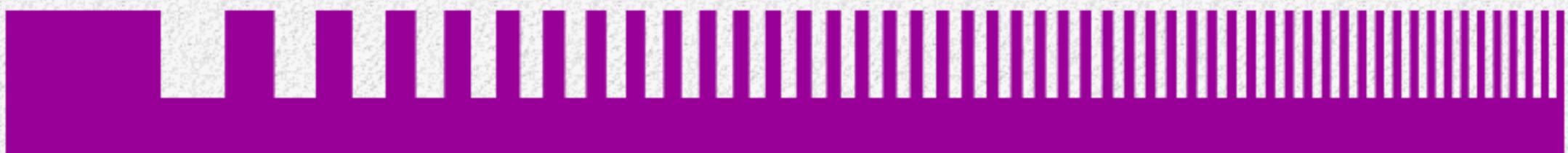


на две такие



Задача:

*понять допустимые пределы
на продольный зазор
и поперечный сдвиг*



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

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

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

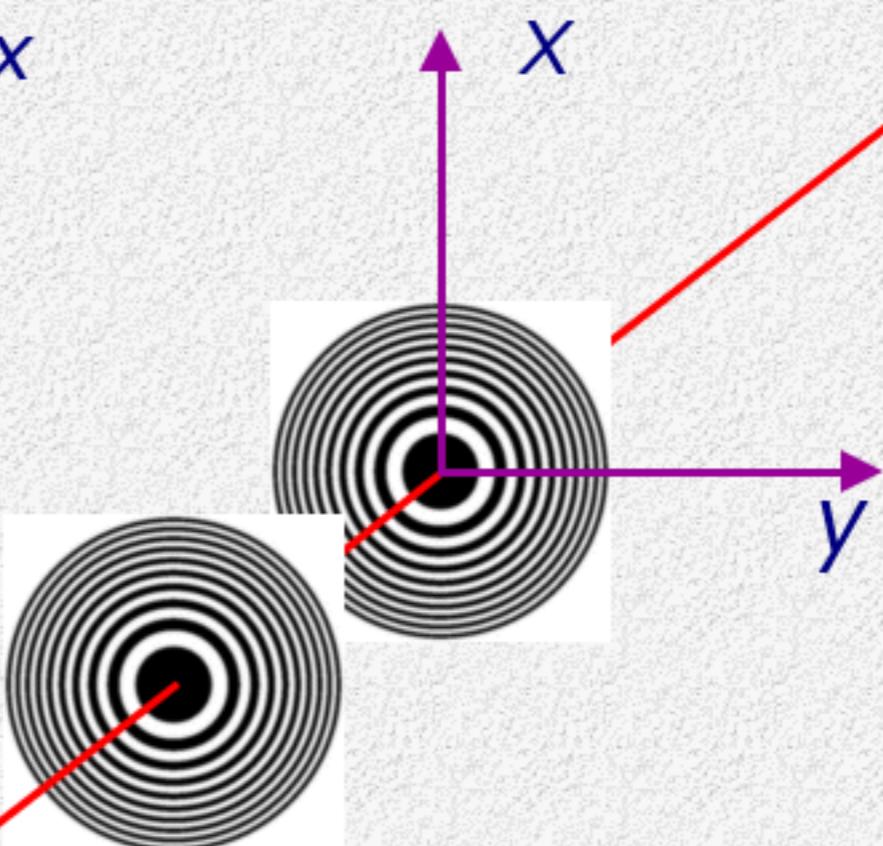
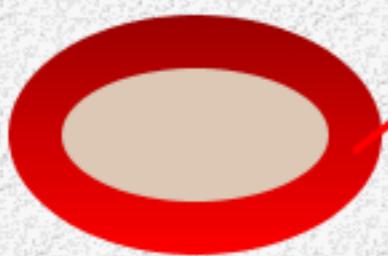
Свертка вычисляется методом двойной процедуры FFT

Реально возможная сетка точек:

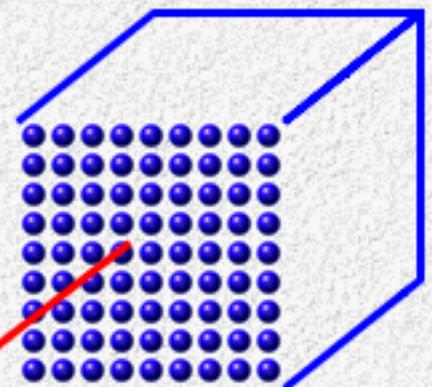
для 2D матрицы не более 2048x2048

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

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*



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.

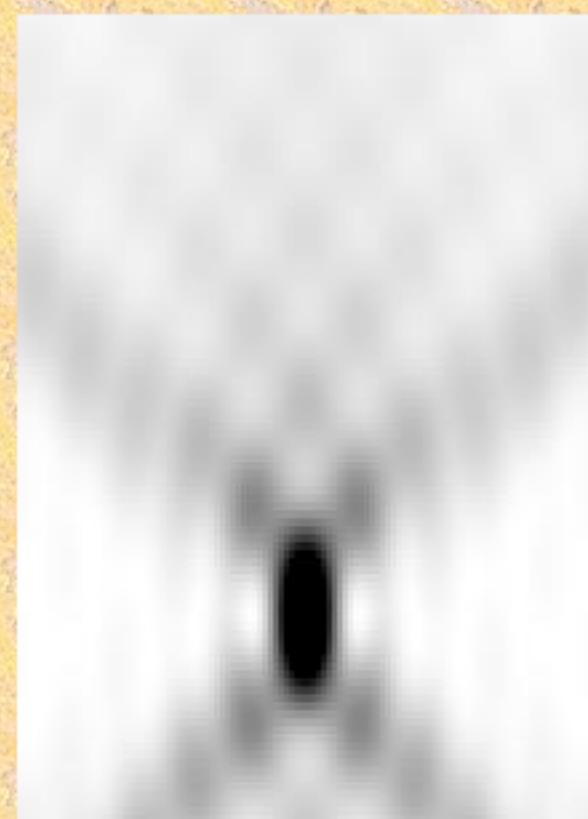
Расстояние от точечного источника до первой ЗП: $r_0 = 50$ м,
фокусное расстояние для двух ЗП вычисляется по формуле

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

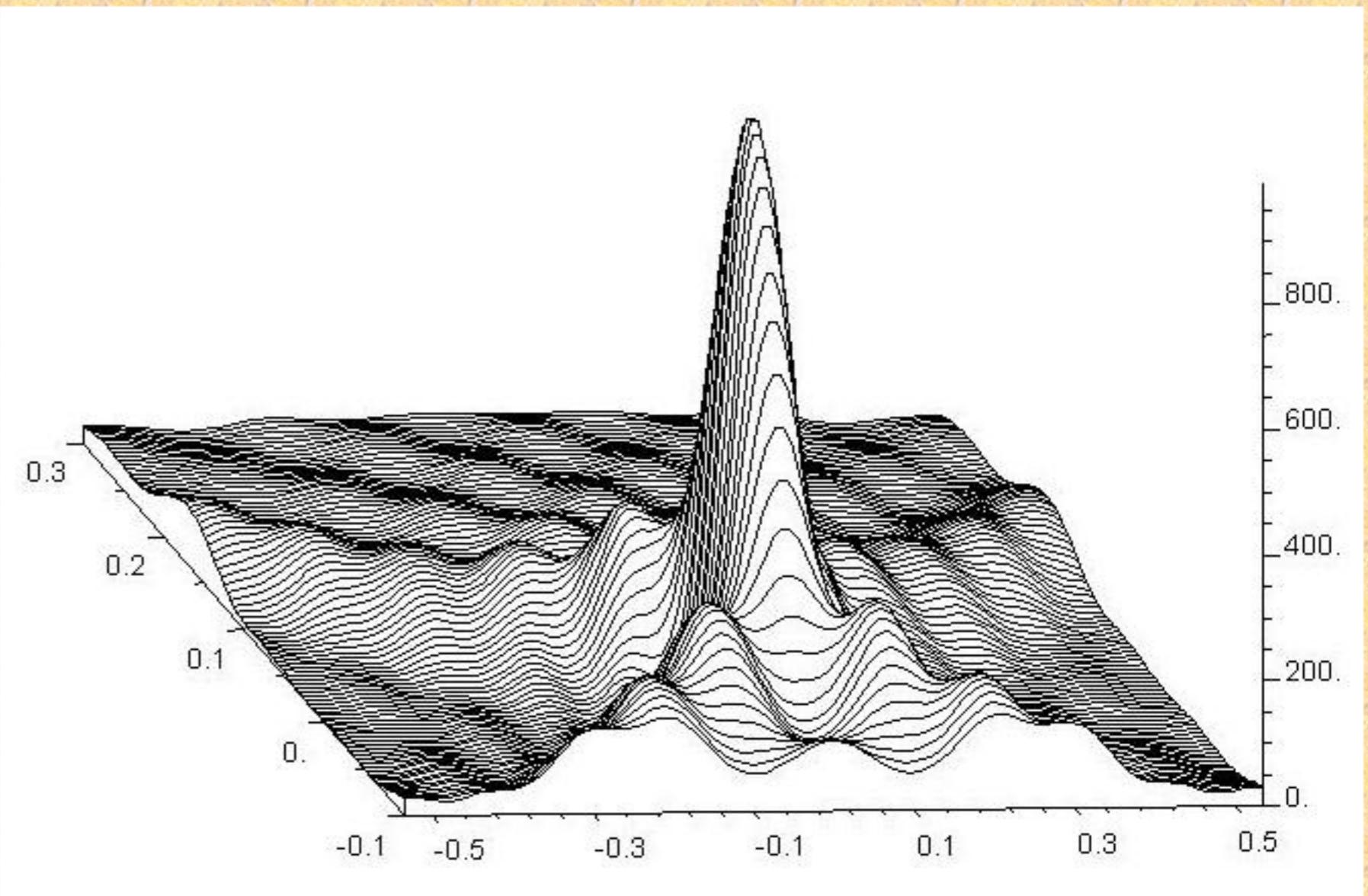
где L - расстояние между двумя ЗП.

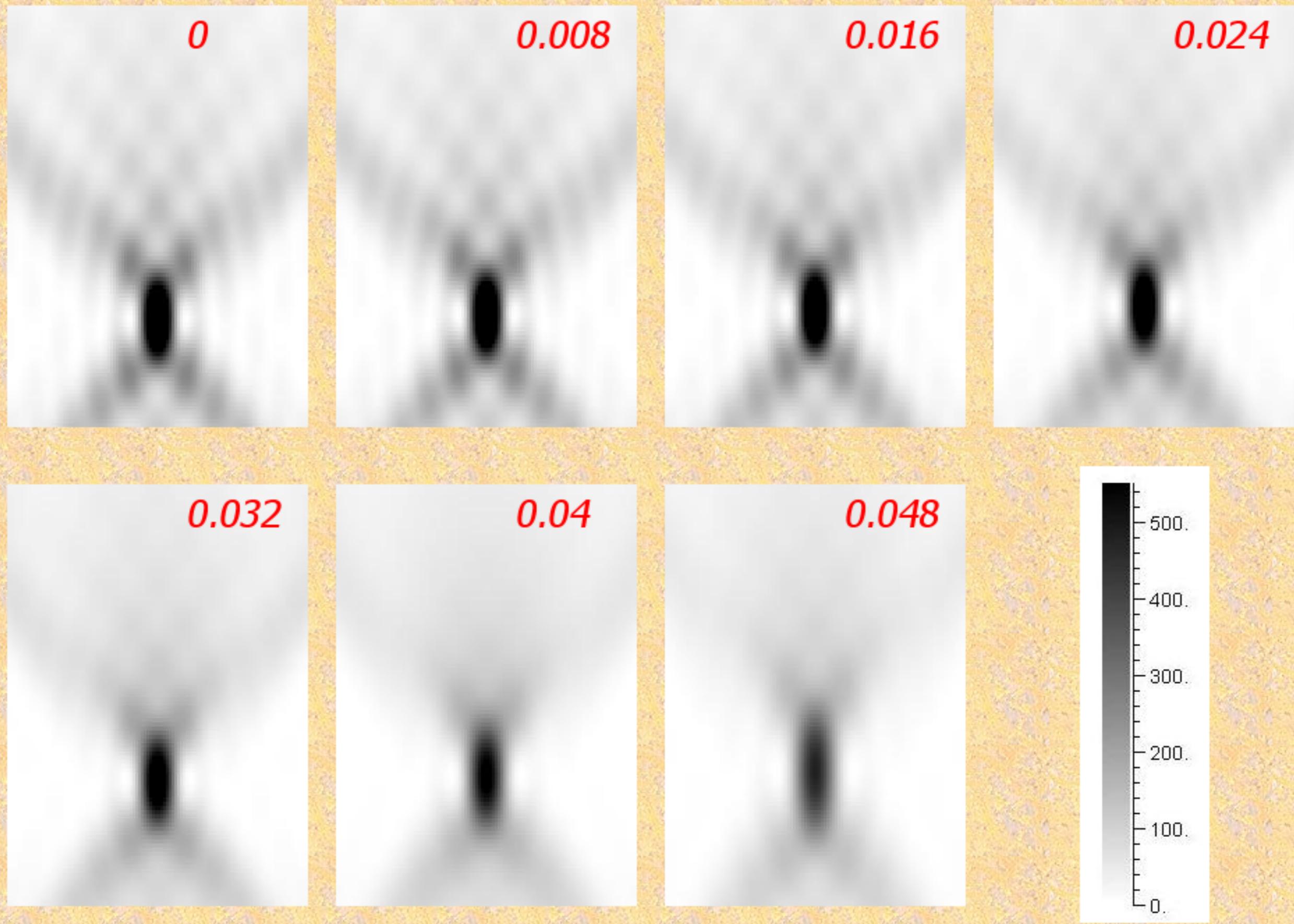
Две ЗП, сдвиг фазы $\pi/2$ в каждой без зазора, работают как одна ЗП с фазовым сдвигом π .

В каждом сечении из 65536 точек берется всего 108 точек.



z (cm)
 x (μm)

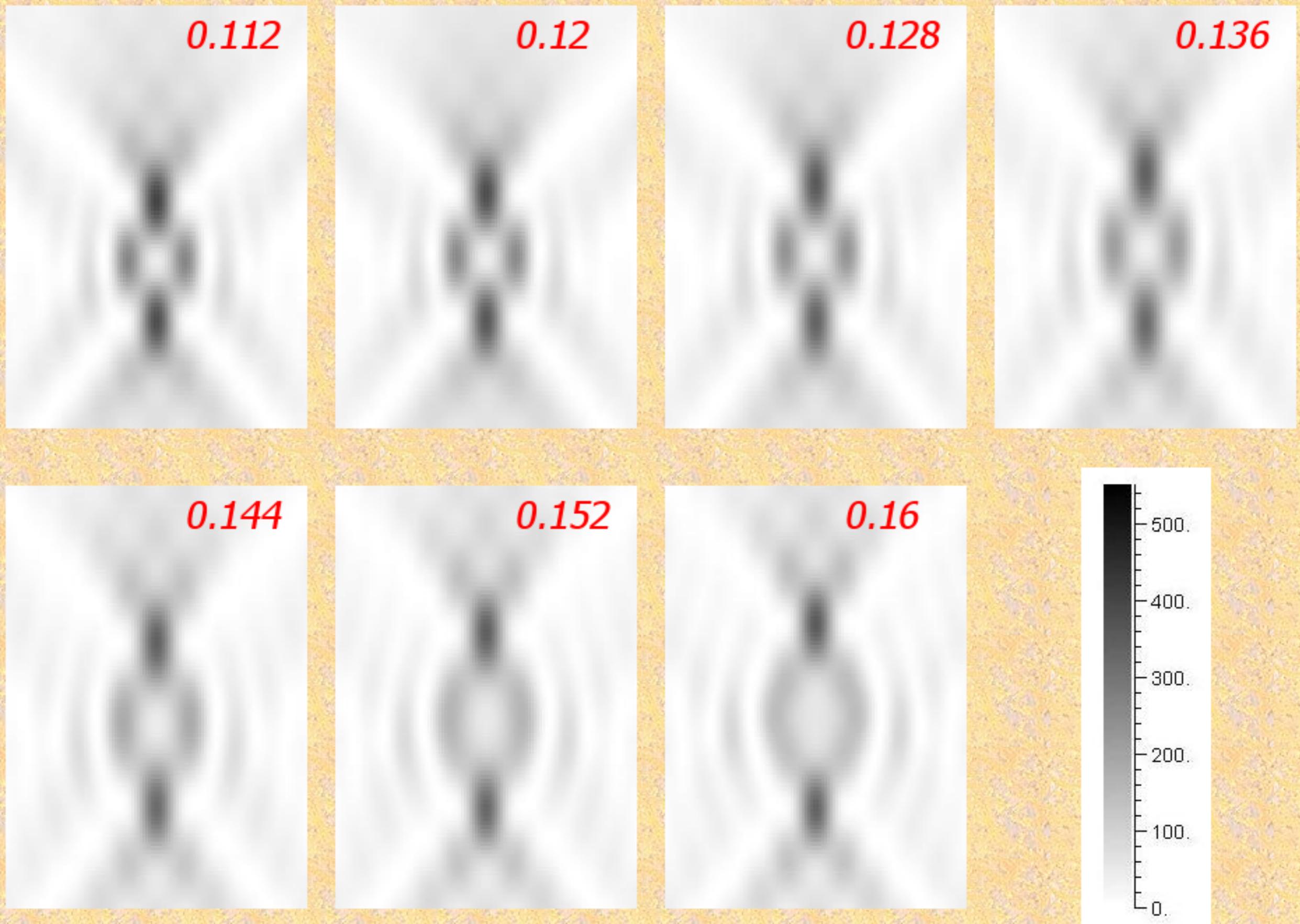




цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.



цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.



цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.

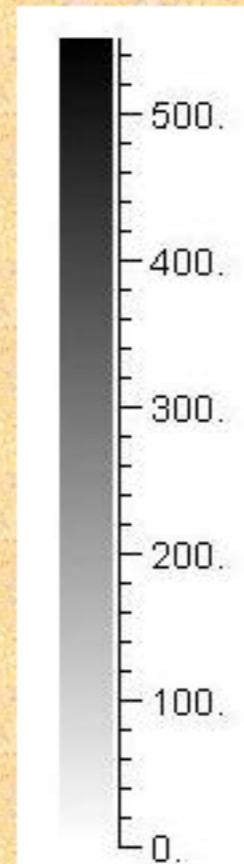
0.168

0.176

0.184

0.192

0.2

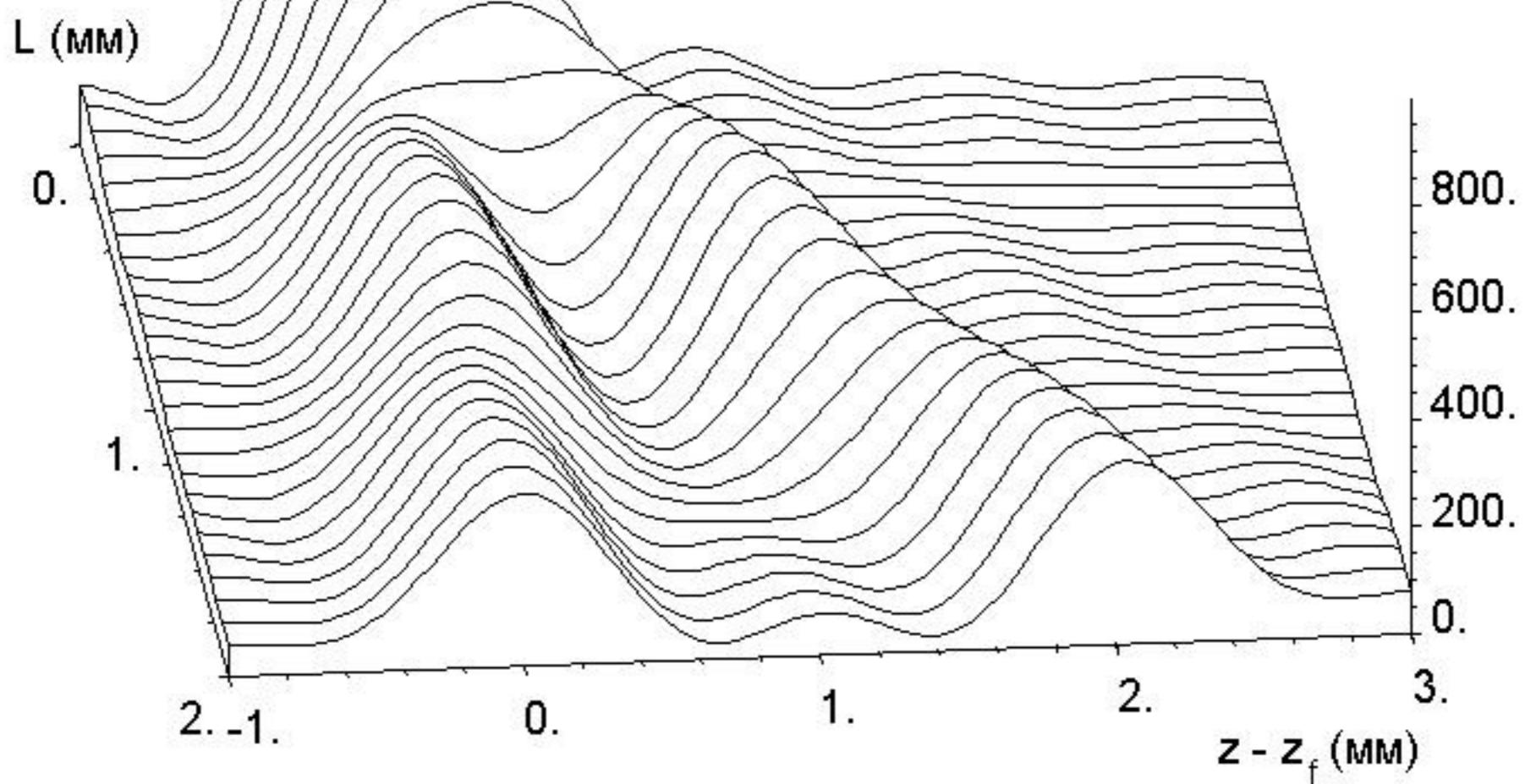


*Главный вывод:
при зазоре равном примерно
глубине резкости фокуса две ЗП
фокусируют независимо нулевой
порядок друг друга.*

цифры указывают зазор между двумя ЗП в см.

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

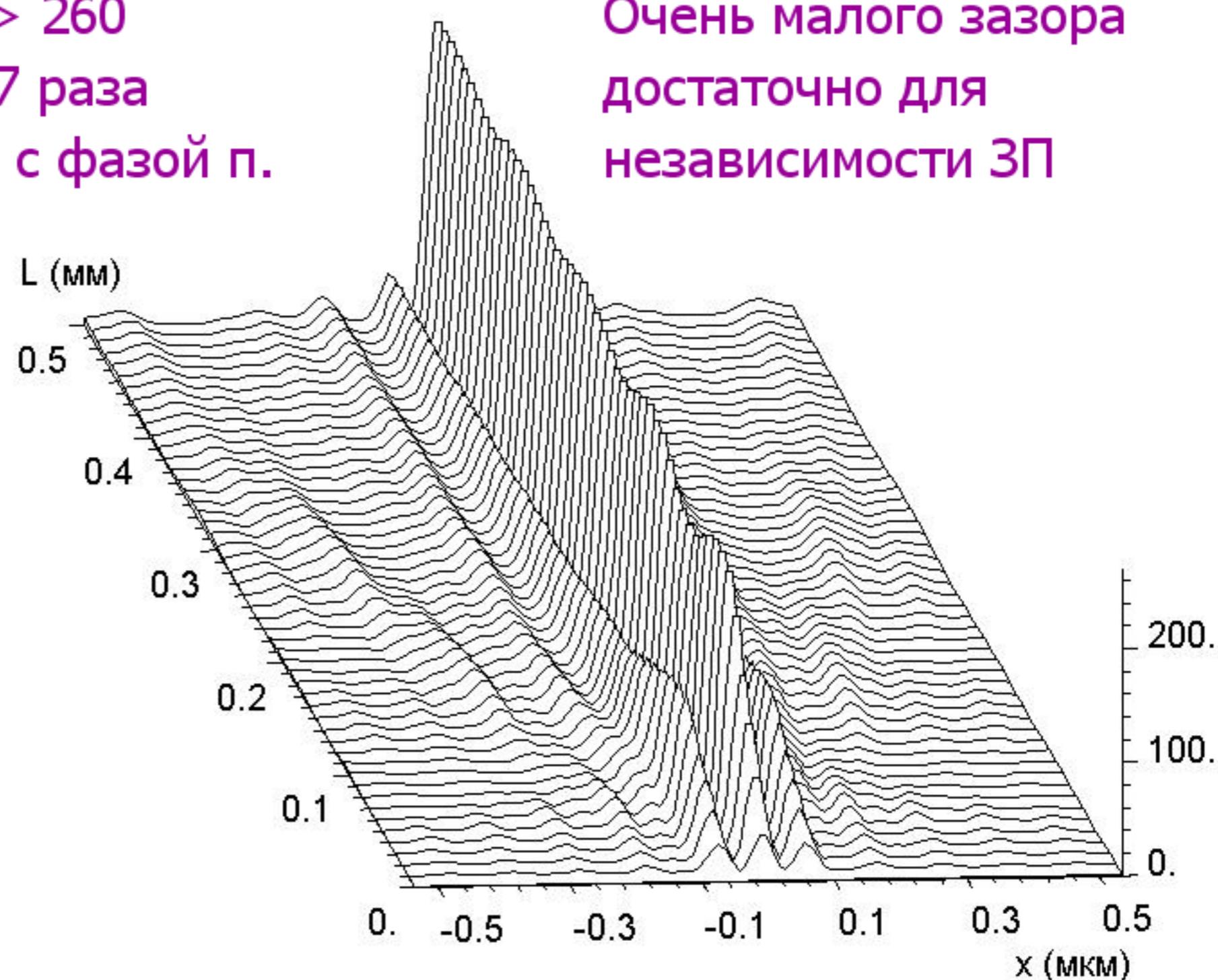
*Максимум 950 --> 350
уменьшение в 2.7 раза
против 2 для одной ЗП.*



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 !

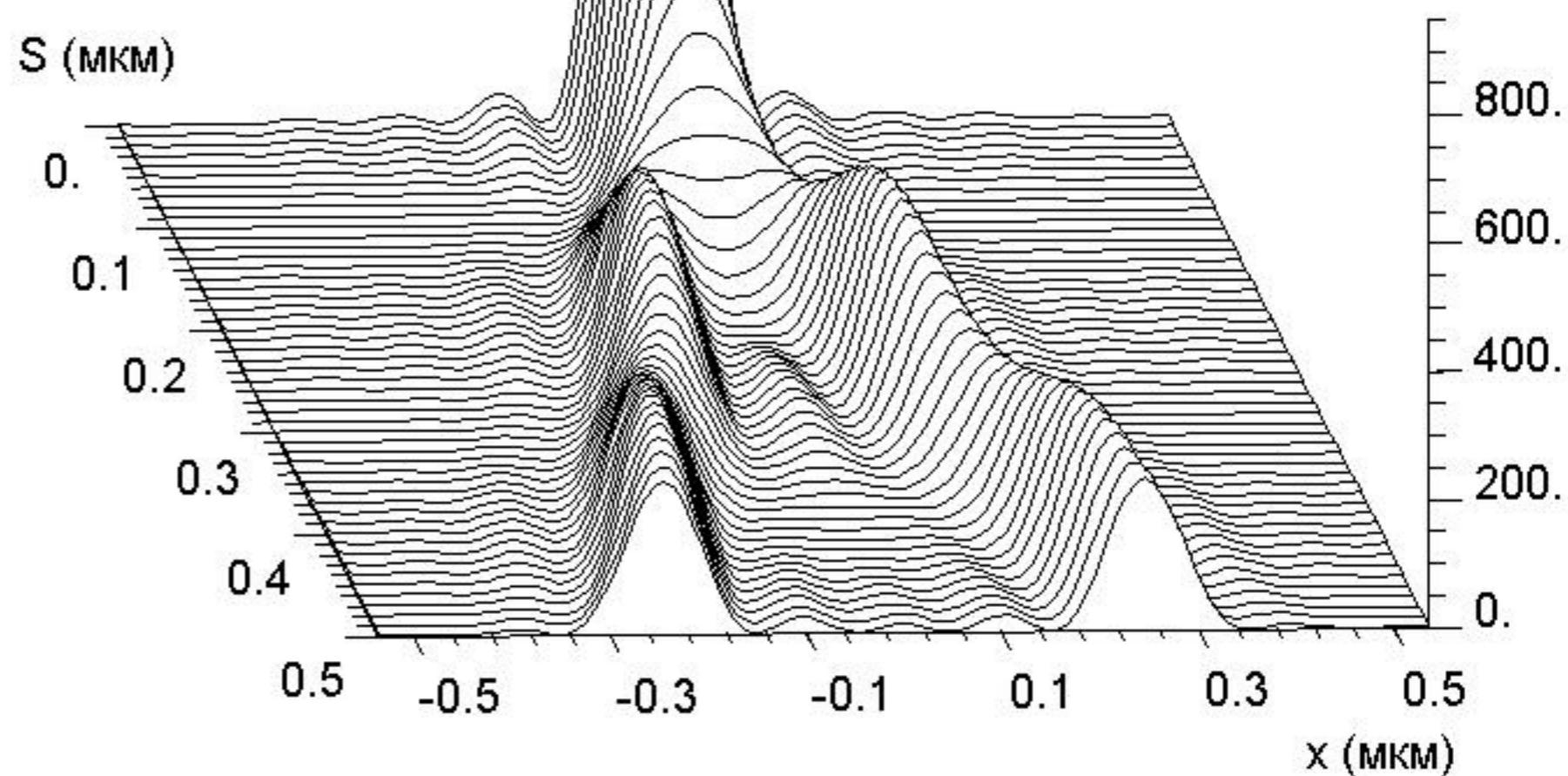
Две ЗП с фазой $\pi/2$ и с нулевым зазором.

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



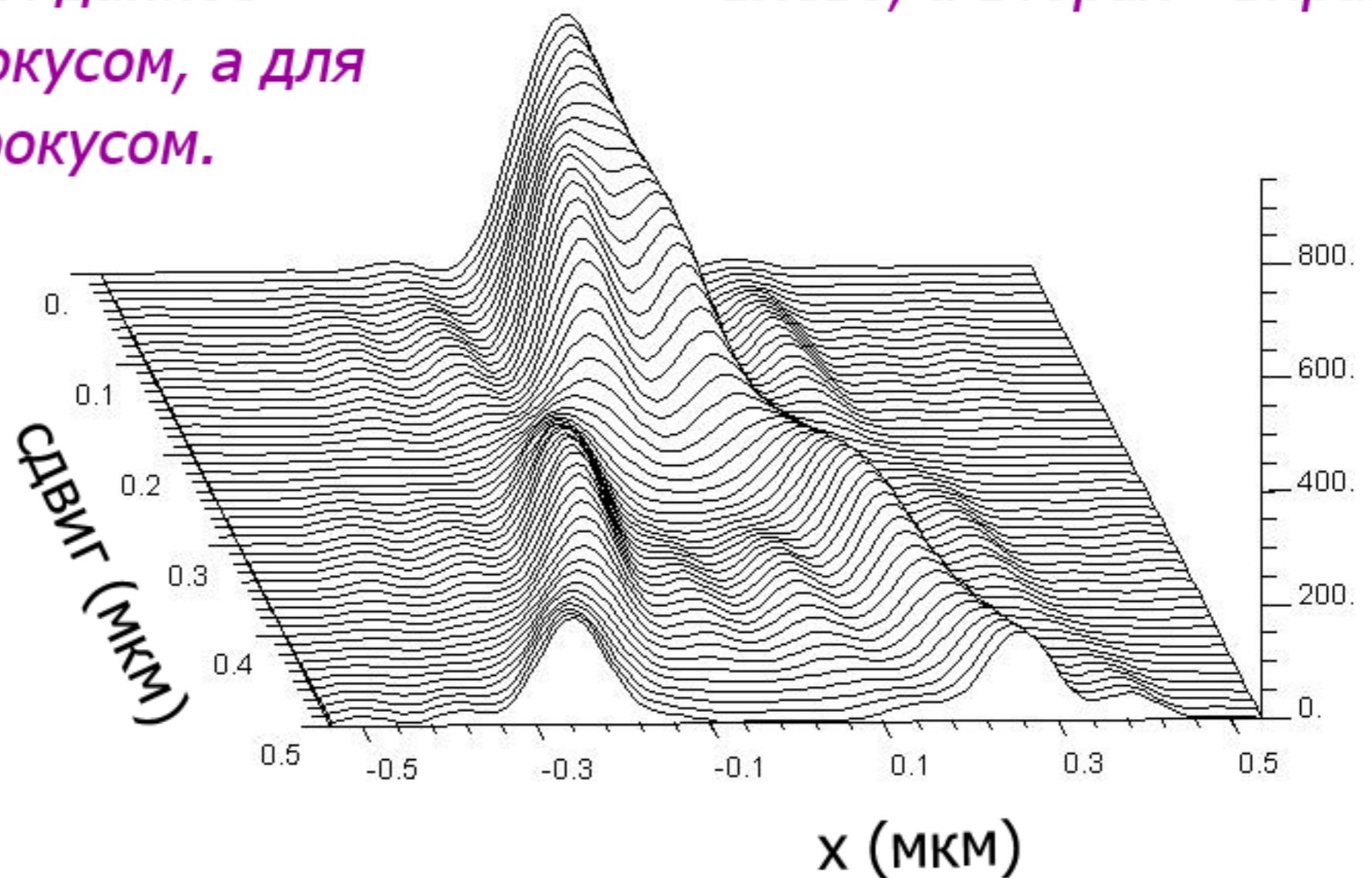
Две ЗП с фазой $\pi/2$ и с зазором $L = 0.5$ мм.

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.

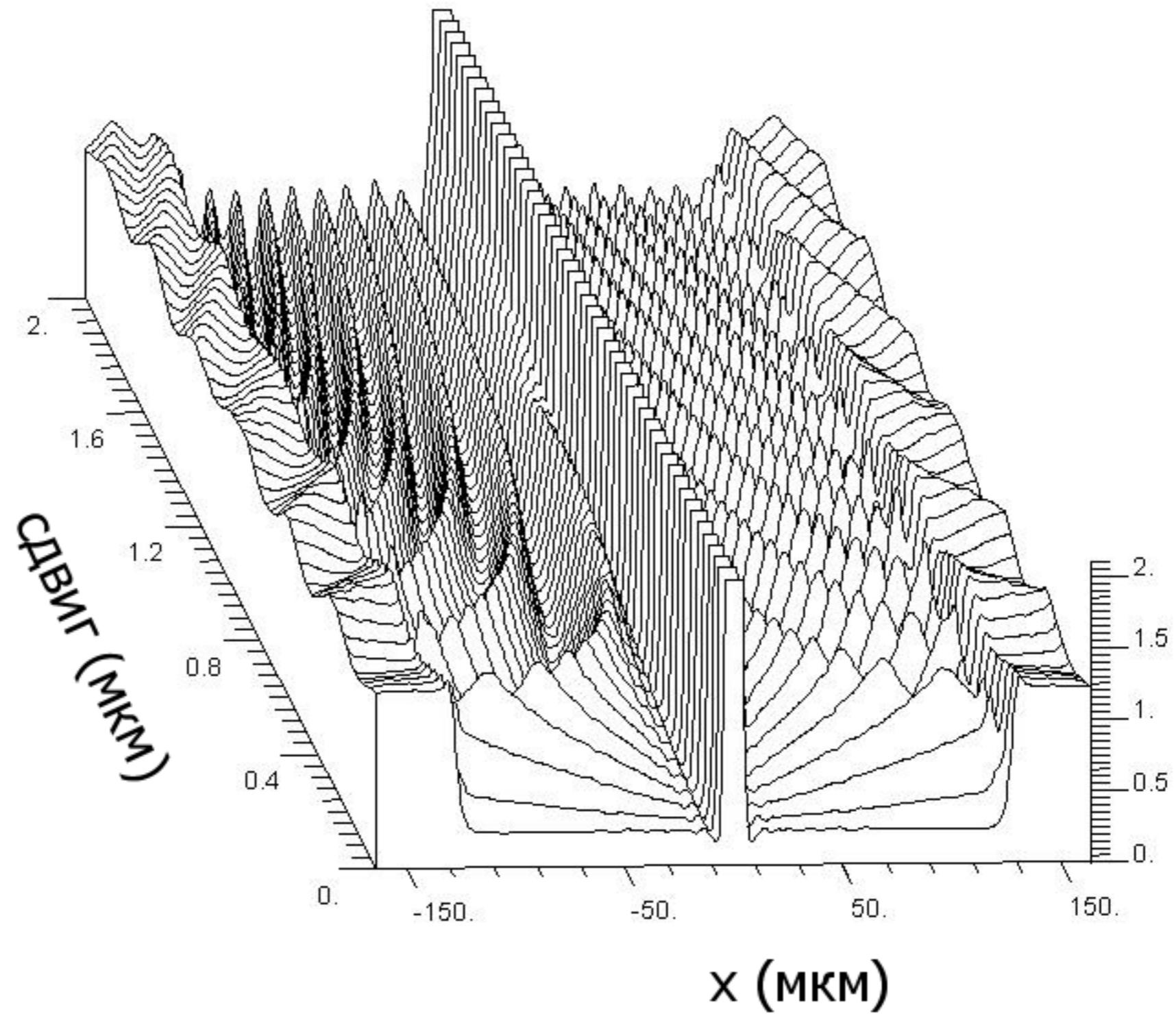


Две ЗП с фазой $\pi/2$ без зазора. Муар в области апертуры ЗП при поперечном сдвиге.

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.



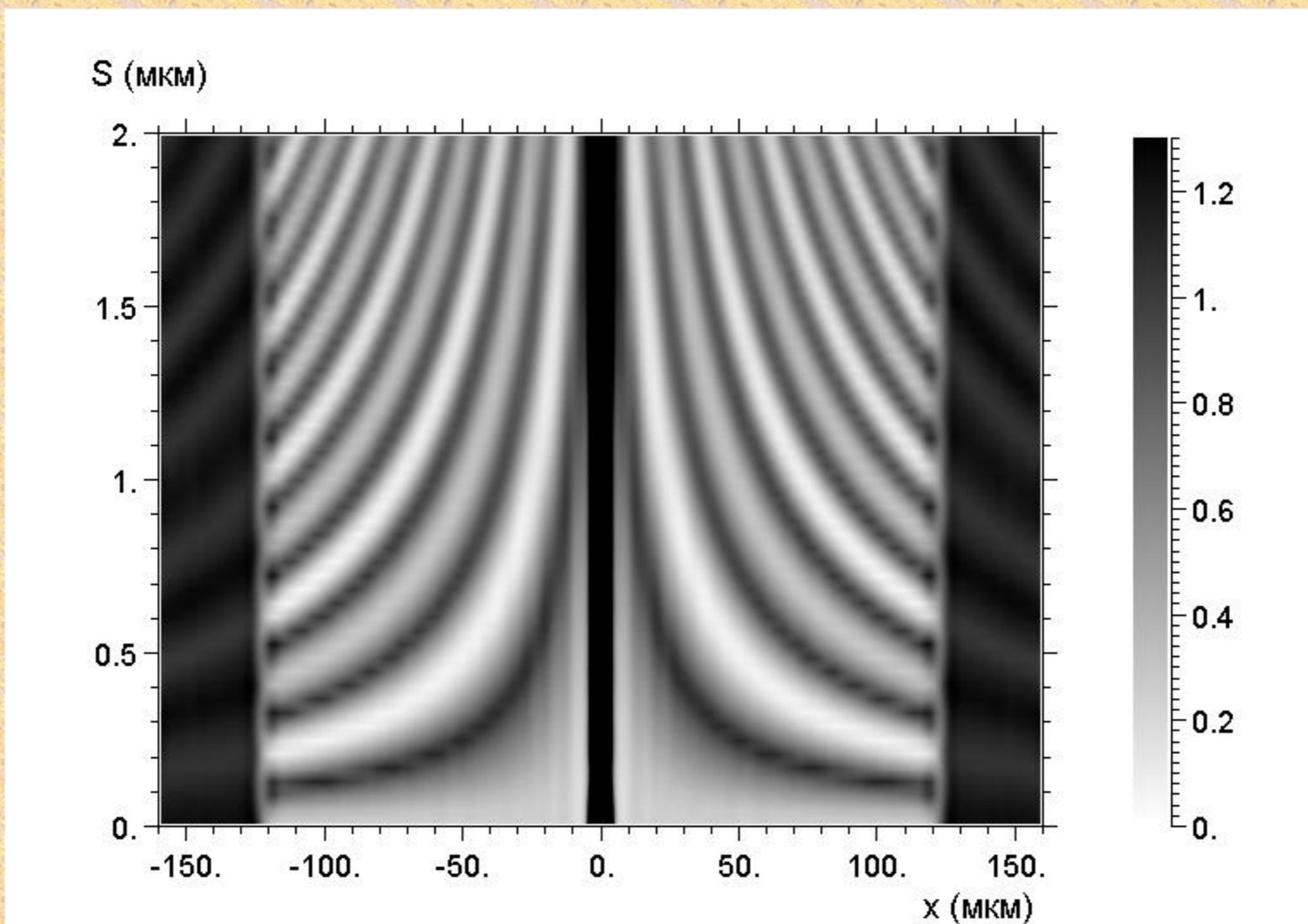
Две ЗП с фазой $\pi/2$ без зазора.

Муар в области апертуры ЗП при поперечном сдвиге.

Расстояние между полосами (период) оценивается по формуле

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

При $r_1 = 5$ мкм, $S = 2$ мкм получаем $d = 12.5$ мкм.



**Благодарю
за
внимание!**