

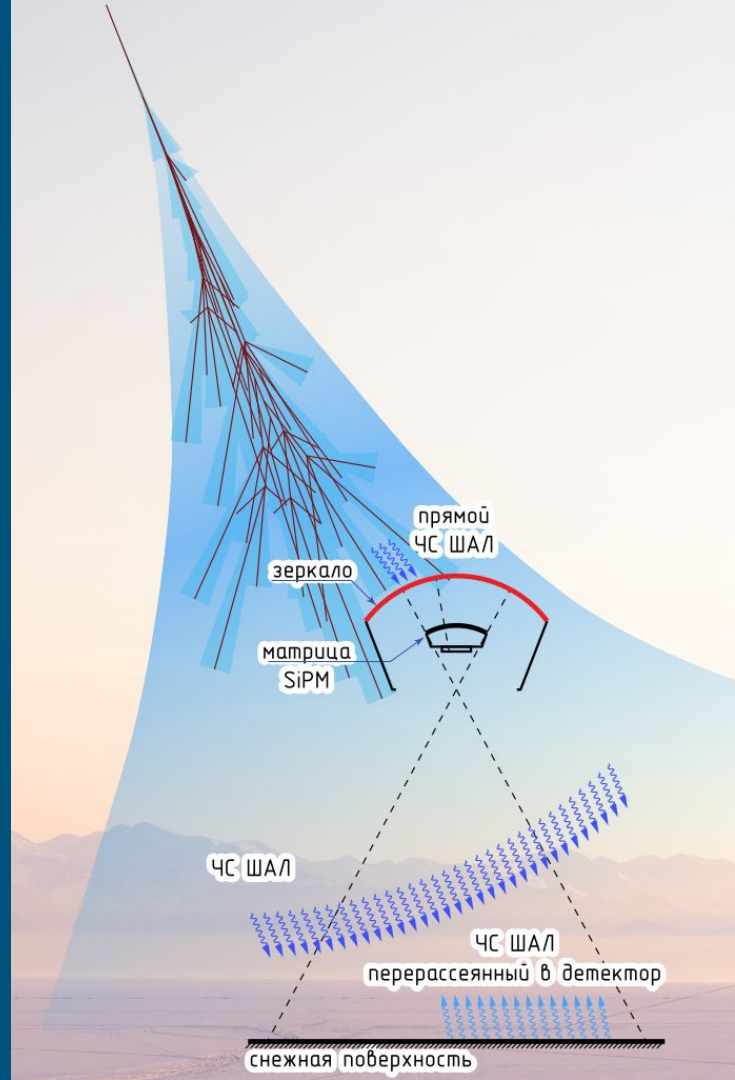
Разработка методов для анализа спектра масс ПКЛ по черенковскому свету ШАЛ

Д.В. Чернов и В.И. Галкин
от группы СФЕРА

Схема эксперимента проекта СФЕРА

Установка поднимается над
заснеженной поверхностью земли и
регистрирует прямой и отраженный
черенковский свет ШАЛ.

Энергетический диапазон 1-1000 ПэВ



СФЕРА-2: Измерения на Байкале в период 2008 по 2013 годы

Ночной старт



Аэростат БАПА
250 м³

Бокс с установкой
СФЕРА-2

Лебедка

Антенна
интернета

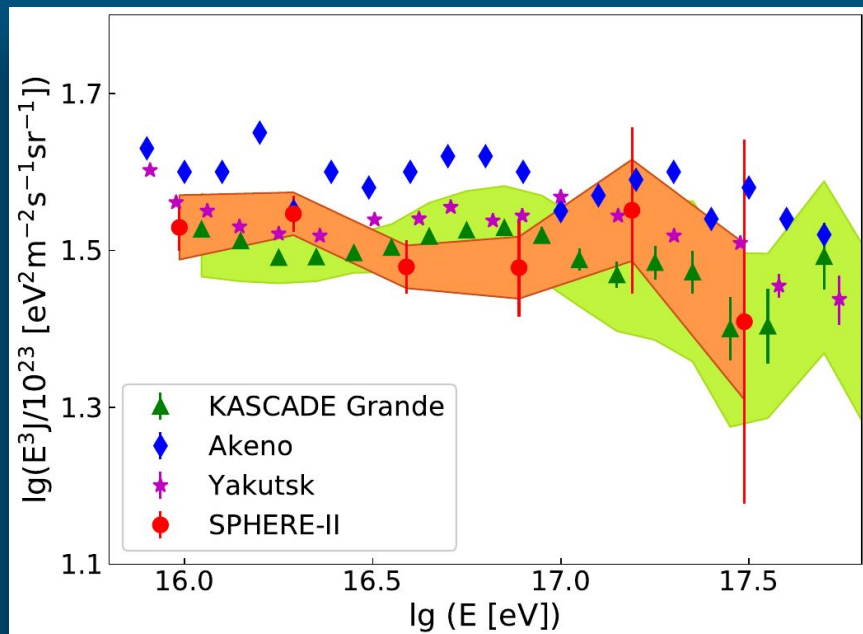
Грузовой блок

Генератор, кабель

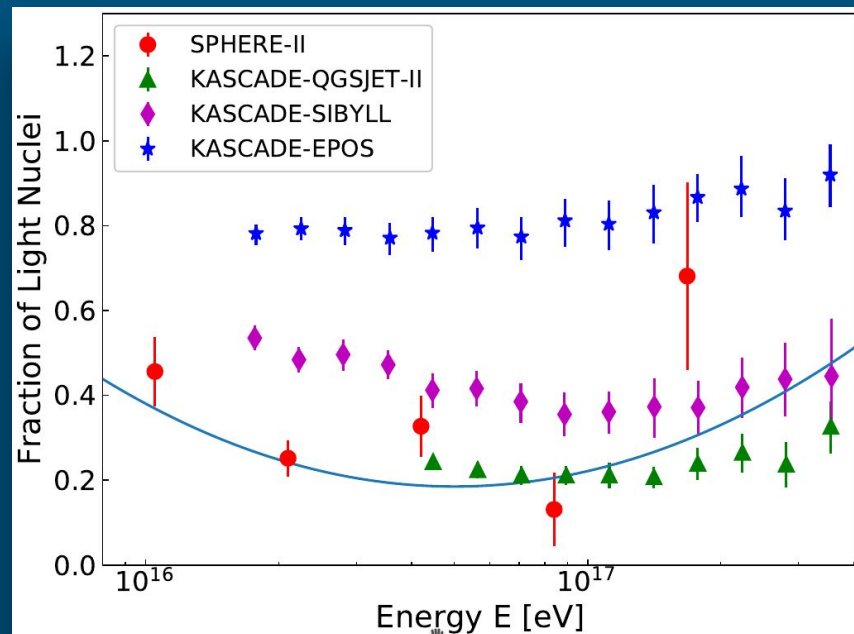
Центр управления



СФЕРА-2. Основные результаты



Оценка энергетического спектра



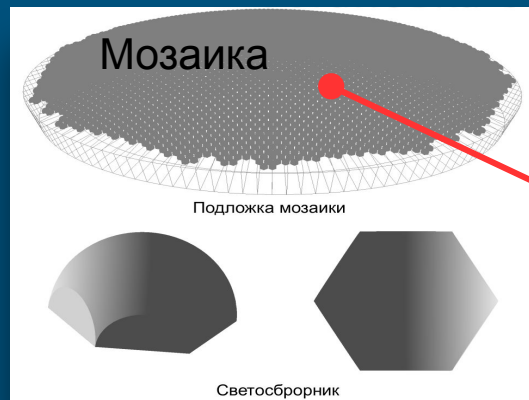
Оценка доли $p + \text{He}$ в составе ПКЛ

Сравнение характеристик проектируемых установок с установкой СФЕРА-2

Параметр	СФЕРА-2	Прототип	СФЕРА-3
Эффективная чувствительная площадь оптики (входное окно диафрагмы), м ²	0,5	0,16*	0,96*
Диаметр зеркала, мм	1500	800*	2200*
Угол обзора оптической системы, градус	±25	±23*	±23*
Количество элементов мозаики	109	300*	2.7 тыс.*
Масса детектора, кг	90	15*	100*
Высота подъема детектора, м	до 900 (аэростат)	до 500 (БПЛА)	до 2000 (БПЛА)

* - уточняется

Конструкция установки СФЕРА-3



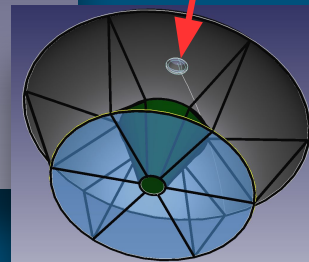
Зеркало

Измерительная
аппаратура

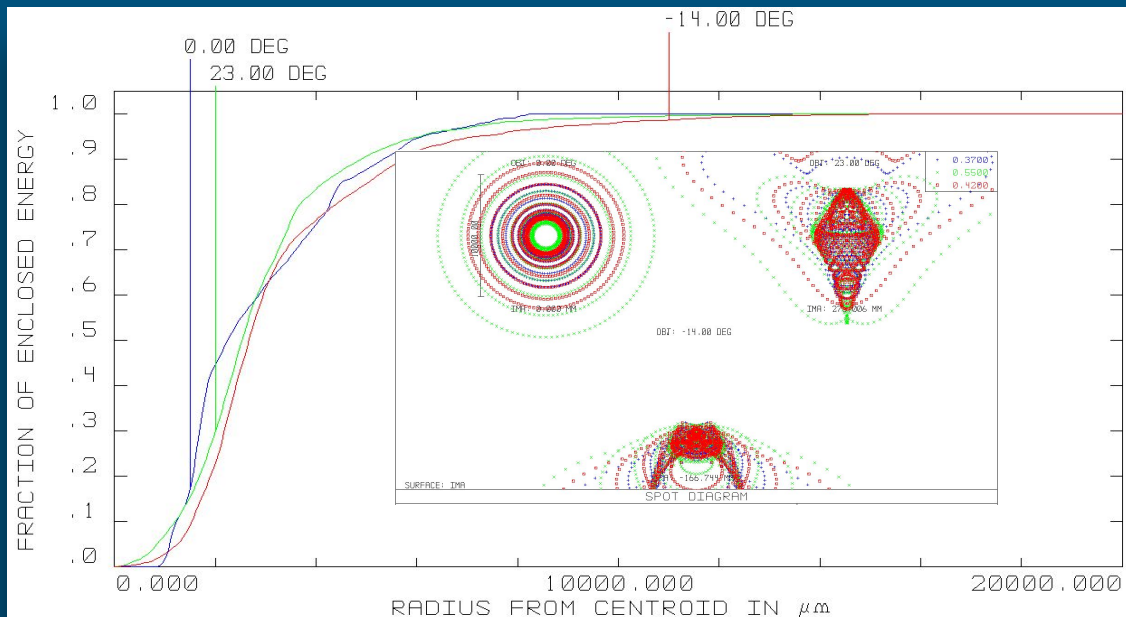
Бленда

Корректирующая
линза

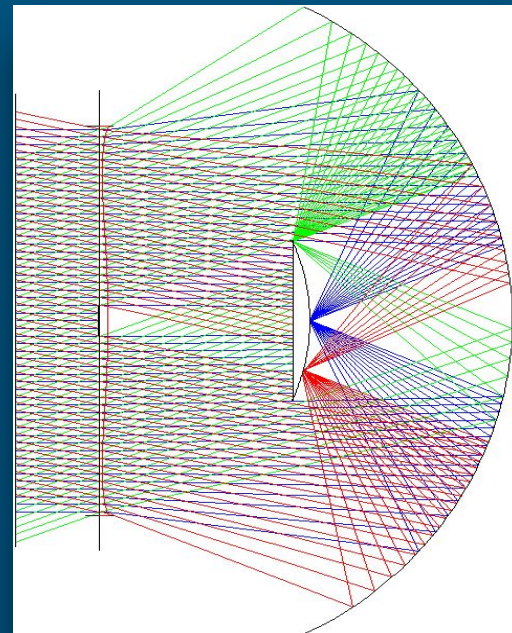
Объектив
прямого
черенковского
света



Предварительный вариант оптической системы детектора СФЕРА-3



Асферическое
зеркало



Оптимизация формы пятна

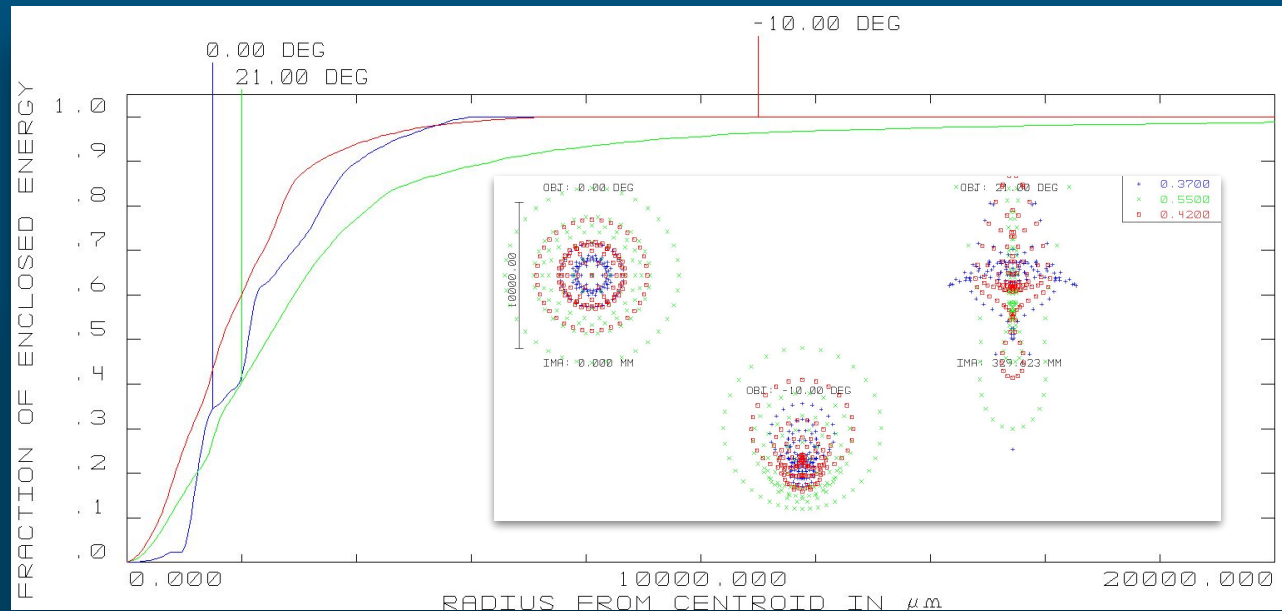
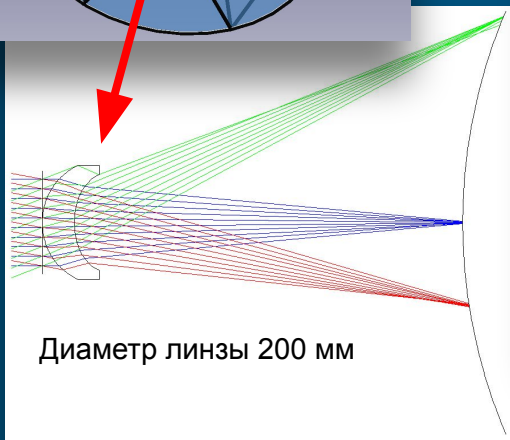
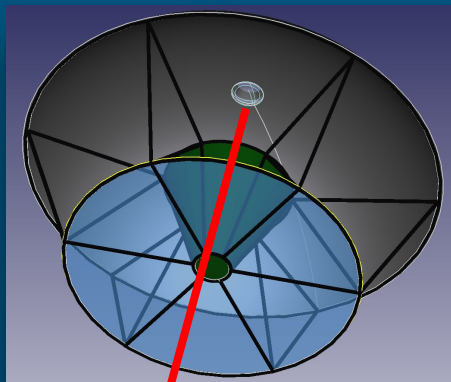
Диаметр мозаики 550 мм

$S_{\text{эф}} \sim 1.13 \text{ м}^2$

Диаметр зеркала 2160 мм

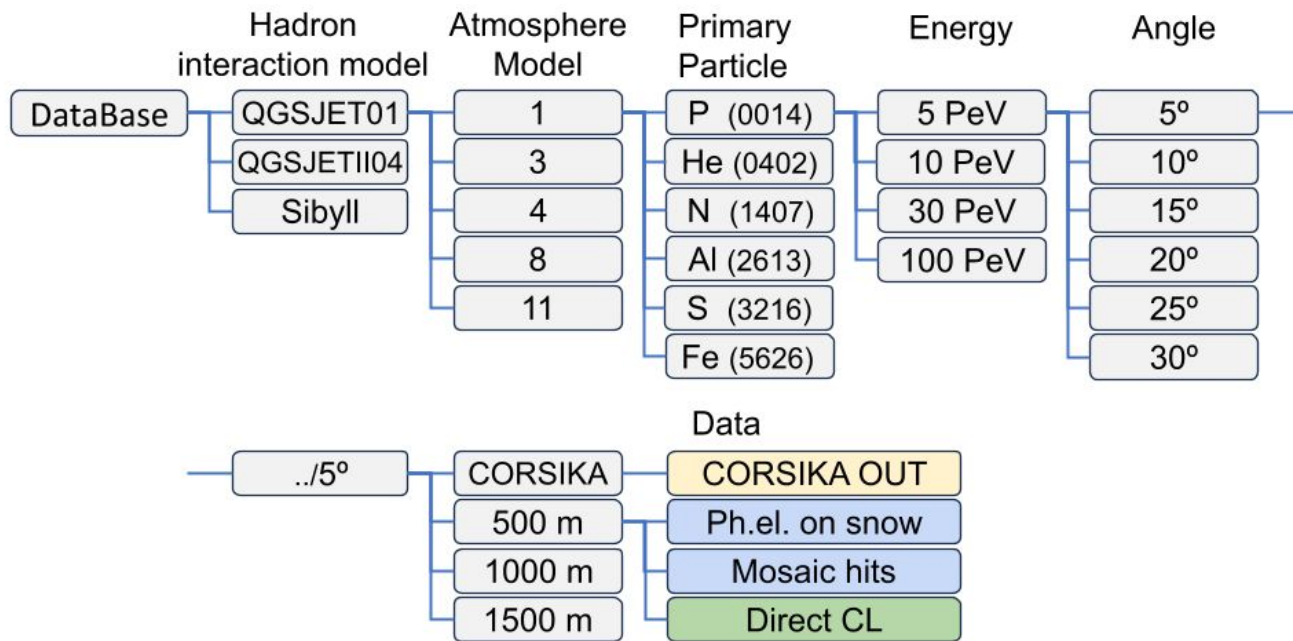
Диаметр диафрагмы 1320 мм

Один из способов зарегистрировать прямой черенковский свет



Создание базы образов черенковского света ШАЛ на суперкомпьютере «Ломоносов-2»

Структура базы данных



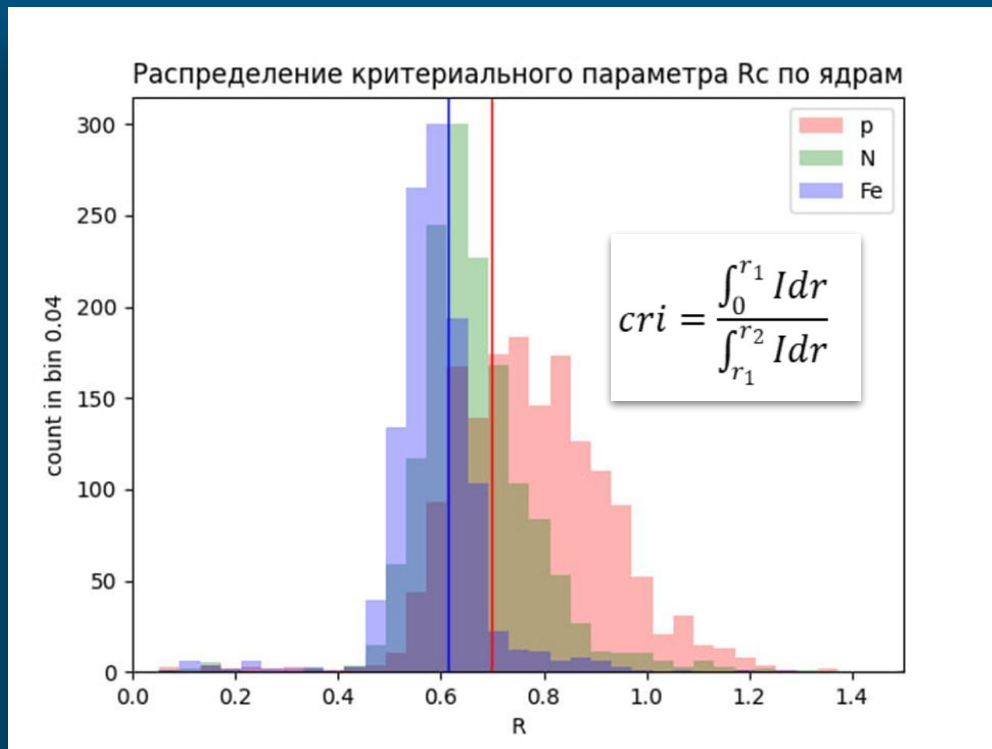
- база данных образов черенковского света ШАЛ
- CORSIKA модернизирована для задачи расчета черенковского света
- свет на снегу на сетке со стороной 2.5 м
- распределение света на высотах 500, 1000, 1500 м на угловой сетке с шагом 1° или 0.25°

Банк событий ШАЛ:

	сетка углов	кол-во ядер	кол-во атмосфер	событий ШАЛ	объем данных
QGSJET01	1.0°	6	4	27 770	12 ТБ
QGSJETII-04	1.0°	6	4	27 224	14 ТБ
QGSJETII-04	0.2°	4	4	28 800	22 ТБ
Sibyll 2.3	0.2°	4	5	36 600	29 ТБ

1 ядро, 1 энергия, 1 модель атмосферы, 6 углов $\Rightarrow$ 600 событий ШАЛ

Возможности оценки массы первичного ядра по образу отраженного от снега черенковского света ШАЛ



Для вертикальных ($\leq 10^\circ$) событий с энергией первичного ядра 10 ПэВ был построен одномерный критерий R .

Класс	p-N	N-Fe
граница/ошибки	0.70 / 0.31	0.61 / 0.32

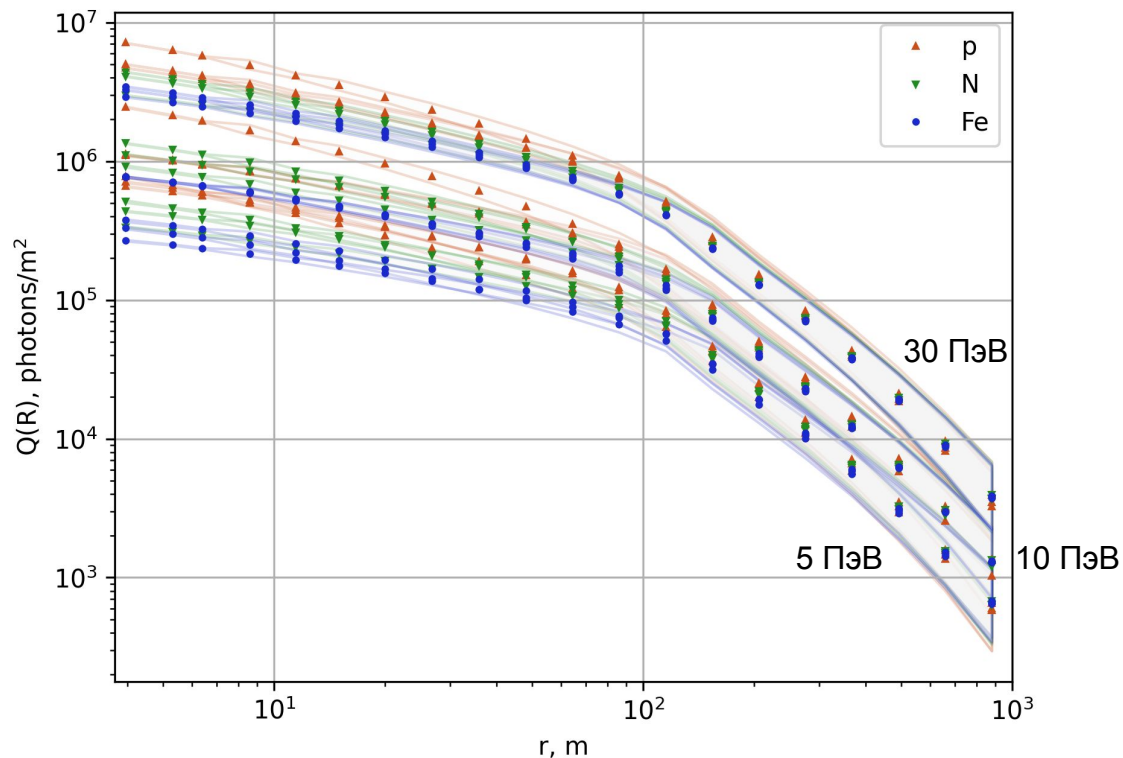
Подбор радиусов производился в пределах $r_1 \in [80, 200]$ и $r_2 \in [100, 300]$

Гистограмма распределения критериального параметра для $E_0 = 10$ ПэВ, наклона 10 градусов, модели атмосферы 1 из списка CORSIKA и высоты наблюдения 1000 м детектора СФЕРА-3.

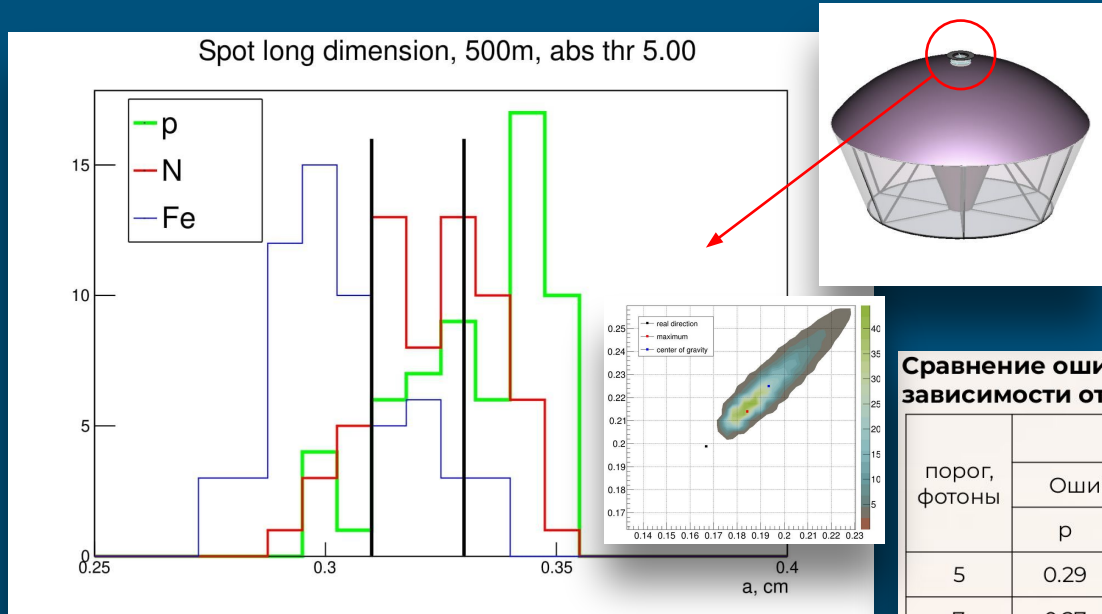


Модель ФПР от вертикальных ШАЛ

Использована сплошная сетка виртуальных детекторов 2.5 x 2.5 м



Возможности оценки массы первичного ядра по угловому распределению прямого черенковского света ШАЛ компактным телескопом



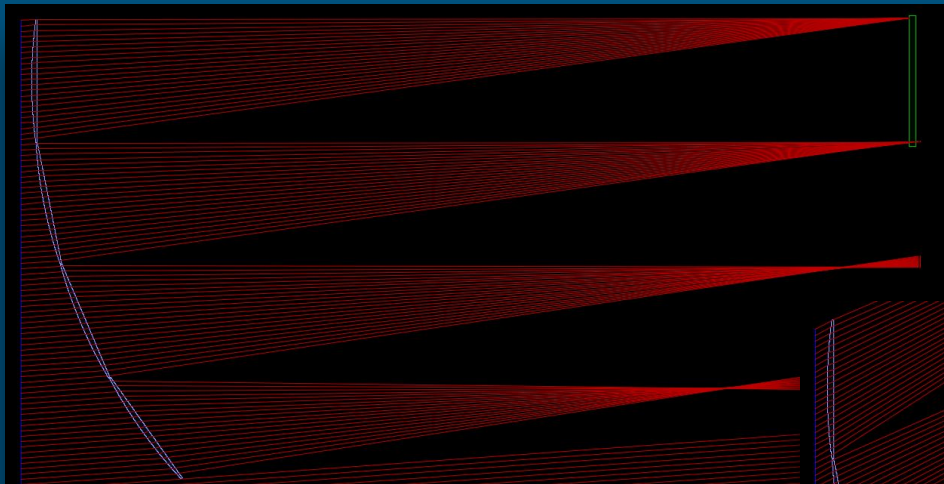
Распределение длин большой оси в зависимости от массы первичной частицы

Угловые распределения света получены с помощью кода CORSIKA. Распределение задаётся на равномерной сетке 200×200 с ячейкой 0.5°×0.5°(fine) и 100x100 с ячейкой 0.25°×0.25°(superfine).

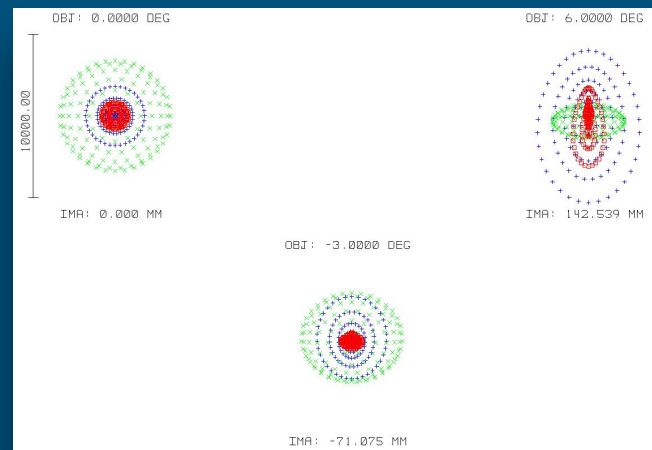
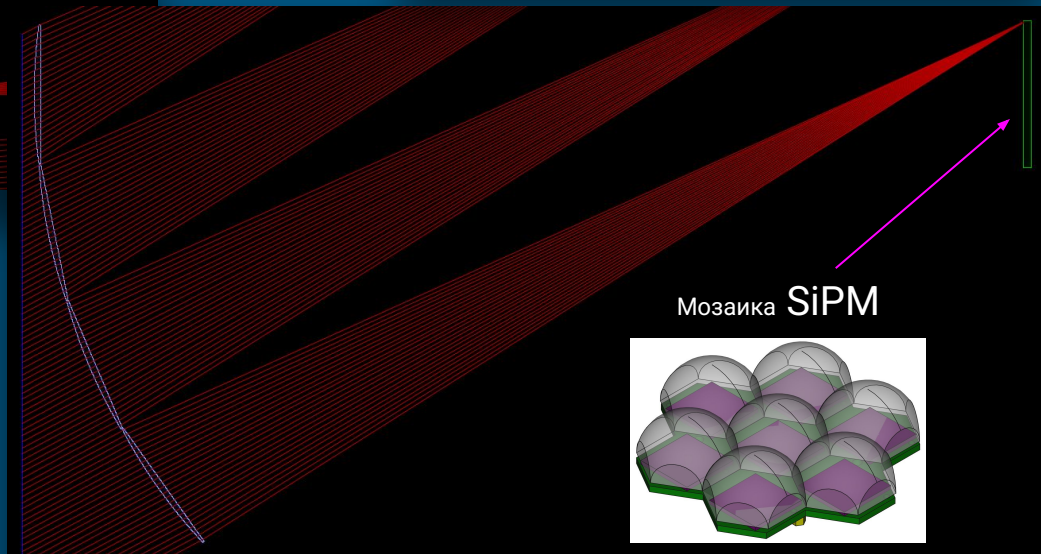
Сравнение ошибок разделения первичных частиц по массе в зависимости от величины порога на разных сетках

порог, фотоны	fine, ячейка 0.5°				superfine, ячейка 0.25°			
	Ошибки p-N		Ошибки N-Fe		Ошибки p-N		Ошибки N-Fe	
	p	N	N	Fe	p	N	N	Fe
5	0.29	0.29	0.38	0.38	0.32	0.32	0.24	0.24
7	0.27	0.28	0.38	0.38	0.33	0.32	0.25	0.24
8	0.32	0.32	0.39	0.39	0.31	0.32	0.26	0.25

Широкоугольный детектор ЧС



Апертура +/-28 градусов
Угловое разрешение 0.5 градуса
Фокусное расстояние 1140 мм
Диаметр телескопа 1050 мм
Ячеек в матрице — 259
Светосила — 0.02 м^2



Публикации и доклады

- ✓ 3 статьи в реферируемых журналах
- ✓ 3 статьи в электронных изданиях
- ✓ 1 устный и 5 стендовых докладов на 38-й Всероссийской конференции по космическим лучам
- ✓ 1 устный и 1 стендовый доклад на 28th European Cosmic Ray Symposium
- ✓ 1 устный доклад на 8-й международной конференции "Deep Learning in Computational Physics"
- ✓ 1 устный доклад на 14-х Зацепинских чтениях
- ✓ 6 устных докладов на Ломоносовских чтениях - 2024
- ✓ 4 устных доклада на Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2024»

Спасибо за
внимание!