

Проект СФЕРА-3 для изучения состава ПКЛ в области 1-1000 ПэВ

«Двенадцатые Зацепинские Чтения»

27 мая 2022

Чернов Д.В.
НИИЯФ МГУ

Цель проекта

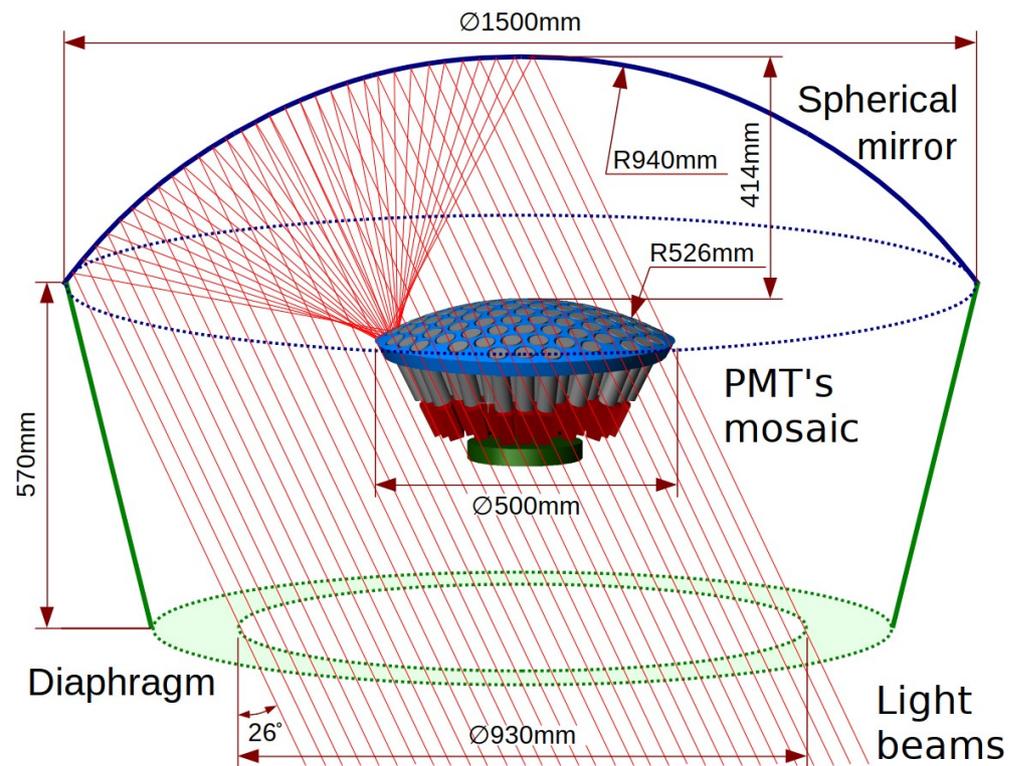
Проект направлен на реализацию методики изучения ПКЛ предложенной академиком А.Е. Чудаковым - регистрации оптического излучения Вавилова-Черенкова, чаще называемого «черенковским светом» ШАЛ (ЧС ШАЛ), отраженного от снежной поверхности.

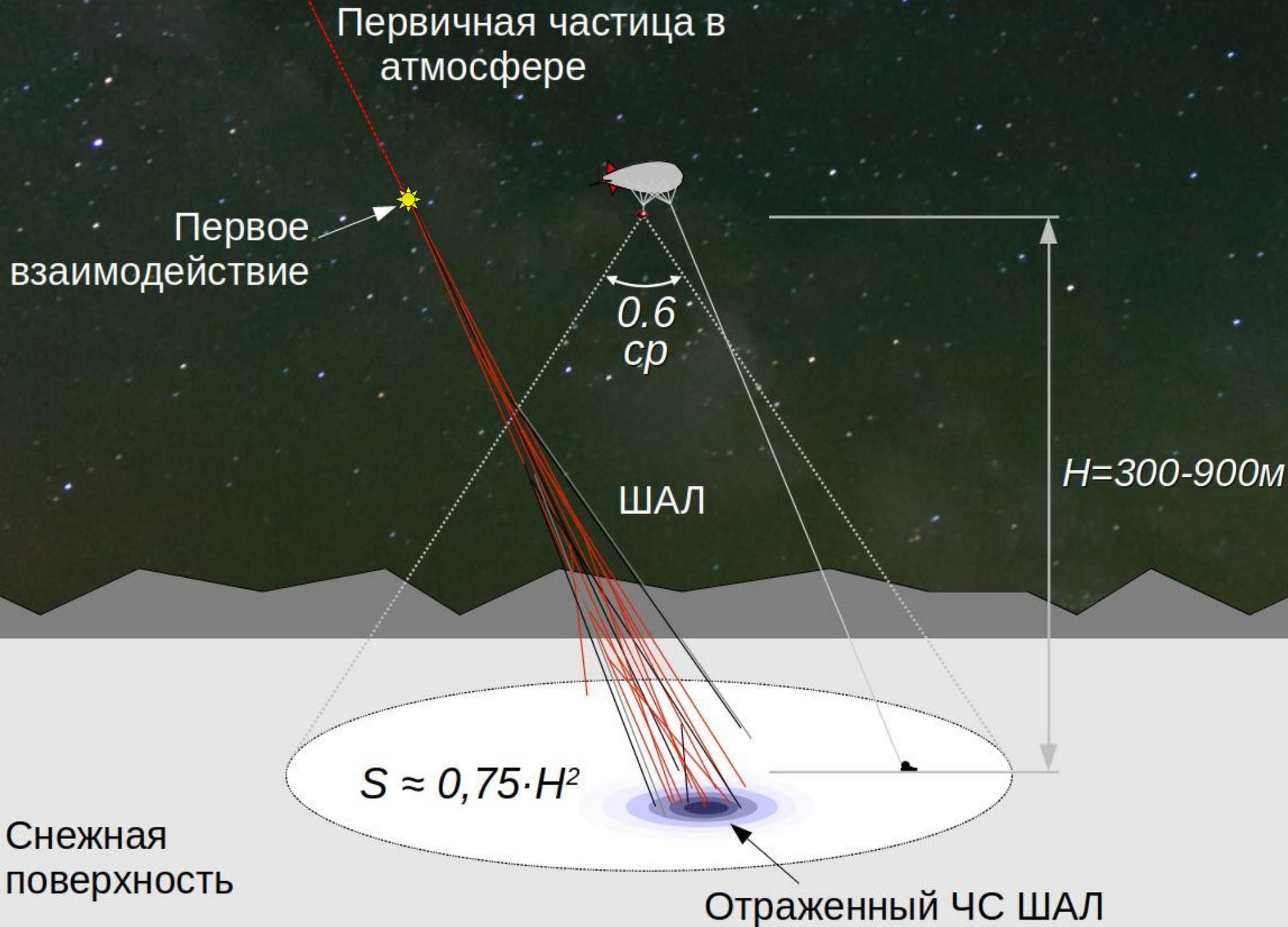
Основной целью настоящего проекта является разработка светосильного аэромобильного детектора для регистрации отраженного ЧС ШАЛ для получения данных о химическом составе первичных космических лучей в области энергий 1-1000 ПэВ. В детекторе установки планируется использовать кремниевые фотоумножители, а для подъема измерительной аппаратуры над заснеженной поверхностью будет использован беспилотный летательный аппарат (БПЛА, дрон)

**Апробация методики.
Эксперимент с установкой СФЕРА-2**

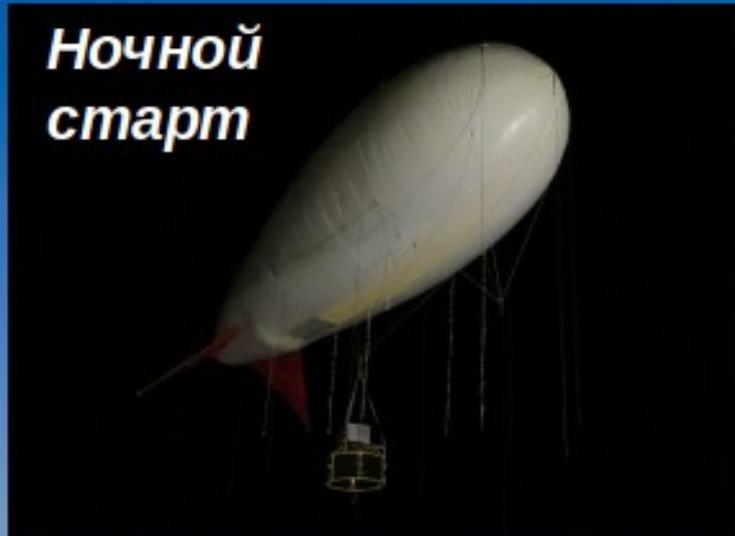
СФЕРА-2

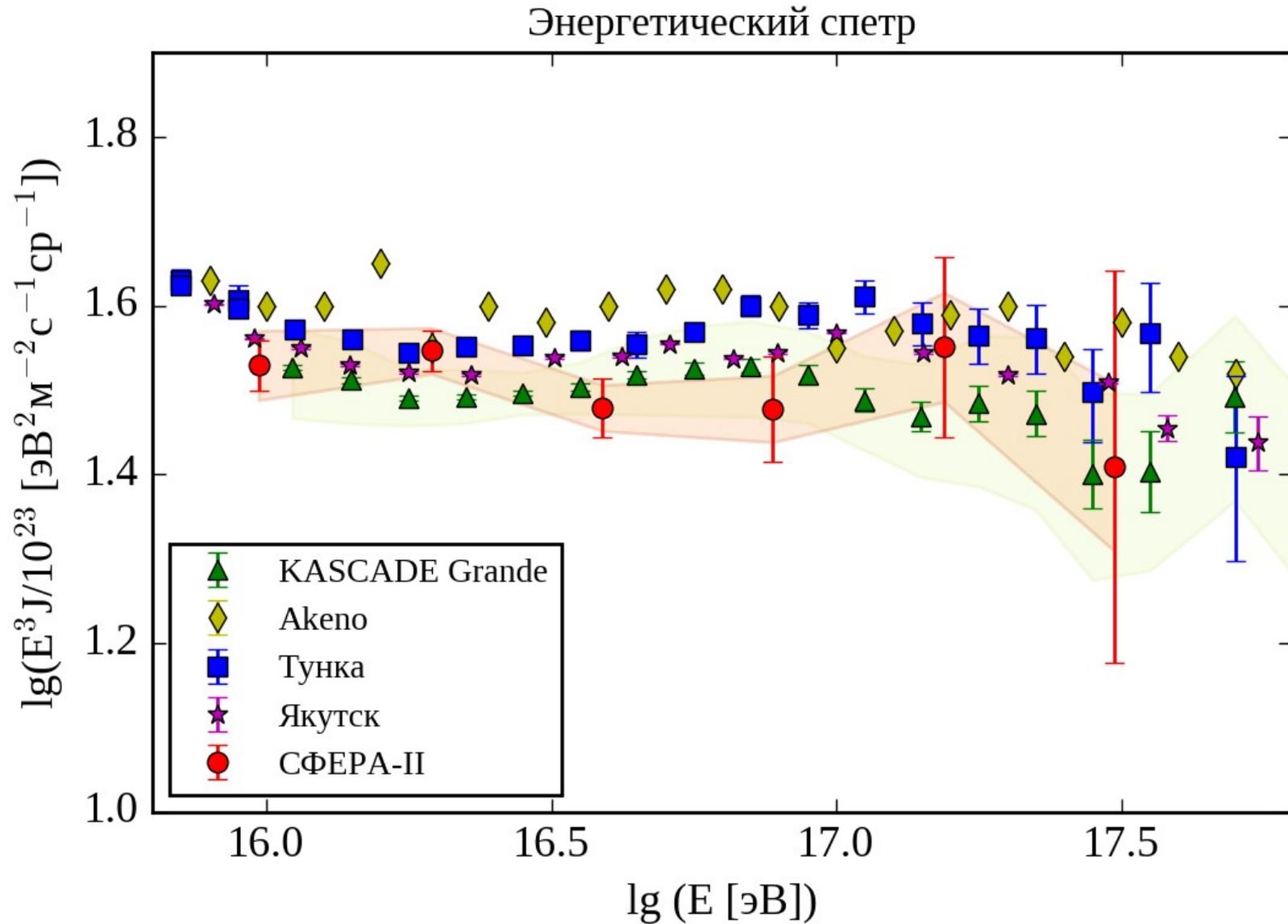
Устройство

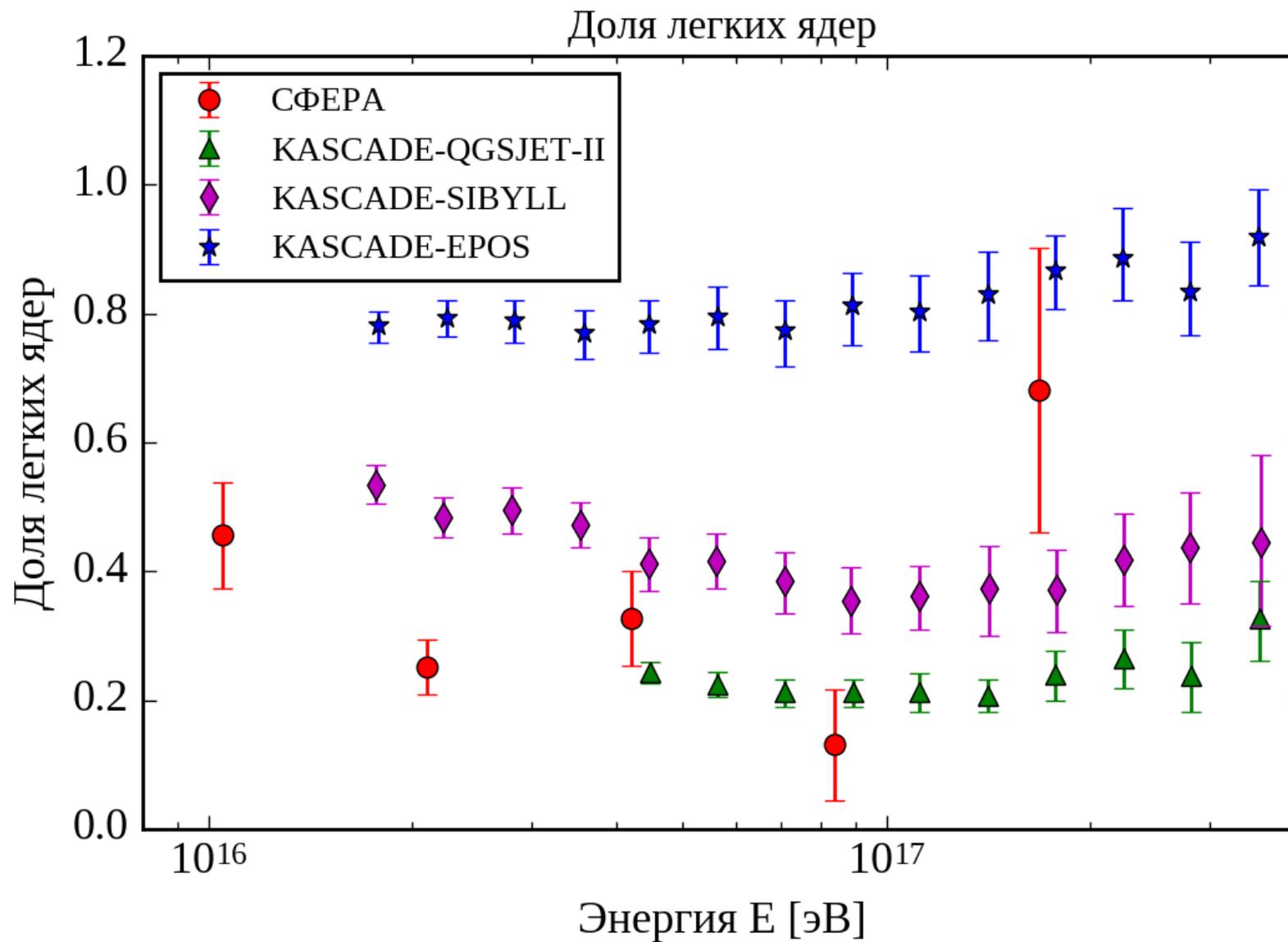




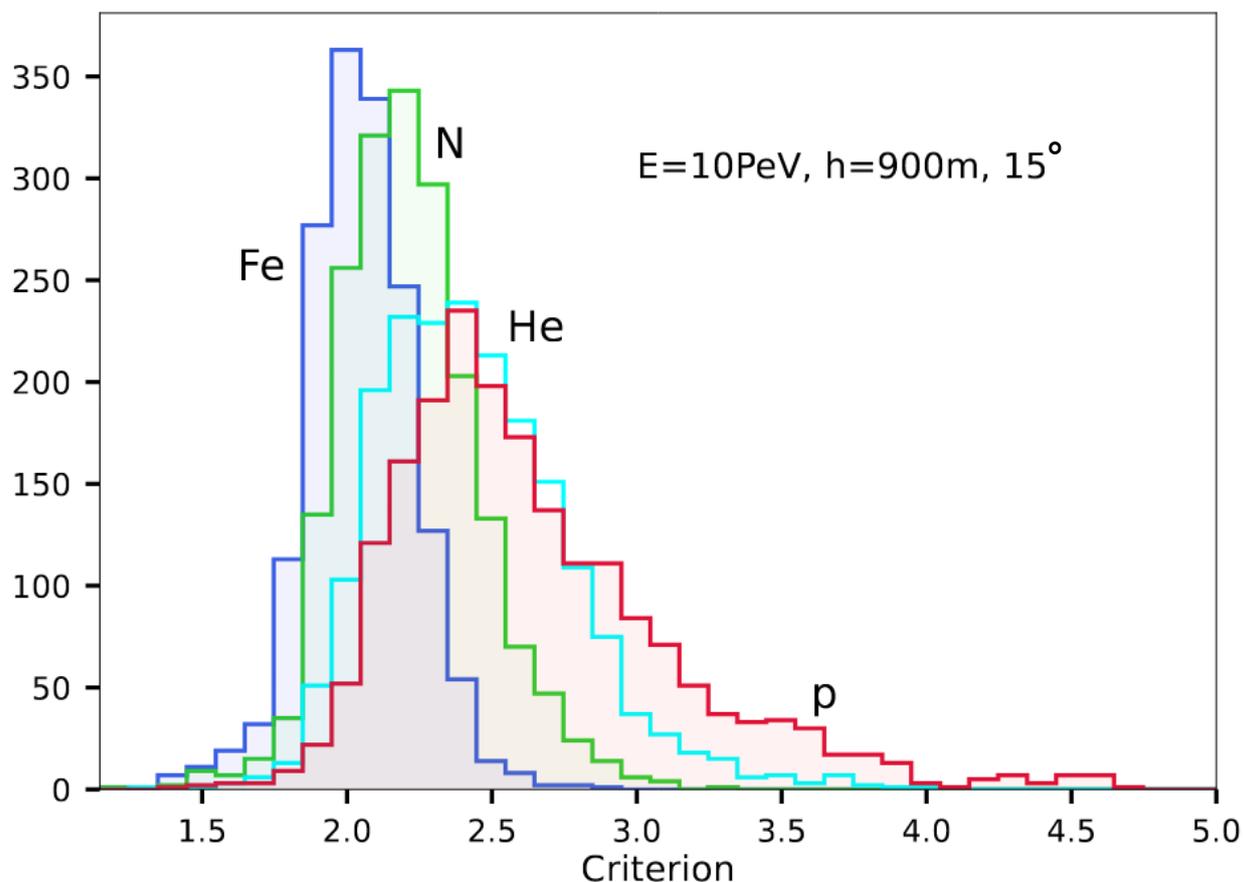
Проект основан на опыте эксплуатации аэростатной установки СФЕРА-2







Моделирование



В новой установке разделение будет улучшено за счет оптимизации конструкции и алгоритмов обработки.

Более высокая точность определения состава ПКЛ достигается благодаря тому, что характеристика индивидуальных событий (функция пространственного распределения ЧС ШАЛ) не усредняется по большому числу “типичных” событий через определение характеристики X_{max} , а используется для одно- или много-параметрического анализа принадлежности события к тому или другому типу первичной частицы.

Преимущества метода

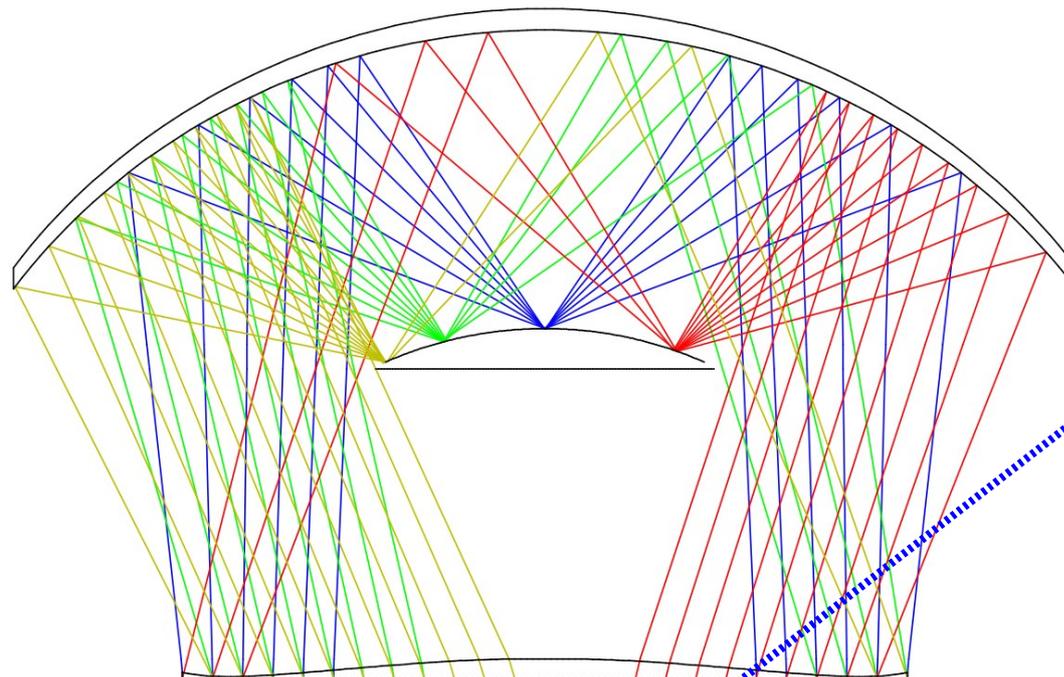
- Обеспечивает значительную площадь регистрации ЧС с помощью компактного устройства;
- Точная оценка энергии ПКЛ в отдельном событии по сравнению с другими методами;
- Поле зрения отдельных чувствительных элементов детектора охватывает значительную часть обследуемой области, что позволяет наблюдать ЧС из ШАЛ вблизи оси ливня, обычно недоступной для наземных детекторных решеток ЧС. Это обстоятельство значительно повышает точность оценки типа первичных частиц;
- Позволяет измерять один и тот же диапазон энергии ПКЛ с различным разрешением (расстояние между центрами полей зрения соседних чувствительных элементов) с использованием изменения высоты детектора, что позволяет контролировать величину систематических ошибок.

Разработка проекта создания установки СФЕРА-3

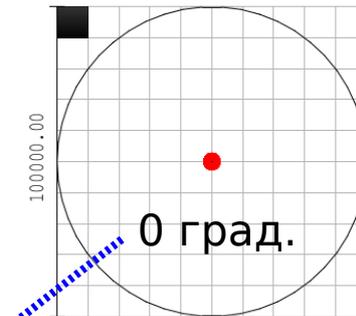
Параметр	Прототип детектора	Целевой детектор
Чувствительная площадь оптики (входное окно диафрагмы)	До 0,1 м ²	До 1 м ²
Диаметр зеркала	До 800 мм	До 2200 мм
Угол обзора оптической системы	+/- 25 градусов	+/- 25 градусов
Количество элементов мозаики (кремниевые ФЭУ)	До 300*	2-3 тыс.*
Масса детектора	до 10 кг	до 100 кг
Высота подъема детектора	до 500 м	до 2000 м

* - уточняется

Предварительный вариант оптической системы установки СФЕРА-3

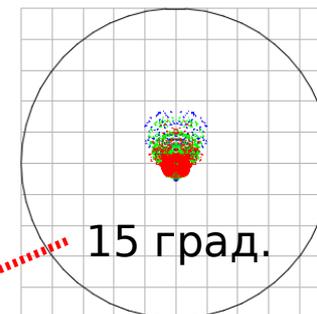


10x10мм OBJ: 0.00 (deg)



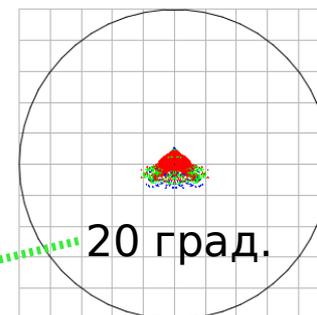
0 град.

OBJ: 15.00 (deg)



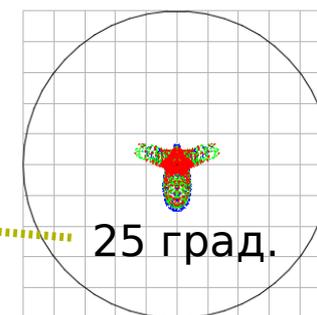
15 град.

OBJ: -20.00 (deg)



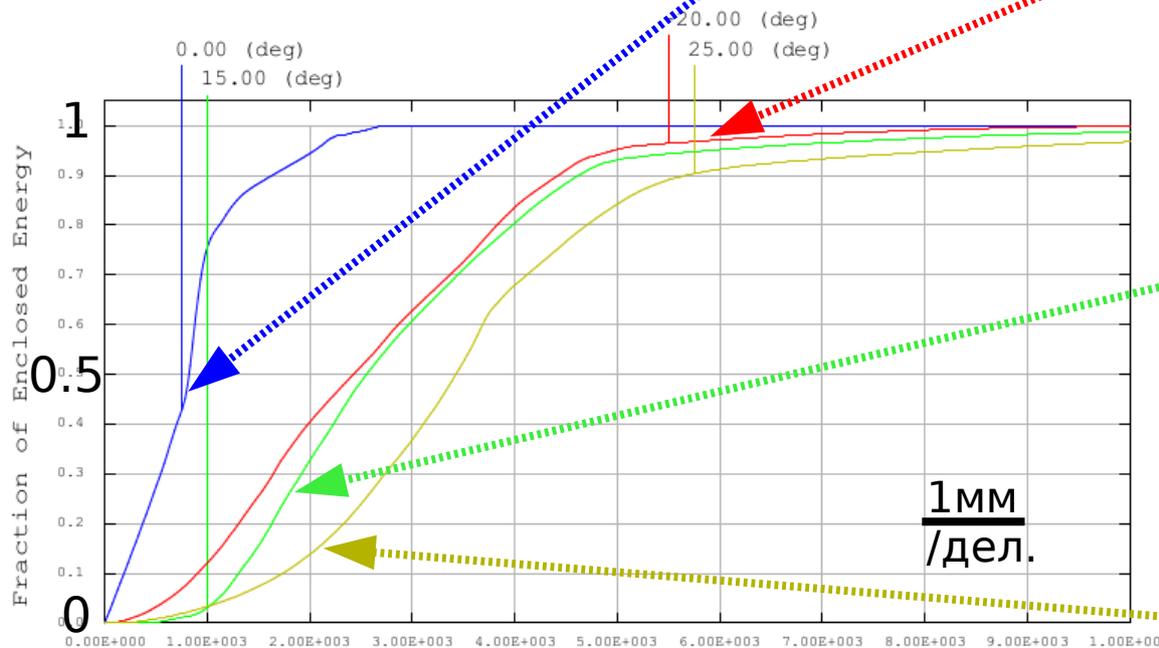
20 град.

OBJ: 25.00 (deg)



25 град.

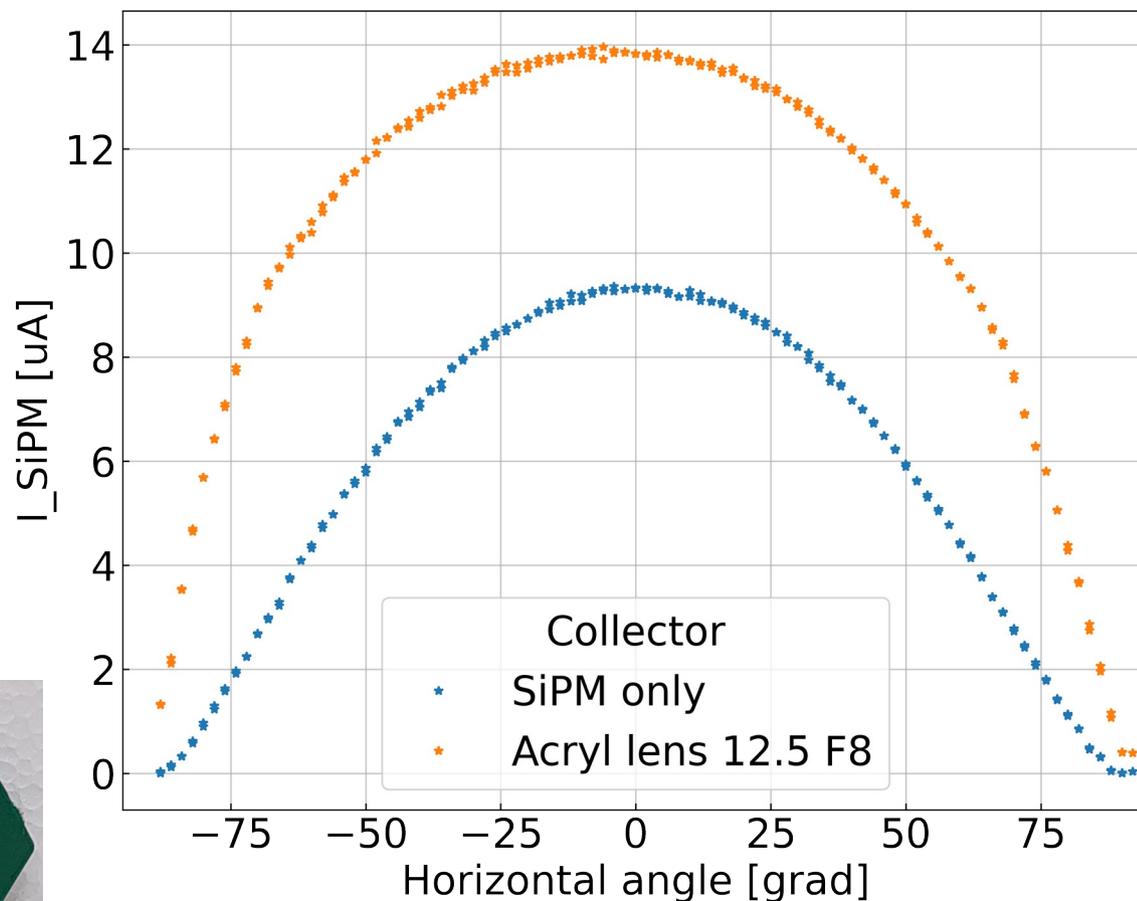
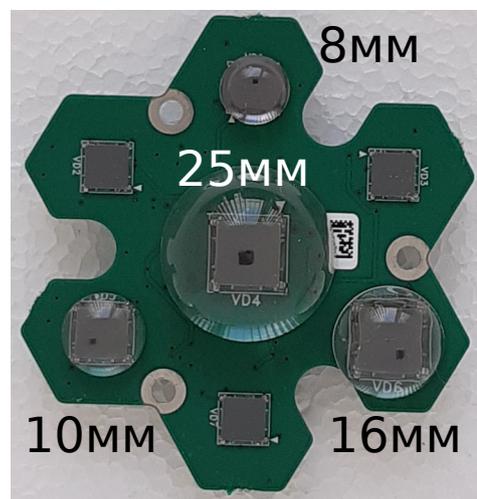
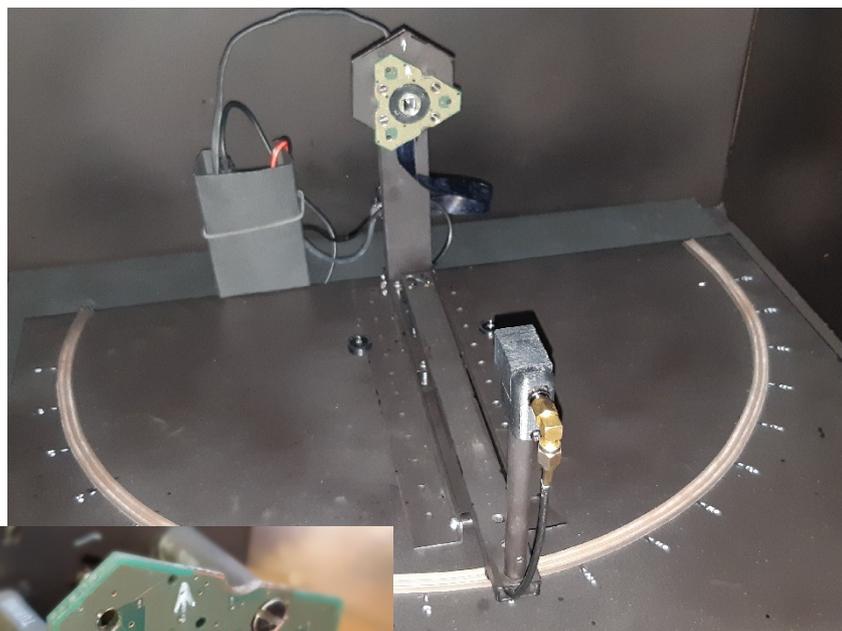
IMA: 331.755 mm



Радиус от центра пятна

СФЕРА-3

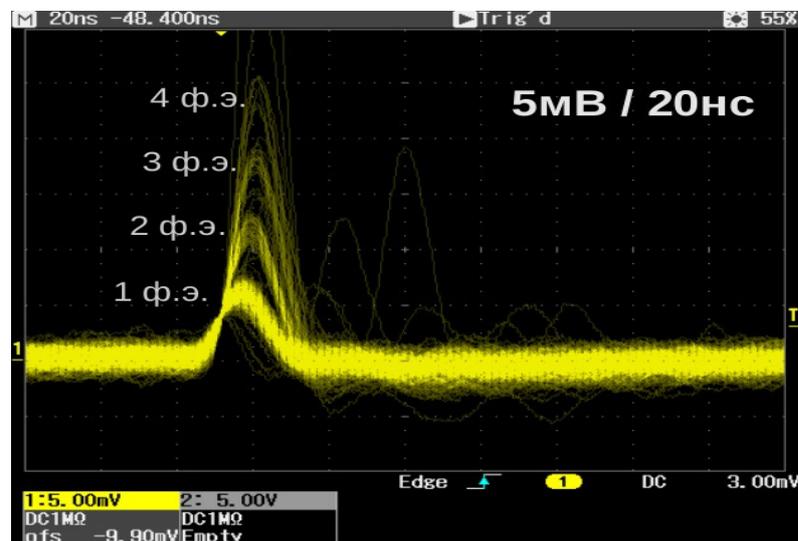
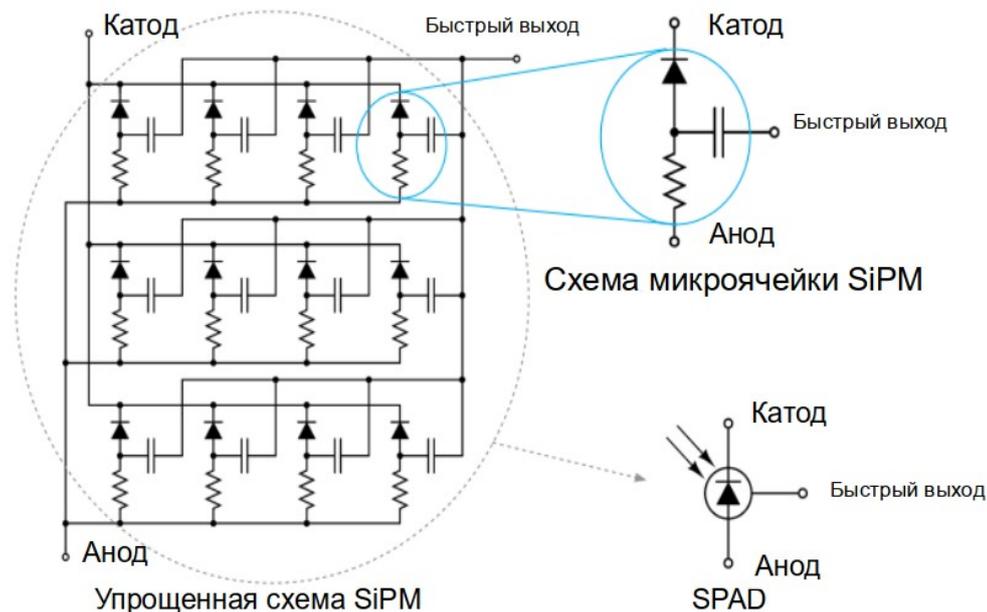
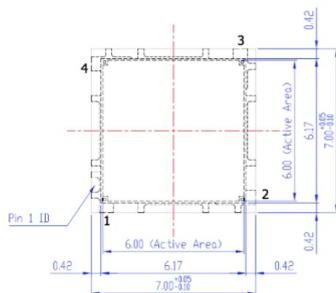
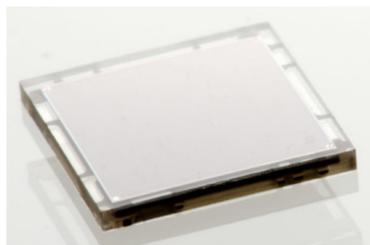
Исследование линзовых светосборников



СФЕРА-3

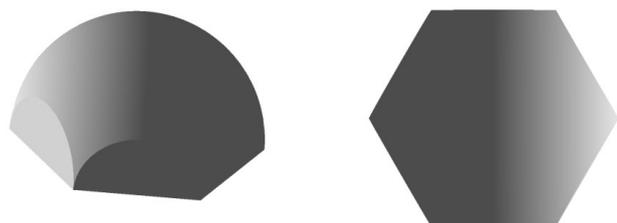
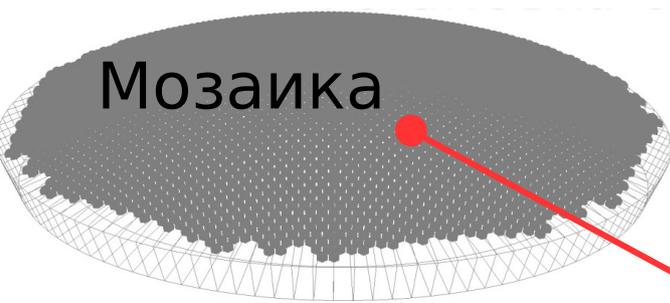
Матрица SiPM MicroFC-60035

- Размер кристалла — 7x7мм
- Размер активной области — 6x6мм
- Размер микроячейки — 35мкм
- Количество микроячеек — 18980
- Коэф. заполнения — 64%
- Напряжение питания $[V_{br}]$ — 24,2..24,7В
- «Перенапряжение» — 1..5В
- Пиковая чувствительность — 420нм
- Квантовая эф. макс. — 41%
- Усиление $(V_{br}+2,5В)$ — 3×10^6
- Усиление быстр. вых. $(V_{br}+2,5В)$ — $4,3 \times 10^4$



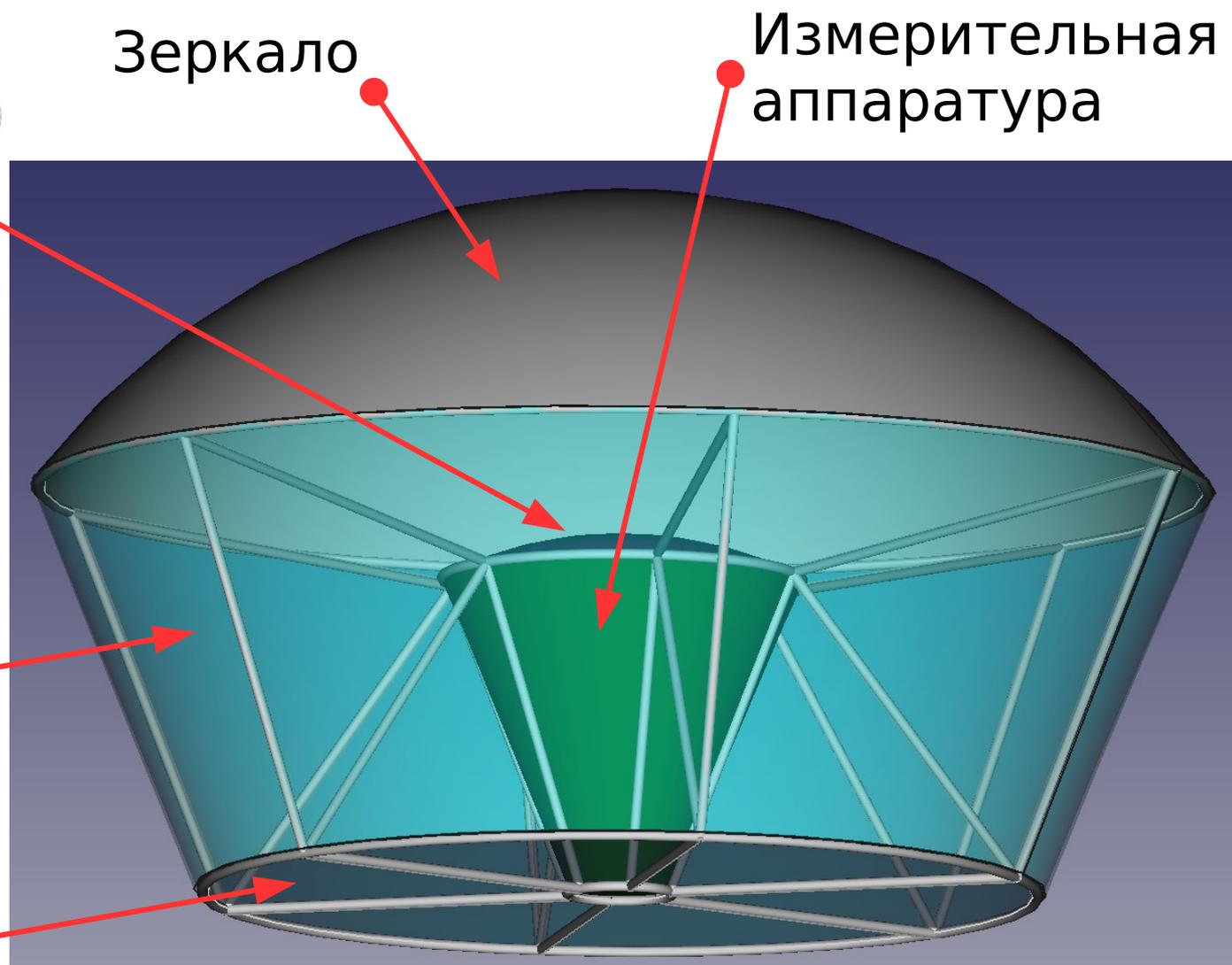
СФЕРА-3

Конструкция оптики

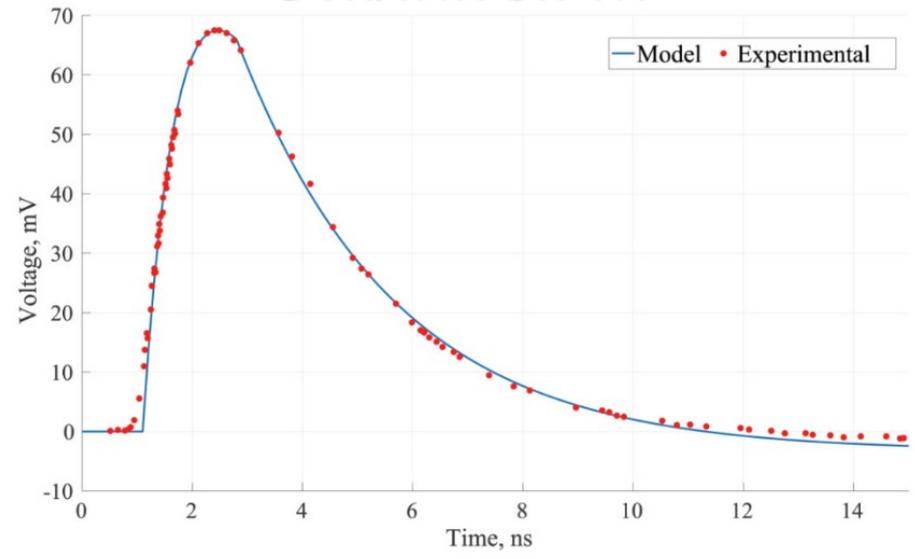
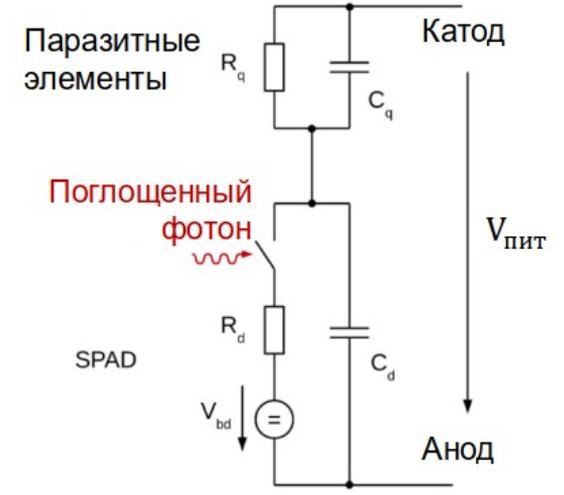
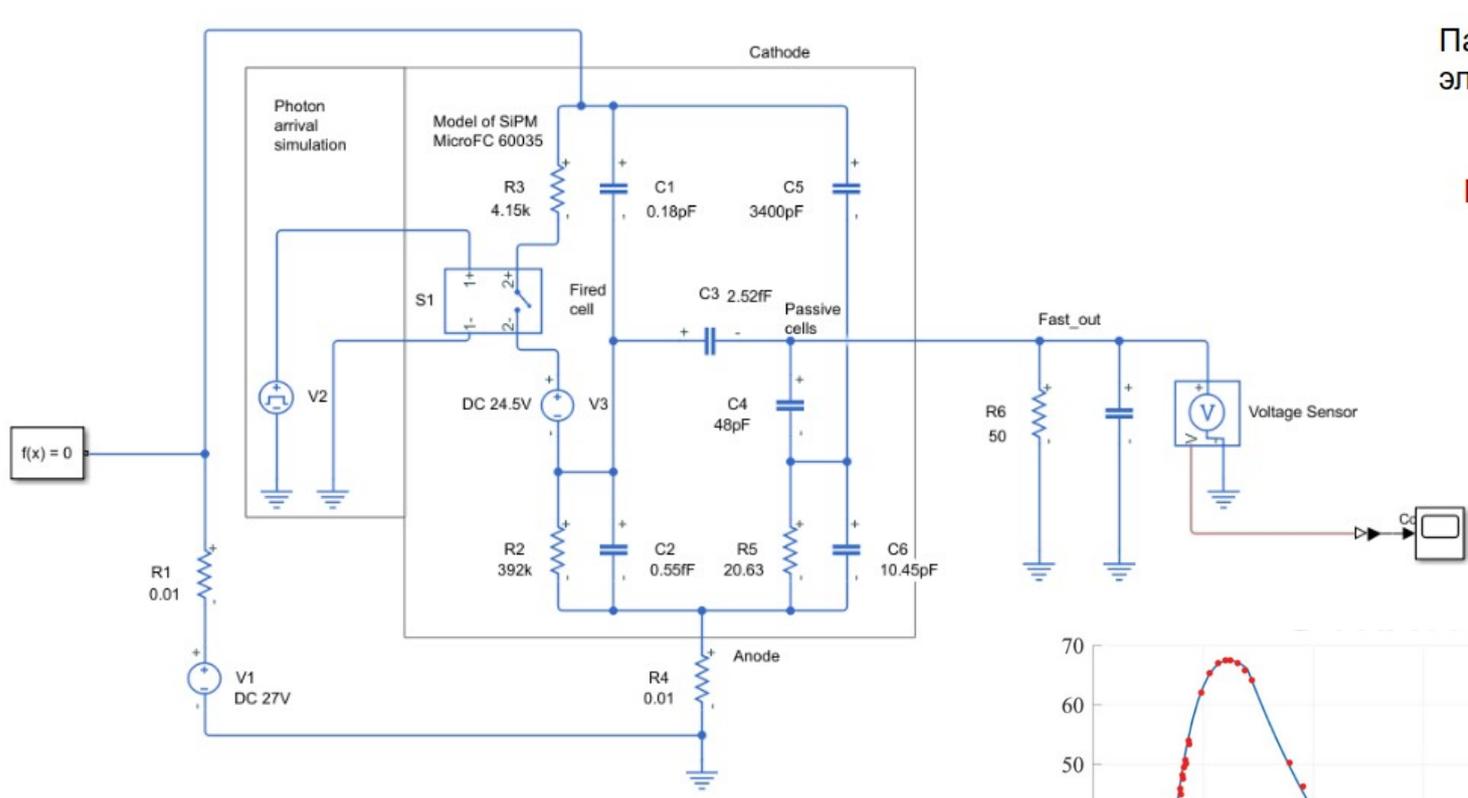


Бленда

Корректирующая линза

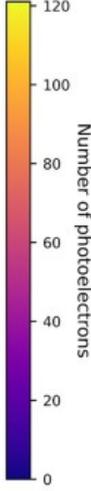
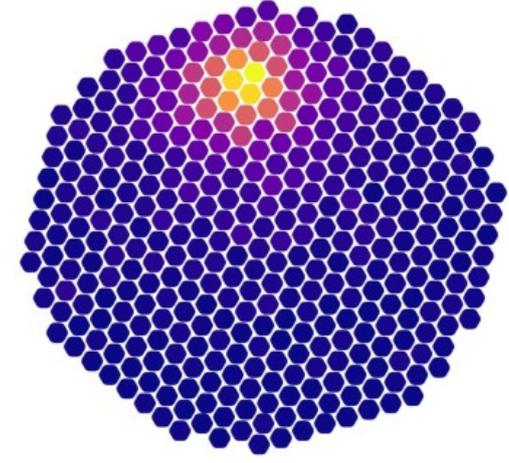
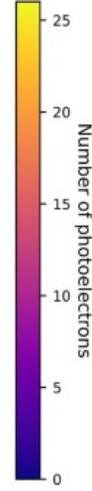
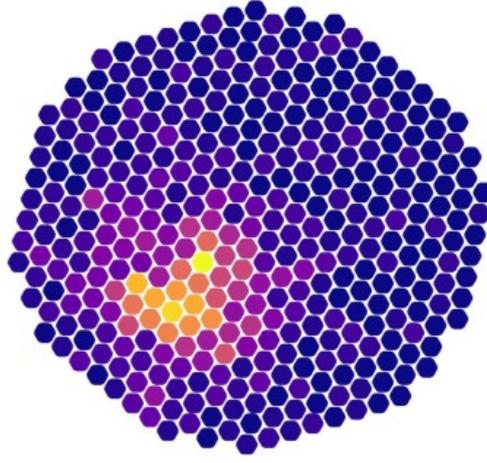
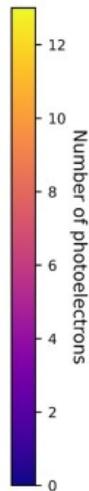
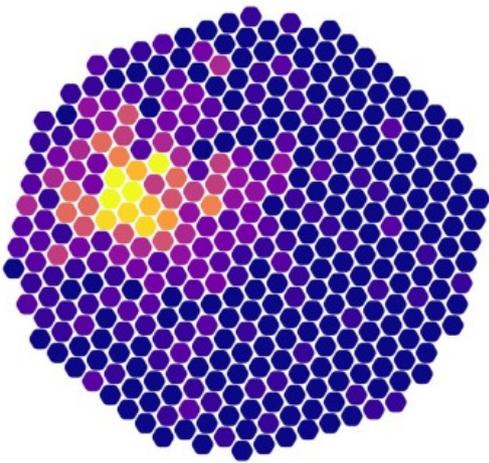
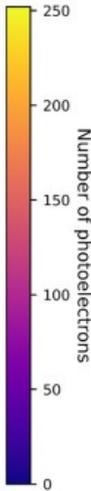
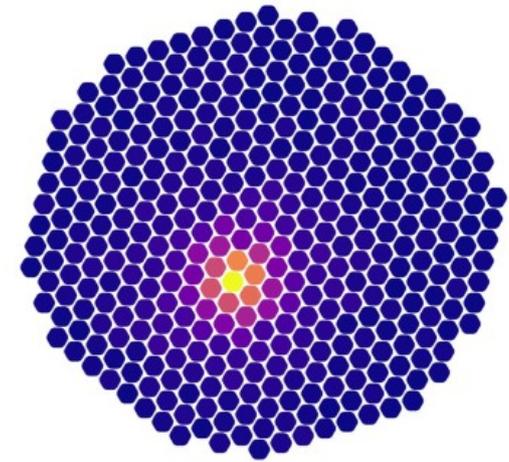
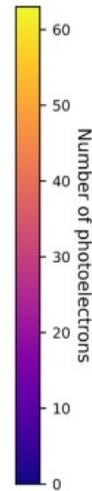
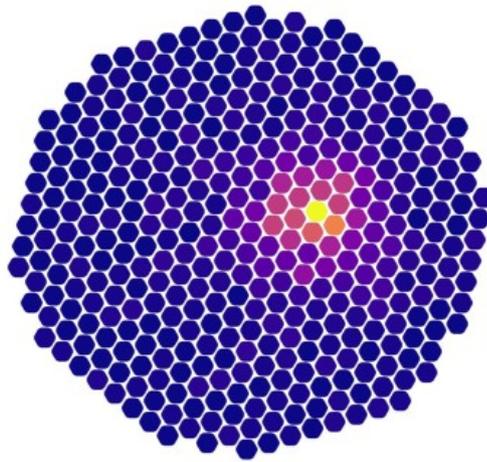
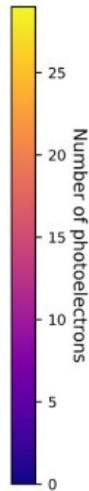
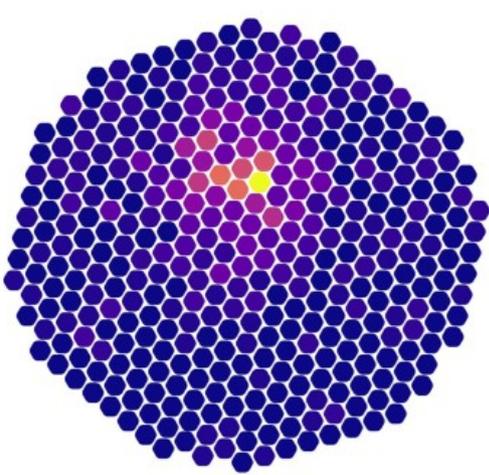


Моделирование



Распределение фотонов на мозаике*

для первичного протона



5 ПэВ

10 ПэВ

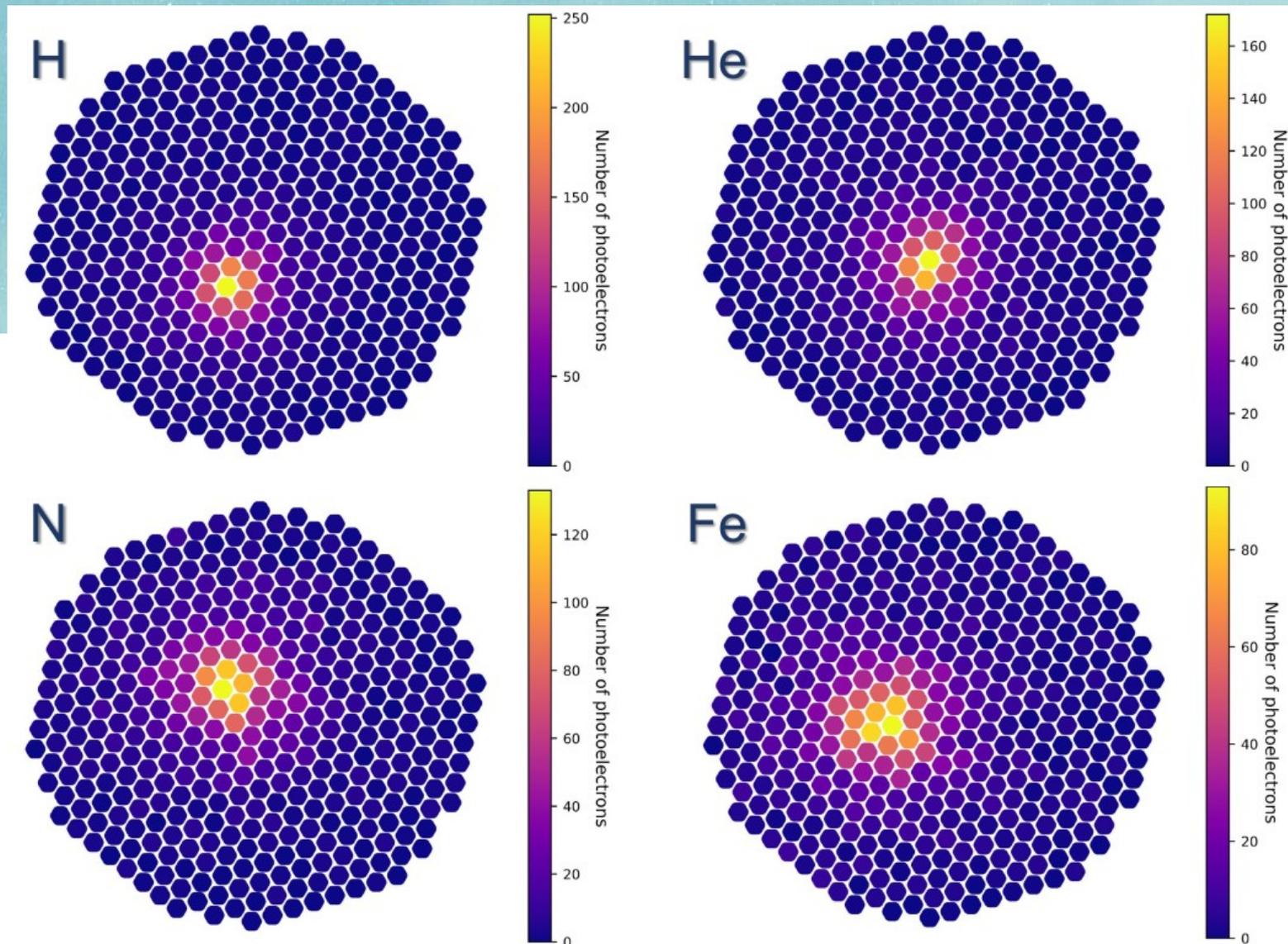
30 ПэВ

* - для оптики без корректора

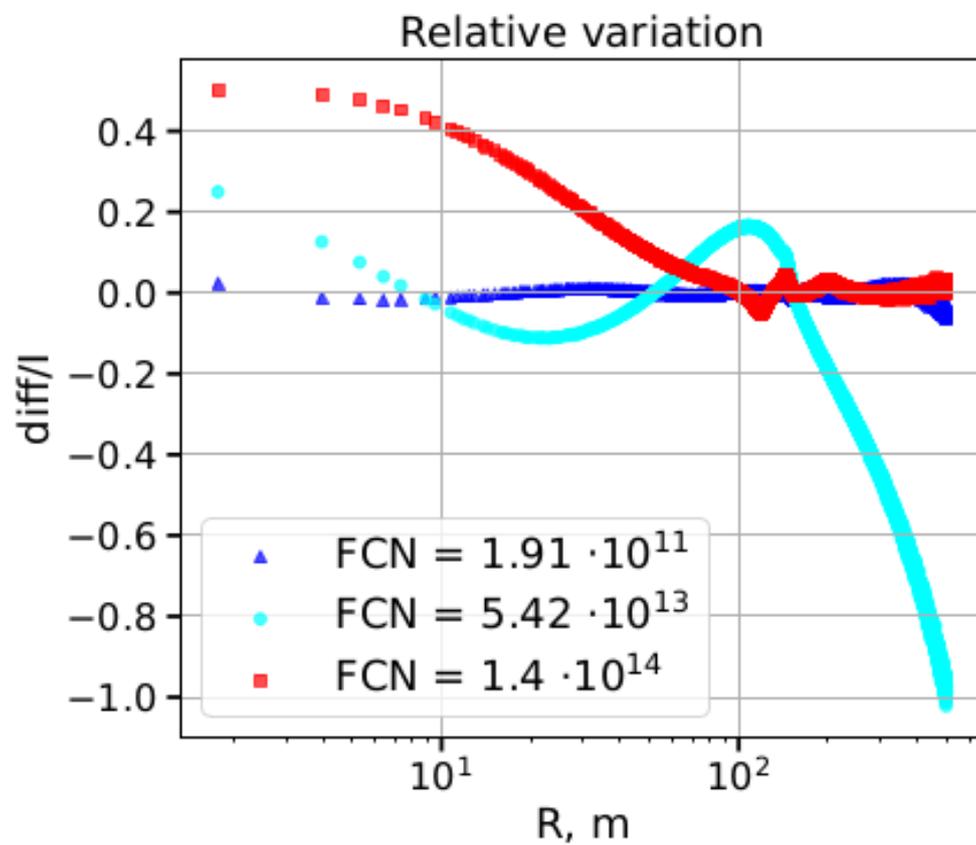
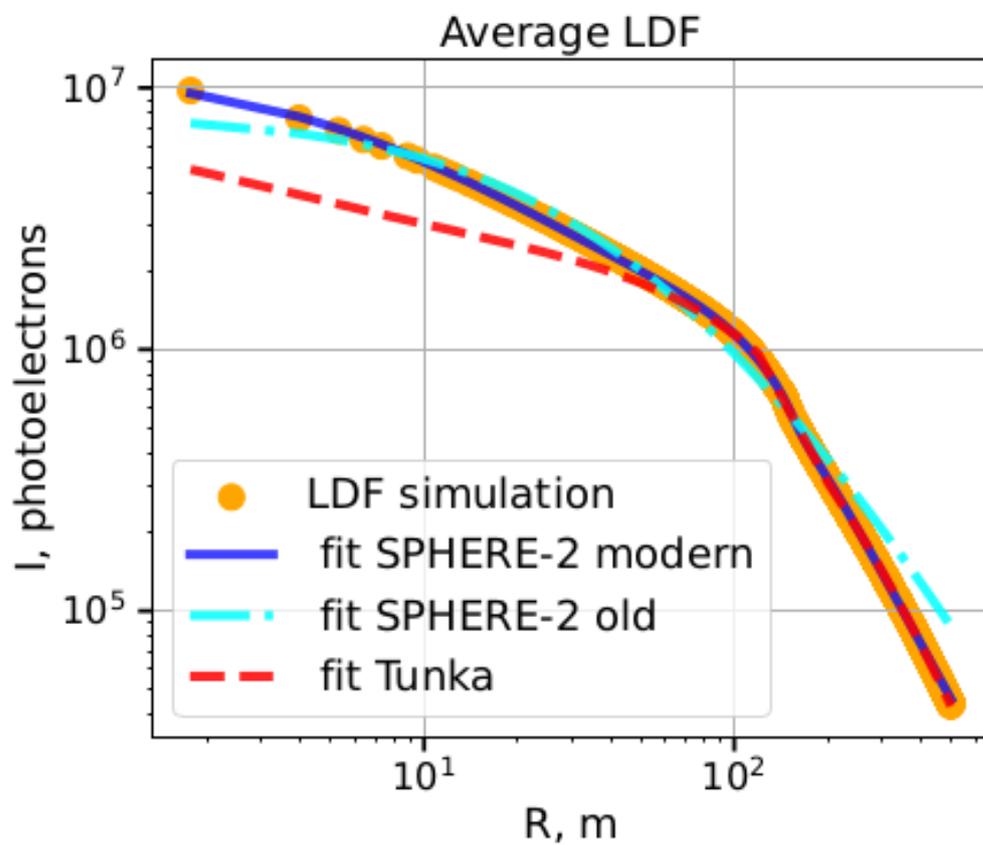
Распределение фотонов на мозаике*

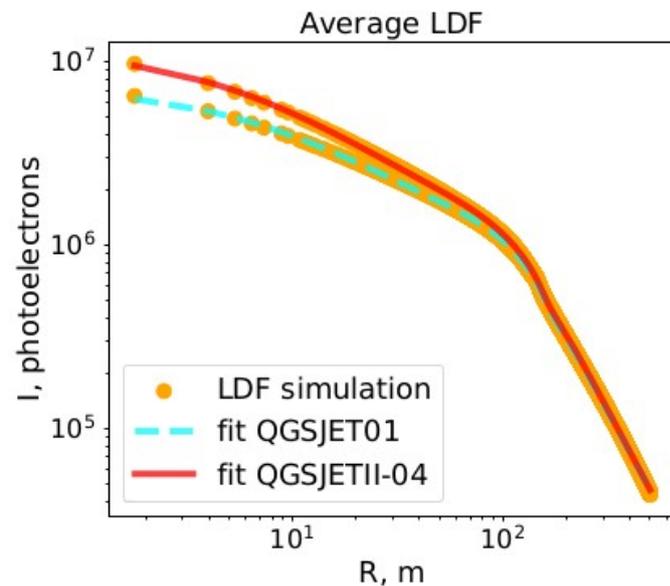
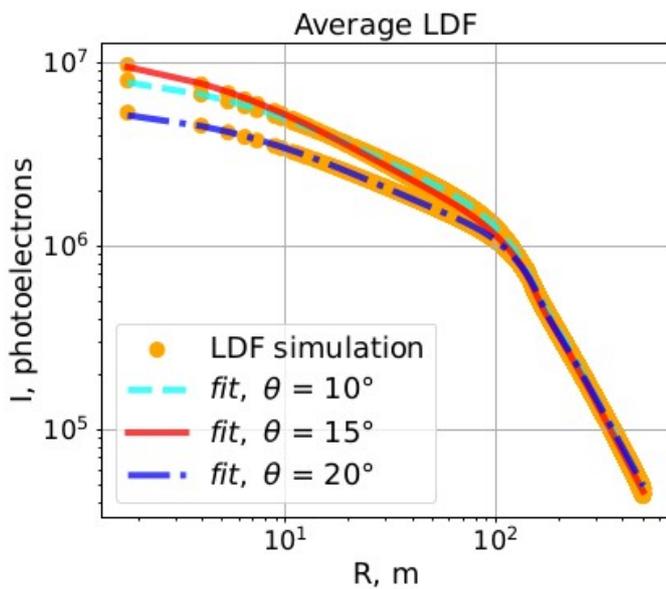
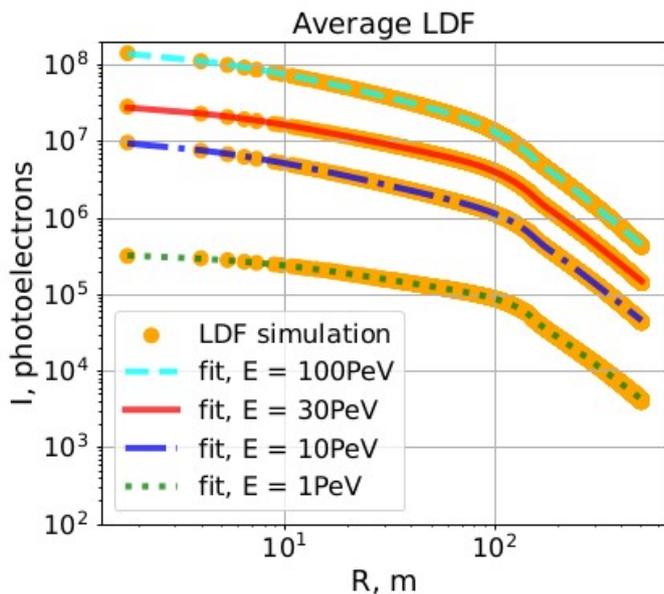
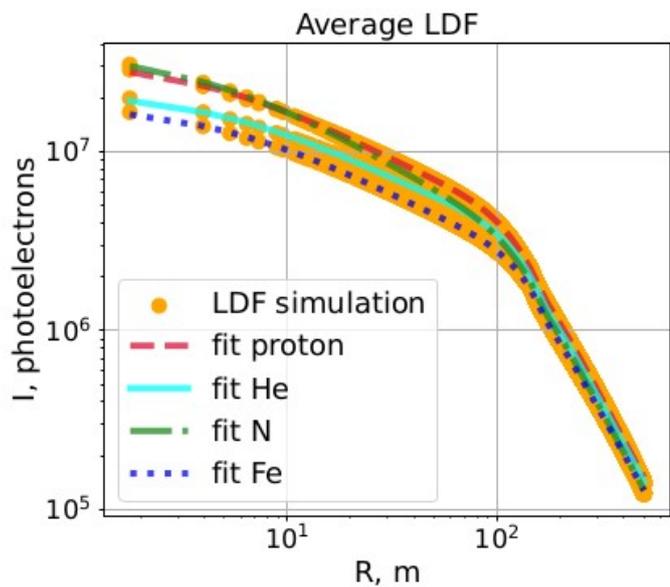
для

$E_0 = 30 \text{ ПэВ}$

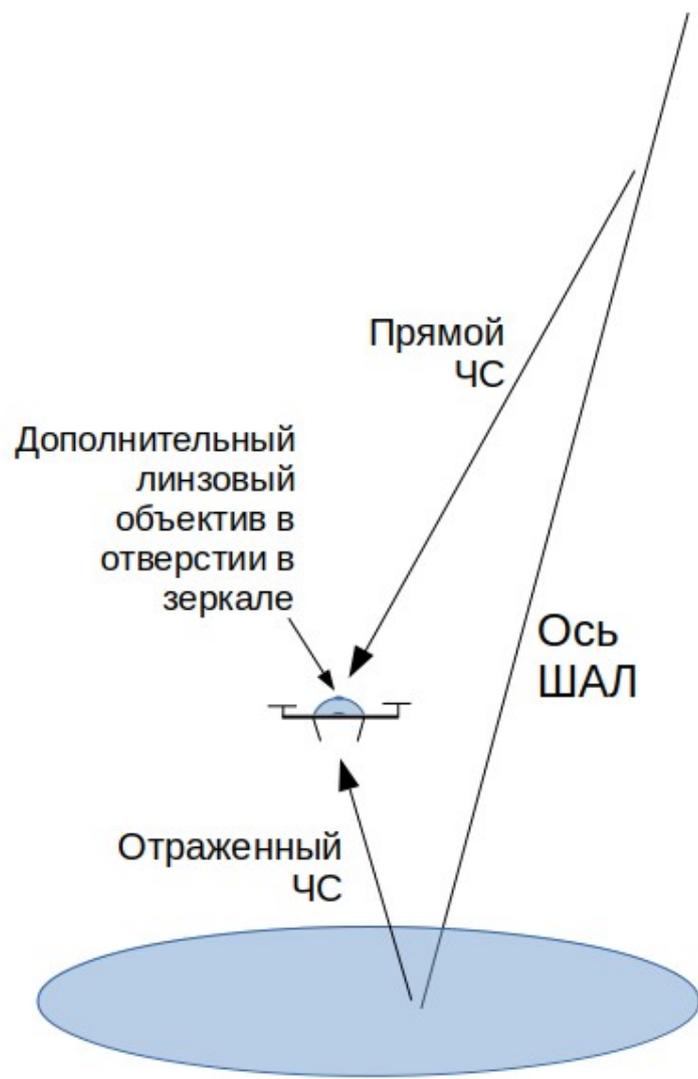


* - для оптики без корректора



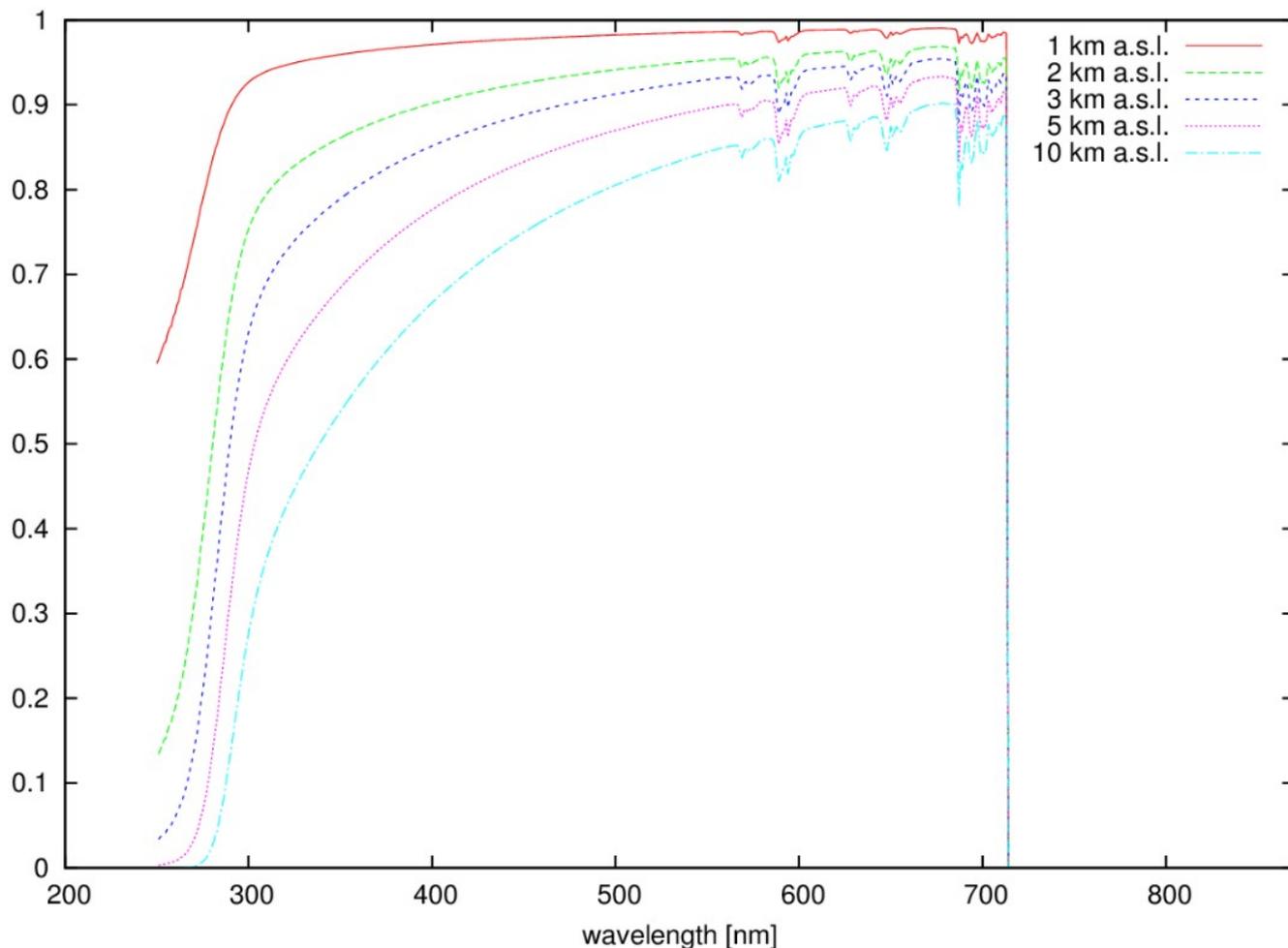


**Поиск новых методов для
улучшения выделения компонент
ПКЛ**



Если сделать отверстие в центре зеркала и установить в него широкоугольный «объектив» со светосилой $\sim 100 \text{ см}^2$, то появится возможность регистрировать прямой поток ЧС.

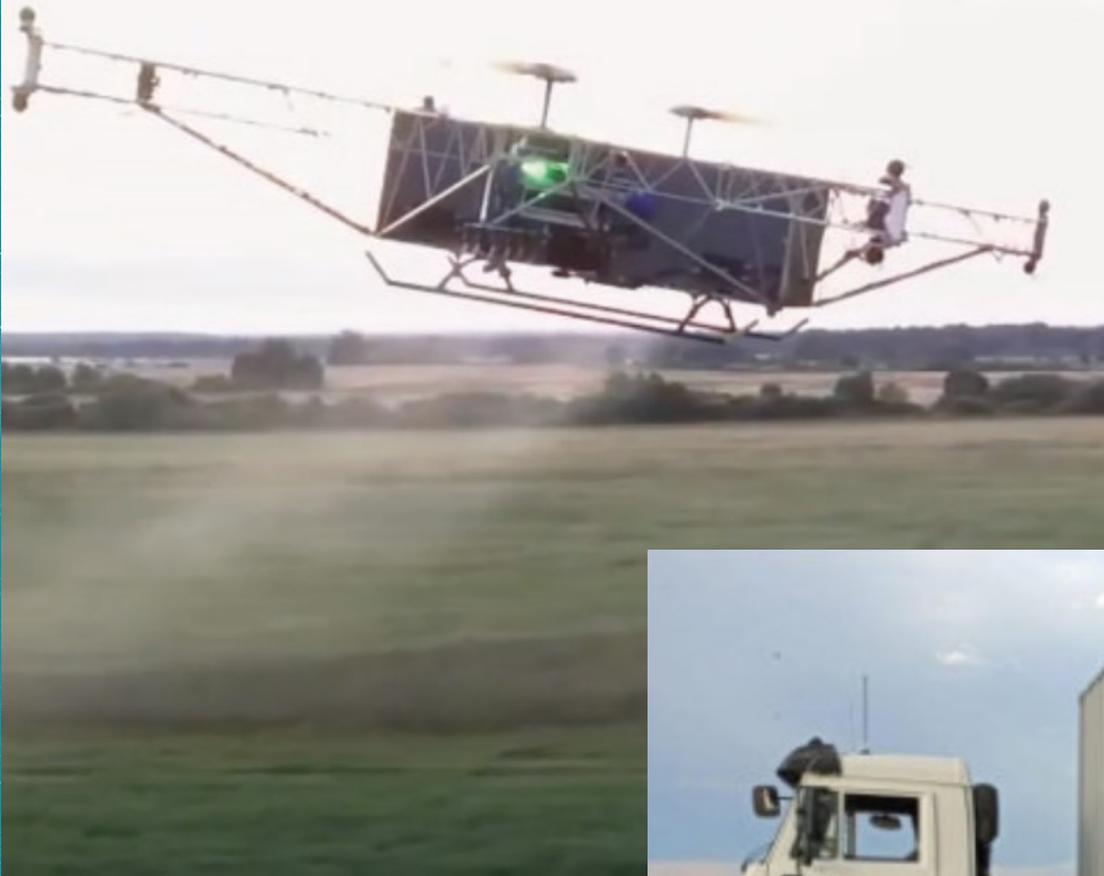
Спектральный состав ЧС для выделения компонент ПКЛ



Для выделения УФ компоненты ЧС в фотоприёмнике планируется использовать SiPM с повышенной чувствительностью в области 250-300 нм наряду с обычными SiPM с чувствительностью от 300 нм. Располагая эти два типа SiPM в "шахматном порядке" можно будет дифференцировать составляющие светового потока ЧС ШАЛ. Данная гипотеза о возможности инструментального выделения легкой компоненты ПКЛ будет исследована с использованием математического моделирования.

Носитель для детектора

BRAERON



Технические и Операционные Показатели ИД-400

Характеристики дрона:

- Скорость полета – до 72 км/ч
- Объем химикатов на борту –160 литров
- Средняя площадь обработки за смену – 300 га. (при норме расхода 20 л/Га)
- Расход топлива – 0,65 литра/ га
- Бензин – Аи95
- Кол-вочленов экипажа – 3 человека
- Смена – 10 часов (ночь)

Эксплуатационные Затраты:

- Оклад – 6,000 р/день
- ГСМ – 10,793р/день
- Амортизация – 10,410р/день
- Прочие материалы (обеспечение экипажа) –3,027 р/ день
- Налоги и взносы – 1,818р/ день



БПЛА

Контроль условий окружающей среды

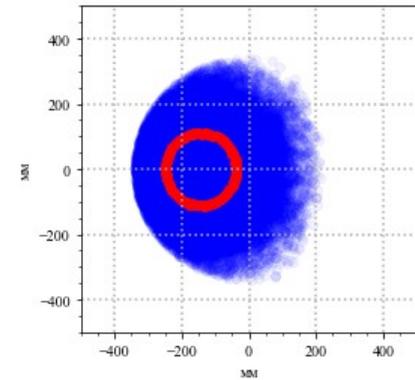
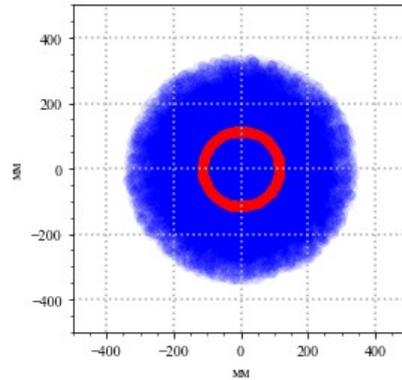
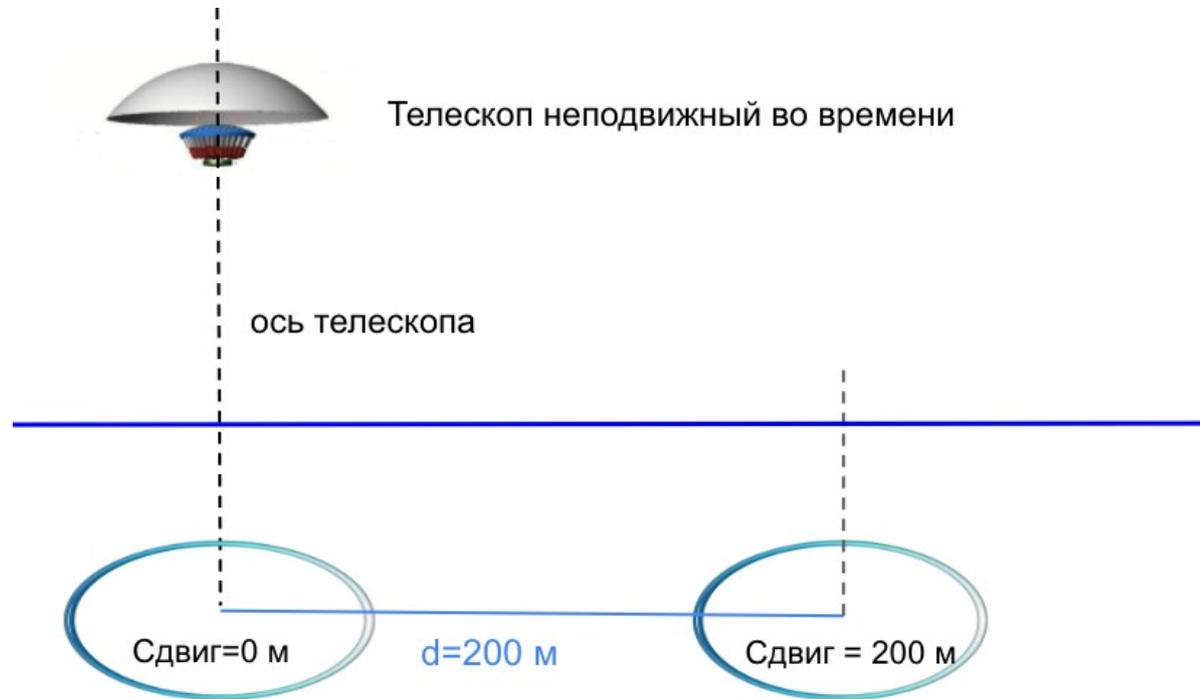
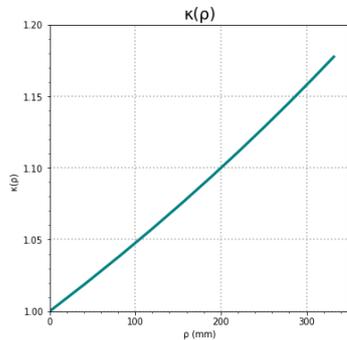
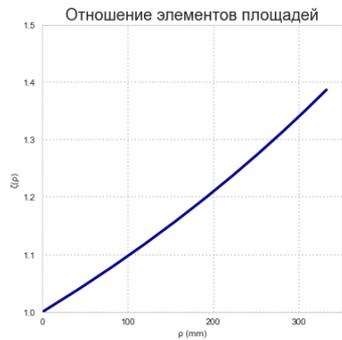
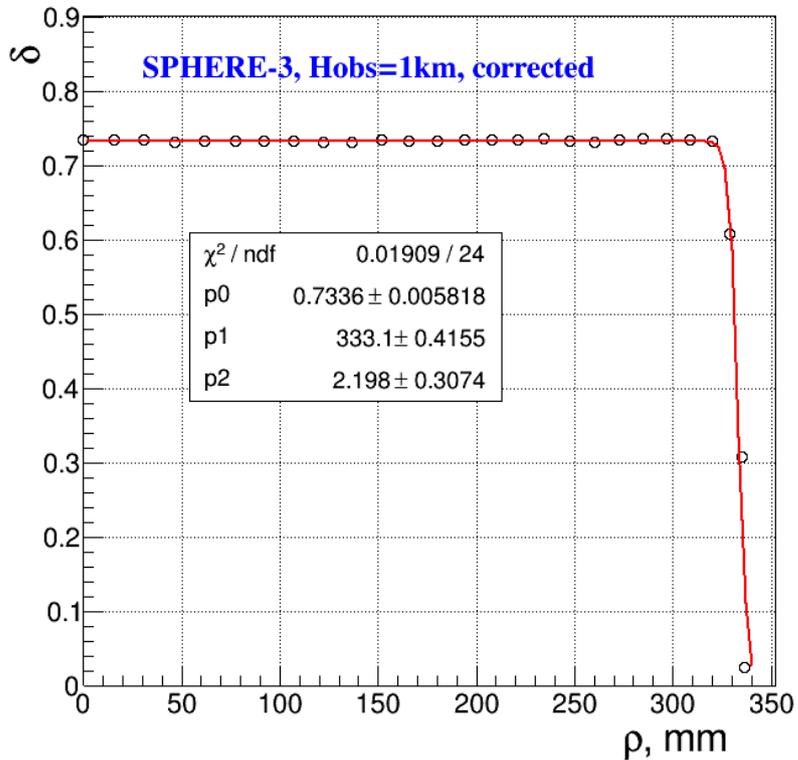


Для контроля плотности и прозрачности атмосферы будет использован вспомогательный БПЛА квадрокоптер с датчиками давления, температуры, влажности и лазерным лидаром.

Лидар будет использован для контроля отражения от снега. Лазерный контроль прозрачности атмосферы и отражения от снега позволит повысить точность измерения плотности ЧС ШАЛ.

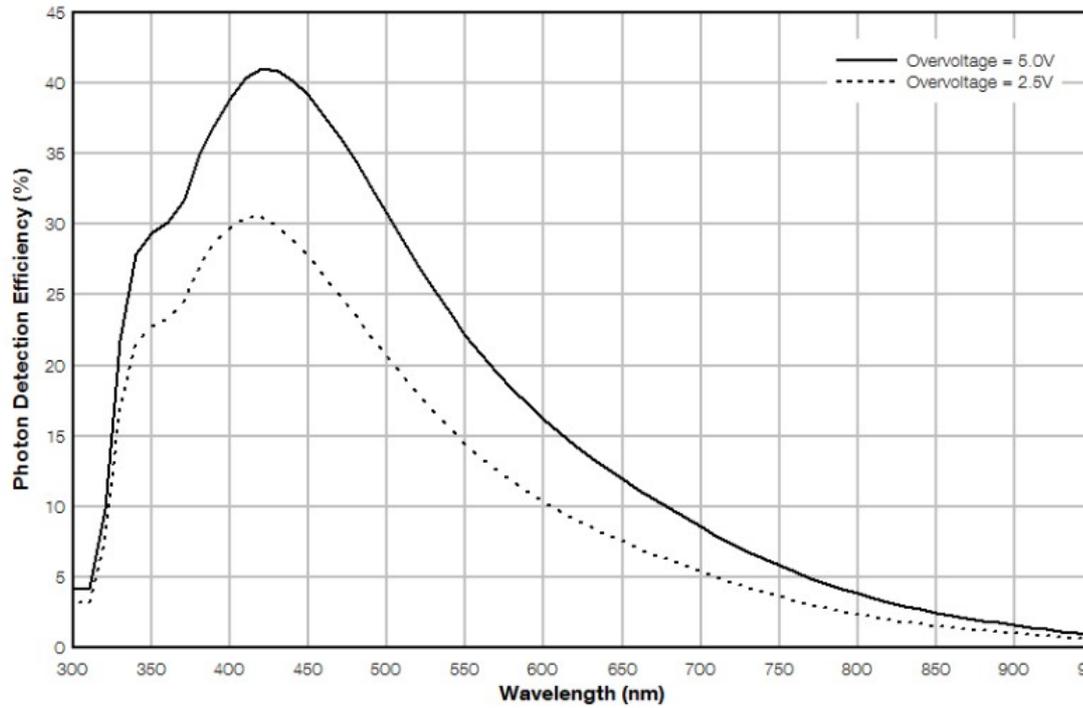
**Спасибо за
внимание!**

$$\delta(\rho) = \rho_0 / (1 + \exp((\rho_1 - \rho) / \rho_2))$$



PDE versus Wavelength

MicroFC-30035-SMT



Photon Detection Efficiency (PDE)

MicroFJ-60035-TSV

