

Моделирование и исследование распространения пучков Эйри и Пирси

Выполнил: Родин И.

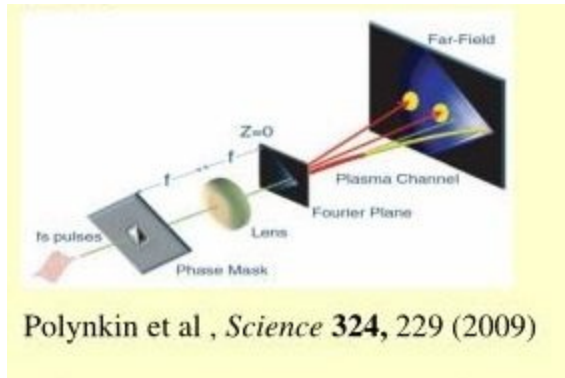
Группа: 6409

Научный руководитель: Дегтярев С.А.

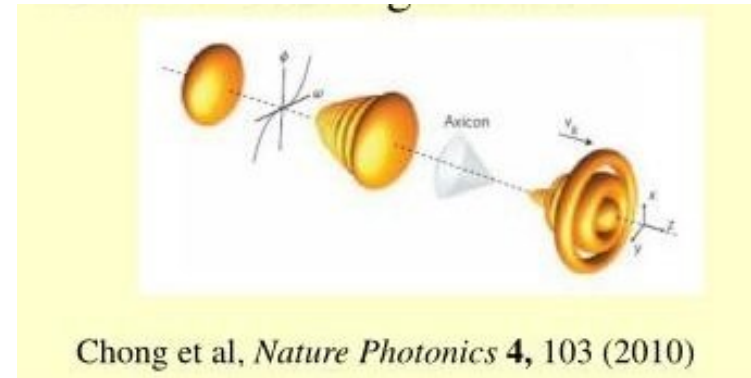
Актуальность исследования

Применение пучков Эйри и Пирси

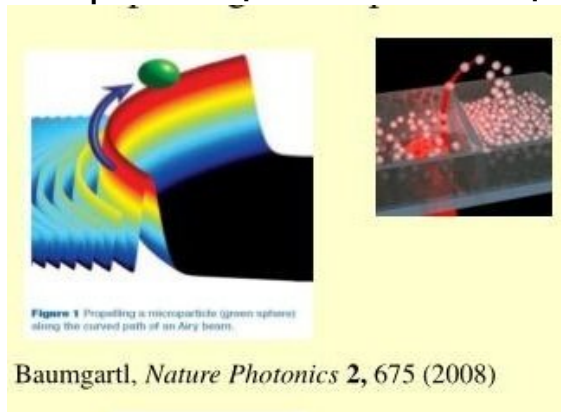
Генерация плазма-канала в воздухе



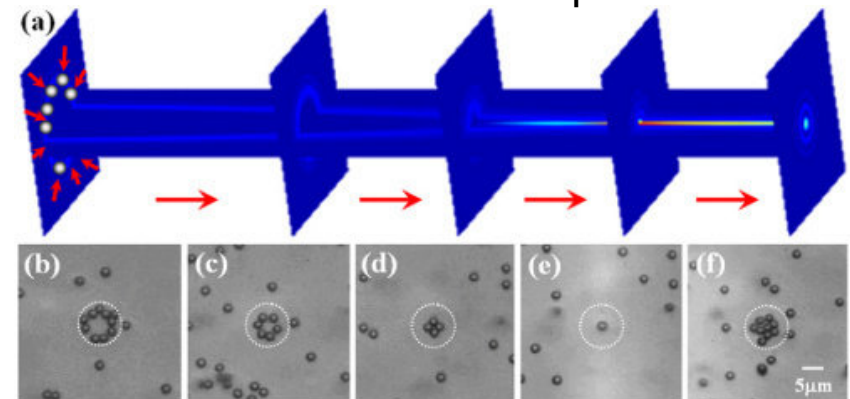
Создание "Световых пуль"



Перемещение частиц

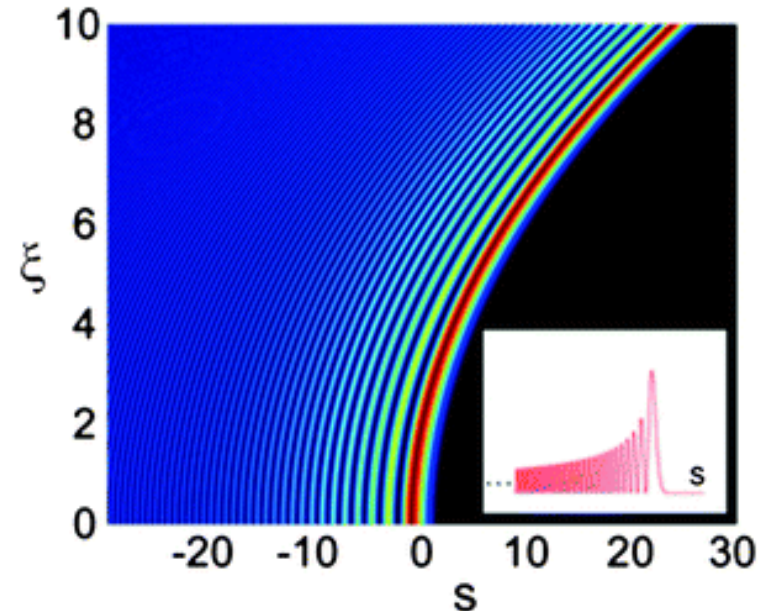
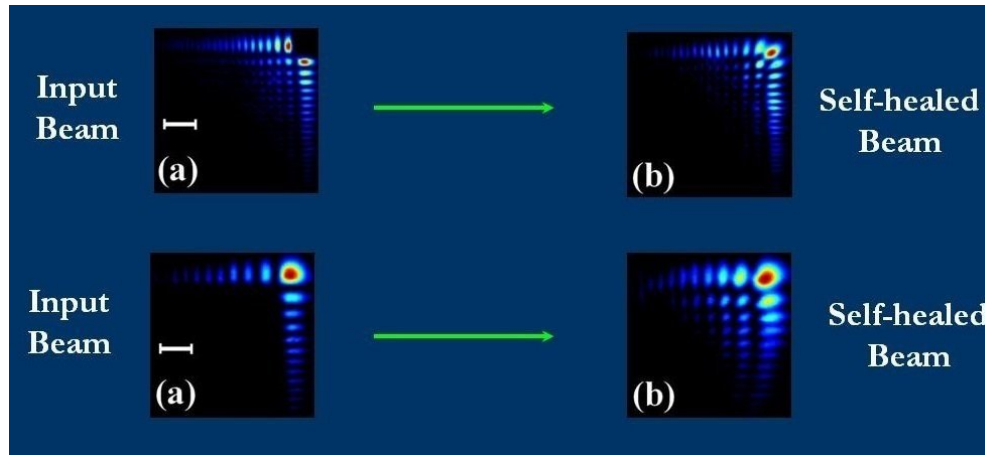


Захват частицы



Наиболее интересные свойства пучков:

- Пучки являются ускоряющимися, т.е. загибающимися
- Недифрагирующими, т.е. не изменяют внешний вид при распространении
- Самовосстанавливающимися, т.е. способны восстановить общий вид после встречи препятствия



Основная теория

Пространственные спектры

$$Ai(x, \alpha) = e^{i\alpha x^3} \quad \text{Функция Эйри}$$

$$Pe(x, \alpha) = e^{ix^4 + i\alpha x^2} \quad \text{Функция Пирси}$$

Операторы распространения

$$F(u) = \sqrt{\frac{k}{f}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{k}{f} i x u} dx \quad \text{Пр. Фурье}$$

$$F(u) = \sqrt{-\frac{ik}{2\pi z}} e^{ikz} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-\frac{ik}{2z} i(x-u)^2} dx \quad \text{Пр. Френеля}$$

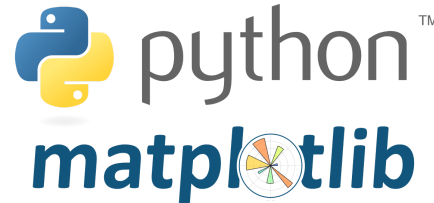
$$F(u) = -\sqrt{\frac{ik}{2\pi z}} e^{ikz} e^{\frac{iku^2}{2z}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{\frac{ikx^2}{2} \left(\frac{1}{z} - \frac{1}{f}\right)} e^{ik \frac{ux}{z}} dx$$

Оператор распространения для получения пучков вблизи
фокальной области

Разработка программы

Используемые средства

- Python
- Matplotlib
- Cmath
- Numpy



```
def Ai(x):  
    return cmath.exp(1j * Aiparam * (x ** 3))
```

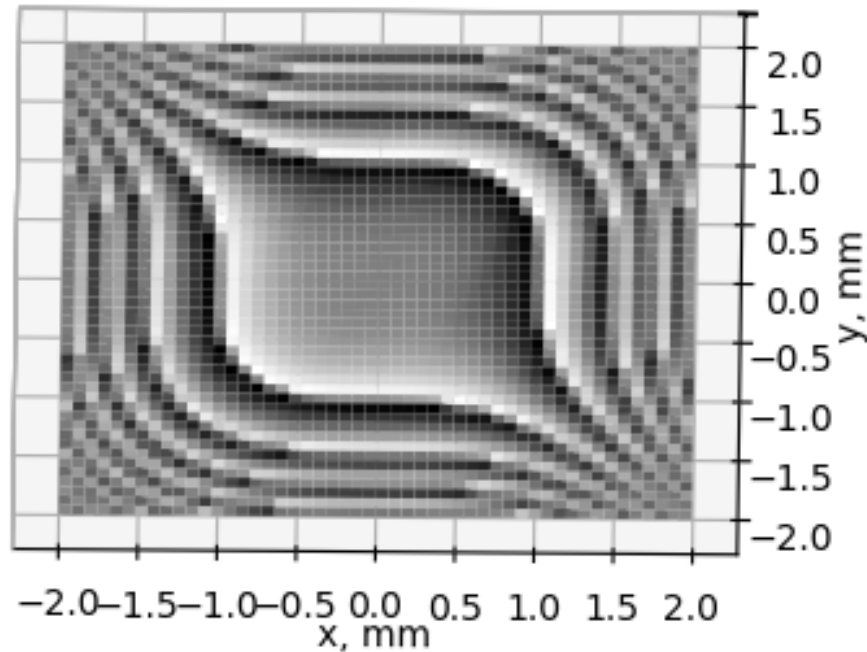
```
def Ai(x):  
    return np.exp(1j * Aiparam * (x ** 3))
```

Реализованный функционал

- Моделирование входных распределений пучков
- Модуль численного интегрирования
- Преобразования Френеля и Фурье
- Двумерное преобразование Фурье
- Моделирование вблизи фокальной области

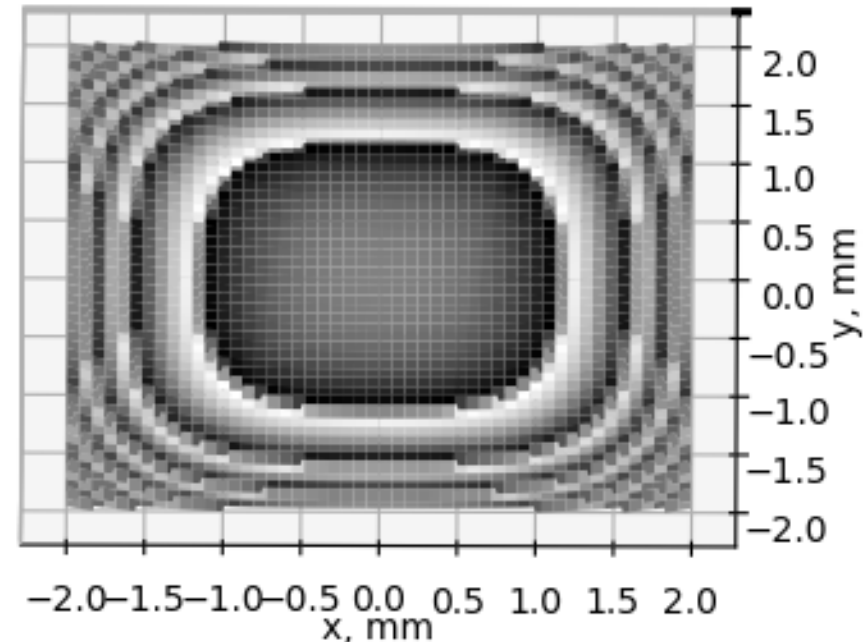
Картини фазы пространственных спектров

$$Ai(x, \alpha) = \exp[i\alpha x^3]$$



Для пучков Эйри

$$Pe(x, \alpha) = \exp[ix^4 + i\alpha x^2]$$

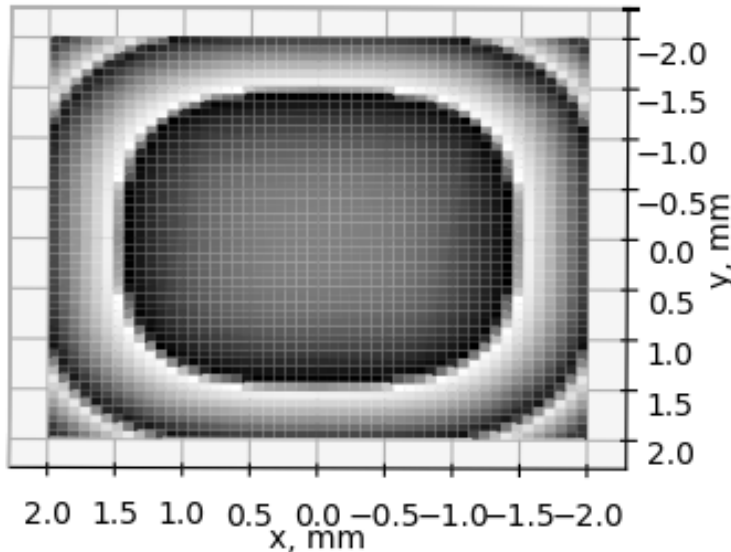


Для пучков Пирси

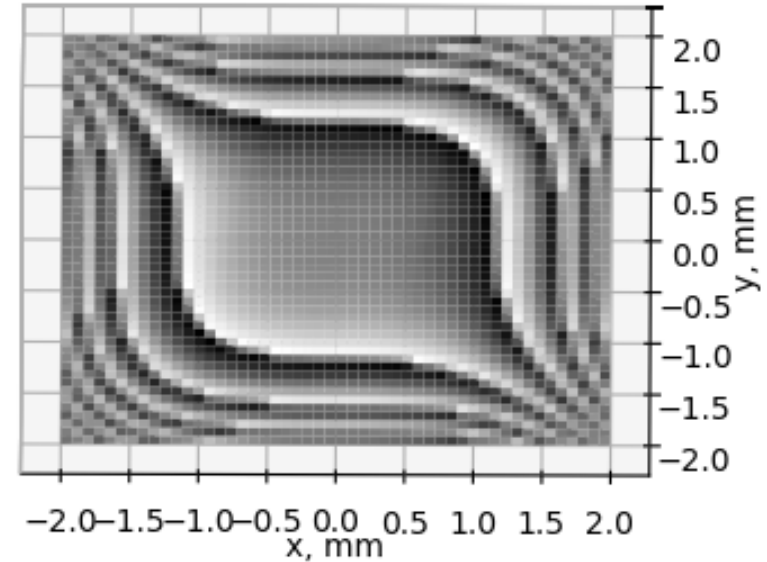
Картини фазы пространственных спектров

$$AiEven(x, \alpha) = \exp[i\alpha|x|^3]$$

$$PeOdd(x, \alpha) = \exp(i(-1)^{(\theta(x)+1)}(x^4 + \alpha x^2))$$



Для четных пучков Эйри

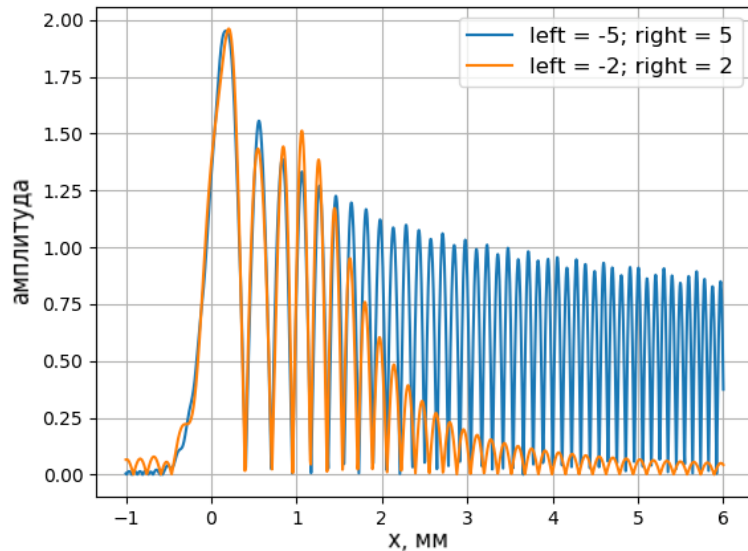


Для нечетных пучков Пирси

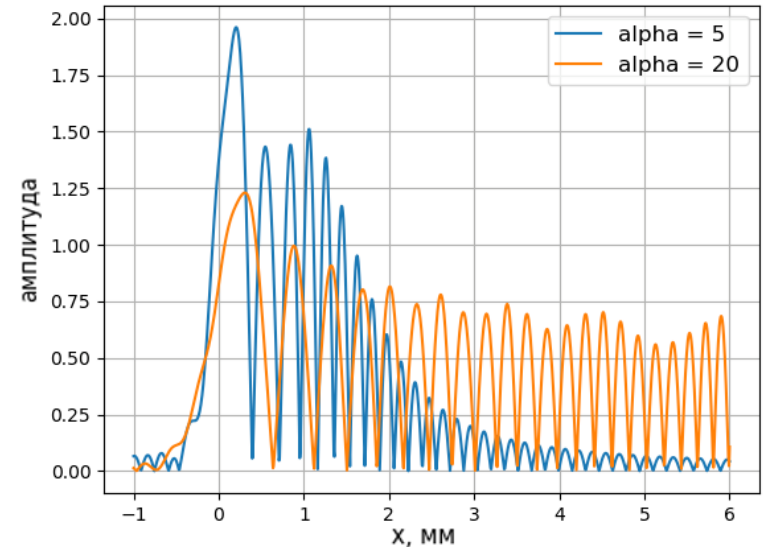
$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x < 0; \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$$

Таким образом, можно утверждать, что четность входной функции оказывает существенное влияние на внешний фазы, а также можно предположить, что она окажет влияние на свойства пучков

Графики амплитуды пучков Эйри, полученных с помощью преобразования Фурье



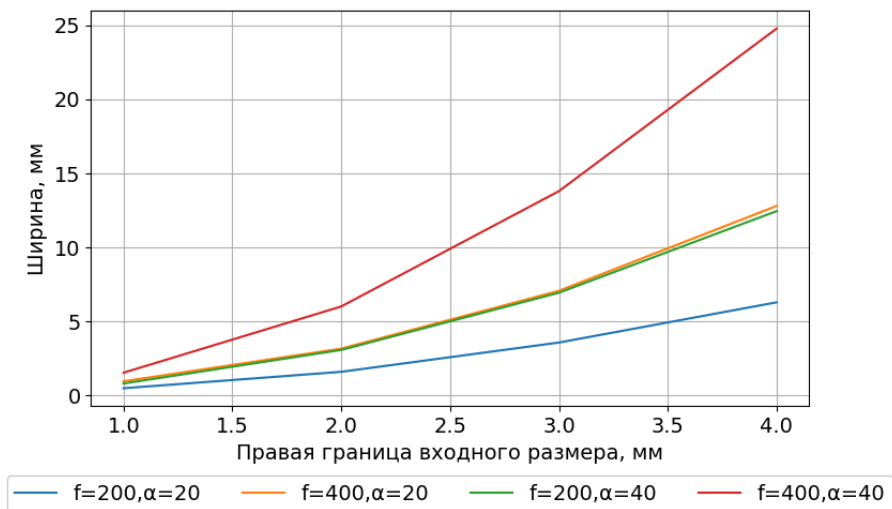
Сравнение при различных входных размерах



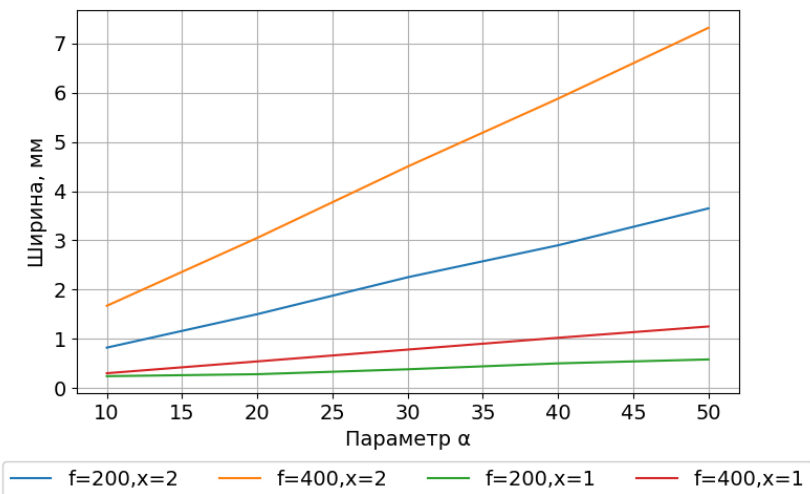
Сравнение при различных параметрах alpha

Таким образом, увеличение как параметра α , так и входного размера увеличивает ширину пучка

Исследование влияния параметров на ширину пучка



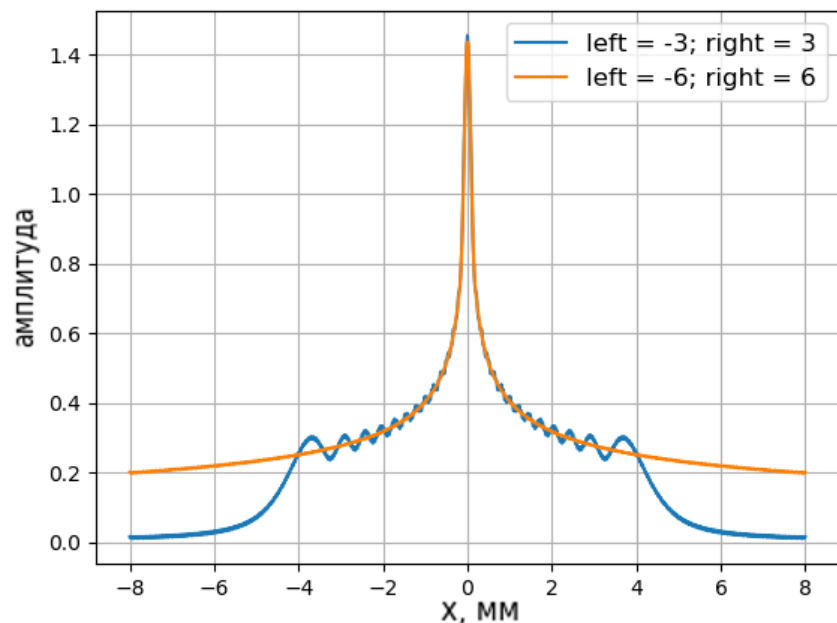
Зависимость от входных размеров



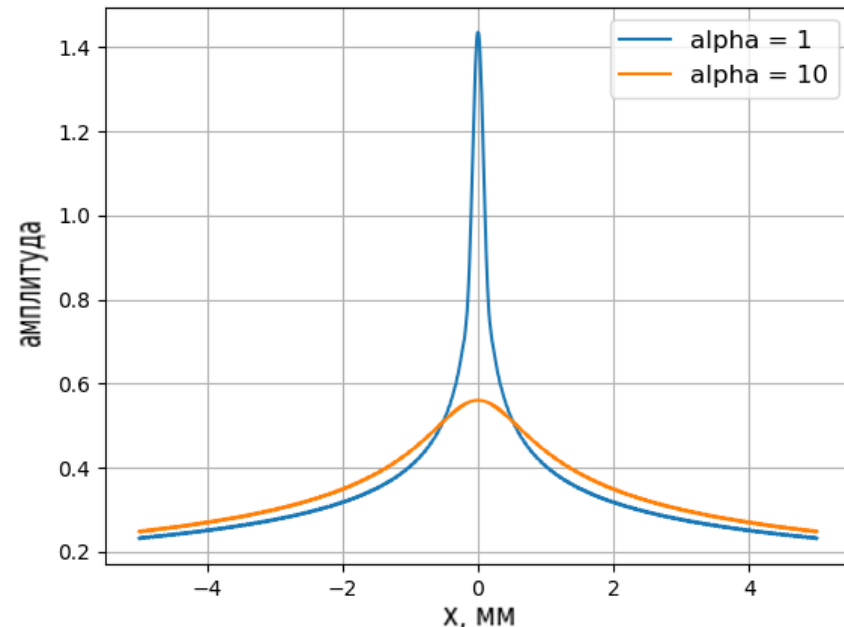
Зависимость от параметра alpha

Зависимость ширины пучка от входного размера является нелинейной возрастающей, а от параметра α - линейной возрастающей

Графики амплитуды пучков Пирси, полученных с помощью преобразования Фурье



Сравнение при различных входных размерах

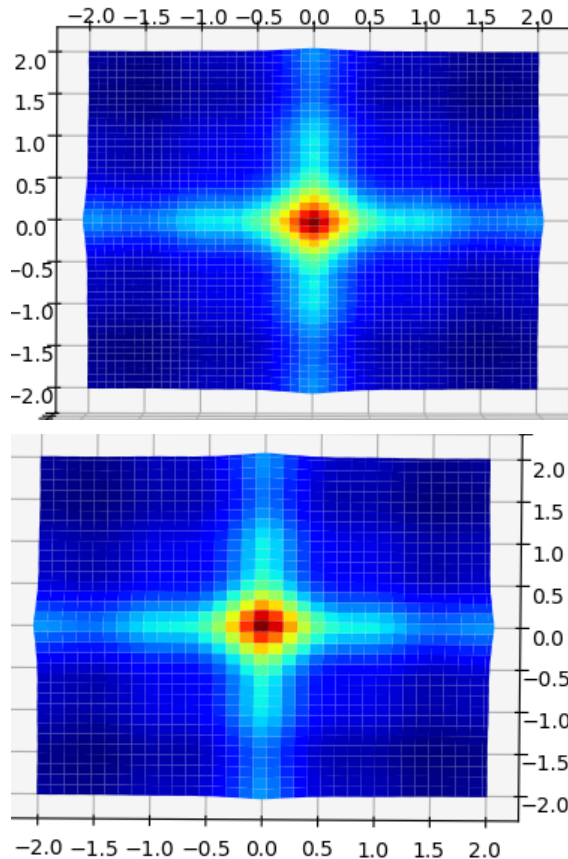


Сравнение при различных параметрах α

Таким образом, увеличение как параметра α , так и входного размера имеет эффект аналогичный влиянию этих параметров на пучки Эйри

Картини амплитуды двумерных пучков, полученных с помощью преобразования Фурье

Пирси

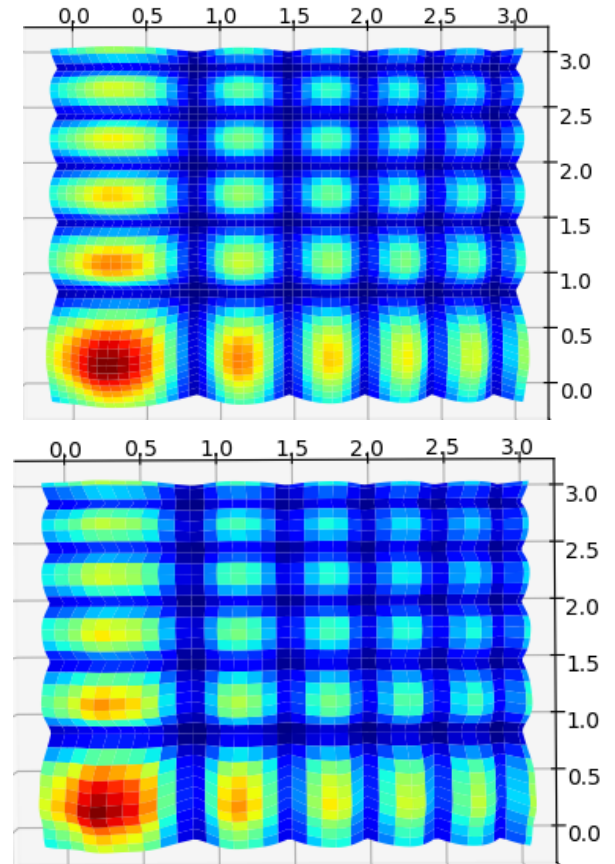


Результат,
полученный с
помощью:

1) Факторизации

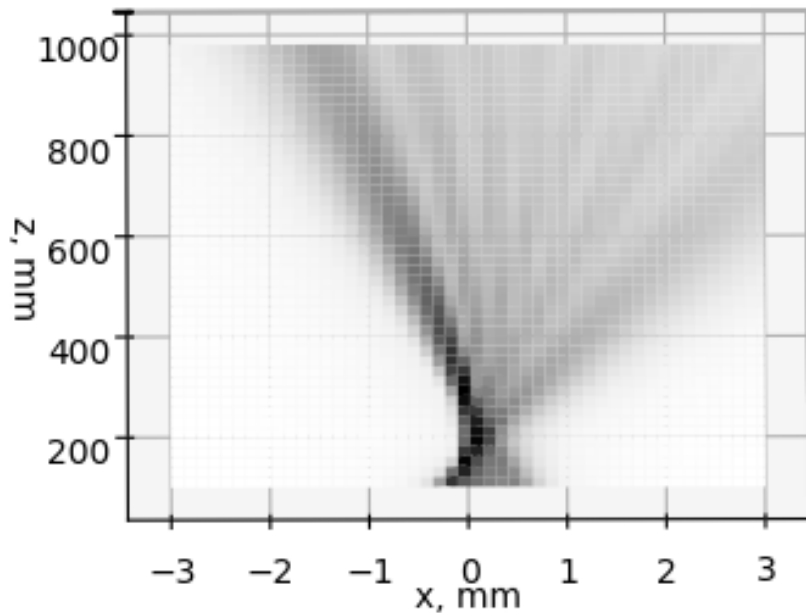
2) Использования
двумерного
преобразования
Фурье

Эйри

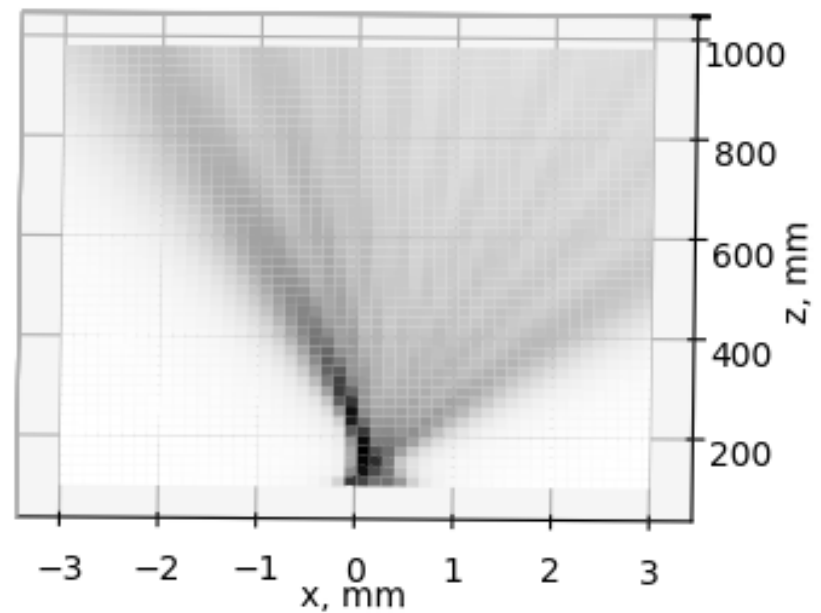


Демонстрация свойства ускорения

Картини амплитуды пучков, полученные с помощью оператора распространения для формирования картины вблизи фокальной области

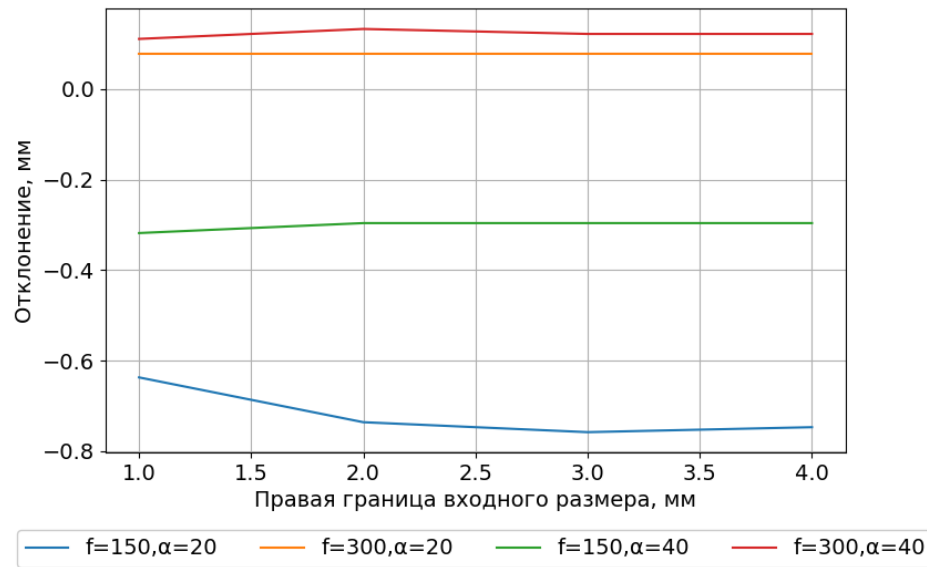


Для пучка Эйри

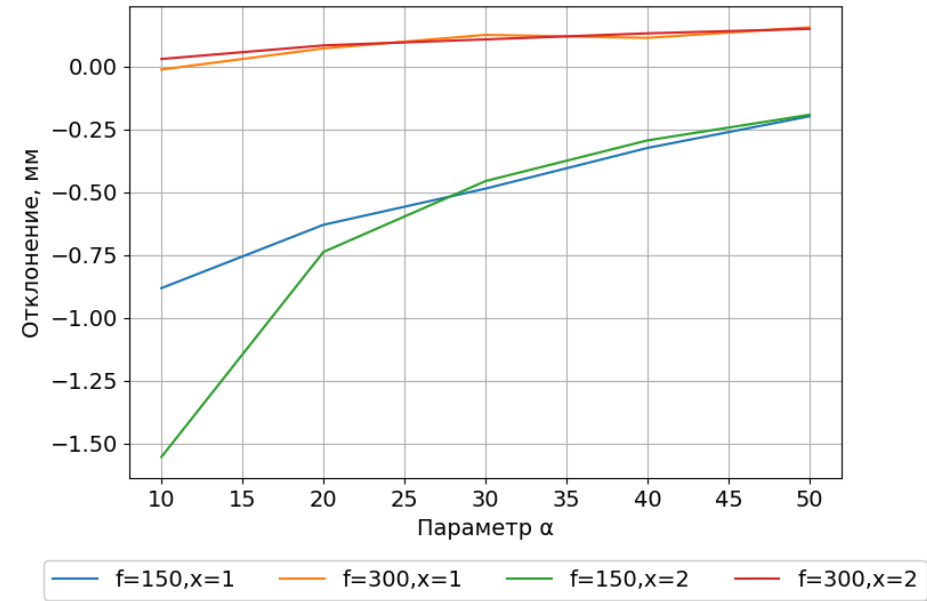


Для модифицированного пучка
Пирси с нечетной входной
функцией

Исследование влияния различных параметров на свойство ускорения



Зависимость от входных размеров



Зависимость от параметра alpha

Характеристики пучков, связанные с ускорением, мало зависят от входного размера и имеют нелинейную зависимость от параметра alpha

Выводы

- Увеличение фокусного расстояния линзы приводит к линейному увеличению ширины пучка, но нелинейно влияет на свойство ускорения
- Увеличение параметра α линейно влияет на ширину пучка, но нелинейно воздействует на свойство ускорения
- Увеличение входного размера не влияет на свойство ускорения, но приводит к нелинейному увеличению ширины пучка
- Четность входных функций имеет существенное влияние на вид сформированного пучка и его свойства

Результаты исследования докладывались на
LXIX молодежной научной конференции,
посвященной 85-летию со дня рождения
первого космонавта Земли Ю.А. Гагарина,
работа была отмечена **дипломом первой**
степени

Спасибо за внимание!