

Астрофизический комплекс TAIGA – статус, результаты, планы

».

Л.Кузьмичев (НИИЯФ МГУ) от коллаборации TAIGA

37 ВККЛ

29.06 2022

TAIGA - collaboration

Germany

участие заморожено

Italy

Torino University (Torino)

Russia

MSU (SINP) (Moscow)

ISU (API) (Irkutsk)

INR RAS (Moscow)

JINR (Dubna)

MEPhI (Moscow)

IZMIRAN (Moscow)

BINR SB RAS (Novosibirsk)

NSU (Novosibirsk)

ASU (Barnaul)

Астрофизический комплекс TAIGA (50 км от озера Байкал)



Tunka-133

Tunka-Grande



TAIGA-MUON

TAIGA – HiSCORE

TAIGA -IACT

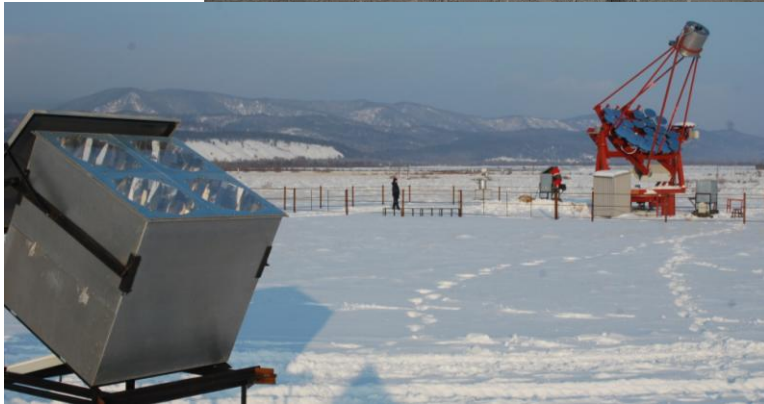
10^{18} eV

Космические
лучи

10^{15} eV

Гамма-астрономия

10^{12} eV



Третий АЧТ (19 апреля 2022)





Атмосферный черенковский телескоп



Area of mirrors - 9.6 m² (34mirrors)

Focus length 4.75 m

FOV **9.6°**

pixel FoV 0.36°

600 pixels(pmt XP1911 Ø 19 мм)

PSF ~0.1°

CCD for checking telescope pointing direction.

Большое поле зрения телескопа

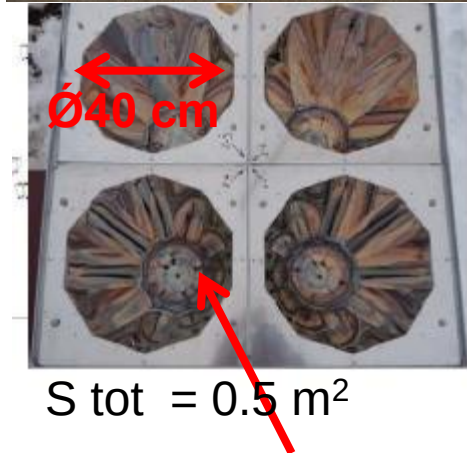
— регистрация ШАЛ с больших расстояний (до 500 м)

TAIGA- HiSCORE (FoV $\sim 60^\circ$)



Сеть из 120 станций
(шаг 106 м)
Восстановление
направления прихода
ШАЛ

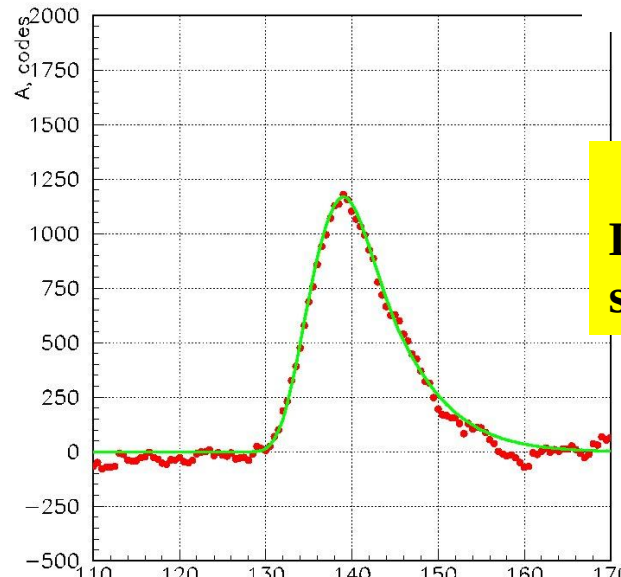
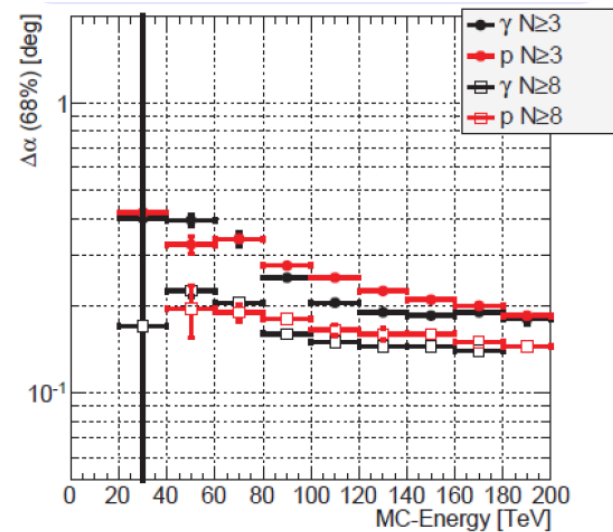
0.4- 0.15 град
энергии
30% – 15%



$S_{tot} = 0.5 \text{ m}^2$

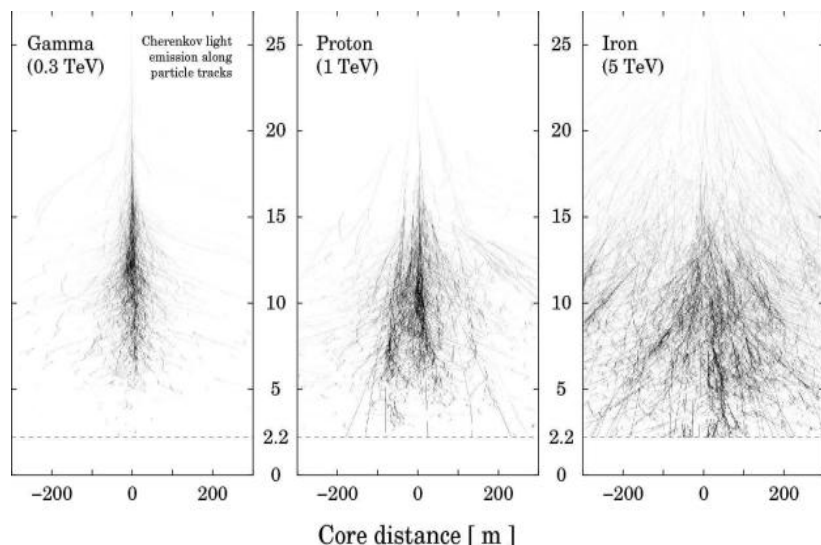
Winston cone and PMT
with 20-25 cm
photocathode diameter

Угловое разрешение



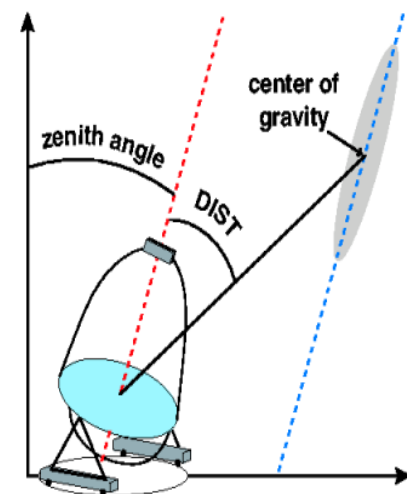
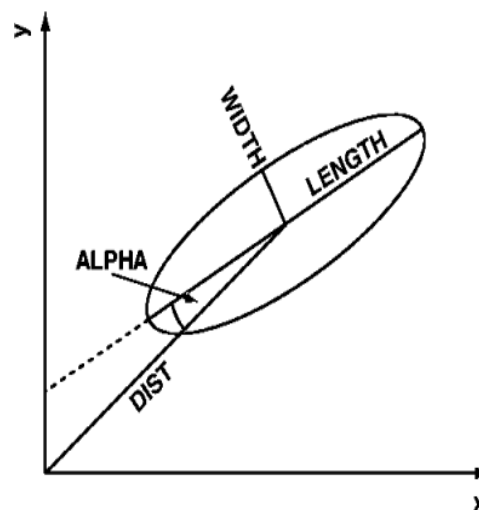
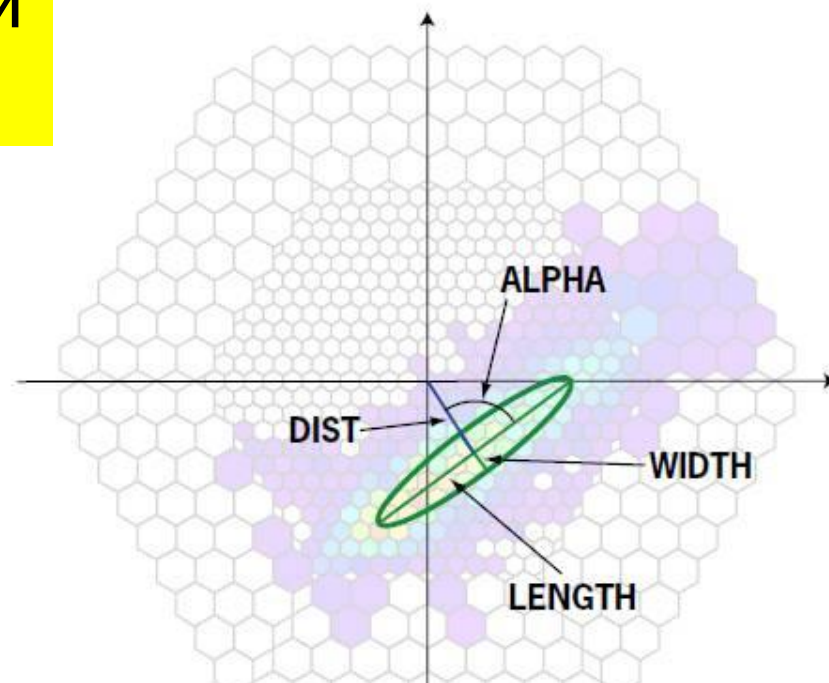
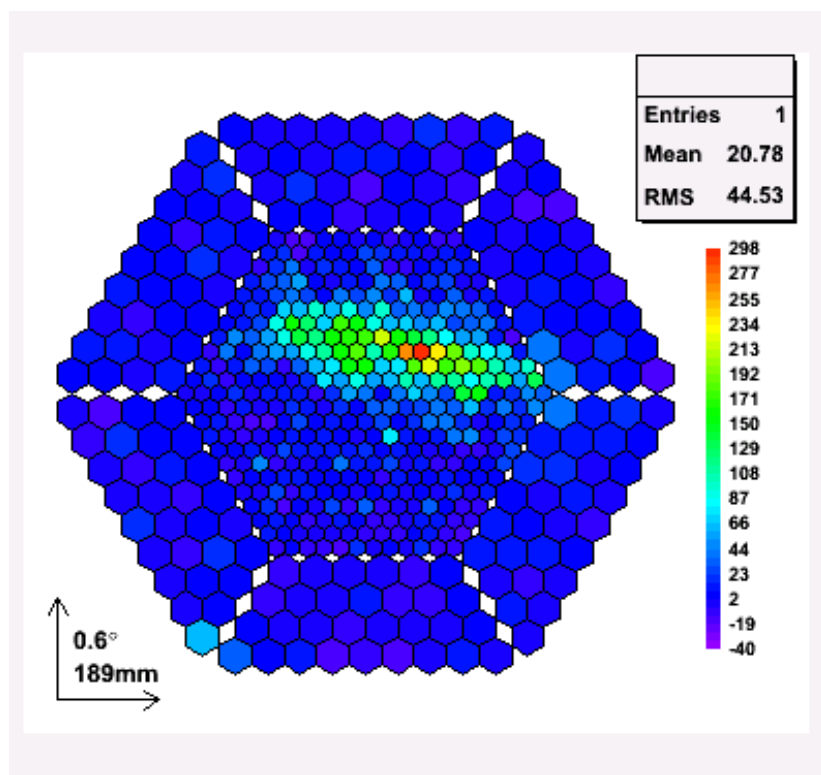
Digitization of signal by
DRS4 board with 0.5 ns
step

Главная методическая задача: отделить ШАЛ от гамма-квантов от ШАЛ от космических лучей



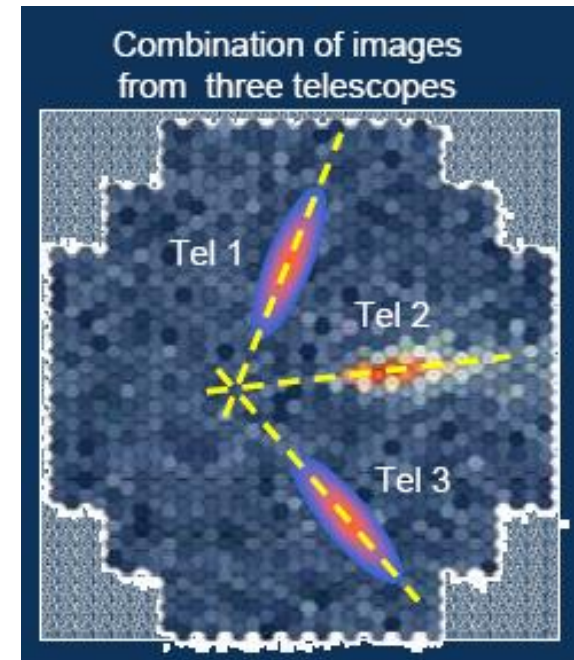
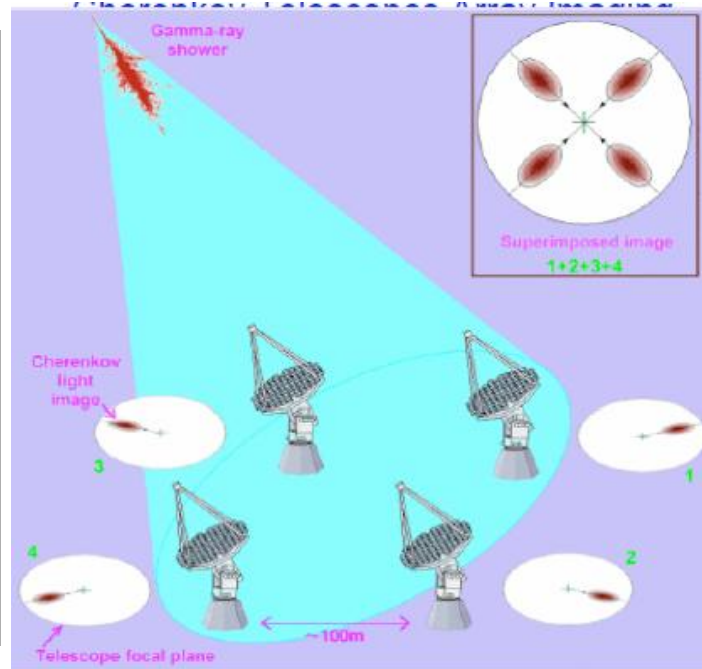
1. Угловое распределение черенковского света от ШАЛ
Атмосферные черенковские телескопы (АЧТ или IACT)
2. Пространственное распределение заряженных частиц
HAWC
3. По числу мюонов
LHAASO

Изображение ШАЛ в АЧТ и параметры Хилласа



Imaging Atmospheric Cherenkov Arrays (2-5 IACT)

Whipple
HEGRA
H.E.S.S.
MAGIC
VERITAS
 $S \sim 0.1 \text{ km}^2$



Основной метод выделения гамма-квантов – регистрация одного ШАЛа двумя и большим числом телескопов – стереоскопический метод

Для исследования области энергий гамма-квантов
Выше 100 ТэВ нужны установки с
площадью $\sim 10 \text{ км}^2$

CTA project : 100 IACT on the area 10 km²

Low energies

Energy threshold 20-30 GeV

23 m diameter

4 telescopes

(LST's)

Medium energies

100 GeV – 10 TeV

9.7 to 12 m diameter

25 telescopes

(MST's/SCTs)

High energies

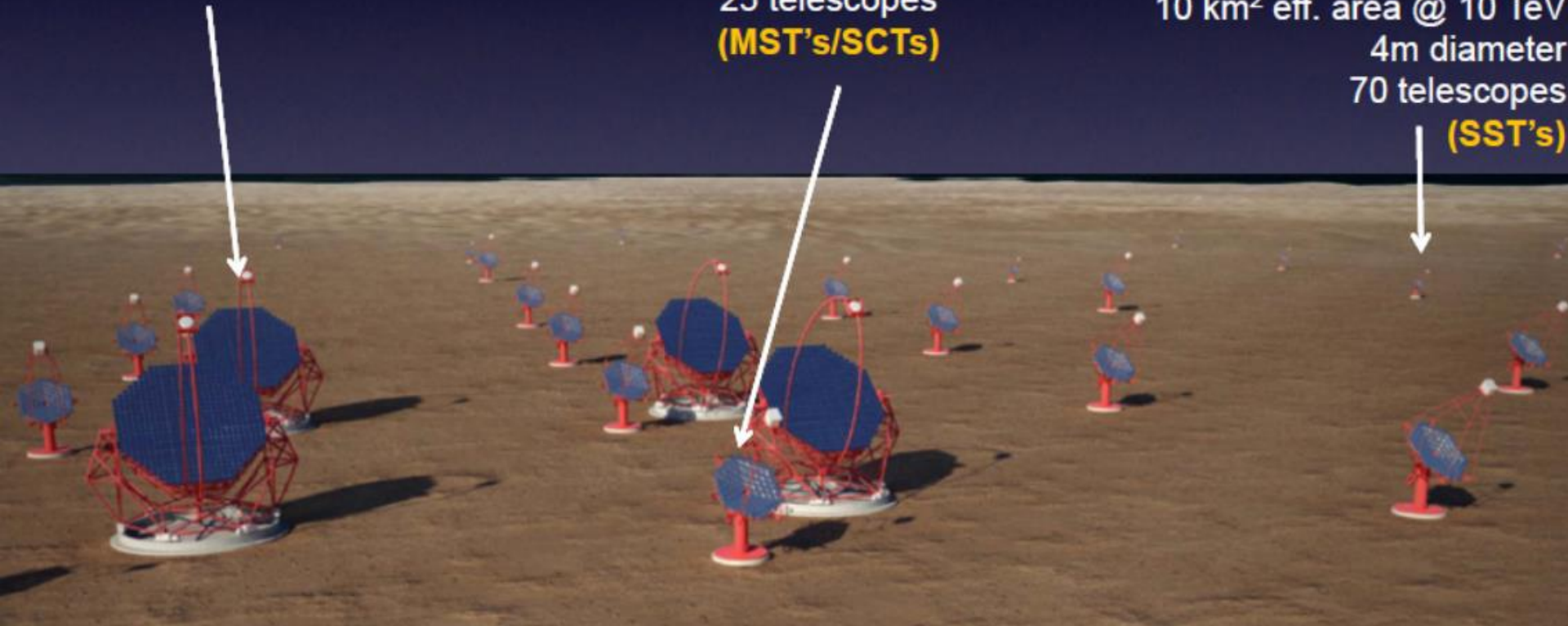
Up to > 300 TeV

10 km² eff. area @ 10 TeV

4m diameter

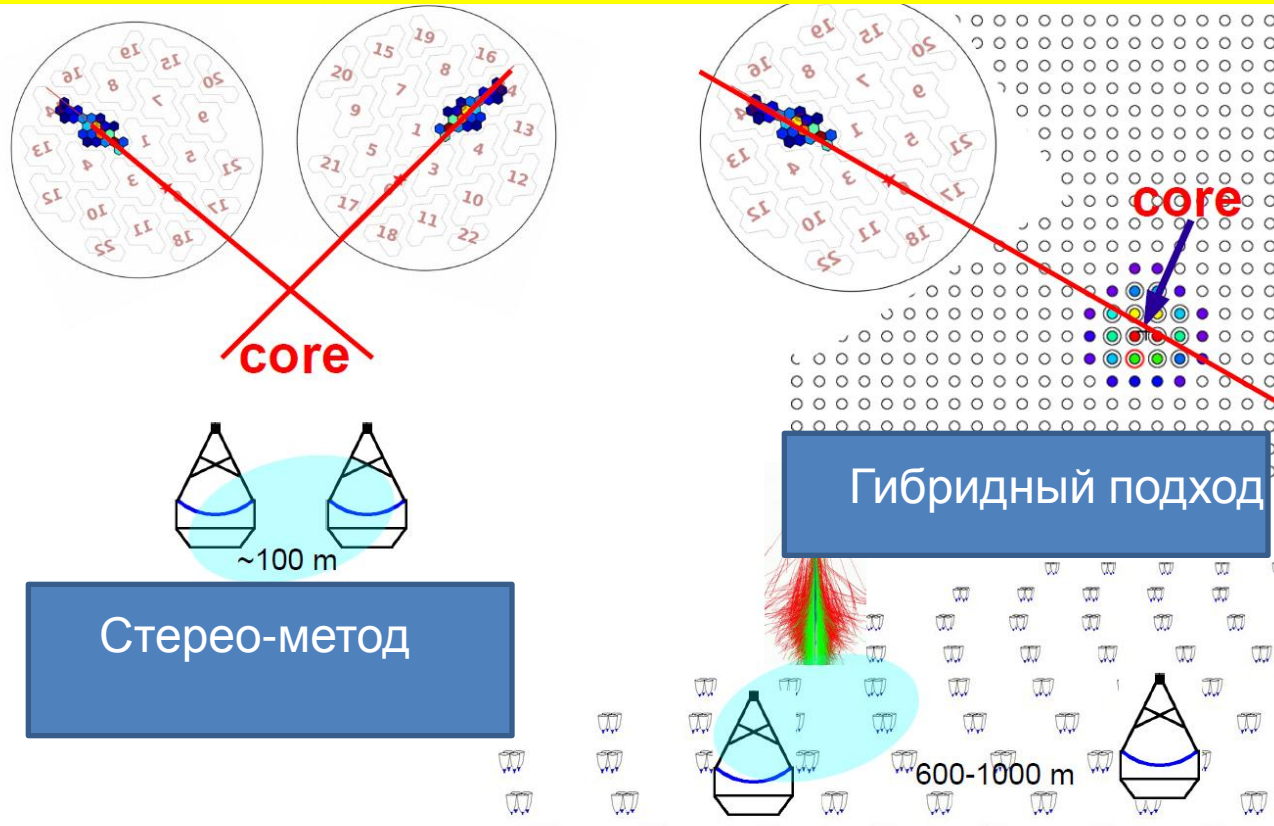
70 telescopes

(SST's)



TAIGA - методика

Методы выделения сигнала от гамма-квантов

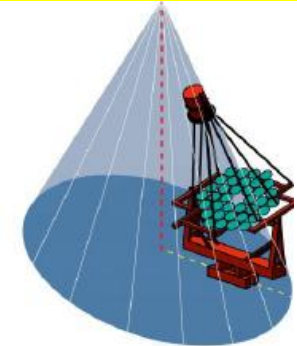


СТА - много дорогих
телескопов на
единицу площади

TAIGA – мало дорогих телескопов
и много дешевых широкоугольных
станций – более дешевый подход
достижению установки большой
площади

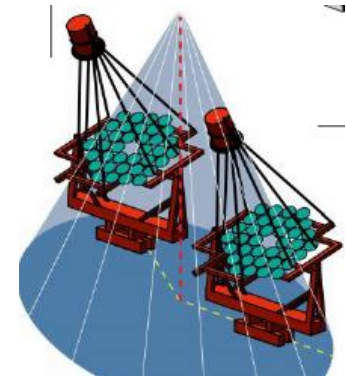
Три подхода к регистрации гамма-квантов в эксперименте TAIGA

1. Автономная работа одного телескопа
 $E > 2 \text{ ТэВ}$



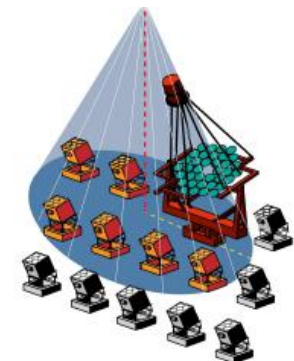
Mono mode
 $E > 2 \text{ ТэВ}$

2. Стереоскопический подход при больших расстояниях между телескопами $E \geq 8 \text{ ТэВ}$



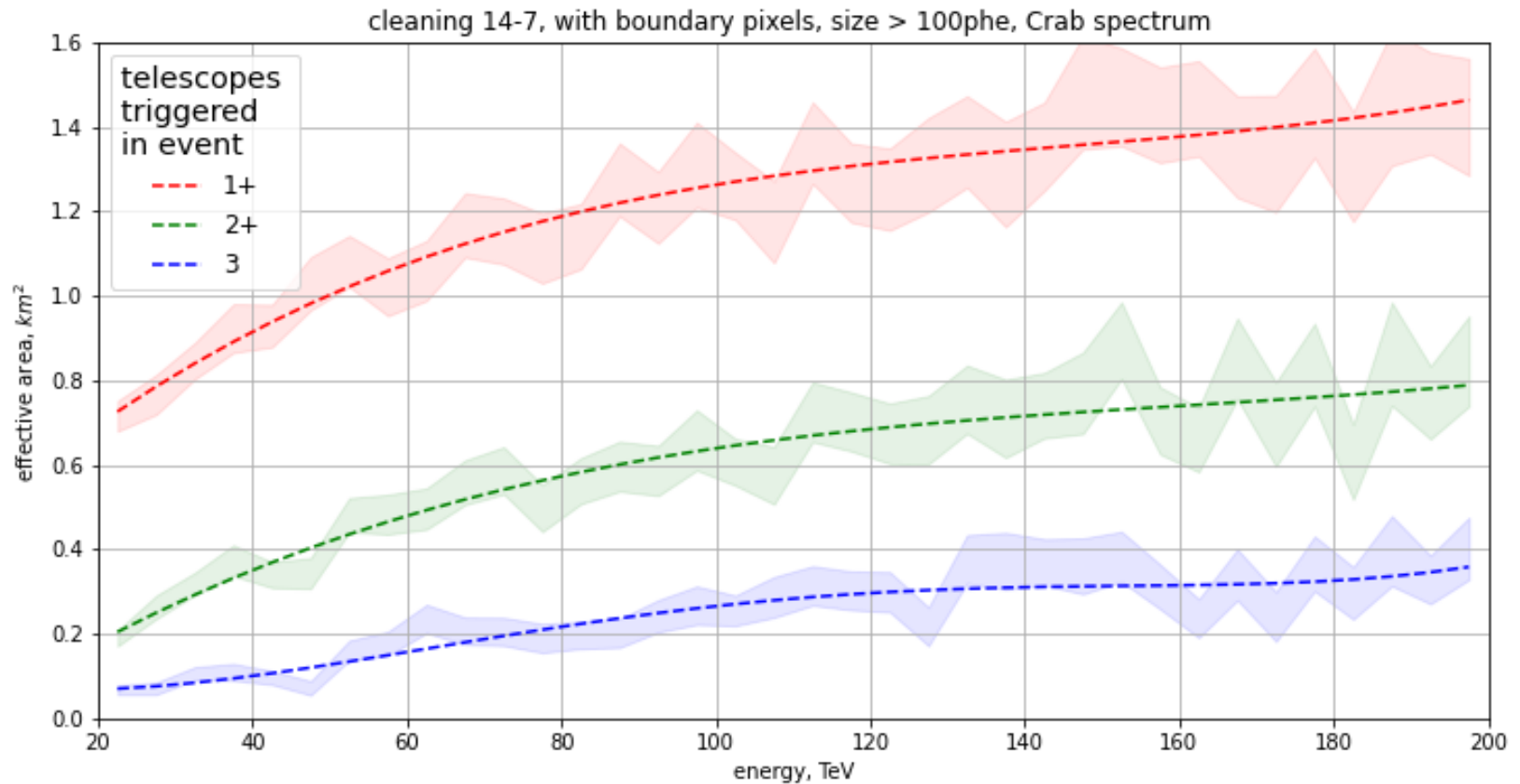
Stereo mode
 $E \geq 8 \text{ ТэВ}$

3. Гибридный подход – совместная работа HiSCORE и телескопов $E \geq 40 \text{ ТэВ}$

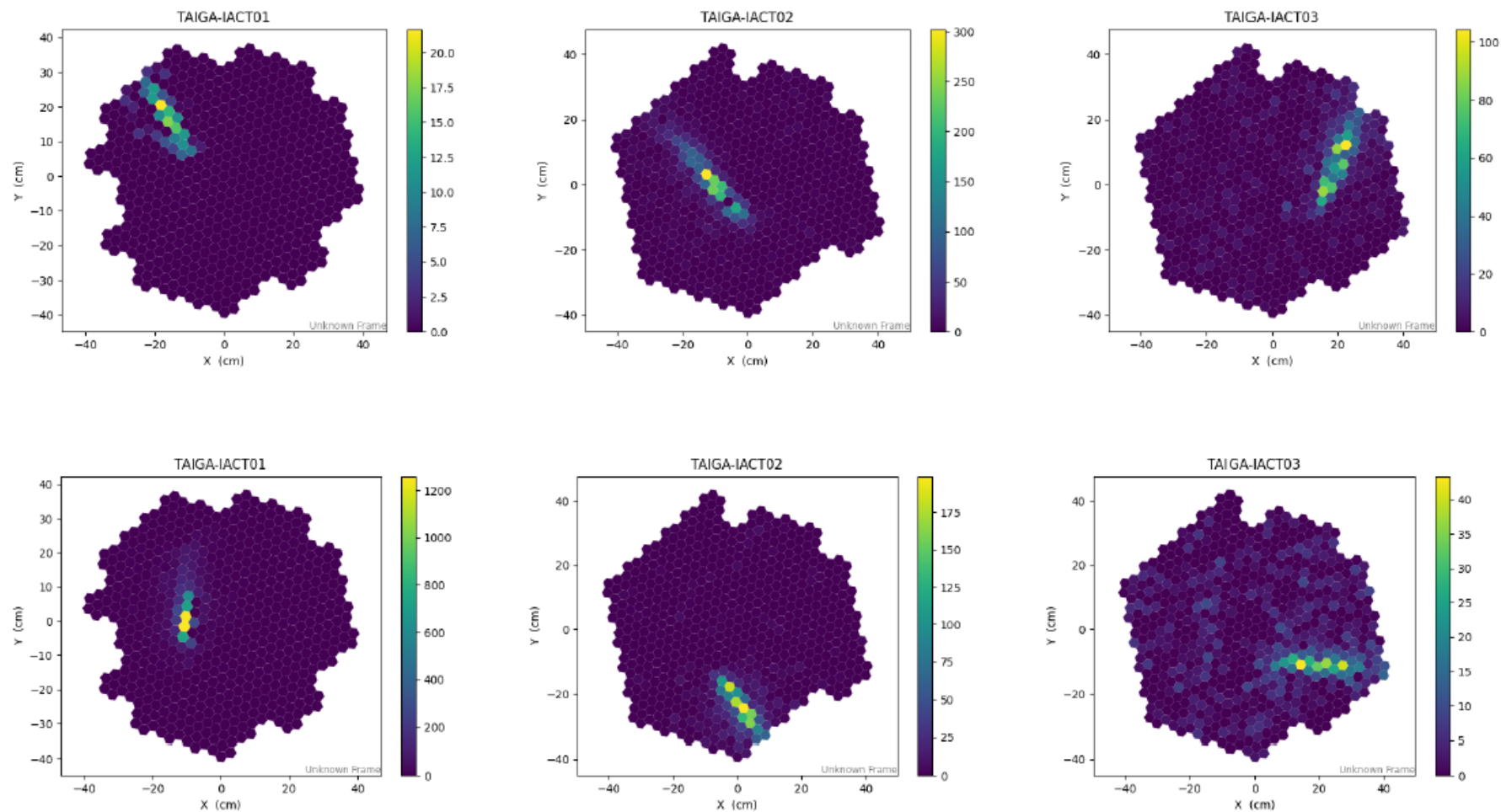


Hybrid mode
 $E \geq 40 \text{ ТэВ}$

Эффективная площадь системы телескопов



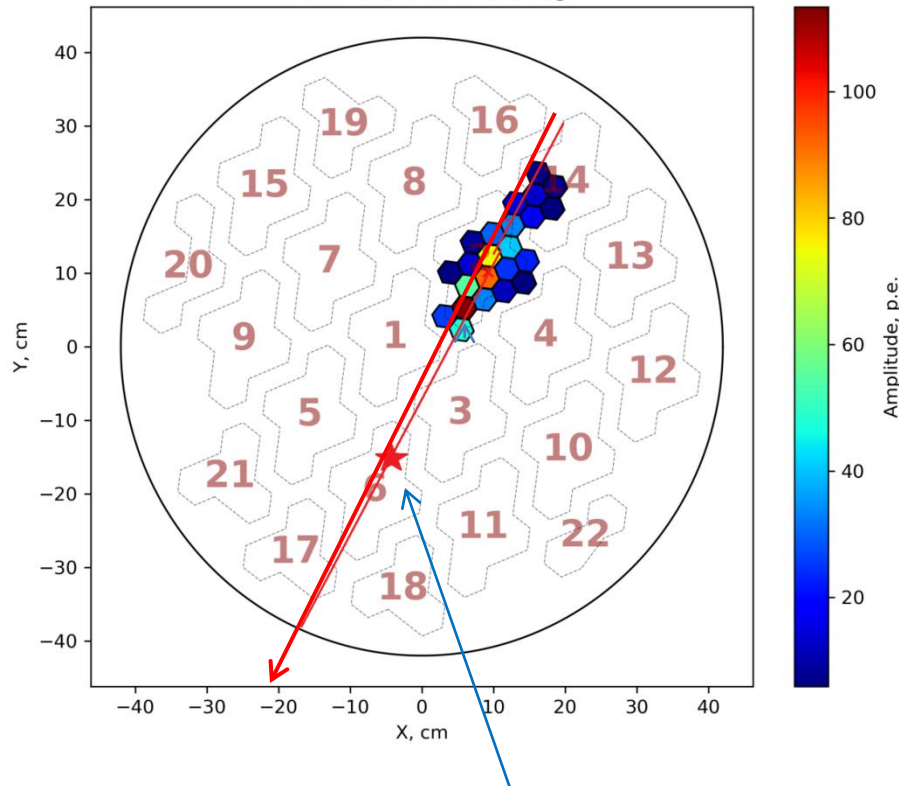
Примеры срабатываний всех трех телескопов от одного ШАЛ



Пример гибридного гамма-like события

Width=0.13°, length=0.69°, alpha=8.9°, size=709p.e.

Width=1.6 cm, $\alpha=8.8$ deg

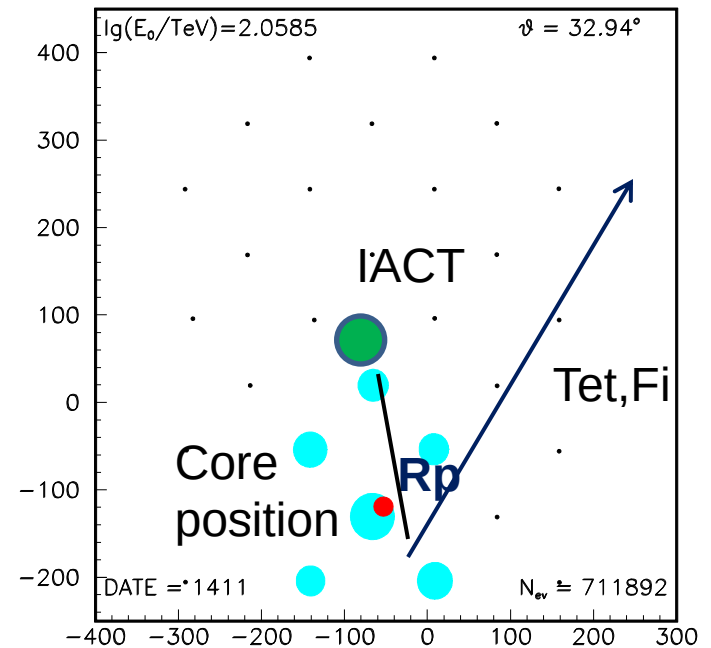


IACt data

HiSCORE data

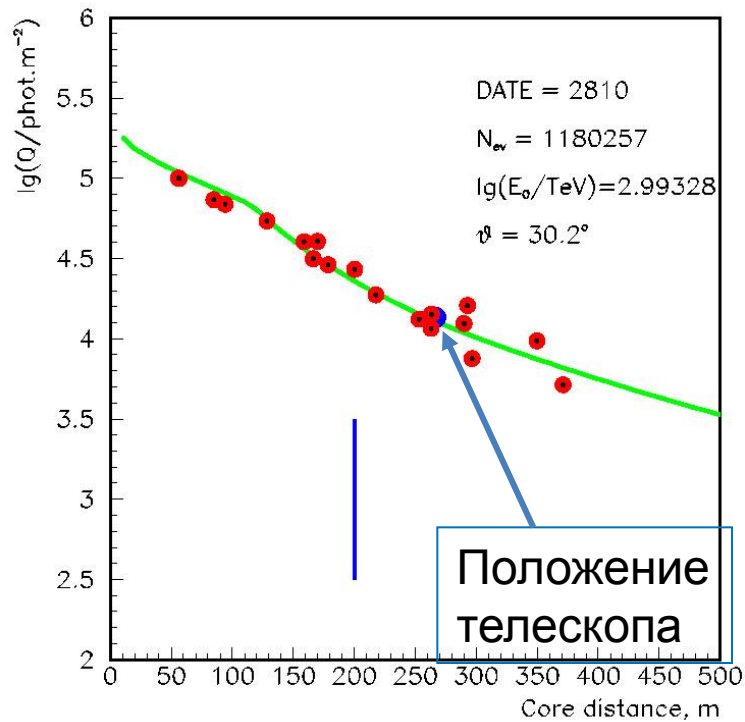
$E = 55$ TeV

Tet = 32.9, Fi = 33.58

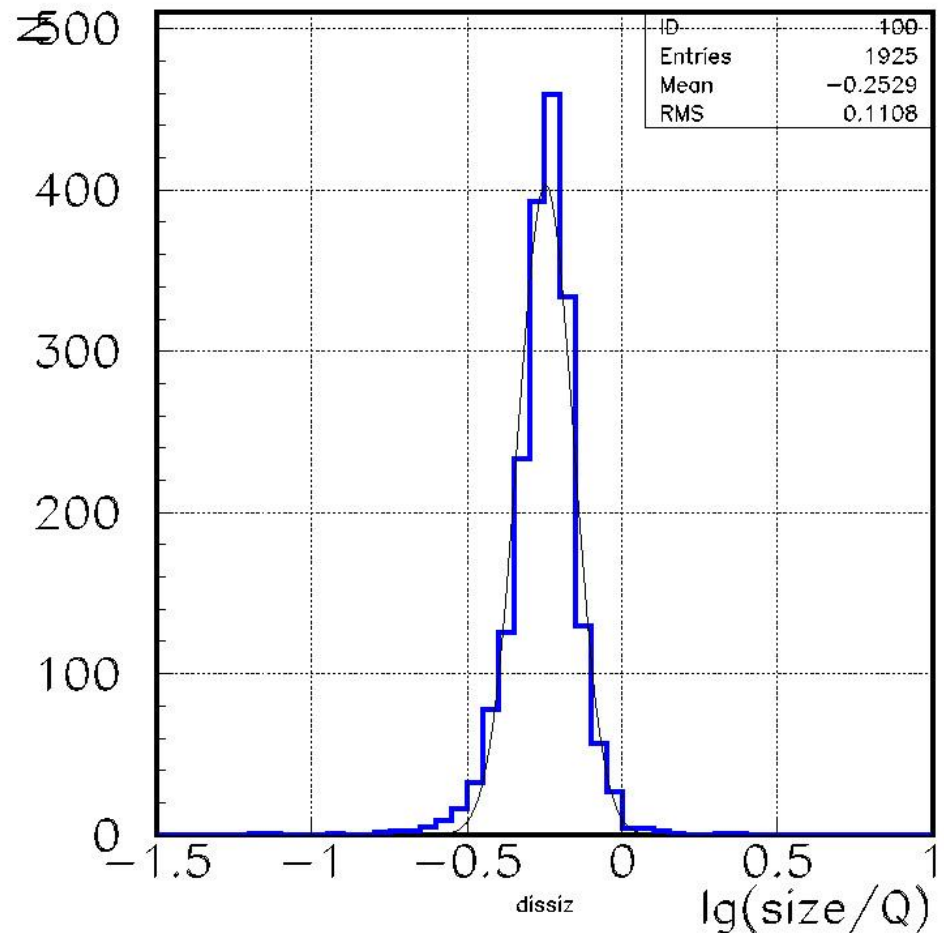


Оценка R по совместным событиям с установкой HiSCORE

Пример совместного события



$$R_{exp} = 0.56 \pm 0.05$$



TAIGA -результаты

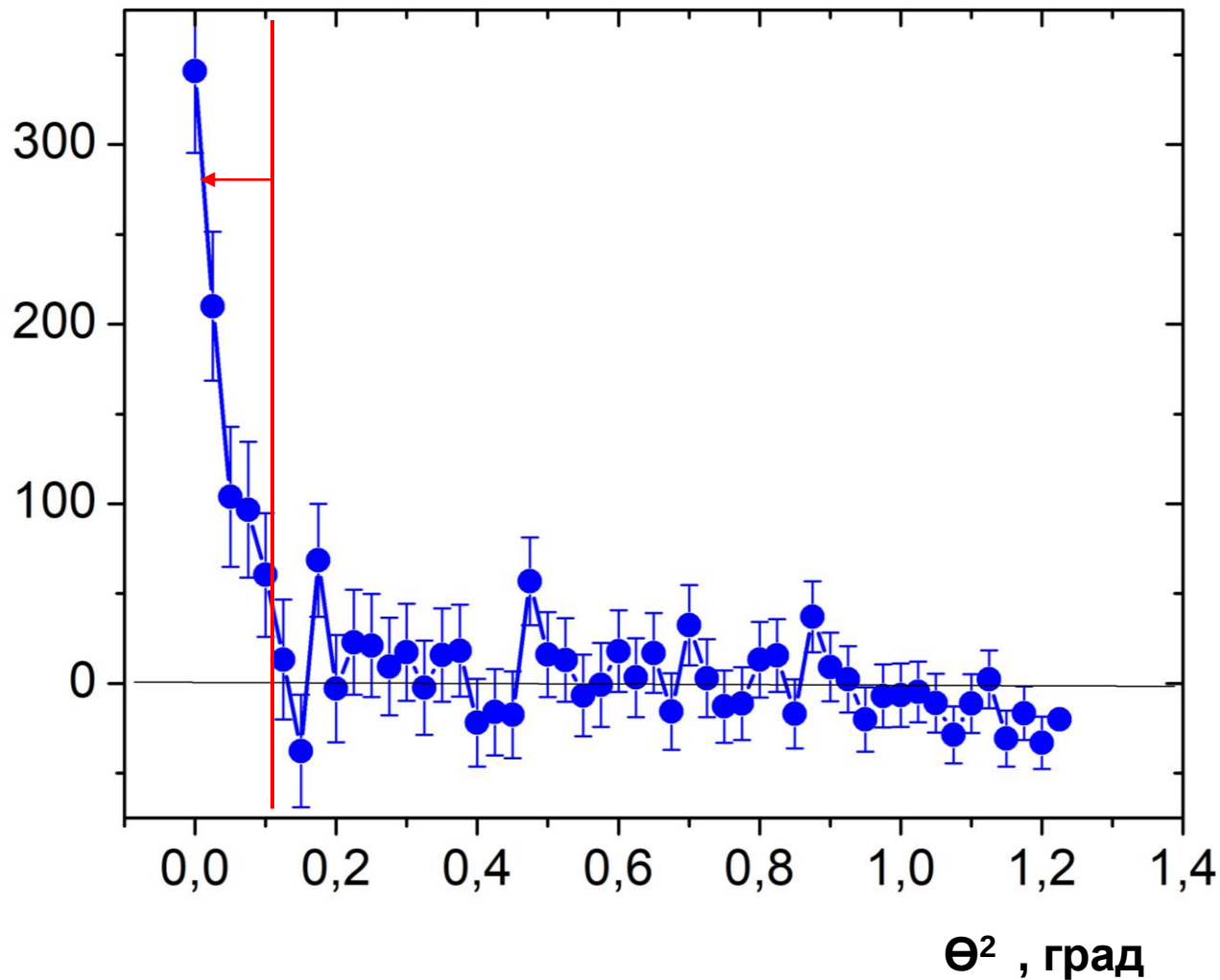
1. Спектр гамма-квантов от Краба по данным первого телескопа (Свешниковой)
2. Спектр гамма-квантов от Краба стереометодом (Волчугов)
3. Новый спектр К.Л. по данным HiSCORE (Просин)
4. Спектр К.Л по данным установки Тунка-Гранде (Манхоев)
- 5.Процедура для восстановления спектра гамма-квантов (Постников) постер ID 126
6. Методы машинного обучения для анализа данных эксперимента TAIGA (Крюков)

TAIGA -результаты

7. Метод исследования массового состава космических лучей по данным гамма-обсерватории TAIGA на основе искусственной нейросети (Кравченко)
8. Юстировака IAST (Ал.Иванова) постер ID 39
9. Методика восстановления энергии в установке Тунка-Гранде
Ан. Иванова постер ID 95
10. Методика амплитудной калибровки установки Тунка-Гранде Манхоев, ID 143
11. Сверточные сети и HiSCORE . Власкина. Постер ID 149
12. Методы глубокого обучения для анализа данных эксперимента TAIGA
Гресь. Постер ID=120

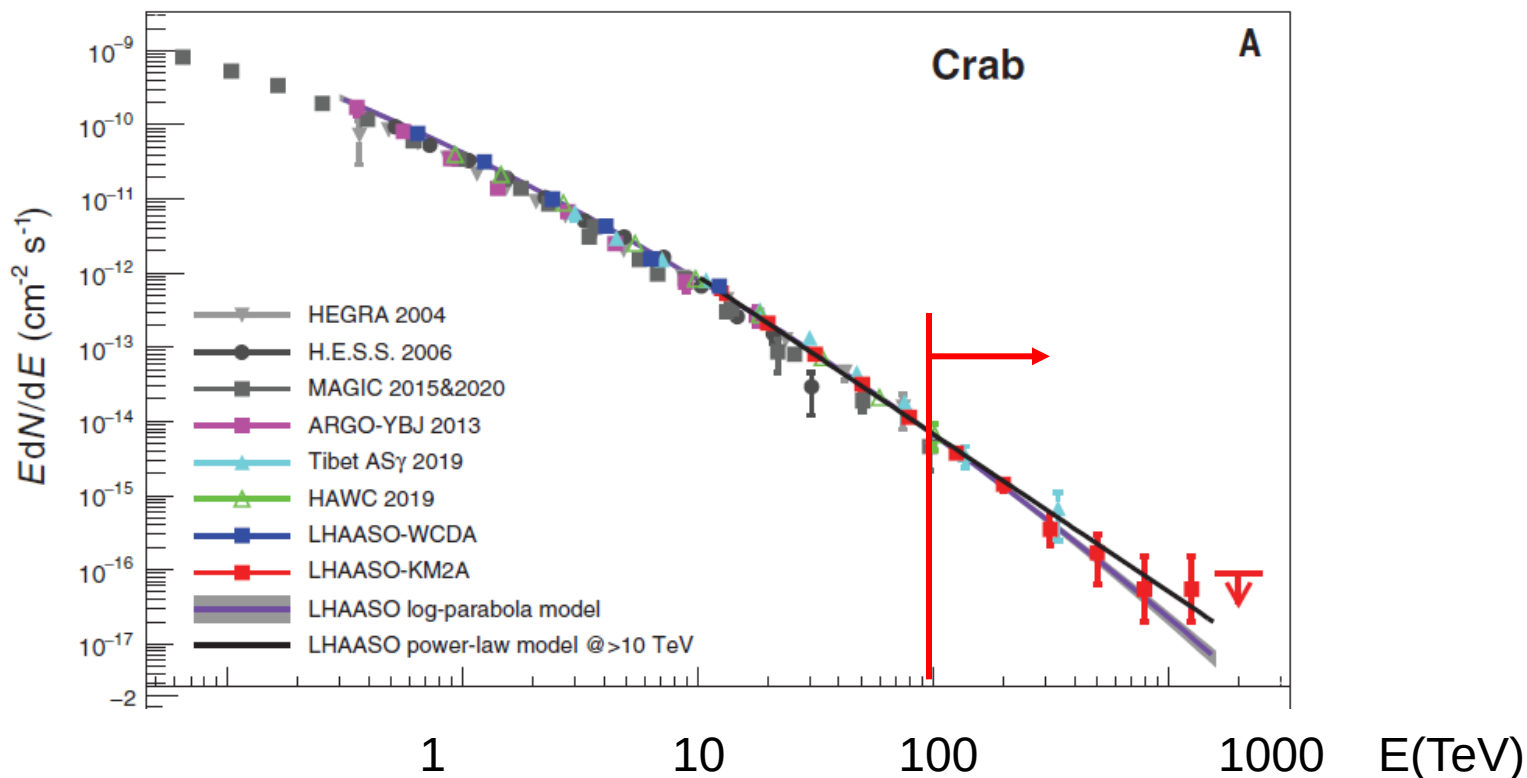
Гамма-кванты от Краба (150 часов)

Non - Noff



618 событий
12.6 сигма

LHAASO&TAIGA-1

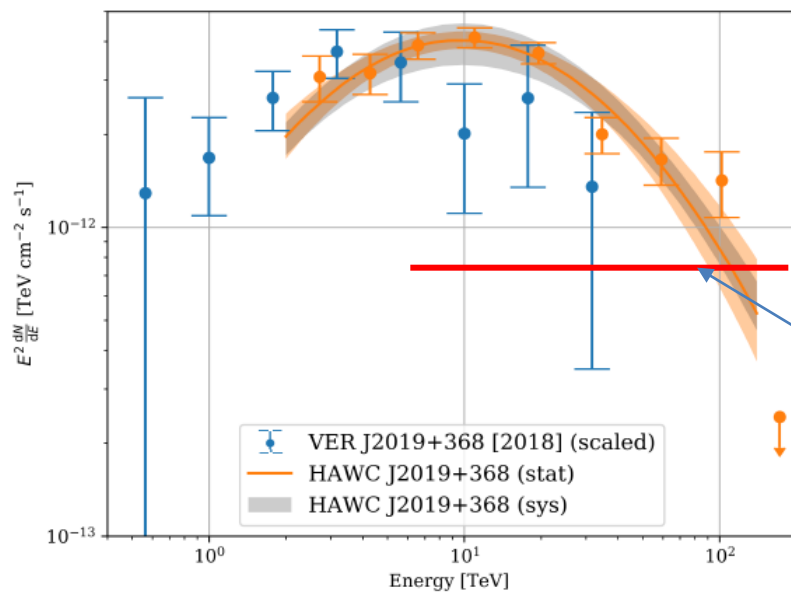


Выше 100 ТэВ нет данным по черенковским гамма-телескопам.

LHAASO: >100 TeV, 2500 h (1year) 89 gamma,

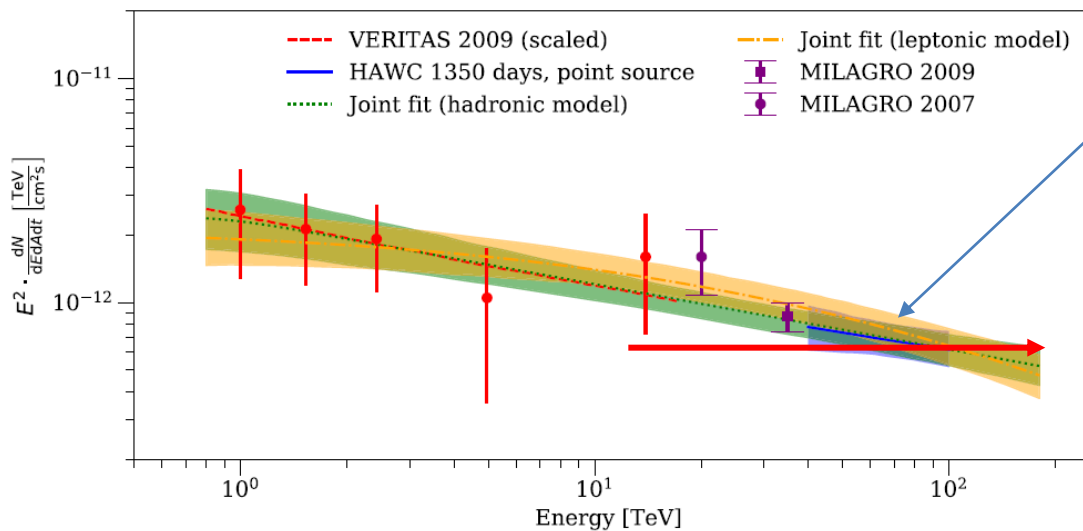
TAIGA -1 : >100 TeV 300 h (2-3 сезона) 40 gamma,

Возможность регистрации источников



Источник Dragonfly

Чувствительность
системы
телескопов
в стерео-море (300
часов)



Источник J2227+610
и ассоциированная с ней
сверхновая
G106.3+2.7 –
кандидат в галактические
Пэватроны

Программа на 4-5 лет

Обсерватория TAIGA будет самой северной гамма-обсерваторией, и это расположение обеспечивает определенные преимущества для наблюдения источников с большими склонениями - источник гамма-излучения в остатках сверхновой Тихо Браге, СТА-1, будет в поле зрения детекторов обсерватории TAIGA в течение 500 ч в год.

1. Исследование энергетического спектра гамма-квантов от галактических источников

PWN : Крабовидная туманность, Dragonfly

SNR: J2227+610 (G106.3+2.7), J2031 +415 (Cygnus Cocoon),
сверхновая Тихо-Браге, СТА-1

2 Поиск новых источников гамма-квантов, поиск гамма-квантов, ассоциированных с нейтрино высоких энергий и гамма-всплесков.

3. Поиск гамма-квантов высокой энергии от в ОВ – ассоциациях. Возможные вспышки гамма-квантов от двойных (пульсар + массивная звезда).

Программа (продолжение)

4. Длительный мониторинг и исследование края энергетического спектра ярких блазаров (Мрк-421, Мрк-501 и др) как метод поиска аномалий в распространении гамма-квантов во Вселенной и поиска аксионо-подобных частиц.

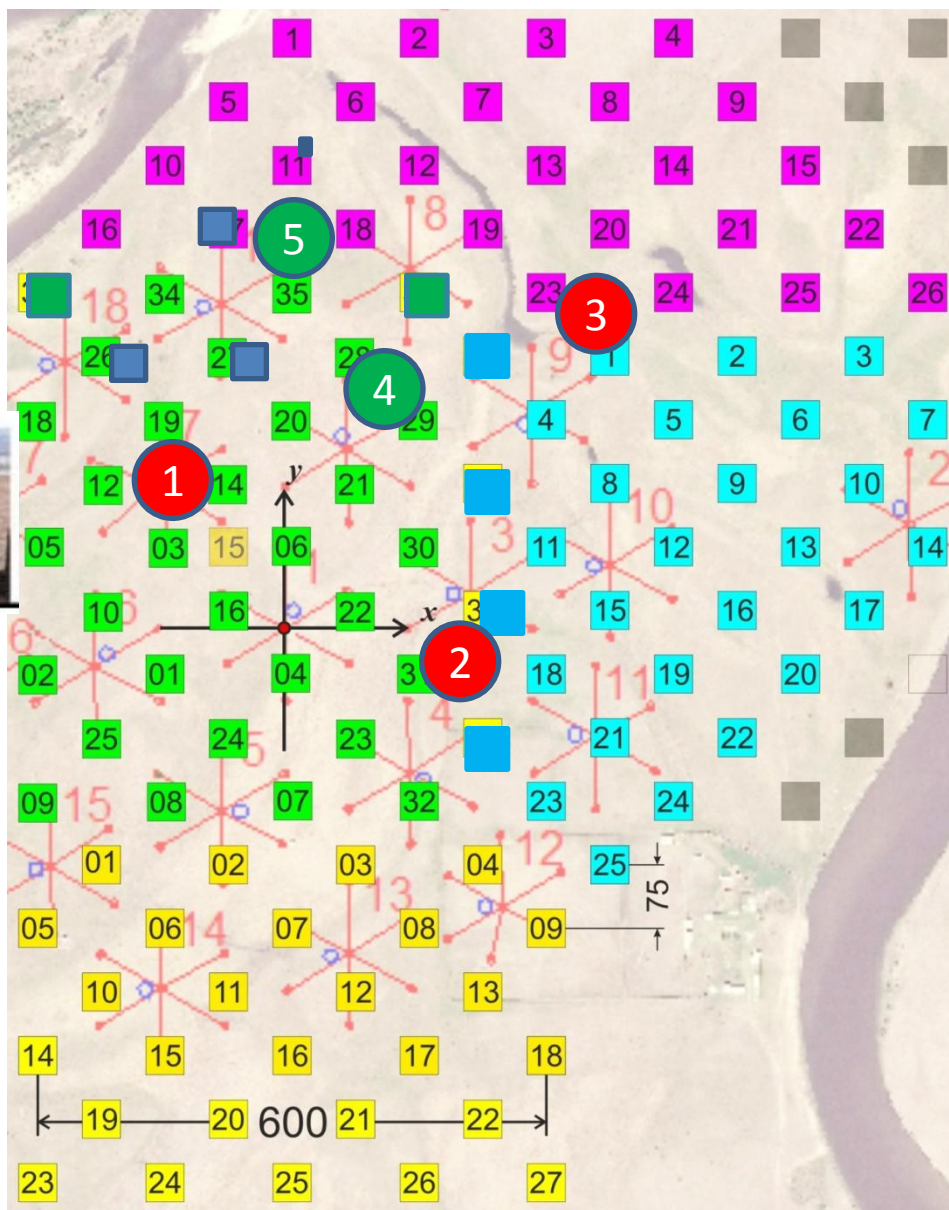
5. Исследование спектра и массового состава космических лучей в диапазоне 100 -1000 ТэВ методами гамма-астрономии

6. Продолжить работы по исследованию массового состава при сверхвысоких энергиях (Тунка-133, Тунка-Гранде)

7. Поиск наносекундных оптических транзиентов с помощью установки HiSCORE ($\text{FoV} = 60^\circ$) и системы телескопов.

«Открытие» сигнала от МКС и спутника Калипсо.

TAIGA -2022-24



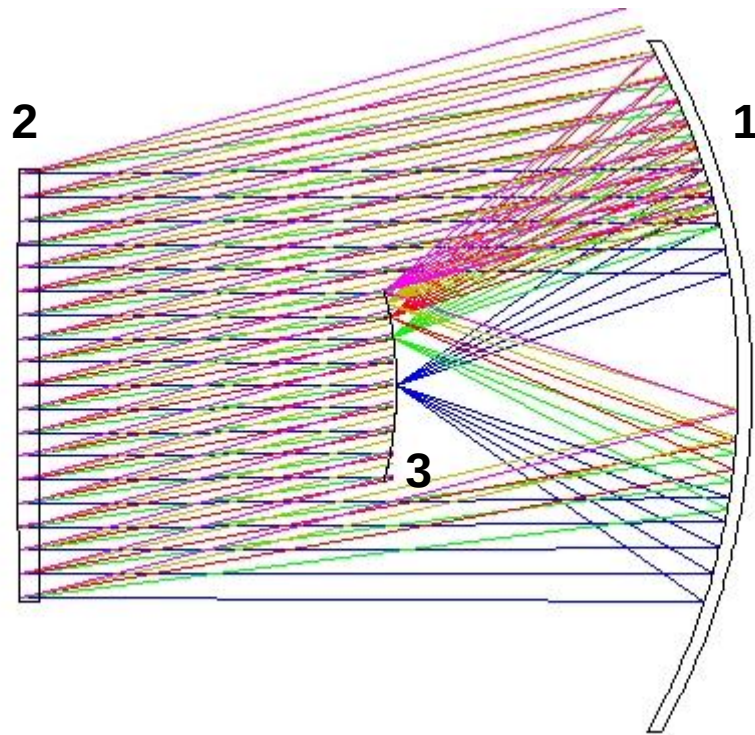
■ Малый
черенковский
телескоп

Проблемы с ФЭУ

Модернизация
ФЭУ Успех (МЭЛЗ)

Широкоугольный малый черенковский телескоп на SiPMs

Shmidt camera



$F=1.5\text{ m}$

1. Spherical Mirror
2. Corrected lens
3. Focal surface

FOV $\sim 30^\circ$

$S \sim 0.5\text{ m}^2$

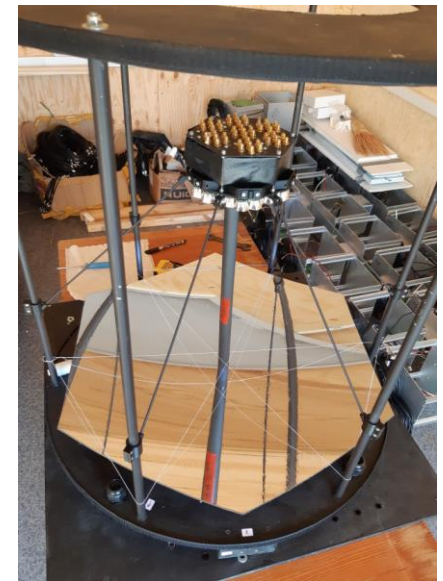
Number of pixels ~ 400

FOV for one pixel $\sim 1^\circ$

Energy threshold $\sim 30\text{ TeV}$

Прототип

Режекция адронов
В 10 раз



TAIGA-10, 10 km²

Диапазон энергий 50 ТэВ – 1 ПэВ

1. 1000 станций HiSCORE

2. 100 малых черенковских телескопов.

3. 5-10 АЧТ

200 гамма от Краба с энергией выше 100 ТэВ за 100 часов
4 сигма при режекция адронов только по углу.

10 сигма при совместной работой с малыми телескопами

Спасибо за внимание



Успех первой очереди установки TAIGA позволит обсуждать



A site requirement:

- altitude – 2000 m about,
- no artificial light background,
- good astroclimate,
- enough vacant rather flat space,
- acceptable logistic condition,
- availability of electrical power

Tunka, Altay.....??????????



TAIGA-HiSCORE - array.

A net of 1000 non imaging wide-angle detectors distributed on area 10 km² with spacing 100 m about

An EAS core position, direction and energy reconstruction.

TAIGA-IACT - array
of 12 - 16 IACT with mirrors – 4.3 m diameter.

Charged particles rejection using imaging technique.

TAIGA-Muon array
of scintillation detectors, including underground muon detectors with area -2000 – 3000 m²
Charged particles rejection