

Исследование чувствительности к химическому составу ПКЛ по данным установки СФЕРА-2

Дмитрий Чернов,
НИИЯФ МГУ

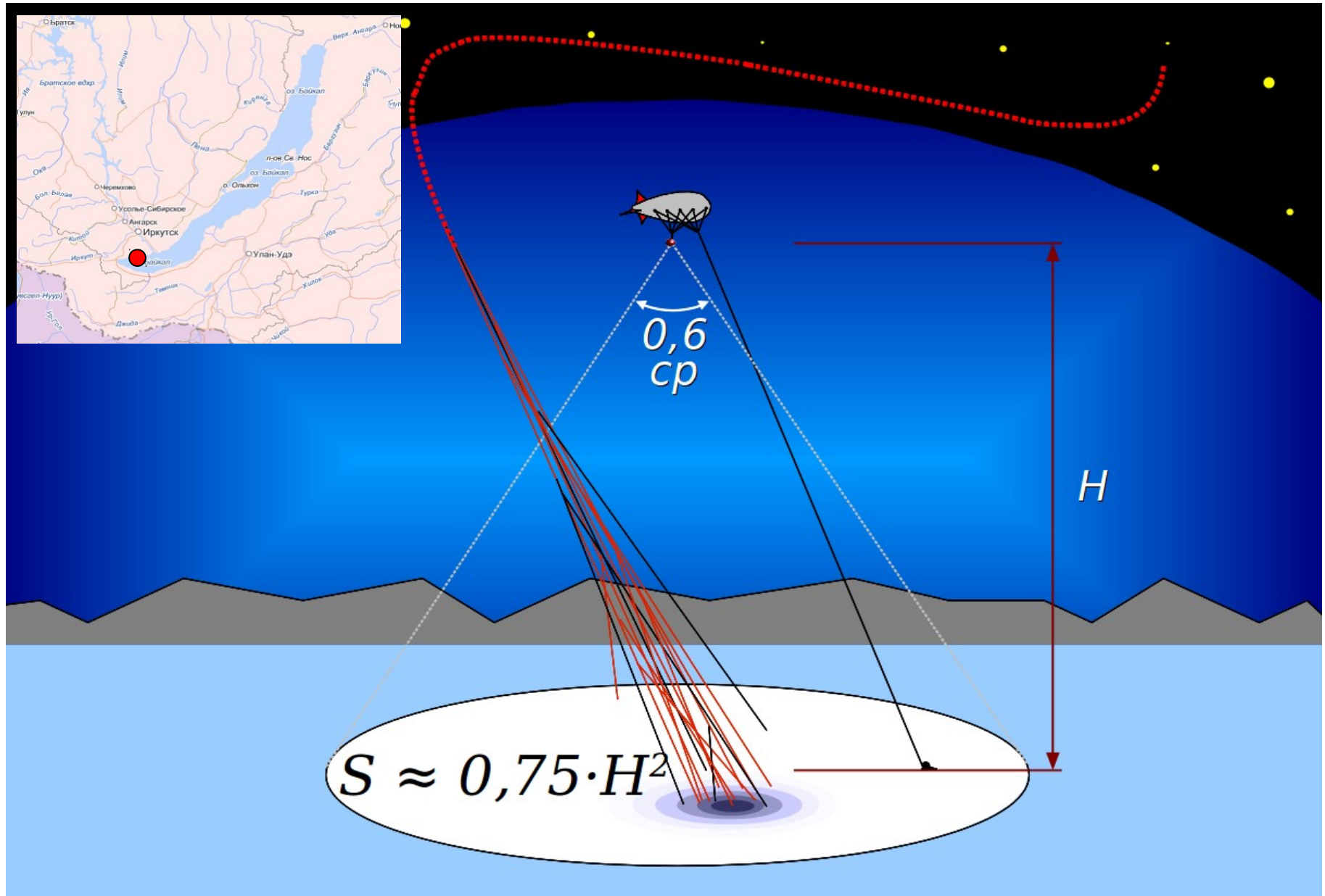
<http://sphere.sinp.msu.ru/>



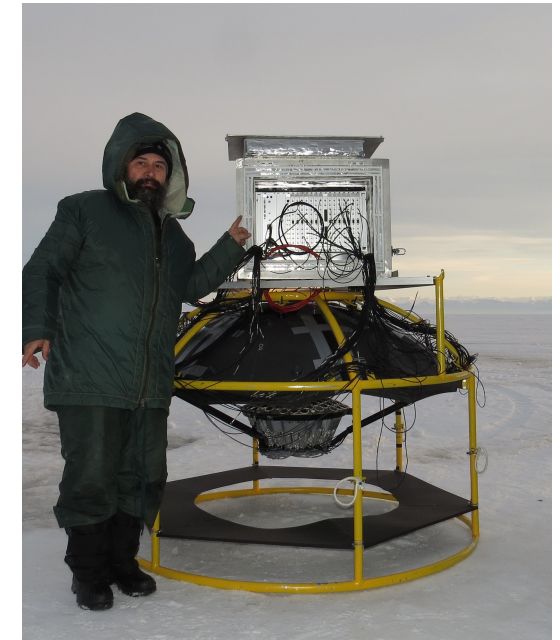
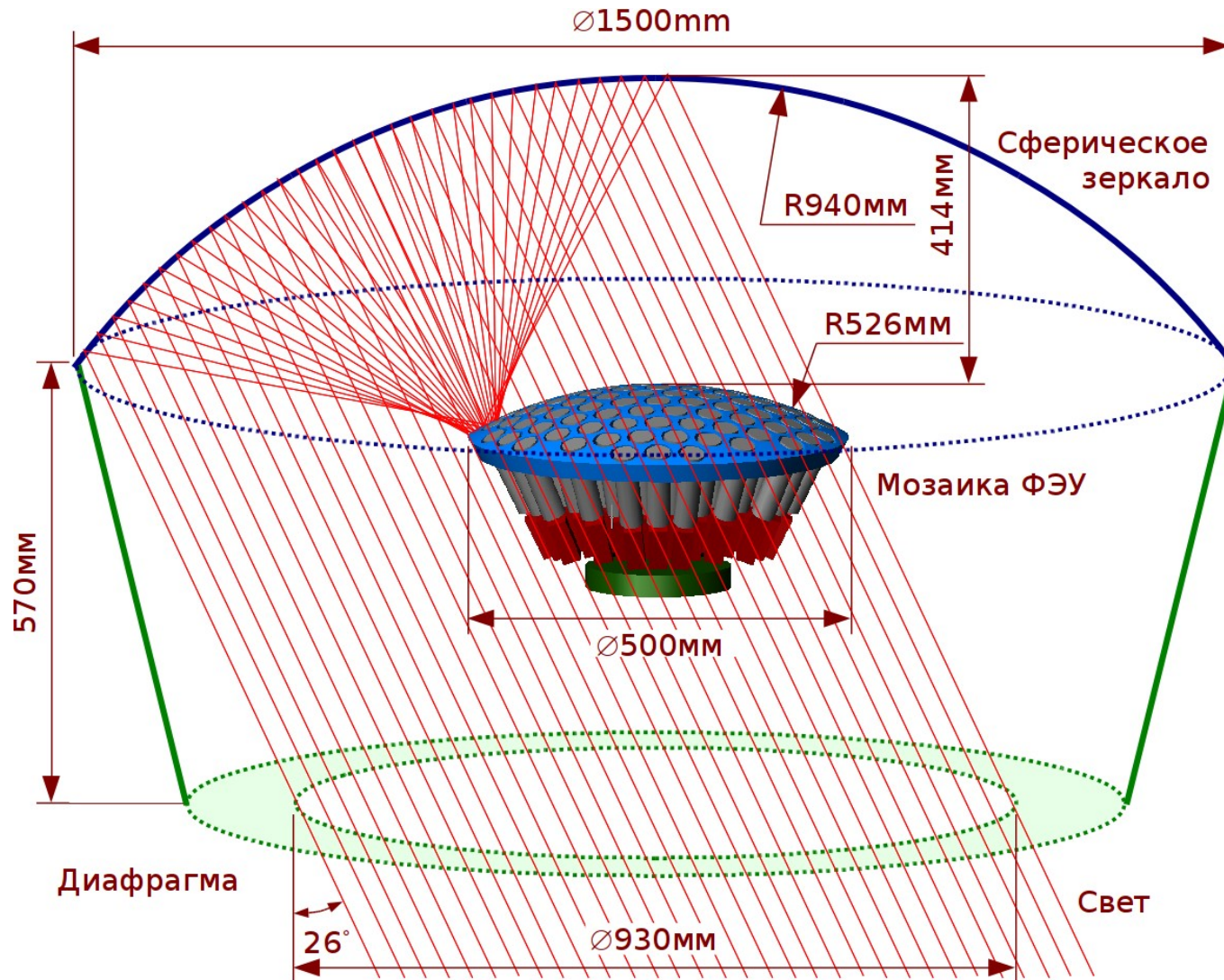
Проект СФЕРА направлен на изучение
космических лучей выше $3 \cdot 10^{15}$ эВ
методом регистрации отраженного
черенковского света ШАЛ.

В рамках этого проекта создана
экспериментальная установка СФЕРА-2.
Установка способна регистрировать ПКЛ
в диапазоне 10^{16} — 10^{18} эВ.

Схема эксперимента на озере Байкал



Оптическая схема установки «СФЕРА-2»



Сборка установки на льду озера Байкал

Экспедиция с установкой СФЕРА-2

**Ночной
старт**

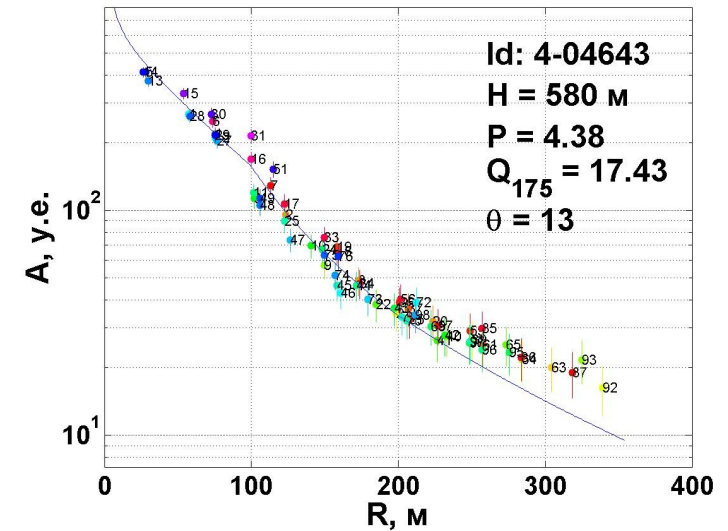


Пробный запуск с эквивалентной нагрузкой для регулировки угла ветровой атаки аэростата.

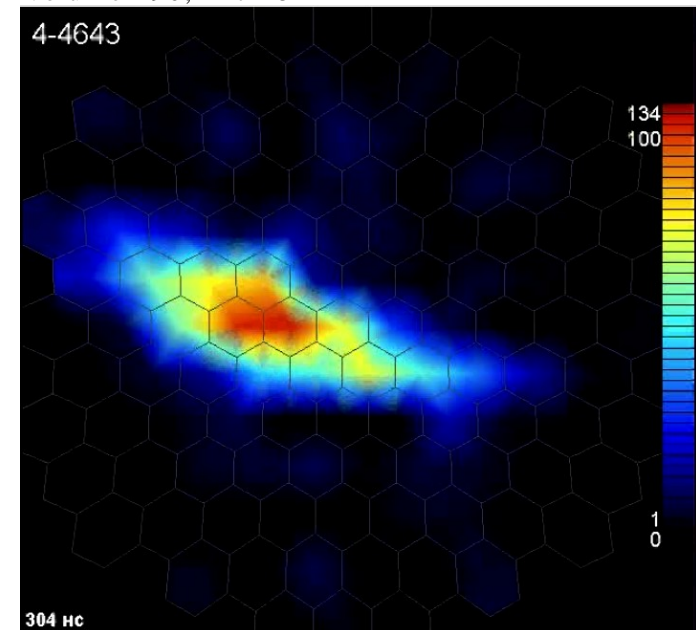
Аэростат БАПА
250 м³



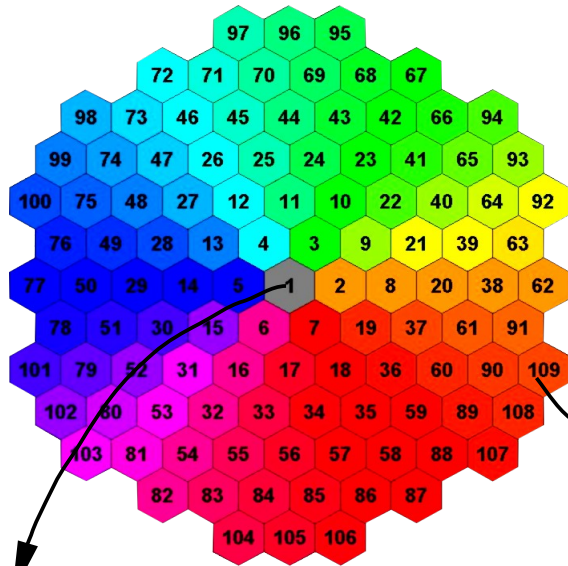
Пример регистрации события



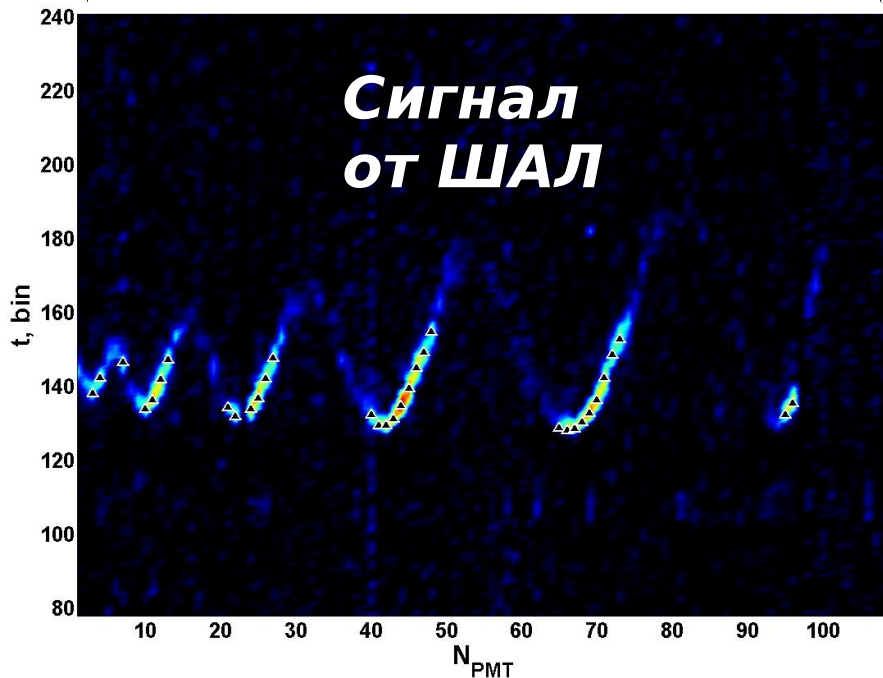
Аппроксимация: Prosin V.V. et al. 2009.
Nuclear Physics B, Proceedings Supplements,
Volume 190, 247-252



Регистрация событий



Нумерация каналов
в мозаике ФЭУ



**Зависимость времени прихода
света ШАЛ от номера канала**

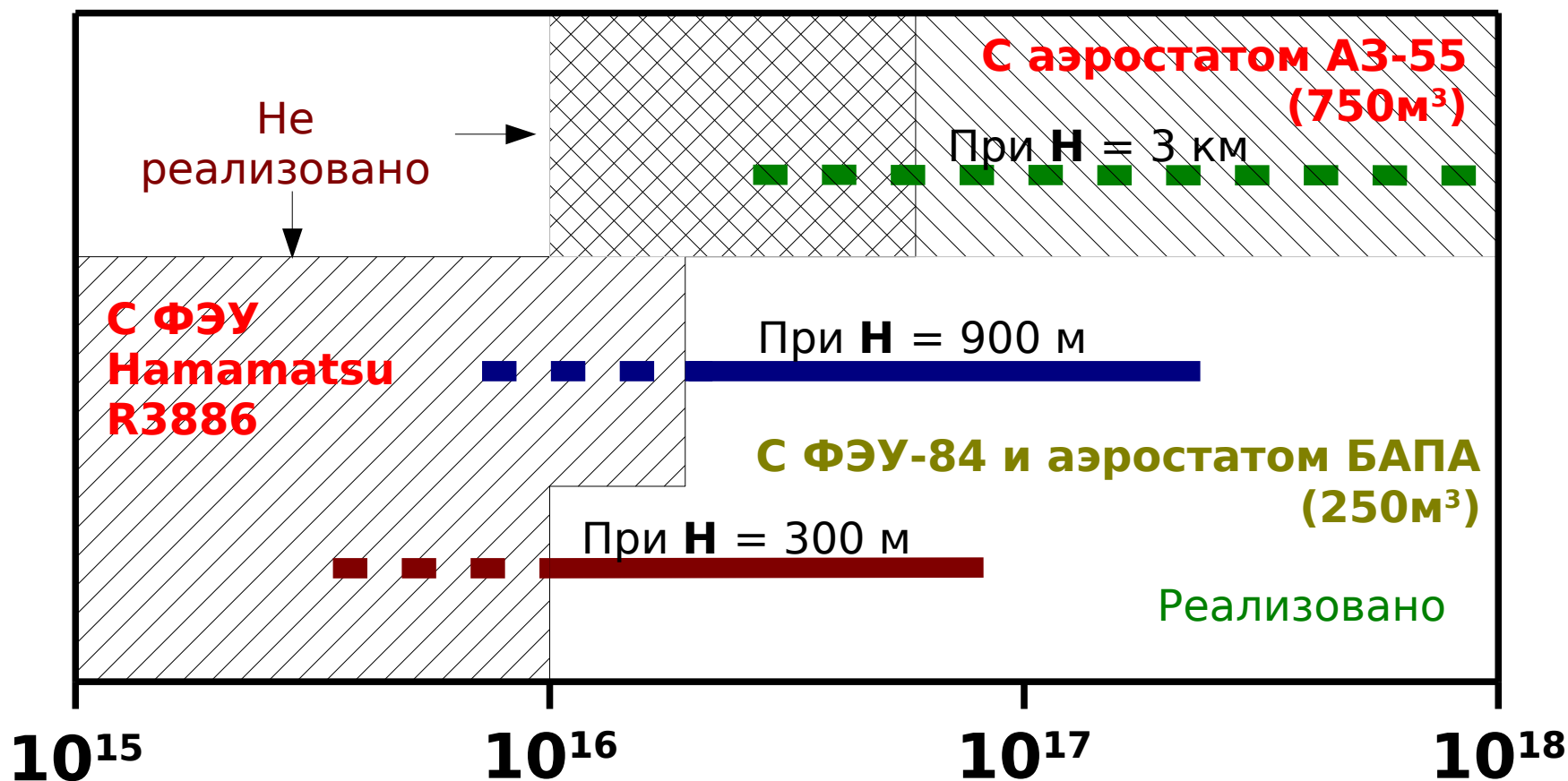
N_{PMT} - номер канала в мозаике,

t - относительное время (bin = 12.5 нс)

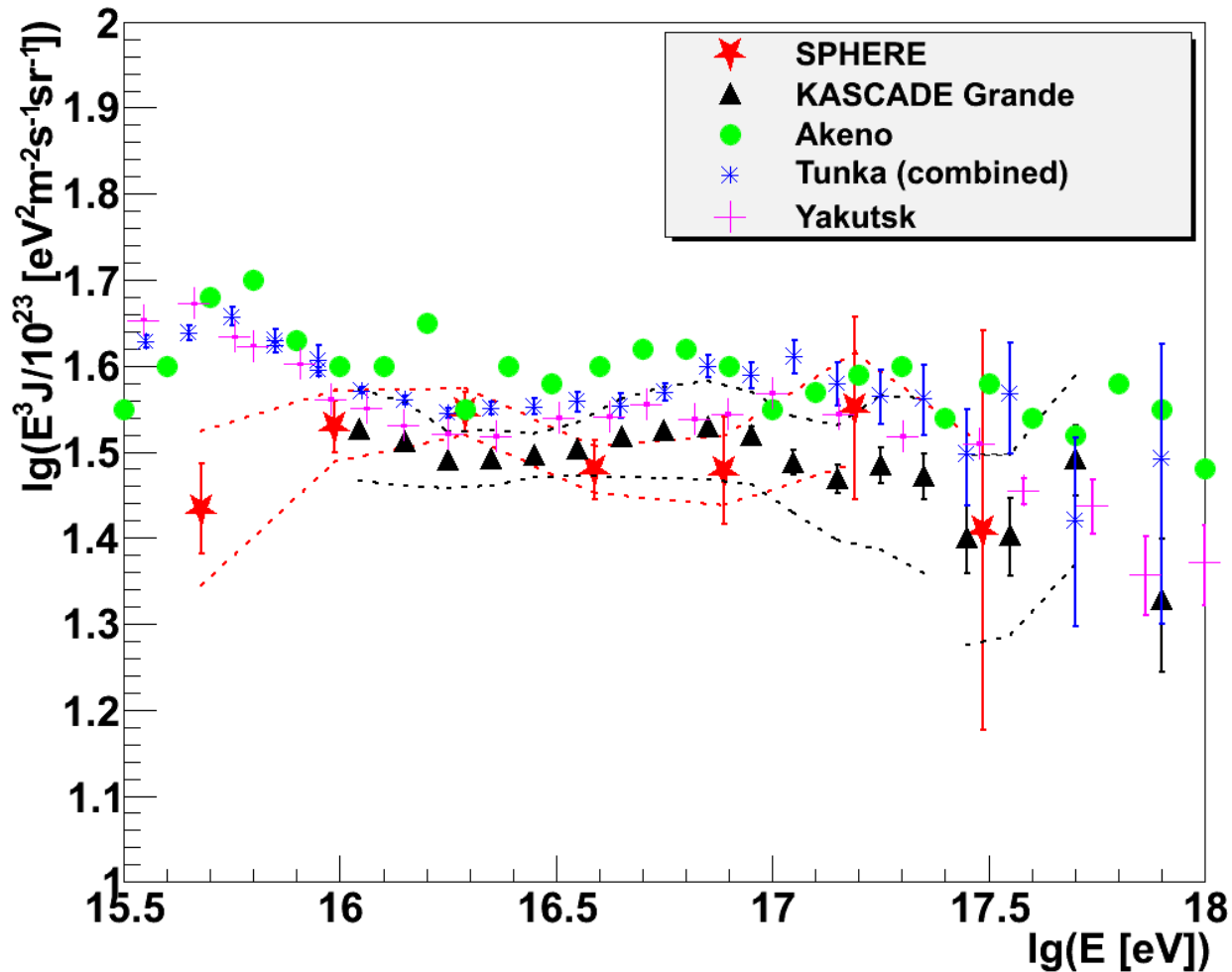
Общий результат проведенных экспедиций с 2008 по 2013 годы

Год	Общее время (час:мин)	Всего триггеров	Событий от ШАЛ	ФЭУ в мозаике
2008	1:30		1	20
2009	11:00		0 из-за сбоя в питании мозаики восстановление событий невозможно	64
2010	29:10	1343	36	95
2011	33:03	20542	220	95
2012	31:12	7716	364	109
2013	33:17	3813	459	109
	139:12	33414	1080	

Причина малой статистической обеспеченности в вынужденном применении малочувствительных ФЭУ-84-3

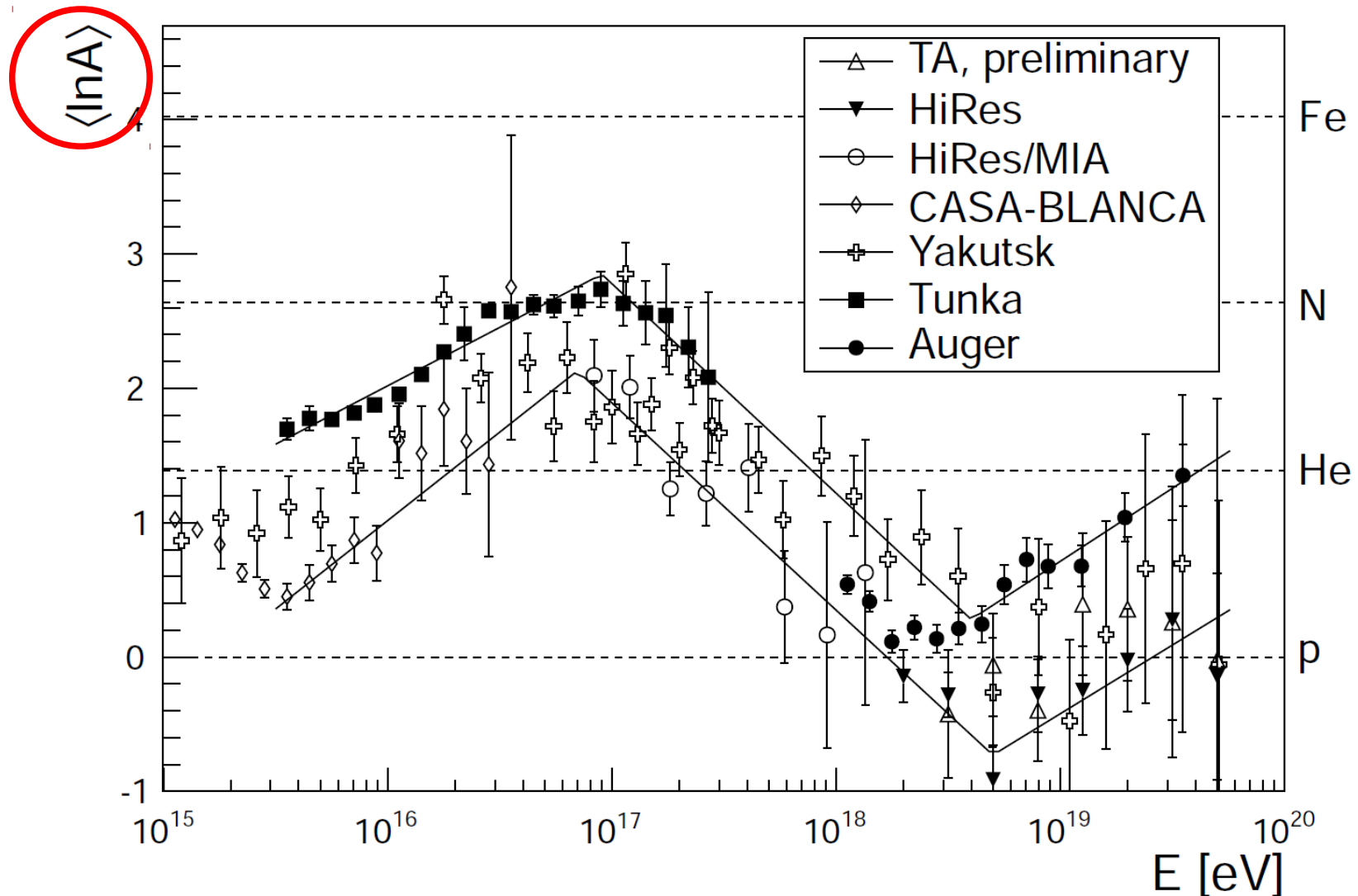


Спектр ПКЛ



Дифференциальный энергетический спектр по данным 2011—2013 годов.

Состав ПКЛ по данным нескольких экспериментальных установок



KASCADE-Grande

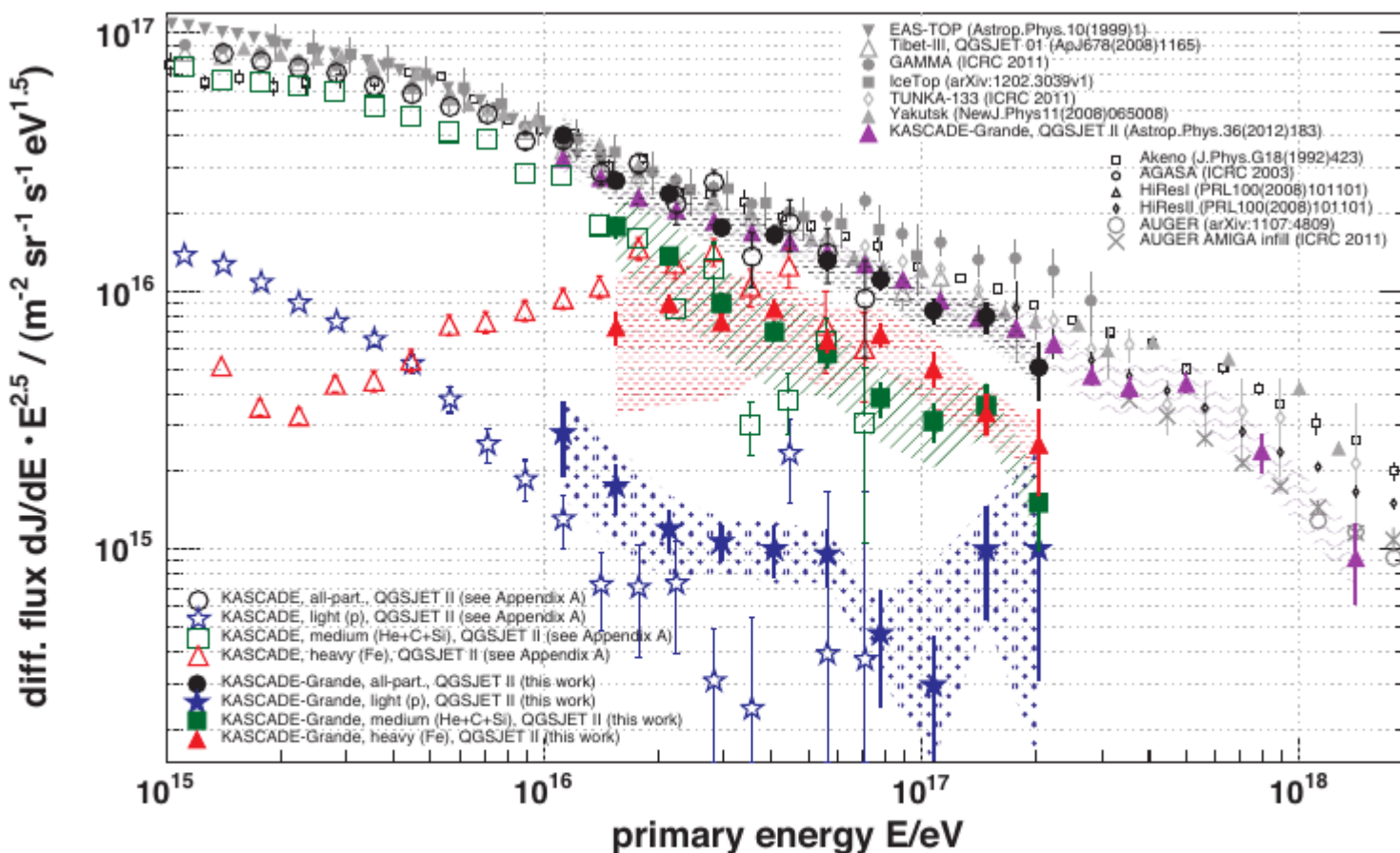


Figure 11: The all-particle spectrum obtained in this work based on an unfolding of KASCADE-Grande measurements, and the spectrum obtained in [32] based on an unfolding of KASCADE measurements (see Appendix A), are compared to spectra determined by other analysis methods of our collaboration [10] or other experiments (see legend for references). Additionally shown are some elemental spectra representing different mass groups (see legend). The error bars denote statistical uncertainties, error bands the systematic ones (the latter ones are only shown for the results of this work, as well as for the results obtained by the alternative analysis methods of our collaboration [10]).

KASCADE-Grande

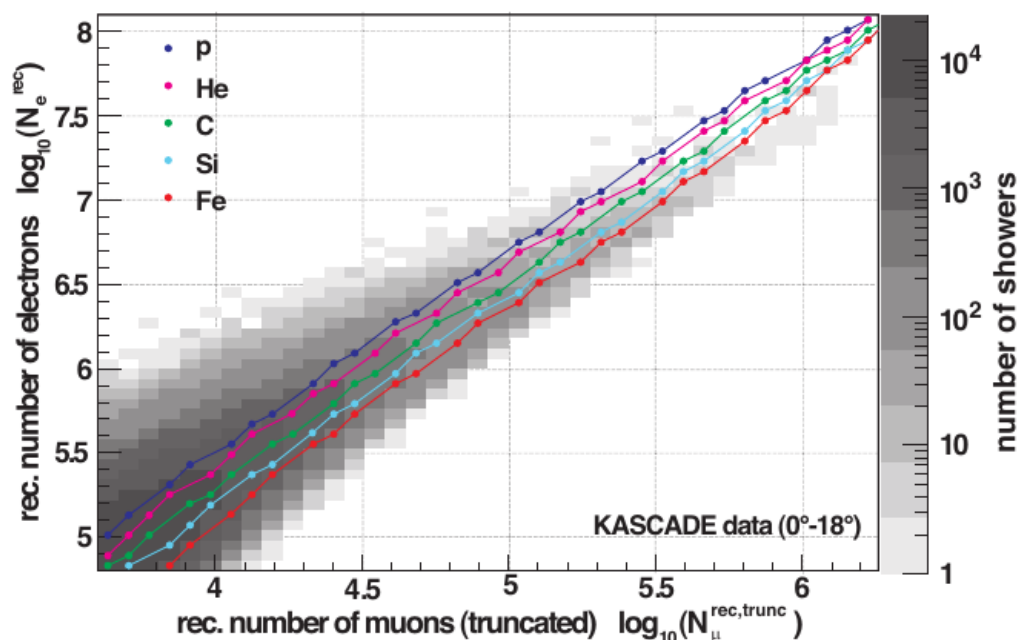


Figure A.13: Most probable values for the five considered nuclei according to the calculated response matrix (based on the interaction models QGSJET-II-02 [12, 13] and FLUKA 2002.4 [14, 15, 16]). Additionally, the measured two-dimensional size spectrum (the data used) is depicted.

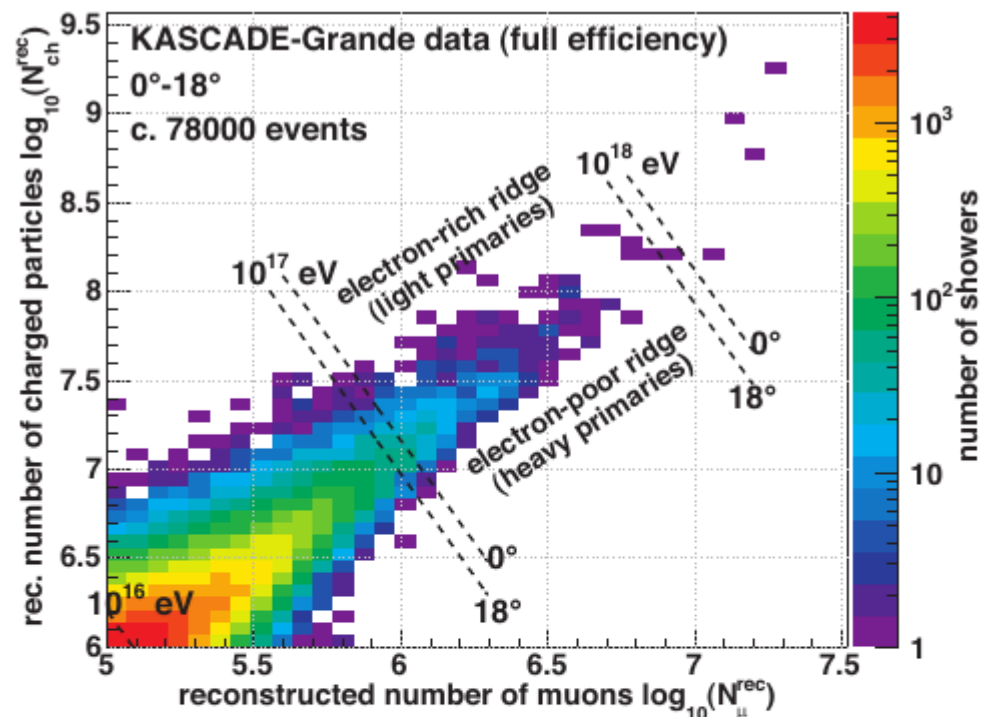


Figure 1: Two-dimensional distribution of the shower sizes (total number of charged particles and of muons) measured with KASCADE-Grande and used for this analysis. Diverse quality cuts are applied. Furthermore, only events with zenith angles $\theta \leq 18^\circ$ and with shower sizes for which the experiment is fully efficient (above $\log_{10}(N_{\text{ch}}^{\text{rec}}) \approx 6.0$ and $\log_{10}(N_{\mu}^{\text{rec}}) \approx 5.0$) are considered. In addition, a roughly estimated energy scale is indicated. Since KASCADE-Grande measures the shower sizes at atmospheric depths beyond the shower maximum, electron-rich showers are initiated preferentially by light primaries, and electron-poor showers by heavy ones, respectively (this is indicated in the figure, too).

Тунка-133 и KASCADE-Grande

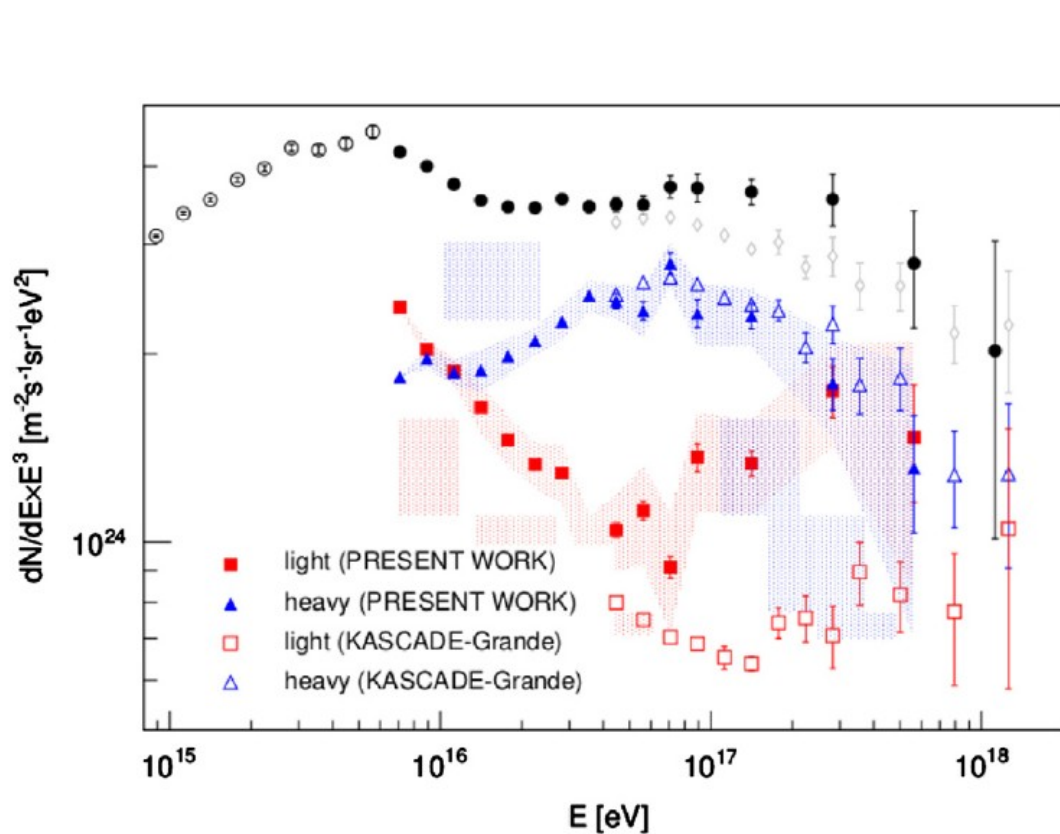
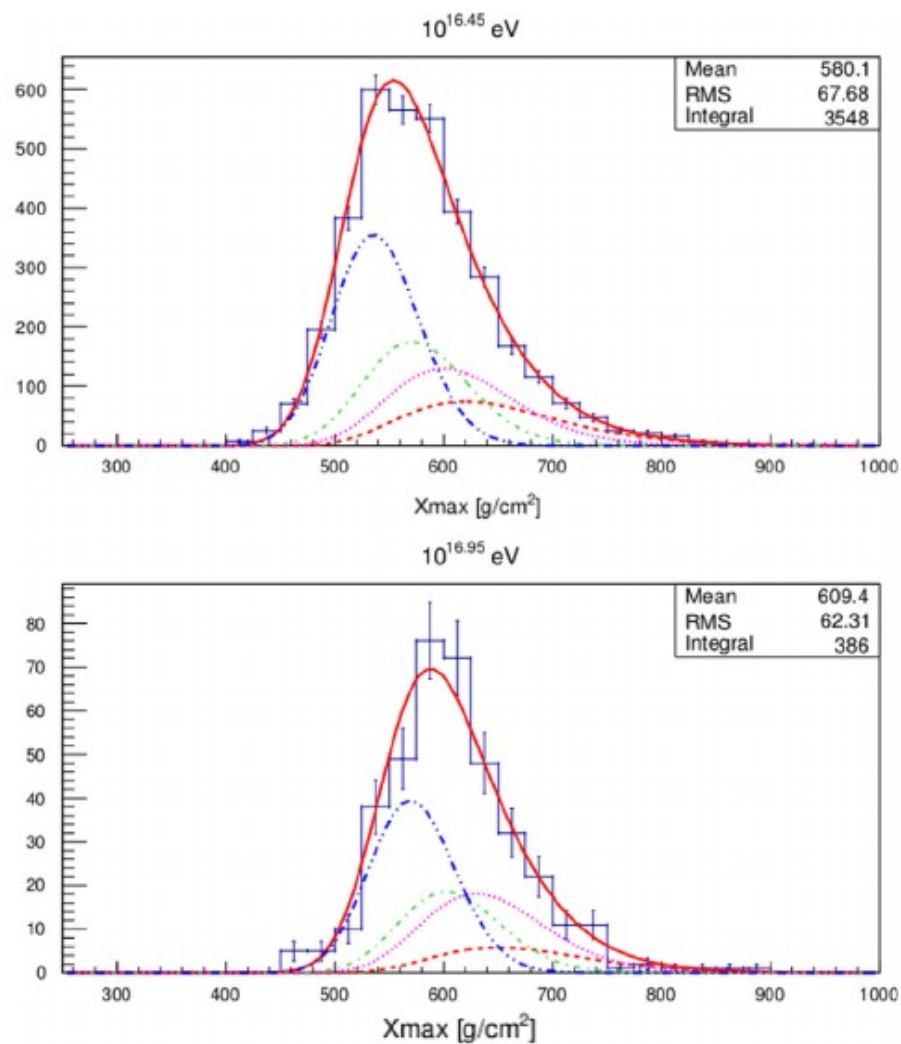


Fig. 8. Spectra of "light" and "heavy" fractions as compared with KASCADE-Grande.



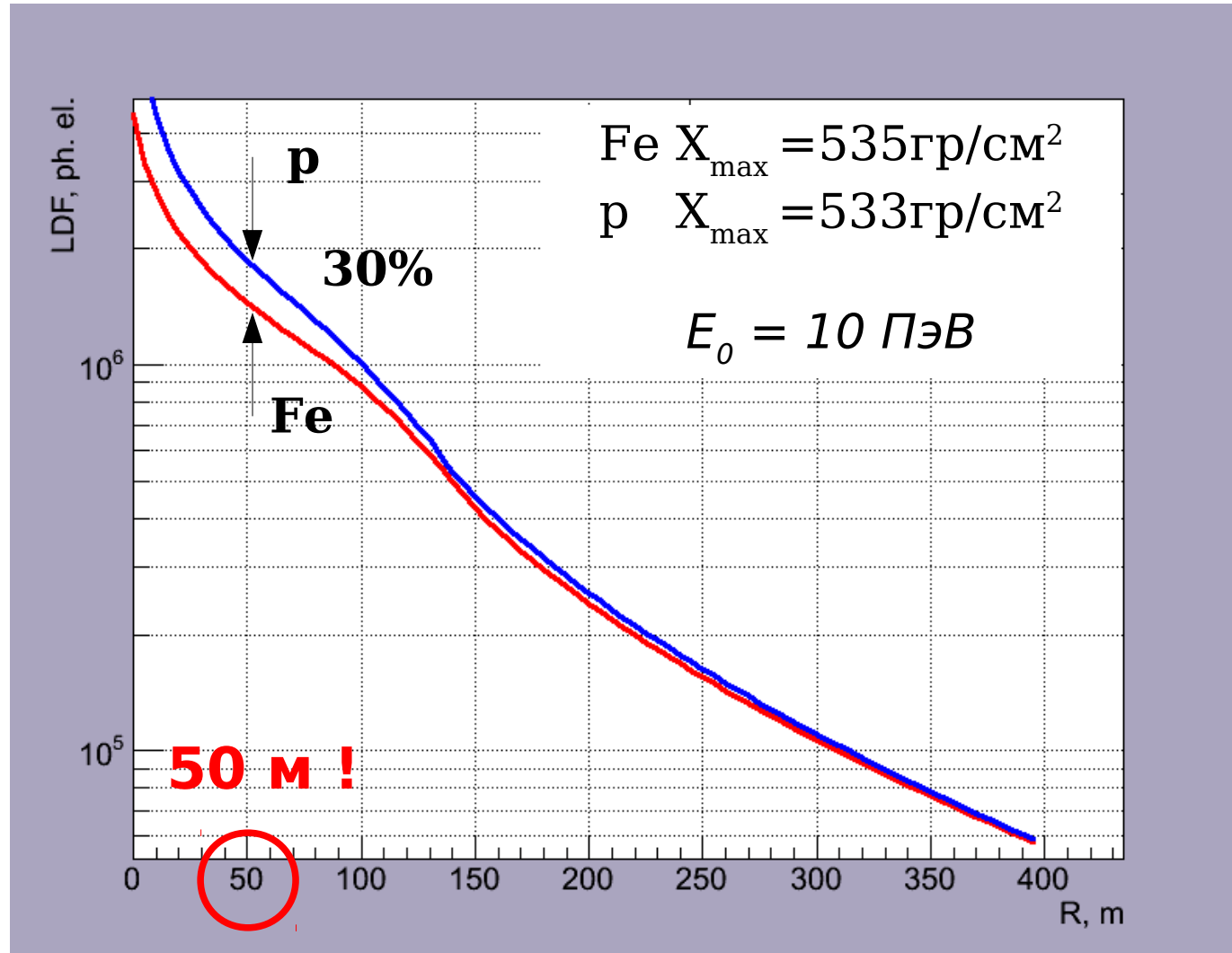
ВОПРОСЫ

Предел точности регистрации для восстановления состава достигнут?

Решение обратной задачи при восстановлении состава единственный путь развития?

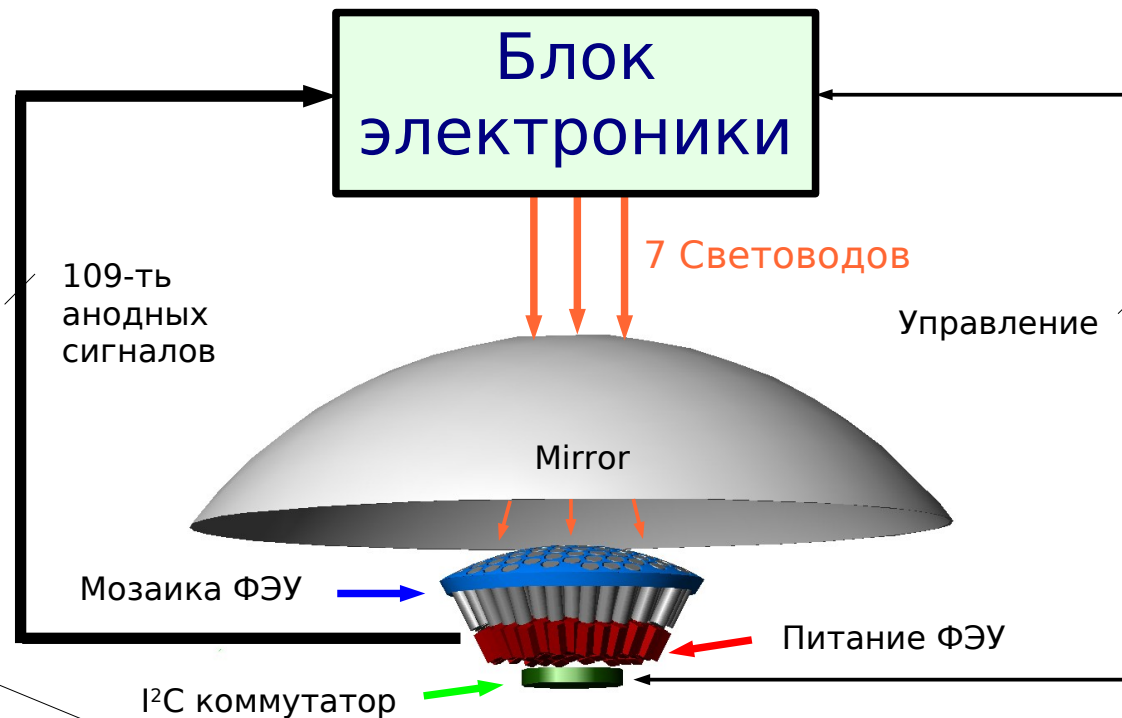
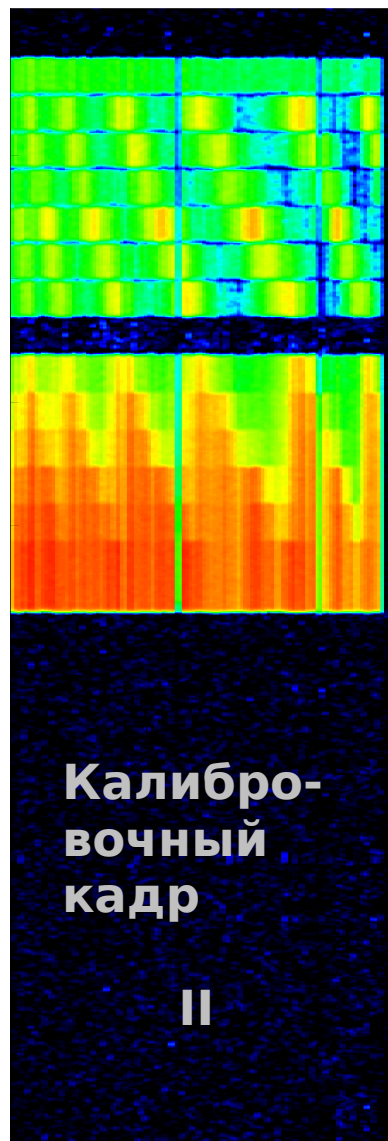
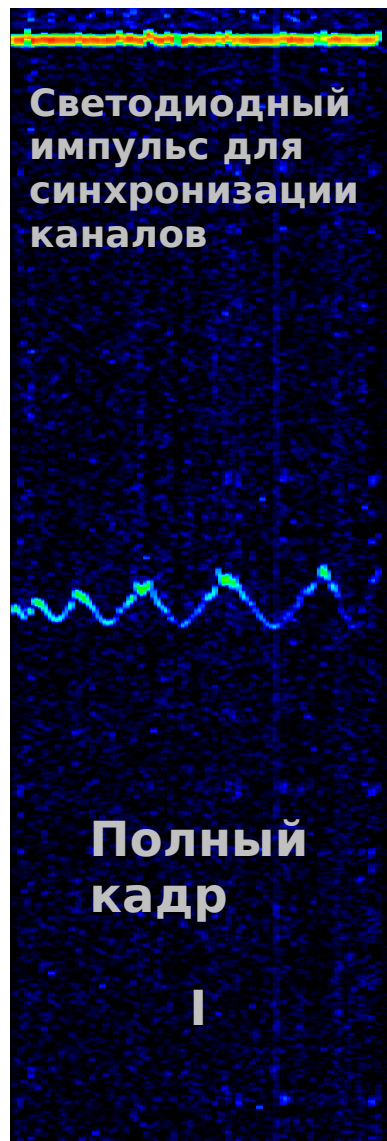
При анализе химического состава ПКЛ
критическое значение имеет точность
восстановление ФПР ЧС ШАЛ.

Сравнение модельных ФПР ЧС для протона и Fe при близких значениях X_{max}



Для установки СФЕРА-2 точность
определения относительной
чувствительности ФЭУ для любых двух
ФЭУ в мозаике - **3 %**. Абсолютная
чувствительность (с учётом
относительной) - **5 %**.

On-line калибровка



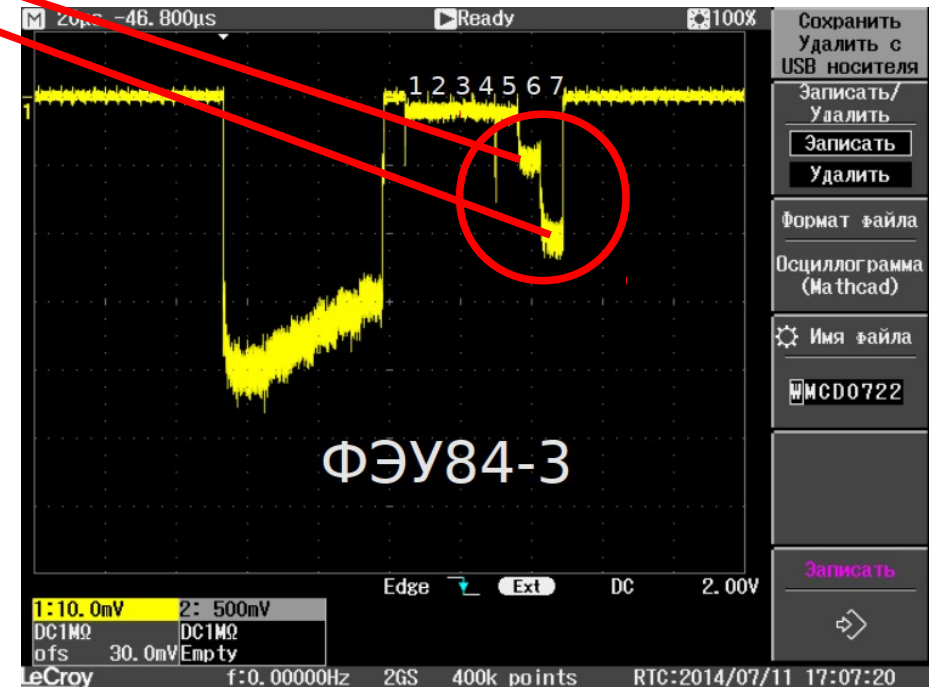
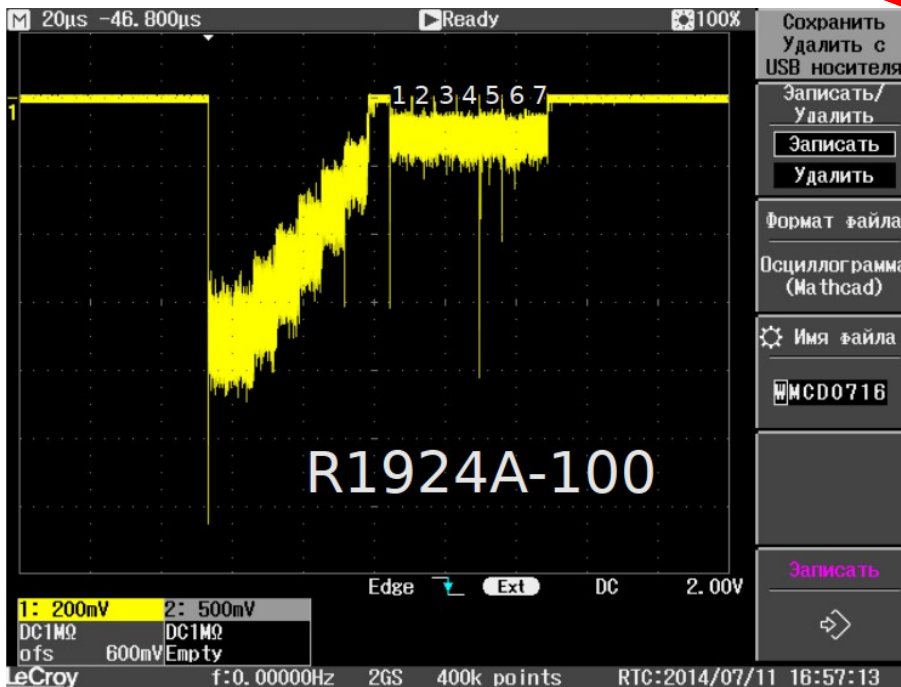
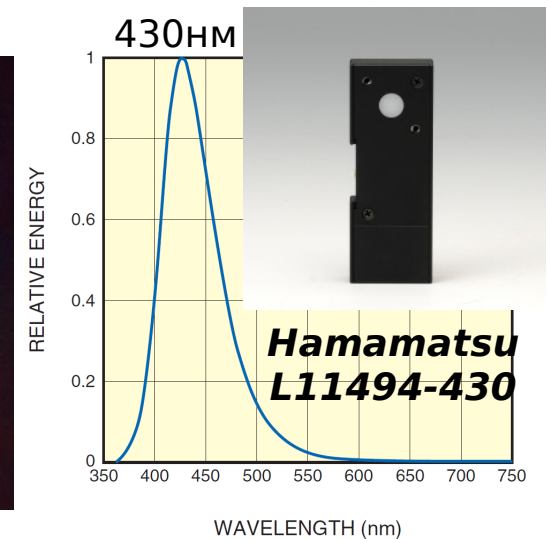
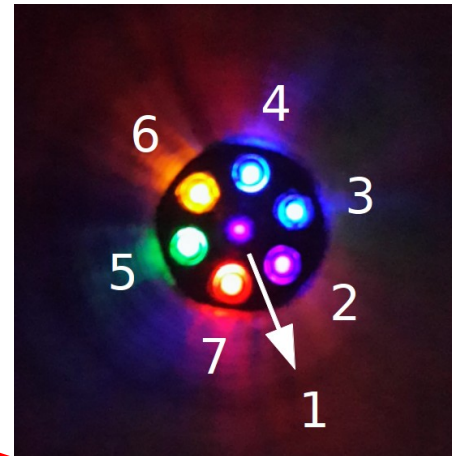
X	X							X						
X	X	X							X					
X	X	X	X							X				
X	X	X	X	X							X			
X	X	X	X	X	X								X	
X	X	X	X	X	X	X								X

Последовательность вспышек светодиодов.
Длительность каждой 375нс.

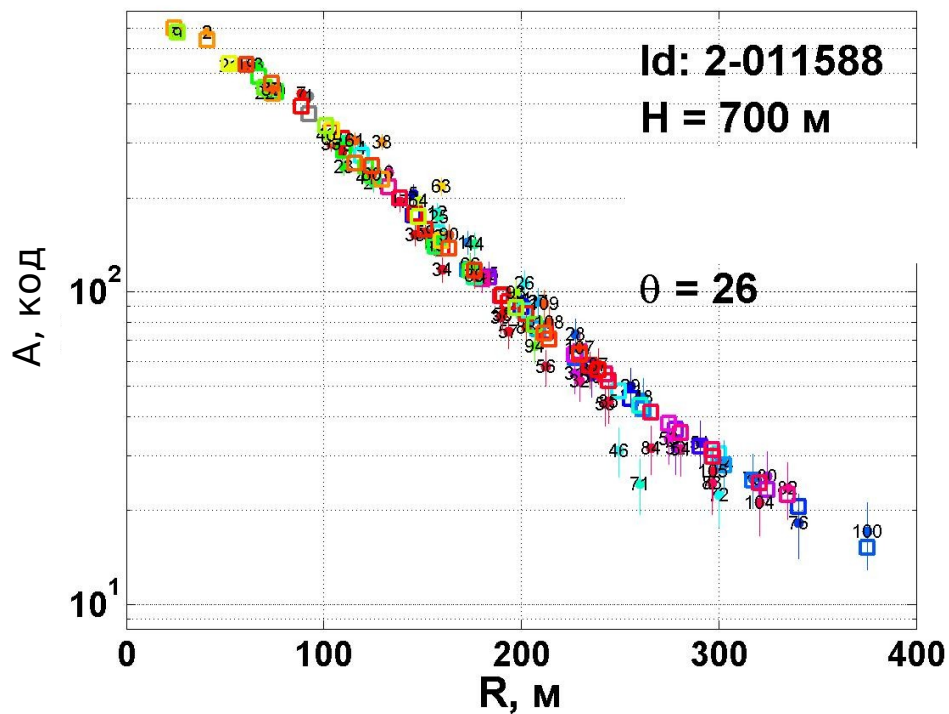
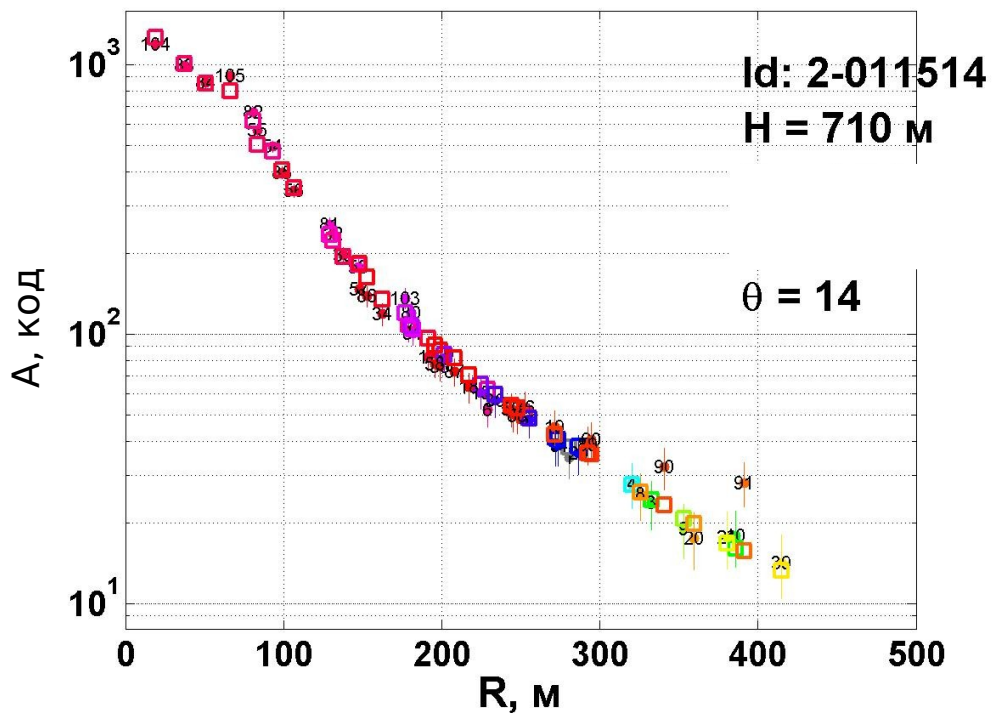
Калибровка спектральной чувствительности

Характеристики светодиодов:

- 1) FYL-L5013VC1C - 405 нм (узкое распредел.)
- 2) BL-L314VC - 405 нм (широкое распредел.)
- 3) BL-L324BC - 430 нм
- 4) BL-L314UBC - 470 нм
- 5) BL-L314PGC - 525 нм
- 6) BL-L314UYC - 590 нм
- 7) BL-L314URC - 660 нм



ФПР ЧС ШАЛ до данным установки СФЕРА-2



Предлагается метод оценки типа первичных
космических лучей для индивидуальных
событий, зарегистрированных установкой
СФЕРА-2.

Метод основан на сравнении образов
зарегистрированных событий с моделированными
событиями в предположении различных типов
первичной частицы, с учетом погрешностей
измерения.

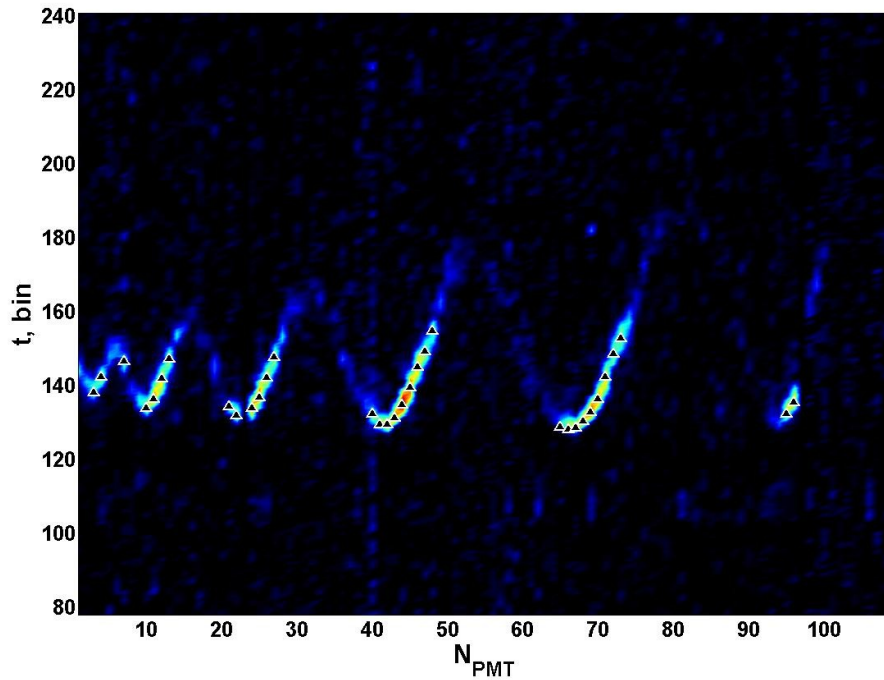
Принцип работы метода

Из события N восстановлен
угол α , E_0 , координаты
падения оси ШАЛ (x, y).

CORSICA

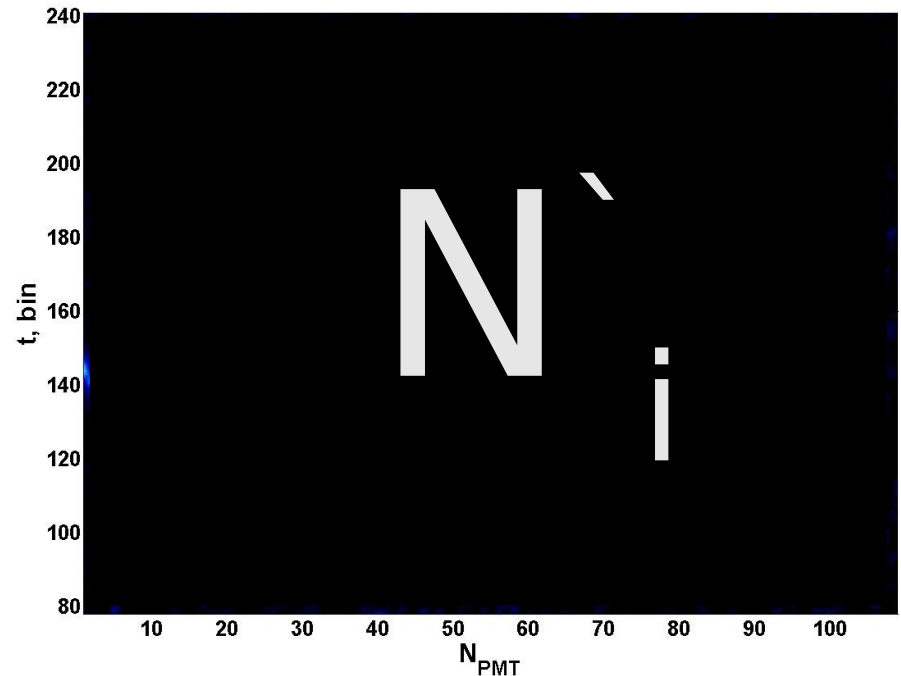
Компьютер

$(p, He, CNO, Fe) * n$
+ флуктуации заданных
параметров и фон
реального события



?

=



1. Методом χ^2 , например, оценивается «похожесть» на исходное событие.
2. По плотности вероятности событию приписывается возможный тип первичной частицы.

Предположение подтверждается:
Единственное решение задачи при
разделении по группам ПКЛ.

Предположение ложно:
Плотности вероятности близки →
необходимо решение обратной задачи.

Первые оценки типа частицы для
индивидуальных событий планируется
получить в ближайшее время

Выводы

Высокая точность регистрации ЧС ШАЛ в эксперименте с установкой СФЕРА-2 достигается за счёт применения разработанной системы калибровки.

Полученные результаты позволяют осуществить анализ состава ПКЛ по плотности ЧС в приосевой области ШАЛ.

Предложен метод определения состава ПКЛ на основе сравнения образов зарегистрированных событий с моделированными событиями.

Спасибо за внимание!

