

# Исследование распределения света по зрачку HRS и его влияния на измерения лучевой скорости

Работу выполнили студенты:  
Беспятый Илья Витальевич, ФКИ 301 группа  
Санковский Дмитрий Евгеньевич, ГАИШ 201 группа  
Руководители практики:  
Шатский Николай Иванович,  
Желтоухов Сергей Геннадьевич

# Проблематика

Точность измерения лучевых скоростей определяет точность изучения кинематики кратных систем.

Ошибки:

1. Случайные:

- случайные колебания звездных фотосфер
- шумы: в калибровочных данных, считывания, фотонный

2. Систематические:

- смещения спектральных линий из-за аберраций оптической системы – зависят от свойств конкретного световода

# Методы борьбы с систематическими ошибками

- Усложнение оптической системы (double scrambler)
- Учёт ошибок апостериори, по факту

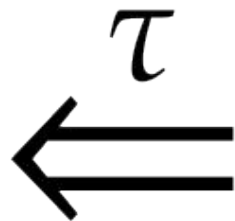


Идея

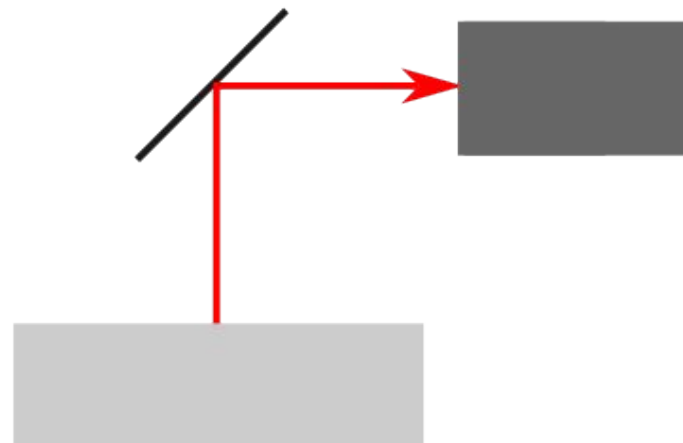
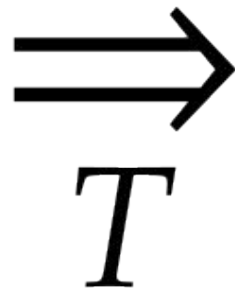
Спектрограф

Камера

Вывод пучка

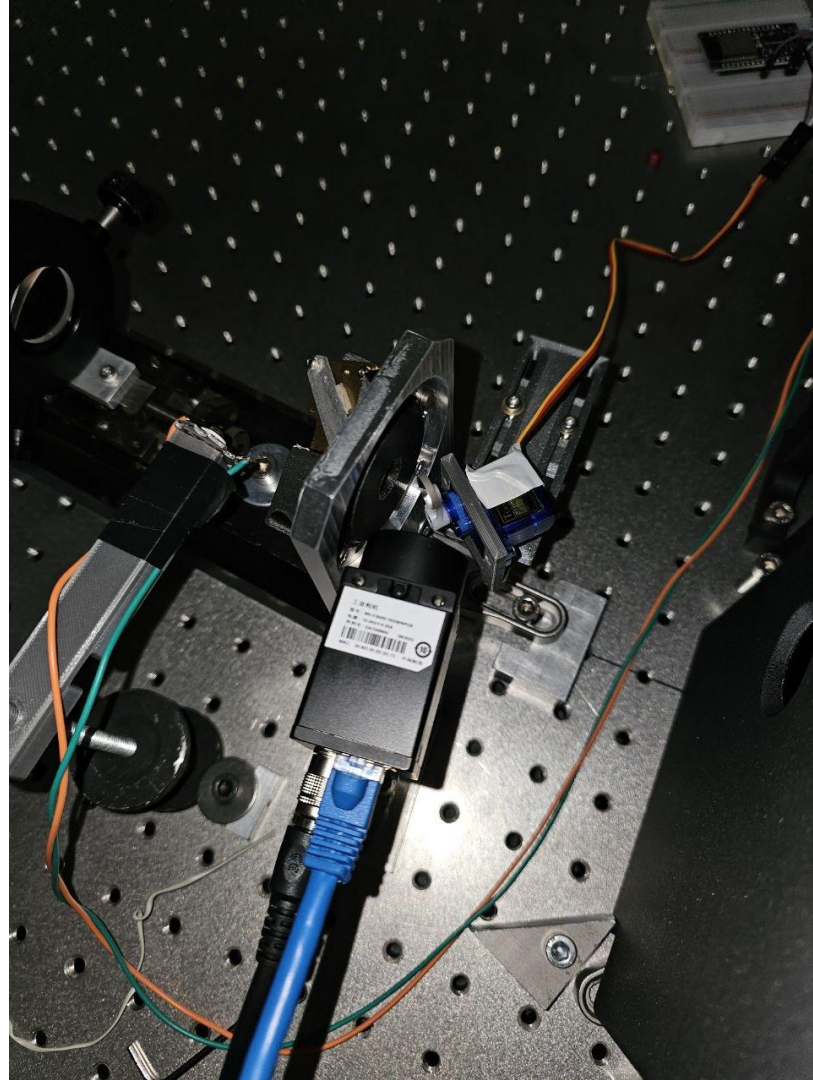


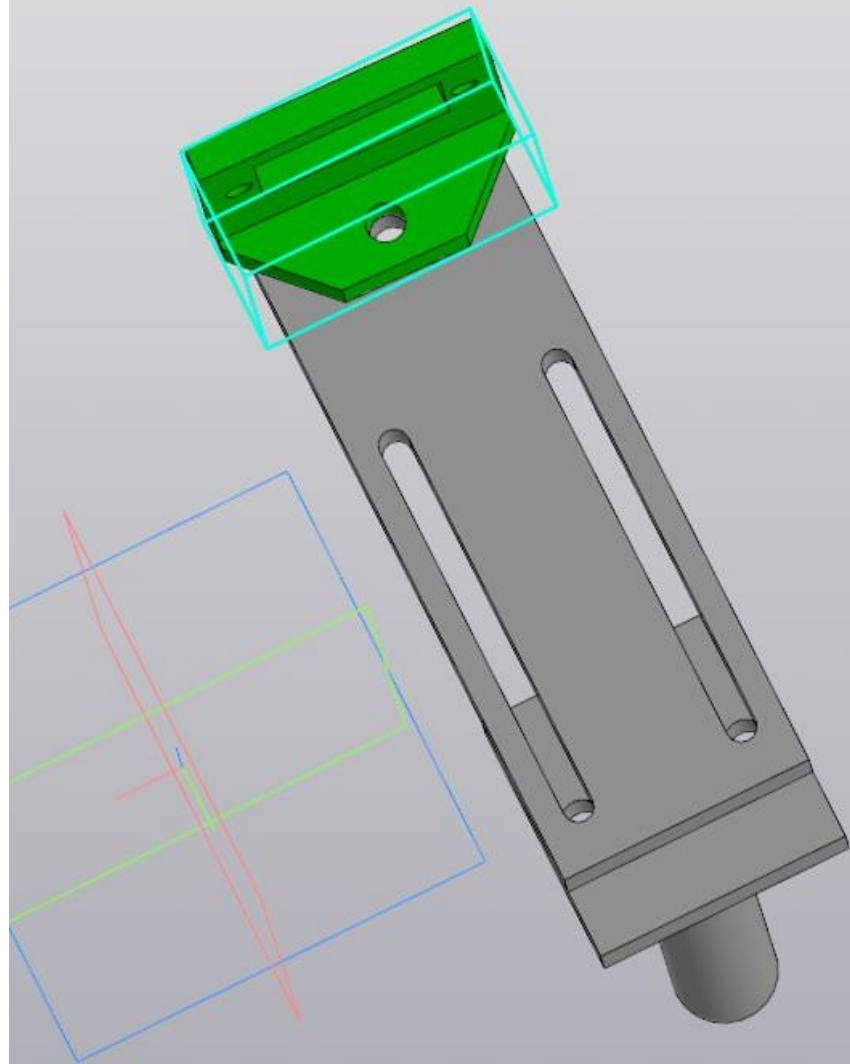
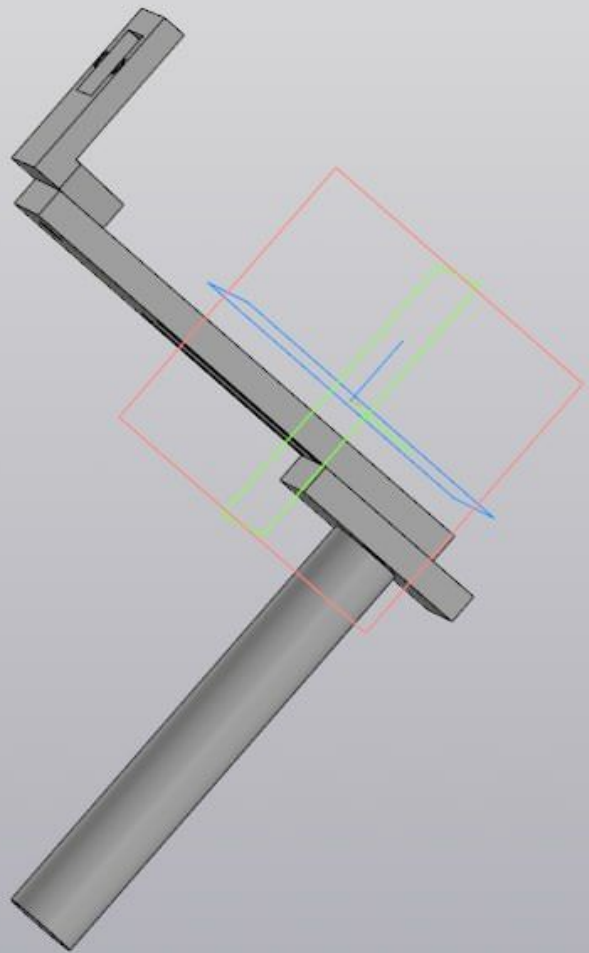
$$\tau \ll T$$



# Установка

- Кронштейн
- Сервопривод SG-90
- Зеркало
- Камера MV-CS050-10GM
- ESP32
- Компьютер





# Ход работы

- Многочисленные калибровки установки
- Измерения с настраиваемыми и внешними параметрами (фокусное расстояние, давление, положение оптоволокну относительно изображения)
- Поиск и обоснование зависимостей

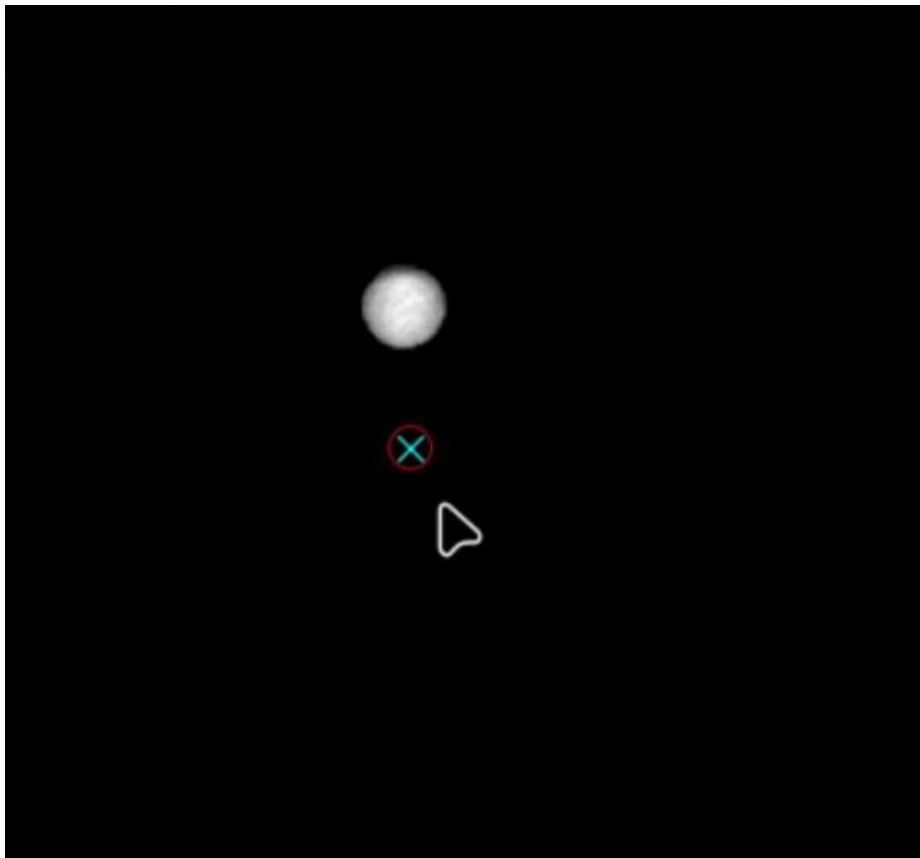
# Калибровка

- Оптимальная компоновка (оптический путь, виньетирование)
- Юстировка (оптоволокну, установка)
- Отсутствие влияния установки на систему
- Оценка стабильности радиального профиля
- Проверка однородности углового профиля (свойство оптоволокну)



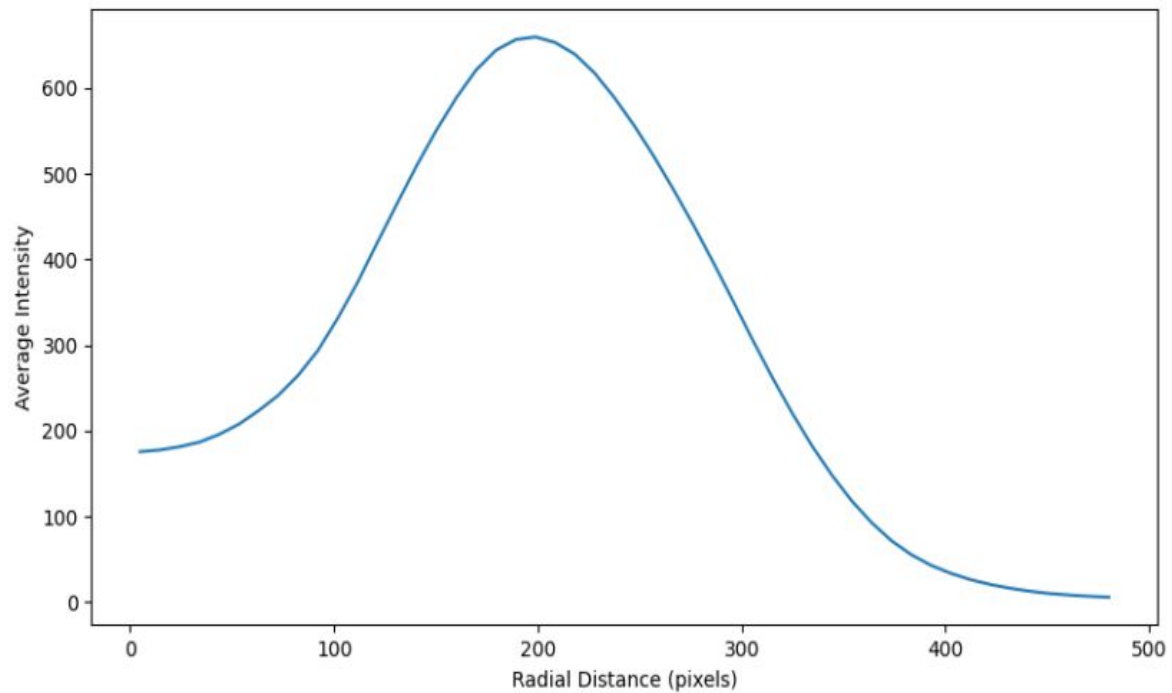
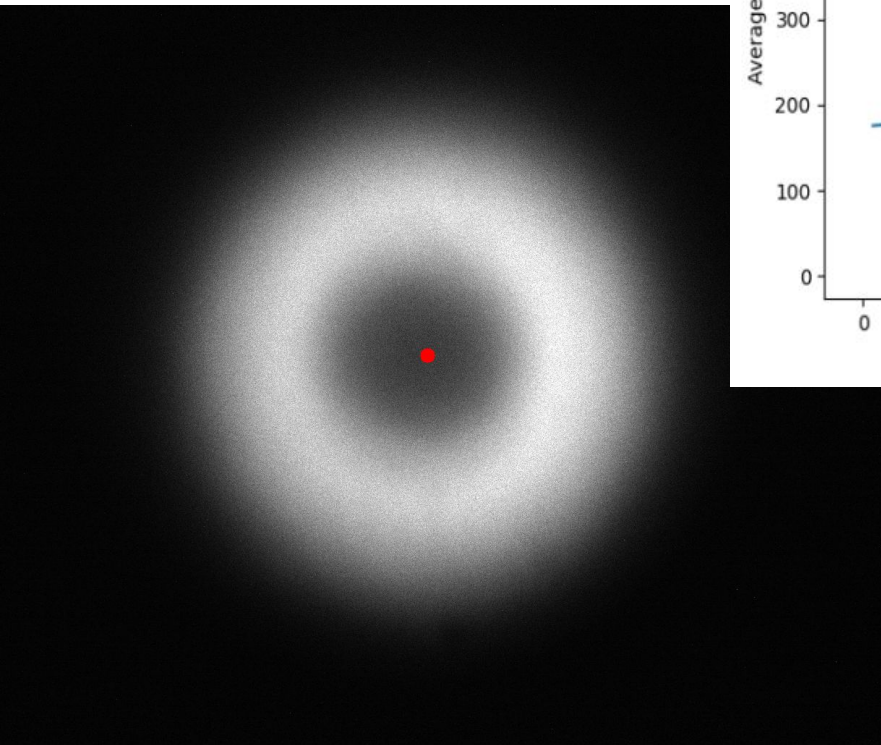
# Оптоволокно

Используемое оптоволокно перемешивает радиальную моду, поэтому ожидается, что угловое распределение излучения (при корректной юстировке и центровке звезды) будет достаточно однородным



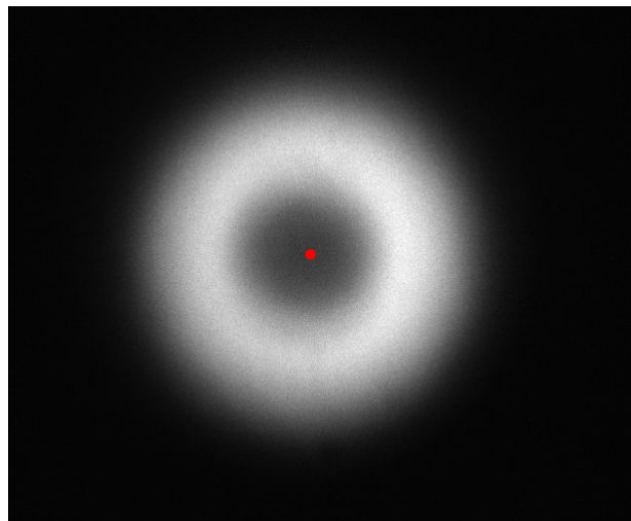
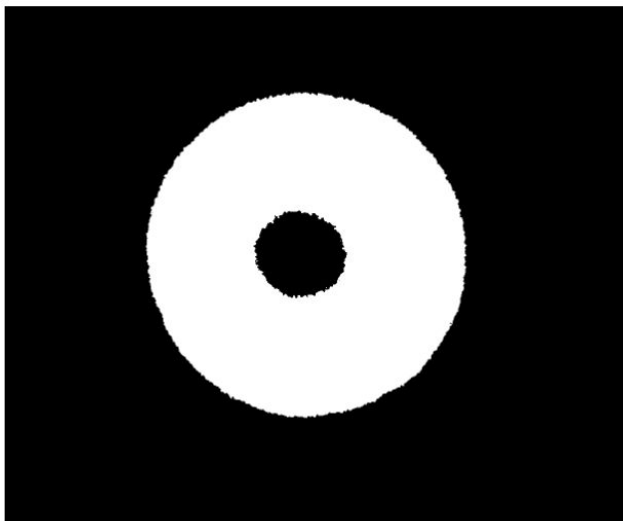
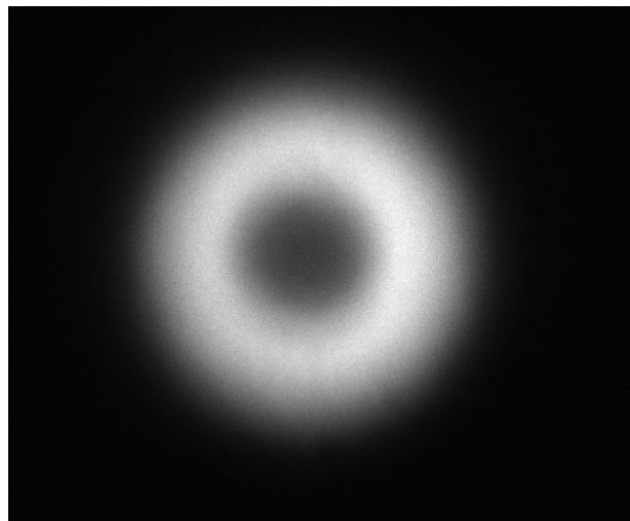
Распределение света в оптоволокне по калибровочному источнику, пример хорошей юстировки

Находим радиальный  
профиль



# Алгоритм нахождения геометрического центра изображения

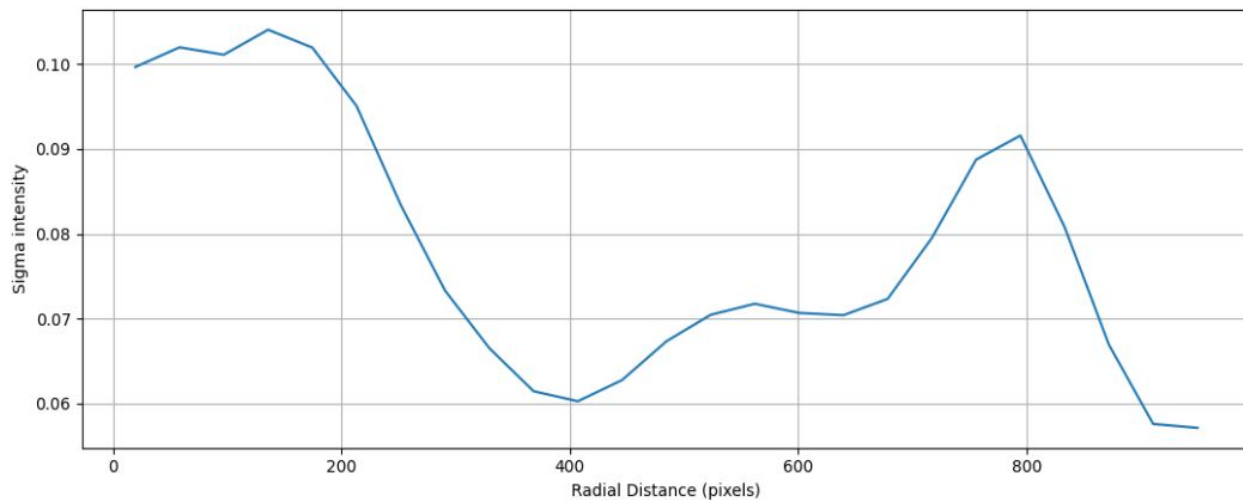
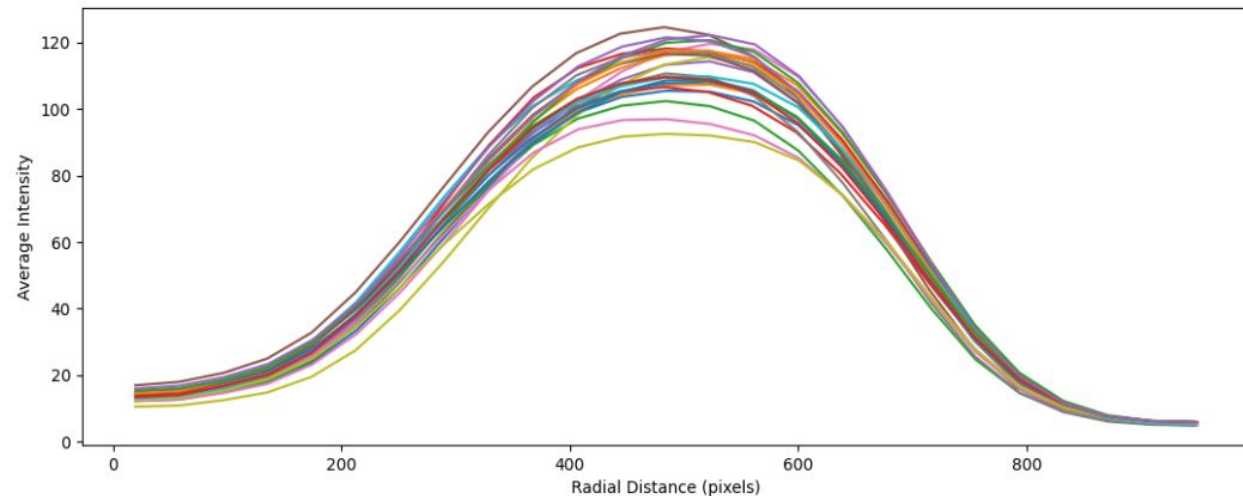
- Удаление фона.
- Сглаживание.
- Бинаризация.
- Центр масс по бинаризованному кадру.



# Стабильность радиального профиля

Наблюдение HIP96258  
25 минут, seeing ~ 2 "

Относительная разница  
не более 10 процентов



# Оценка нерадиальной переменности

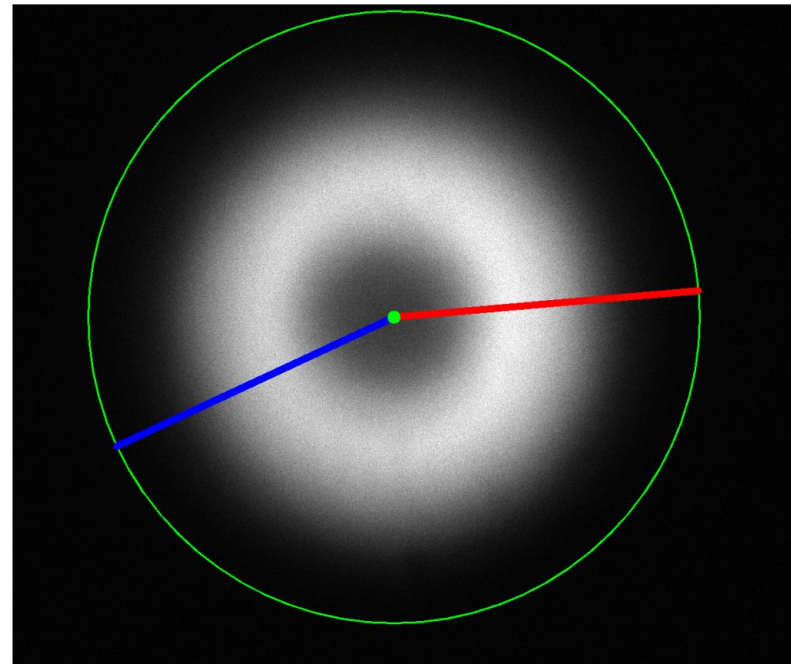
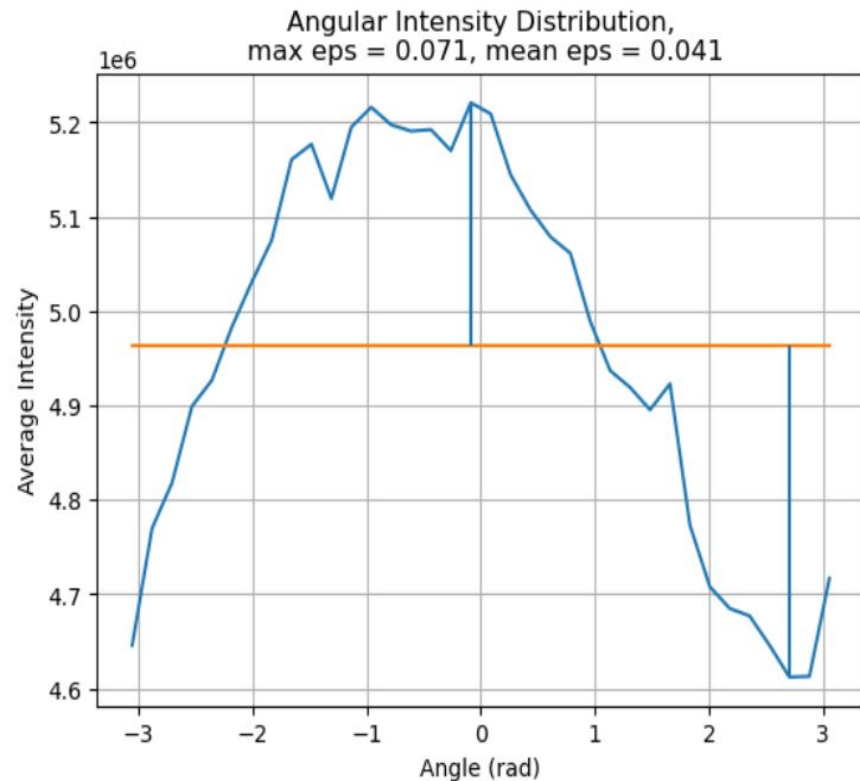
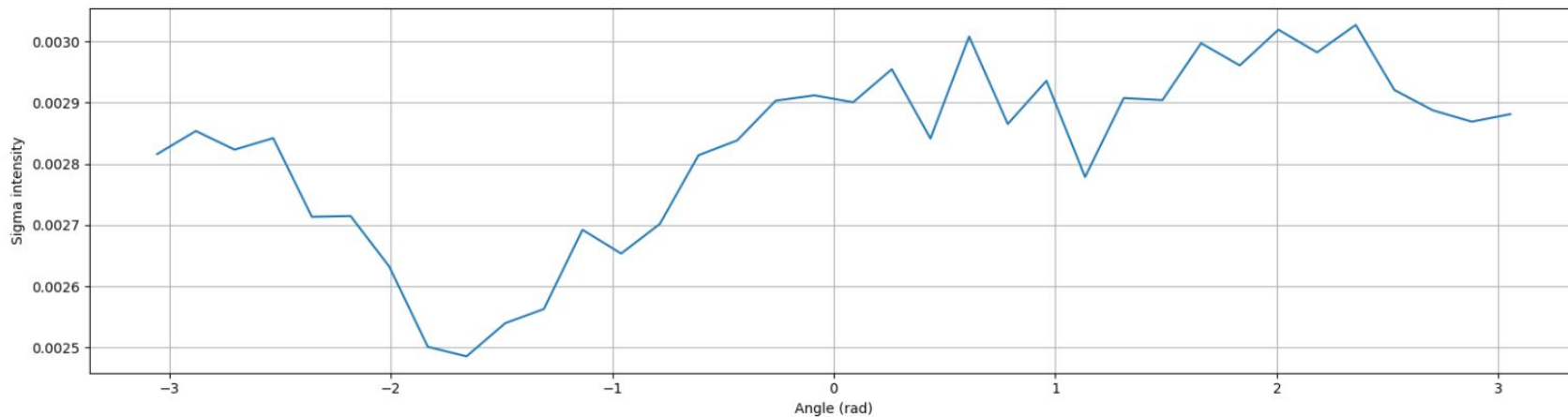
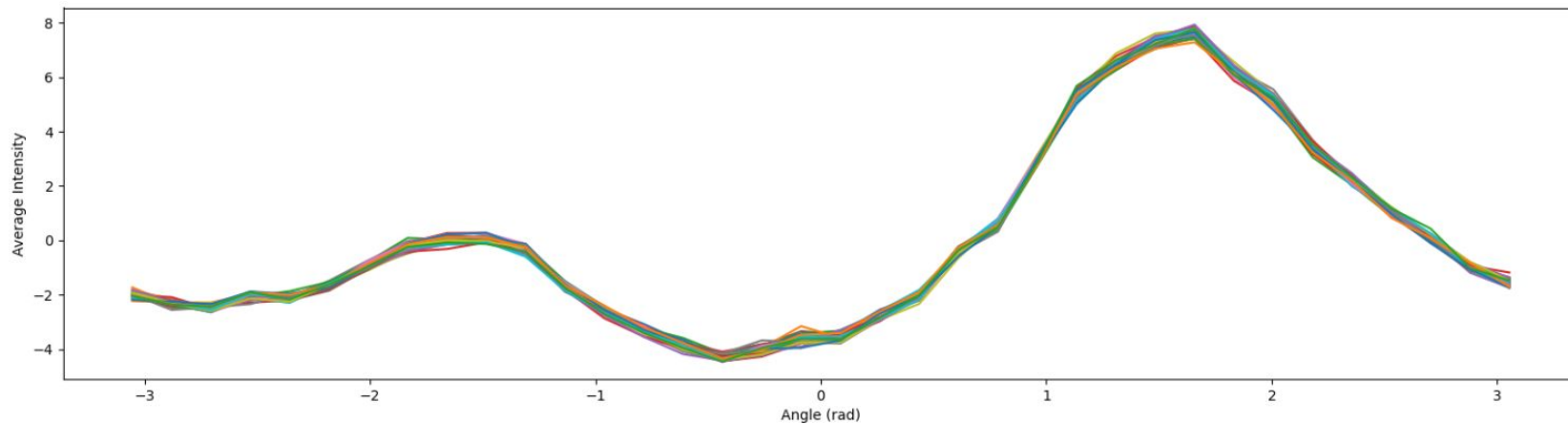


Рис. 8: Направления наименьшей (синим) и наибольшей (красным) угловой интенсивности. Зеленым кругом отмечен круг наибольшего радиуса с центром в центре пучка

# Оценка нерадиальной переменности

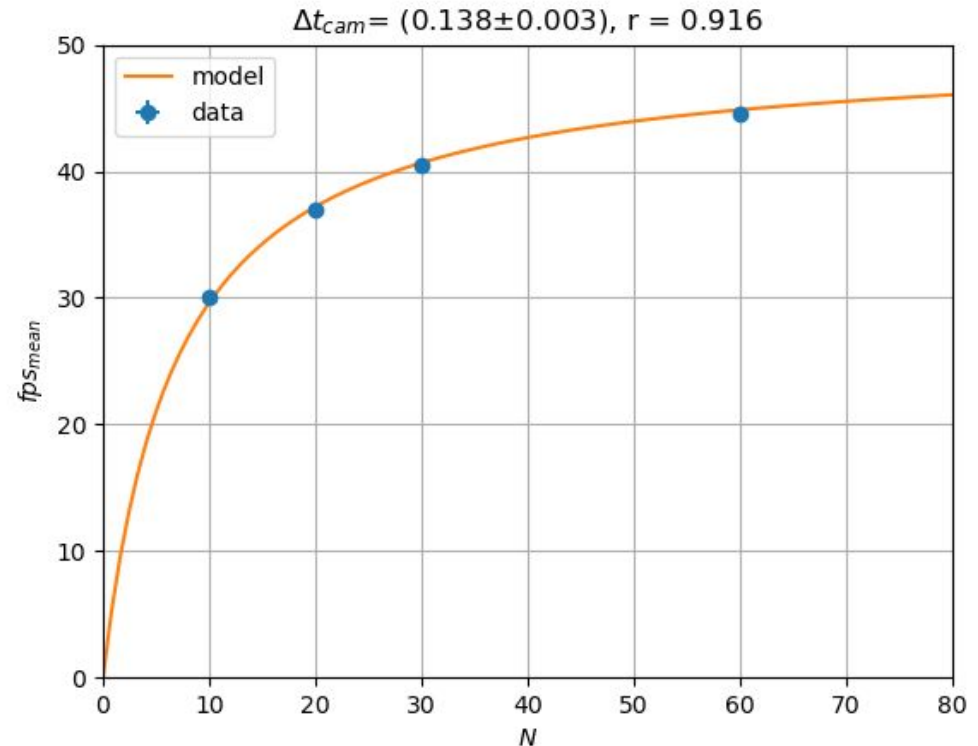


# Измерение времени отклика камеры

$$\text{fps}_{\text{mean}} = \frac{N}{N/\text{fps}_{\text{prog}} + \Delta t_{\text{cam}}}$$

$N$  – количество снятых подряд кадров

$\Delta t_{\text{cam}}$  – отклик камеры

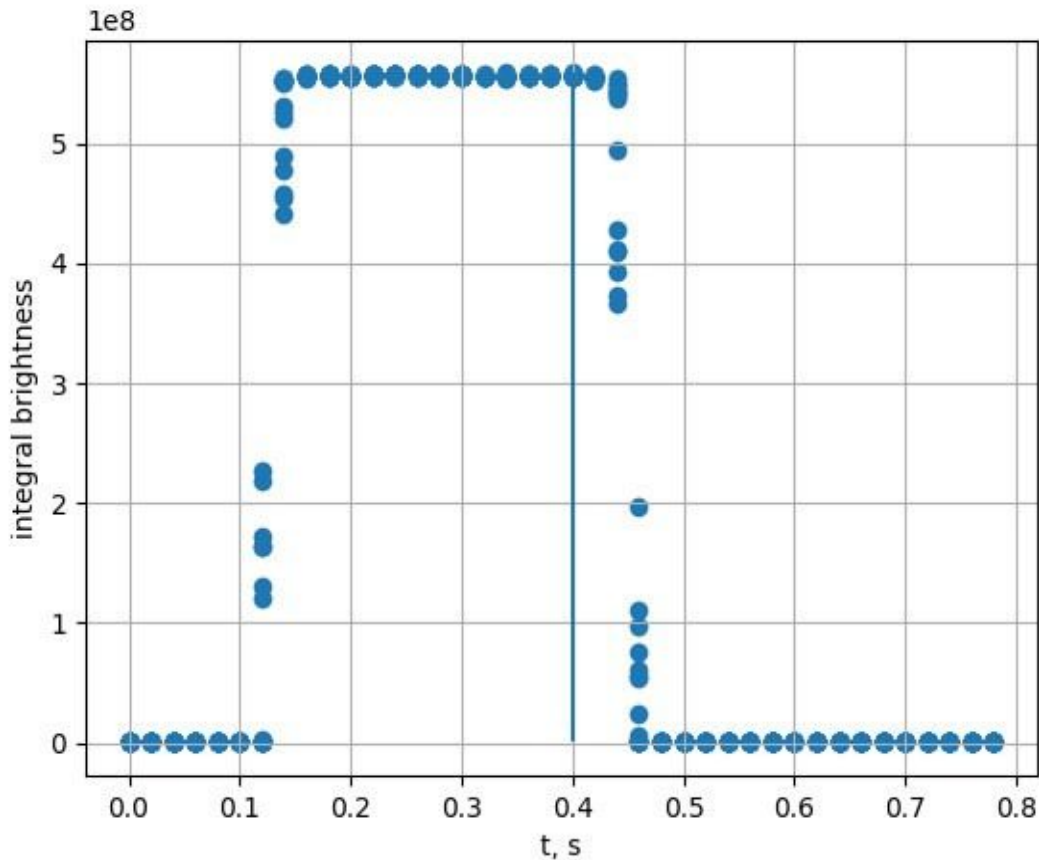


# Измерение времени подъёма сервопривода

Время подъёма  
 $\leq 0.16 (+ 0.14) = 0.3$  с

Время прохождения  
зеркала  $\leq 0.04$  с

Оценка вносимой  
неравномерности  
пучка в спектрографе  
 $\leq 0.13$  %



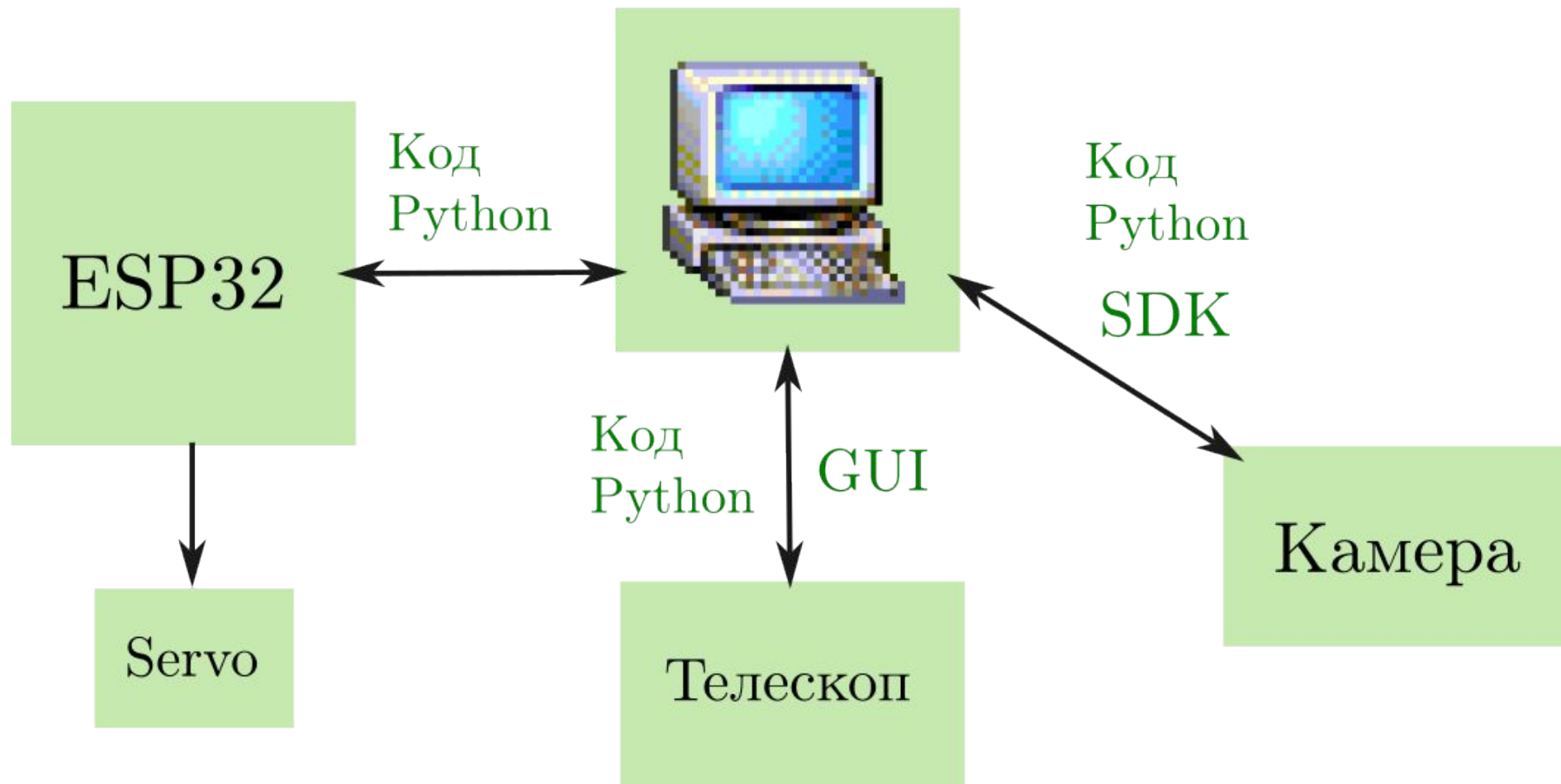


# Измерения зависимости от настраиваемых параметров

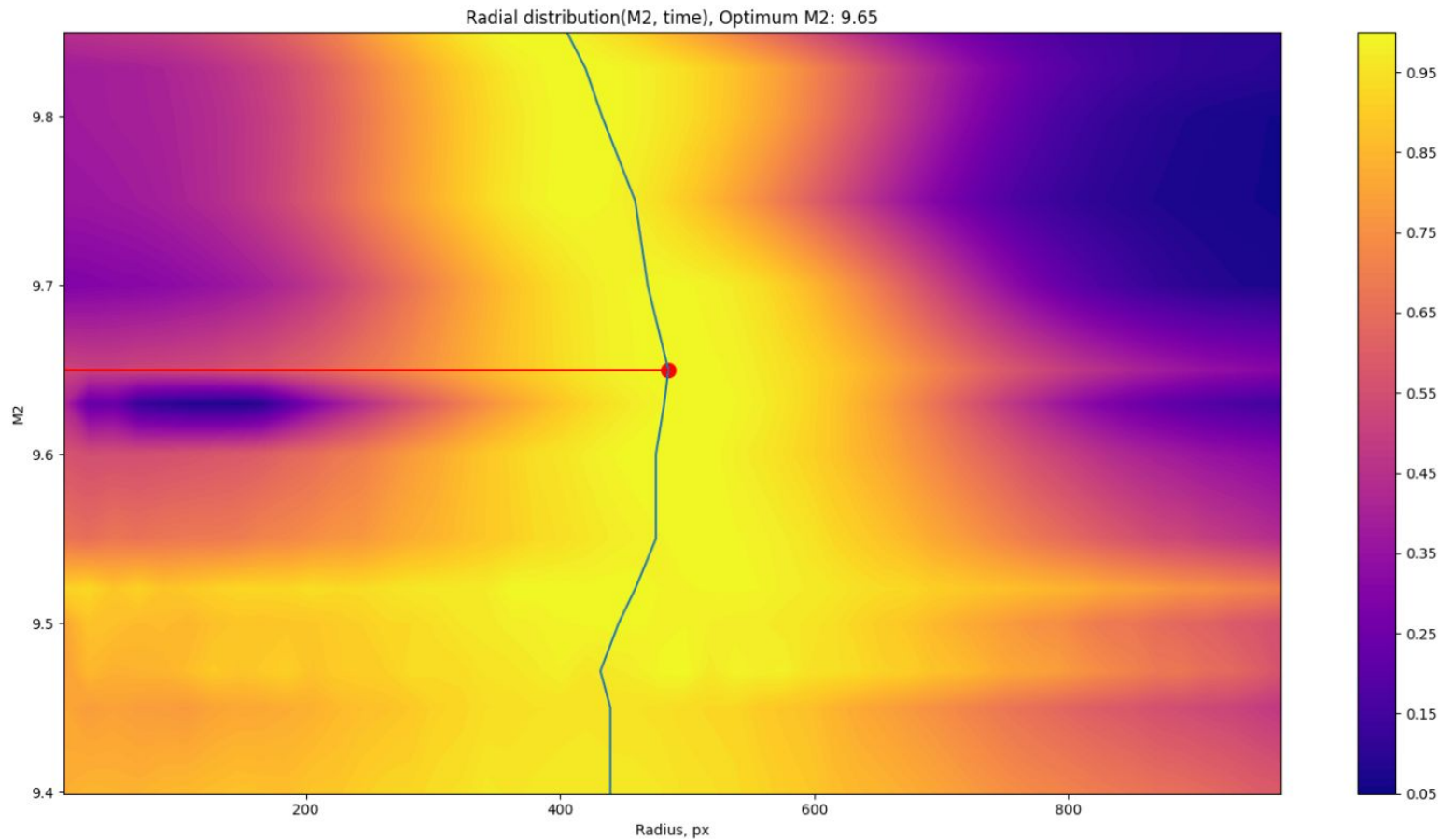
Использовались звезды Арктур, HD332077 и HIP96258. Процедура Измерения требуют синхронизации всех частей схемы: фокусировки телескопа, съемки и работы сервопривода.

Процесс работы программы измерений был встроен в GUI, выполнение происходит параллельно основному процессу (захват изображение, контроль параметров, гидирование и проч.)

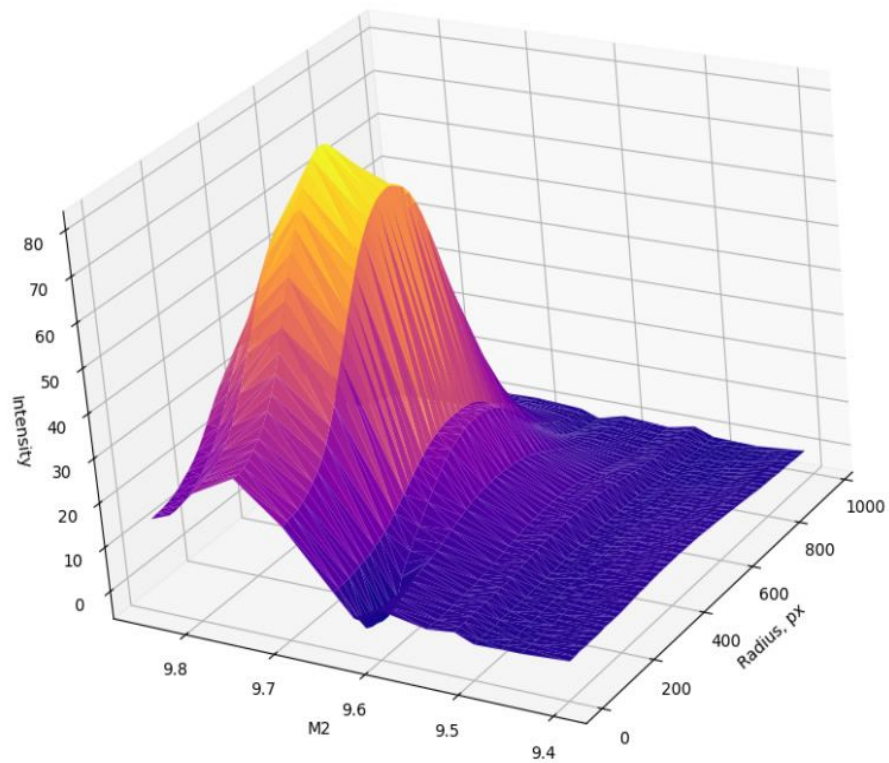
# Схема синхронизации



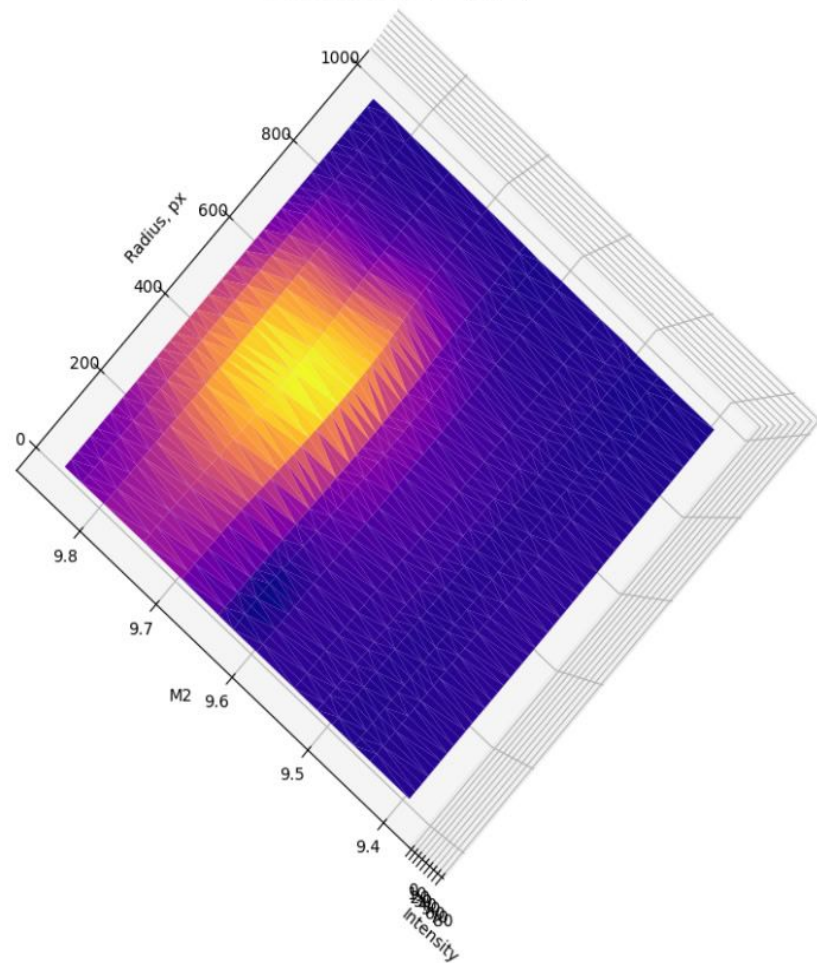
# HIP96258, без синхронизации



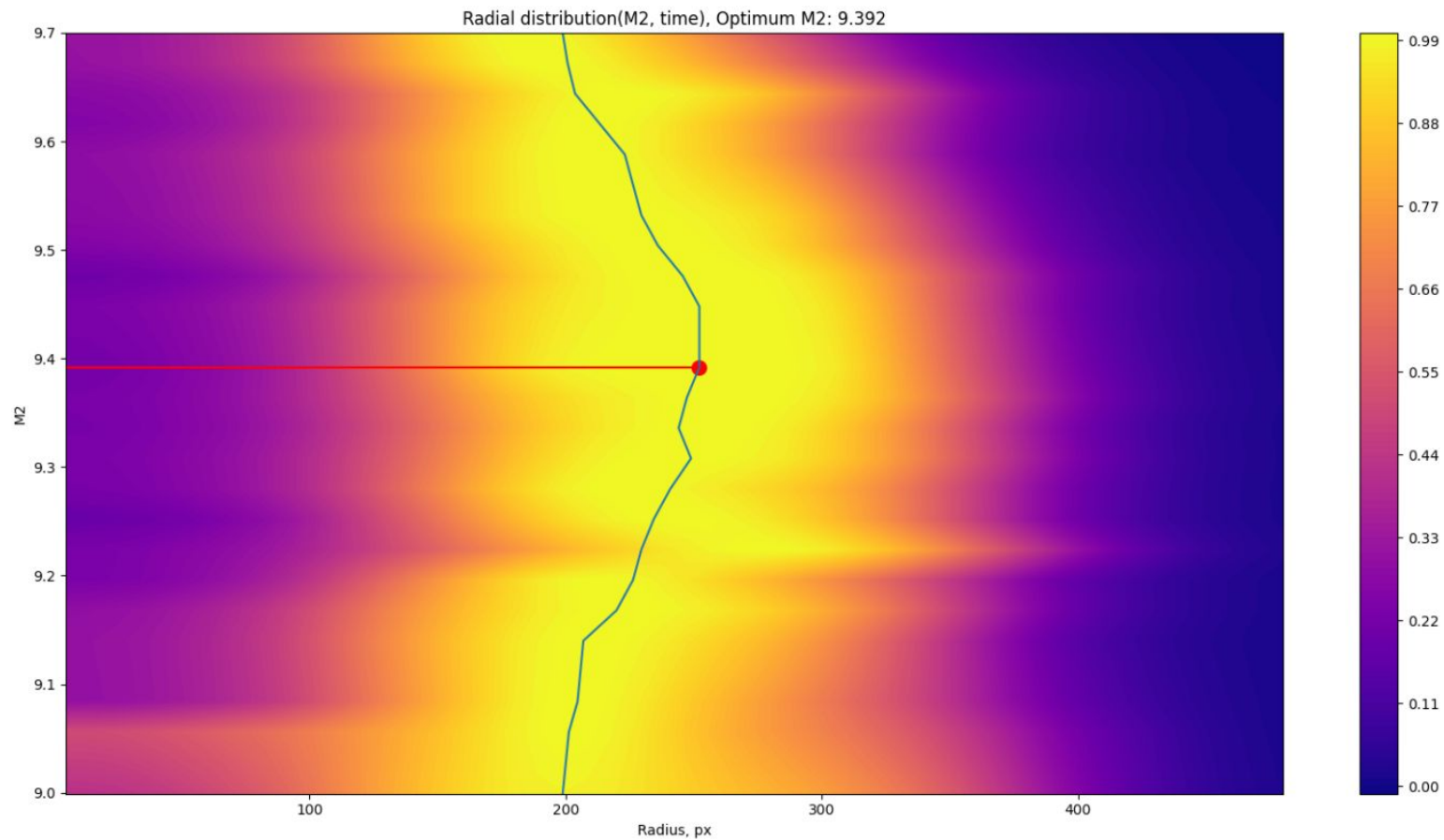
Radial distribution(M2, time)



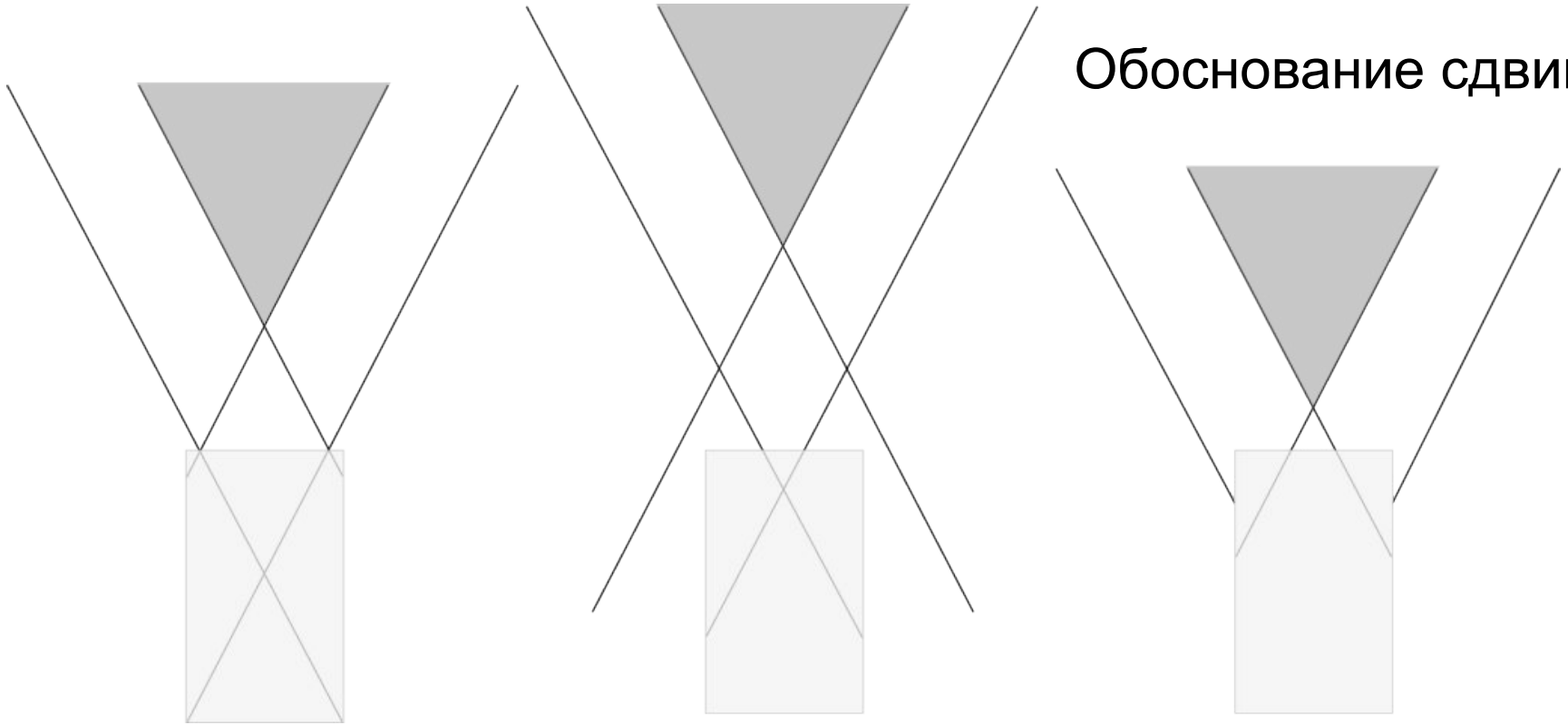
Radial distribution(M2, time)



# Арктур, с синхронизацией



## Обоснование сдвига



Оптоволокно при оптимальной фокусировке располагается в наиболее узком месте пучка.  
При смещении изображение тусклеет, положение максимума смещается



Epic fail



# Заключение

В результате проделанной практической работы была собрана и откалибрована экспериментальная установка для учета ошибок определения лучевой скорости на спектрографе HRS.

Предложен способ фокусировки телескопа с помощью получаемых на этой установке графиков.



Спасибо за внимание!