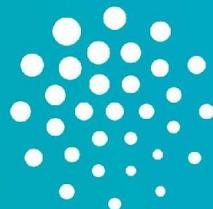


# Разработка детектора излучения на основе сенсора матрицы фотокамеры кубсата МОНИТОР-1



## БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

### Участники проекта:

Горбач Егор Юрьевич

Ефимкин Александр Николаевич

Семенова Ирина Андреевна

Фомичев Тимофей Александрович

### Руководитель проекта:

Золотарёв Иван Анатольевич



# Цель и задачи



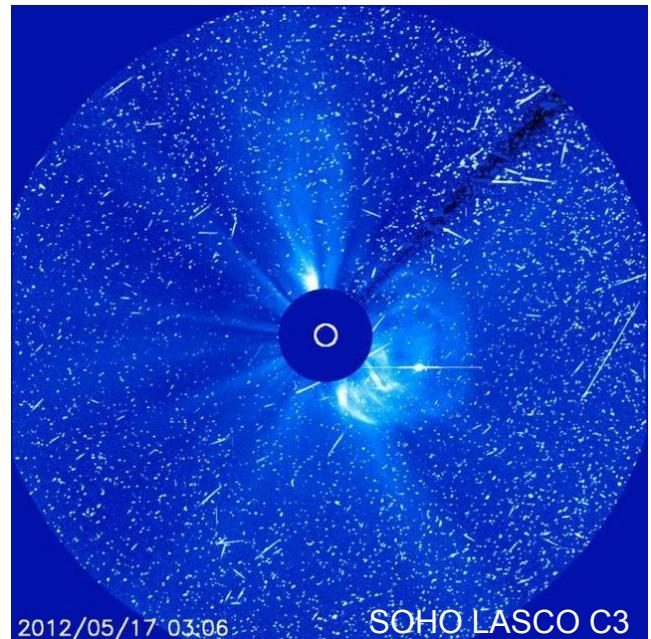
БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## Цель:

- Разработка прототипа детектора радиации на основе матрицы фотокамеры

## Задачи:

- Разработать алгоритм для выделения треков
- Протестировать алгоритм на Земле
- Отправить программу на спутник
- Получить и обработать фотографии со спутника
- Разработать прототип МАДИЗа





# Наша команда



**БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ**  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



**Егор Горбач**  
физика процессов  
программист



**Александр Ефимкин**  
инженер  
программист



**Тимофей Фомичев**  
программист



**Ирина Семенова**  
программист



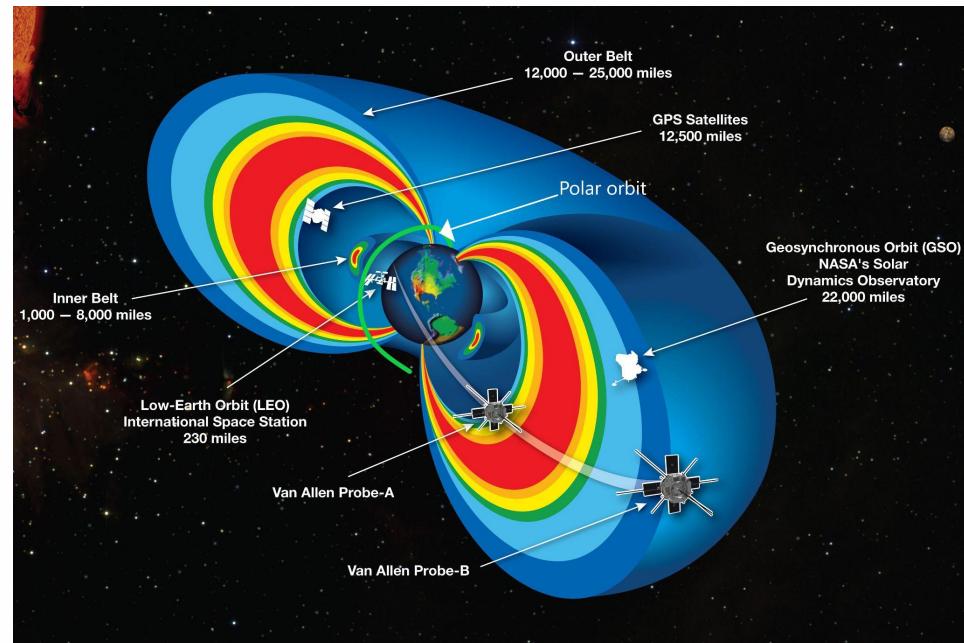
# Актуальность



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## Актуальность:

- Освоение полярных орбит с повышенным уровнем радиации
- Возможность получить маленький детектор радиации для каждого космического аппарата
- Получение данных о космической погоде
- Получение 3д карты радиации в реальном времени

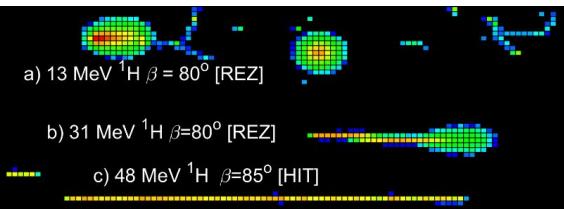




# Физика



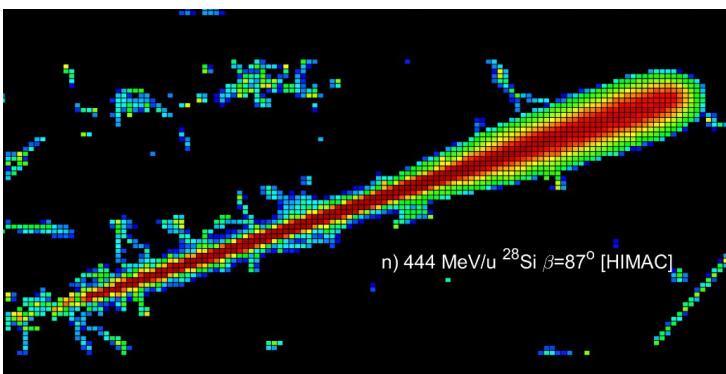
**БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ**  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



Треки атомов водорода, (протонов),  
разных энергий и электронов.

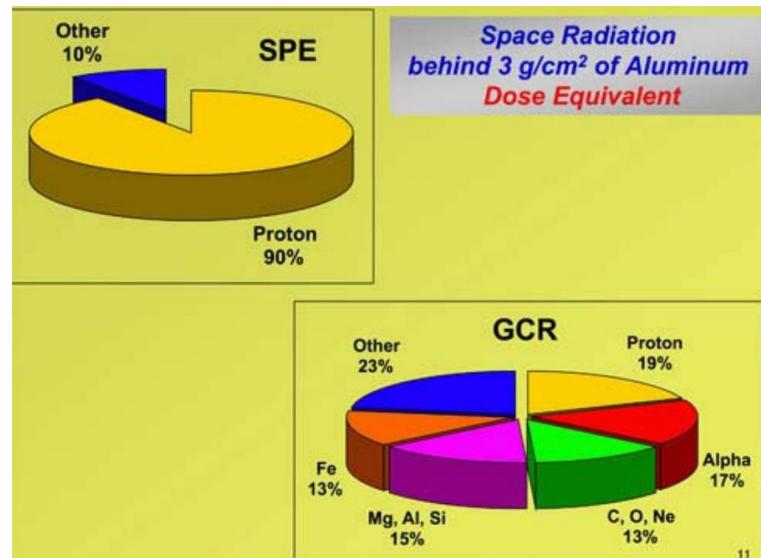


Пример  
трека  
фотона.



Трек атома кремния и электронов.

Относительный вклад в  
дозу различных видов  
космического излучения



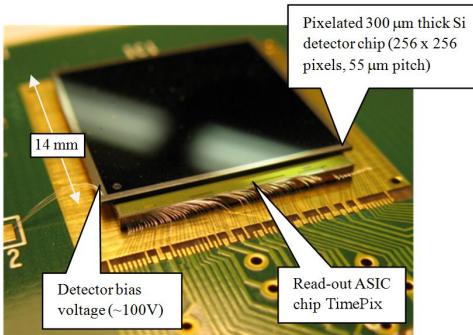
The Space Radiation Environment: An Introduction  
Walter Schimmerling, Ph.D, Date posted: 02-05-2011



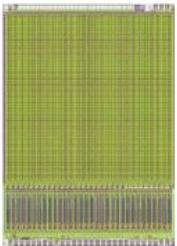
# Существующие решения



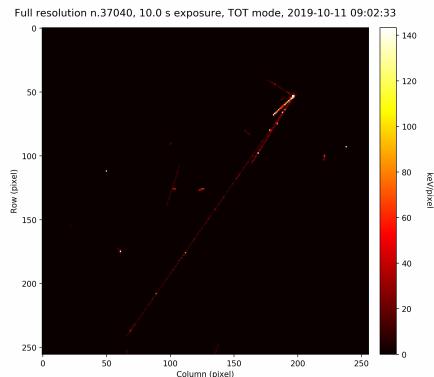
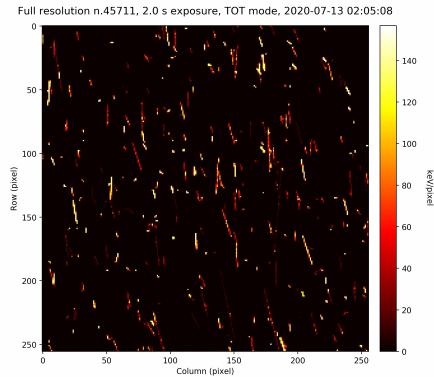
БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



TimePix - матричный  
детектор радиации на МКС  
и VZLUSAT-1



SpacePix 2 -  
матричный  
детектор  
радиации на  
Сократе



## Более 50 Спутников

- Сириус-1
- Сириус-2
- Хорс
- Ярило
- МОНИТОР-1
- МОНИТОР-2
- МОНИТОР-3
- МОНИТОР-4



# Оборудование

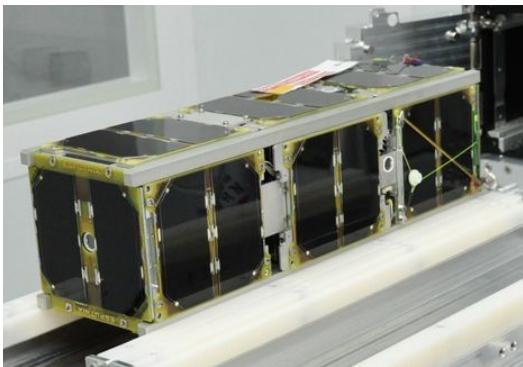


БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## Сравнение камер:

	Rpi V2 NoIR	Rpi V3	Timepix	SpacePix 2
Размер пикселя (мкм)	1.12	1.4	55	60
Разрешение	2592x1944	4608x2592	256x256	64x64

### Cubesat МОНИТОР-1



Камера на борту - Raspberry Pi Camera v2 NoIR  
(без инфракрасного фильтра)

NORAD ID: 53374  
Размер: 3U  
Дата запуска: 09.08.22  
Масса: 2.84 кг



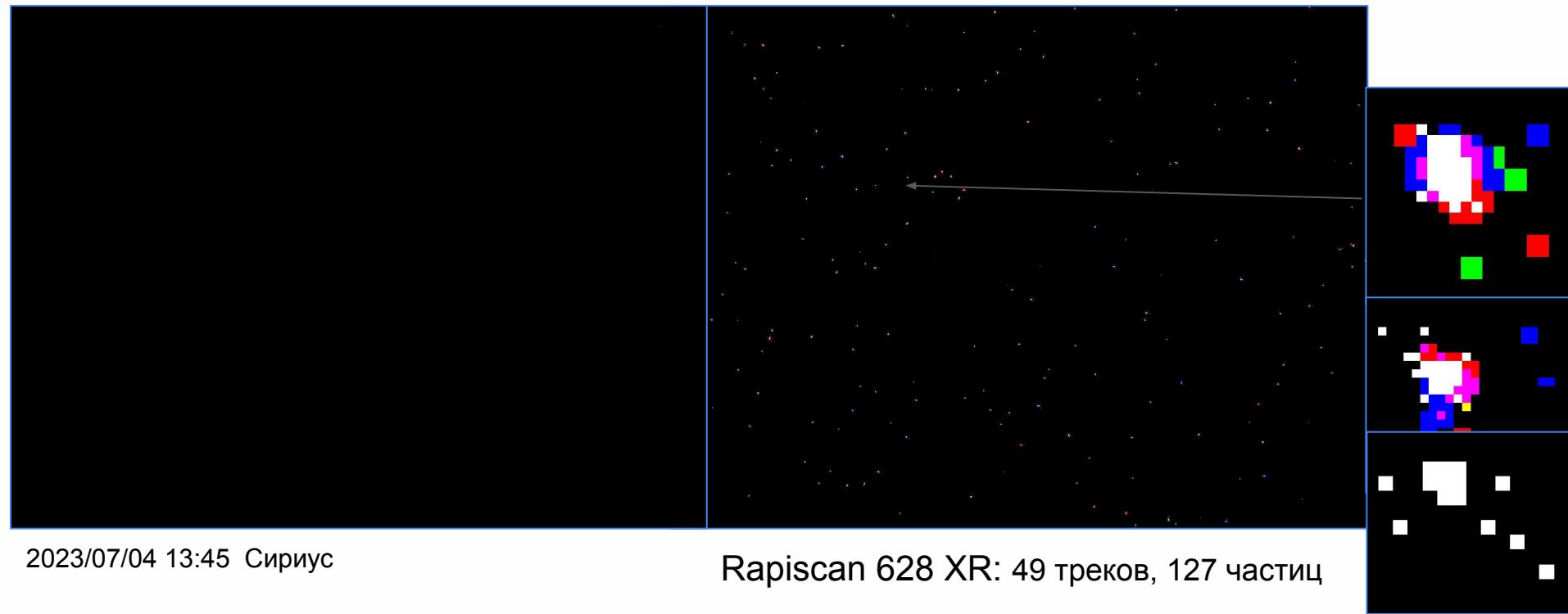


# Треки



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

Rpi NoIR camera, выдержка 3s

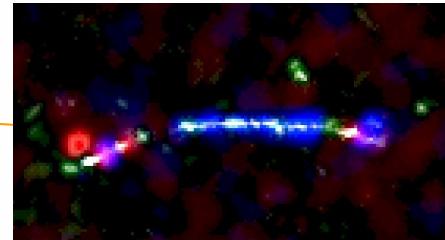




НИИЯФ



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



Rpi camera v2 NoIR 3s, 20.07.2023, Москва. Стронций 90: 714 треков, 1441 частиц

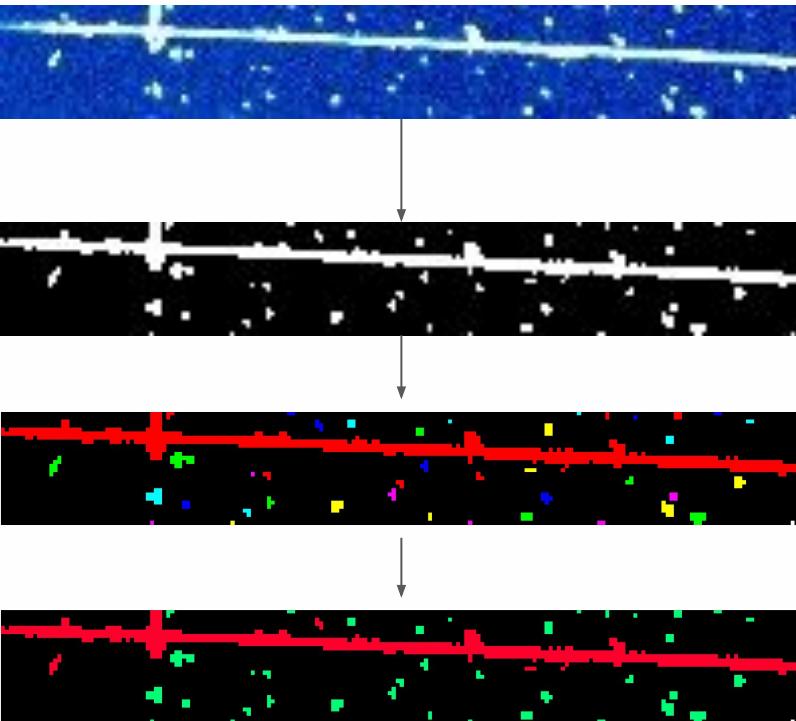


# Обработка снимков



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

0. Загрузка изображения
1. Бинаризация изображения
2. Выделение контуров
3. Классификация следов частиц





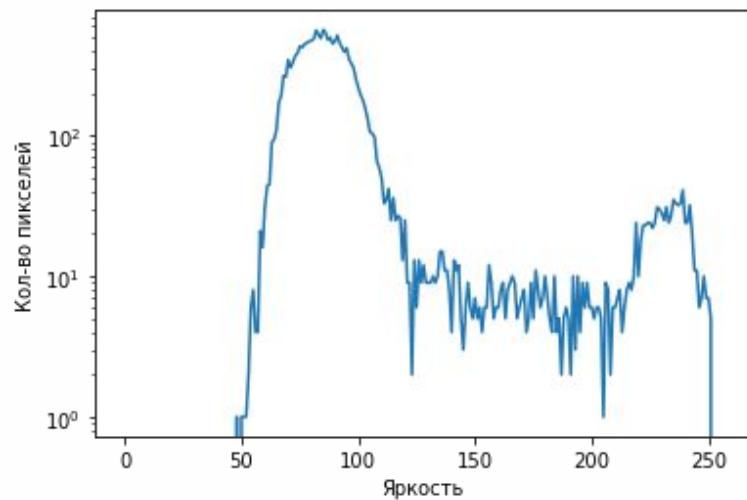
# Бинаризация



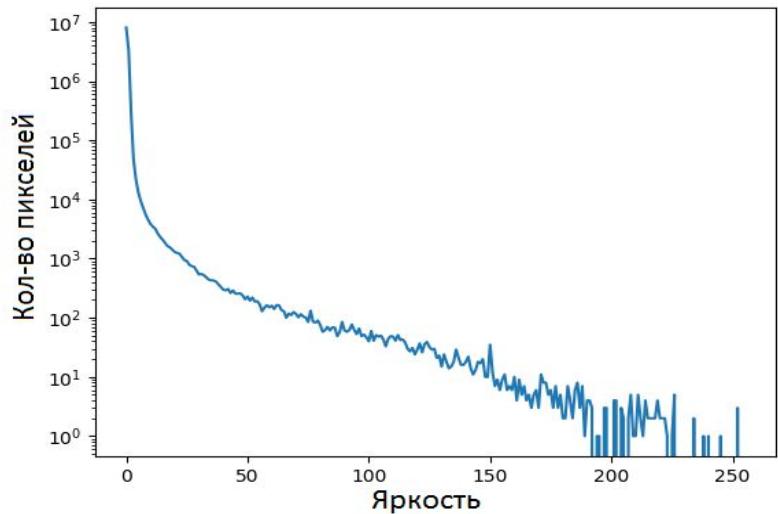
БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



SOHO LASCO C3



20.07.2023 Москва,  
стронций 90  
704 трека, 1298 части





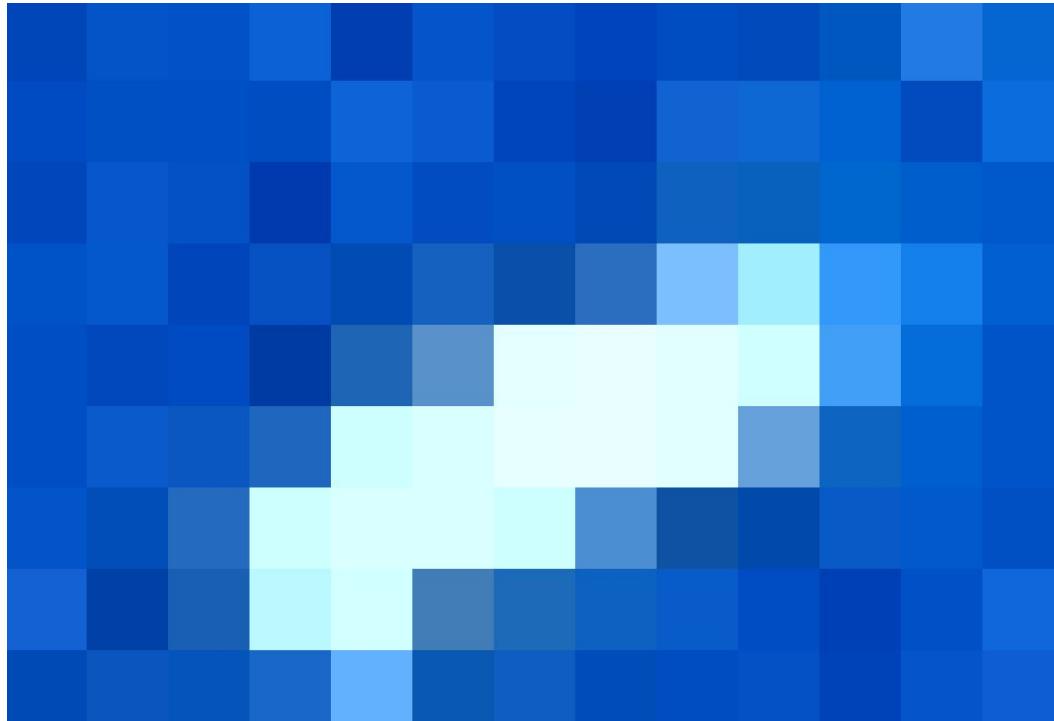
# Выделение контуров



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## 1. Рекурсивный алгоритм:

- 1) Поиск засвеченного пикселя
- 2) Анализ соседей
- 3) Рекурсивный обход засвеченных пикселей





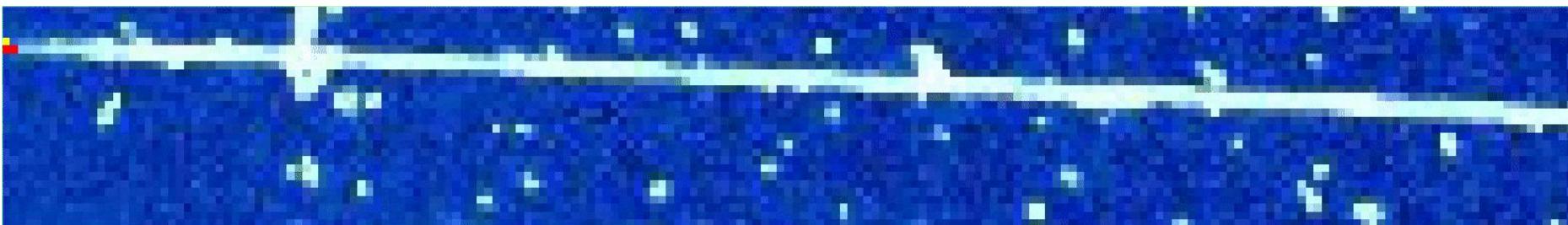
# Выделение контуров



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## 2. Улучшенный алгоритм:

- 1) Поиск засвеченного пикселя
- 2) Использование вспомогательного набора “соседей засвеченных пикселей”
- 3) Обход циклами



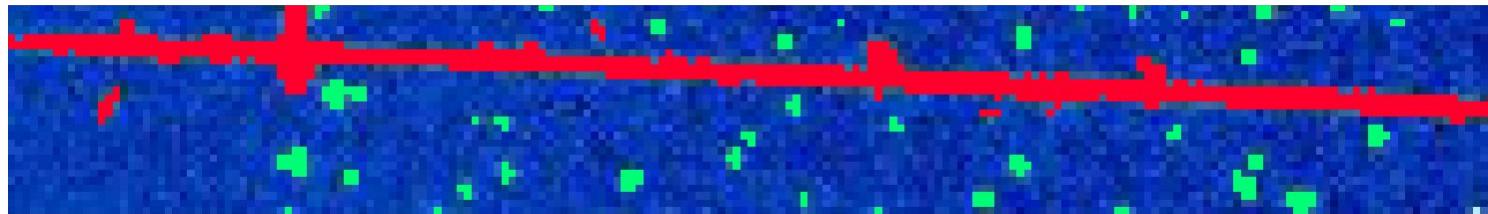
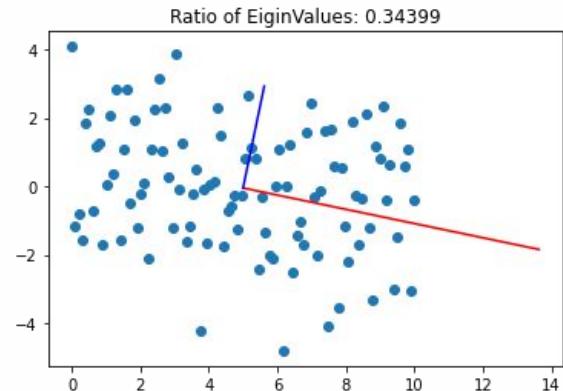
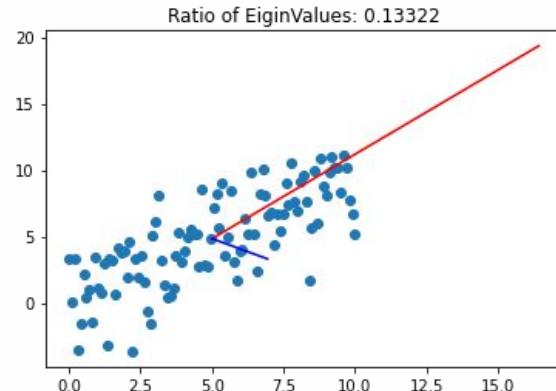
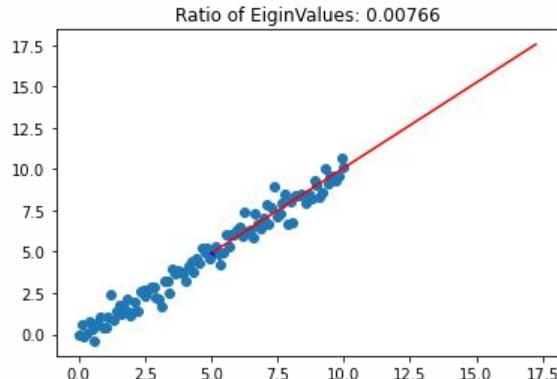


# Классификация частиц



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## Метод анализа главных компонент (РСА):



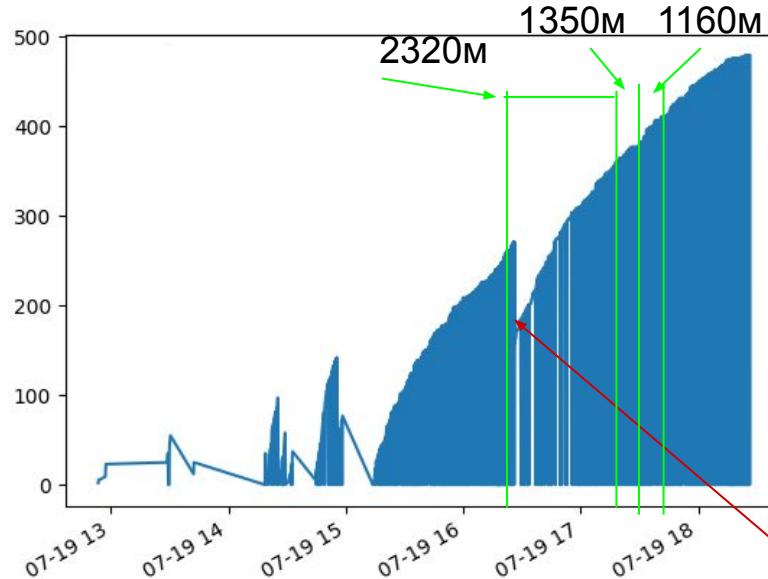


# Горы



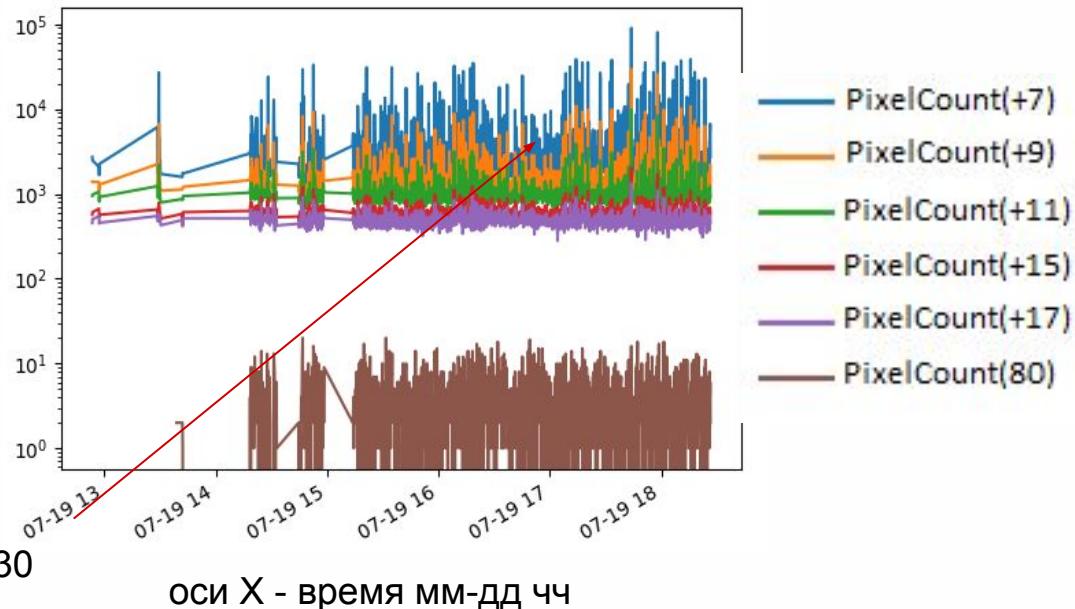
БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

количество групп пикселей



Данные с Rpi 4 Rpi v2 NoIR

количество засвеченных пикселей

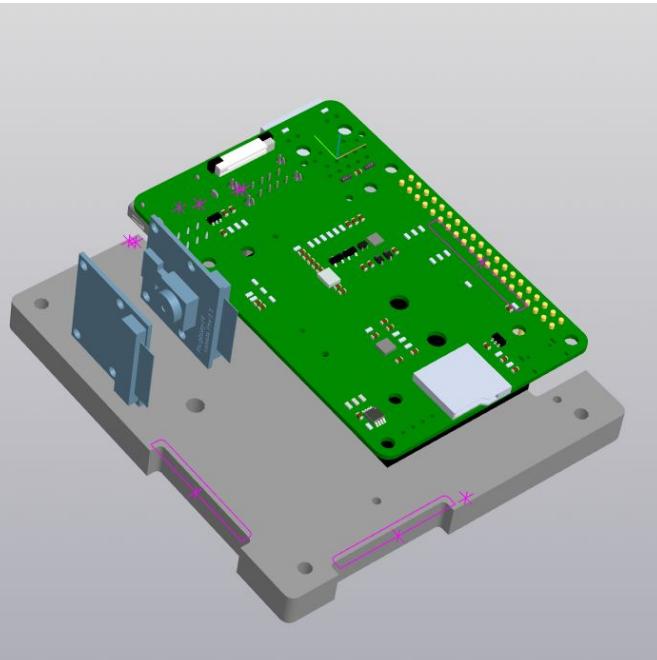




# МАДИЗ



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



3д модель



Rpi 4 compute module  
2 камеры Rpi

## МАДИЗ

### Матричный Детектор Излучения

- Масса 340г
- Размеры 91x98x65 мм
- Энергопотребление не более 2 Вт
- Напряжение 5В
- Поле зрения до 180 градусов
- Чувствительность от 25 МэВ



# Фото с орбиты!

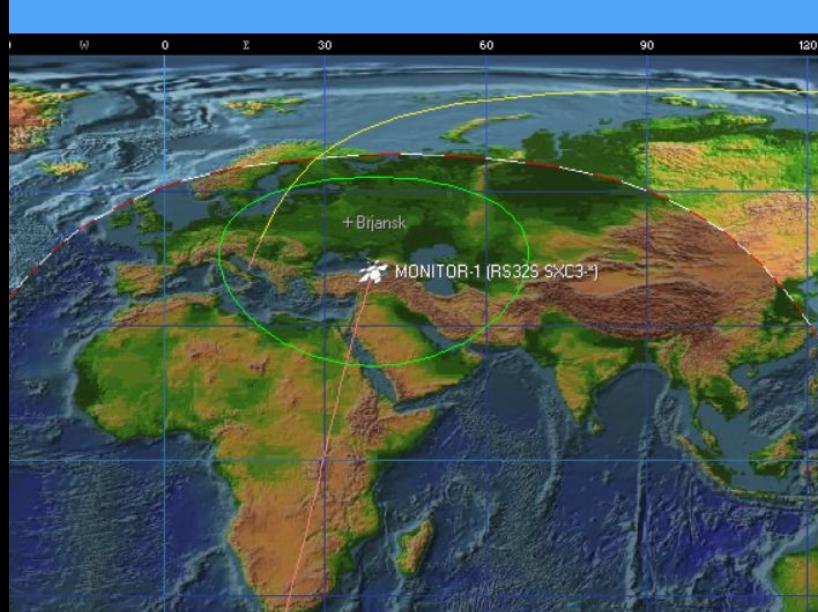


БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА



13.07.2023 00:10

МОНИТОР-1 Rpi camera v2 NoIR  
(enhanced): 0 треков, 7 частиц





# Фото с орбиты!

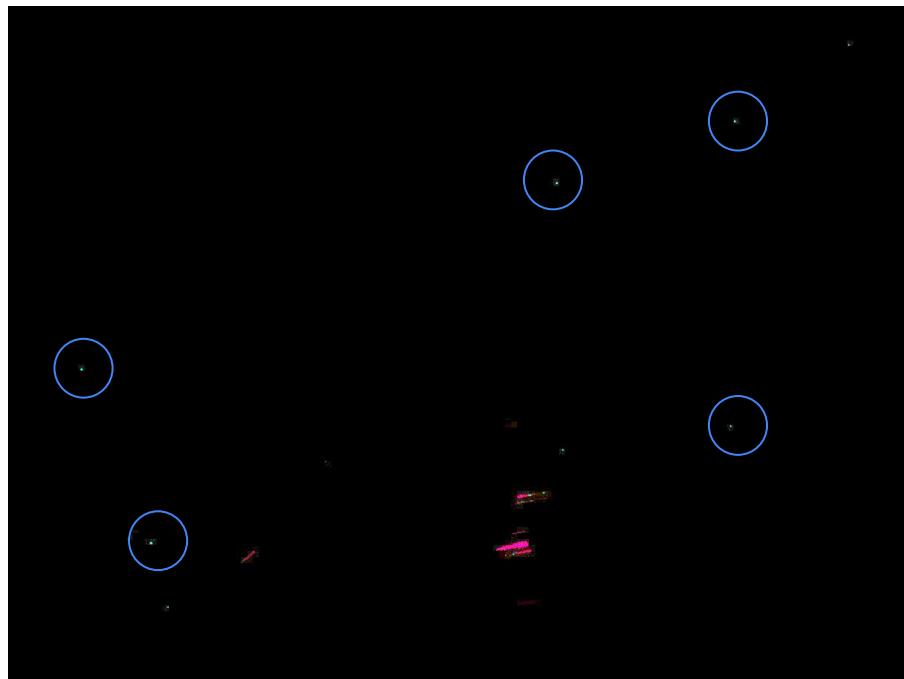


БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

Enhanced



Результат обработки





# Обработка снимков



**БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ**  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

## Статистический анализ

		Track		Lines		Points	
Names groups	Angle	mean	stddev	mean	stddev	mean	stddev
Sr 90	0 deg	2198	55	819	17	1378	45
	30 deg	1638	575	552	199	1086	377
	45 deg	1483	39	501	32	982	9
Rapiscan 628 XR	0	172		49		127	
Earth	-	7		0		7	



# Результаты



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

- Написаны алгоритмы на Python, C++ для нахождения треков и частиц
- Алгоритмы протестированы на Земле
- Фотографии со спутника проанализированы
- Разработан прототип прибора МАДИЗ



[github.com/lightweave/madiz](https://github.com/lightweave/madiz)



# Планы на будущее



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

- Разработка самоадаптирующейся системы распознавания треков частиц
- Апробация алгоритмов на нескольких спутниках
- Разработка алгоритмов анализа спаренных фотографий спутника МАДИЗ



БОЛЬШИЕ ВЫЗОВЫ  
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ  
ПРОЕКТНАЯ ПРОГРАММА

# Спасибо за внимание!

