

Экспериментальный комплекс TAIGA

Л.Кузьмичев (НИИЯФ МГУ)
от коллаборации TAIGA

Черенковские чтения-2019,
17.04 2020, Москва, ФИАН

Content of report

1. Introduction: Astrophysical complex in Tunka Valley
2. High energy gamma-ray astronomy and TAIGA project
3. TAIGA current status
4. First results
5. The experiment in future

TAIGA - collaboration

Germany

Hamburg University(Hamburg)
DESY (Zeuthen)
MPI (Munich)

Italy

Torino University (Torino)

Romania

ISS (Bucharest)

Russia

MSU (SINP) (Moscow)
ISU (API) (Irkutsk)
INR RAS (Moscow)
JINR (Dubna)
MEPhI (Moscow)
IZMIRAN (Moscow)
BINR SB RAS (Novosibirsk)
NSU (Novosibirsk)
ASU (Barnaul)

1. Astrophysical complex in Tunka Valley

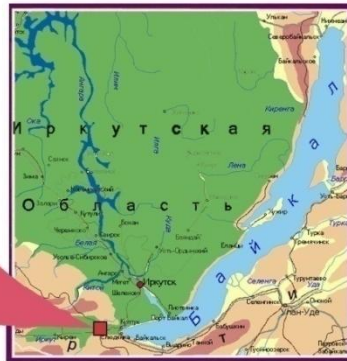


Tunka Valley, Republic Buryatia
- 50 km to west
from Lake Baikal.

-High energy cosmic rays and gamma-
astronomy arrays

- Optical telescope MASTER

51° 48' 35" N
103° 04' 02" E
675 m a.s.l.



All installations in Tunka Valley

1. Tunka-133
2. Tunka-Grande

Cosmic rays with energy $> 10^{15}$ eV

3. TAIGA-HiSCORE
4. TAIGA-IACTS
5. TAIGA-MUONs

TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma - Astronomy)

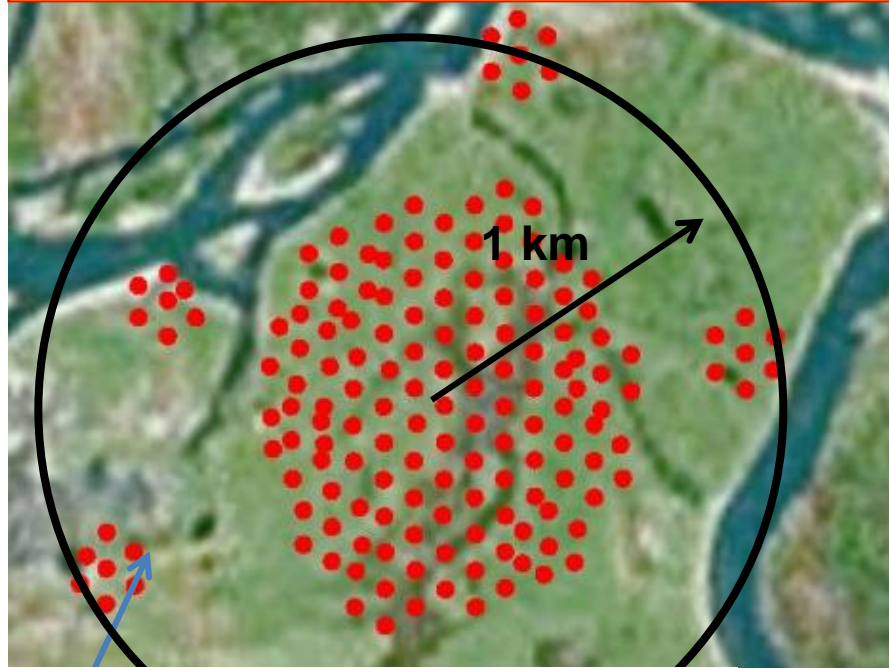
The main aim of TAIGA project:

Study of very high energy (>30 TeV) gamma rays from Galactic accelerators with large area array (~ 10 km²)

Cosmic rays and gamma ray with energy $> 10^{15}$ eV

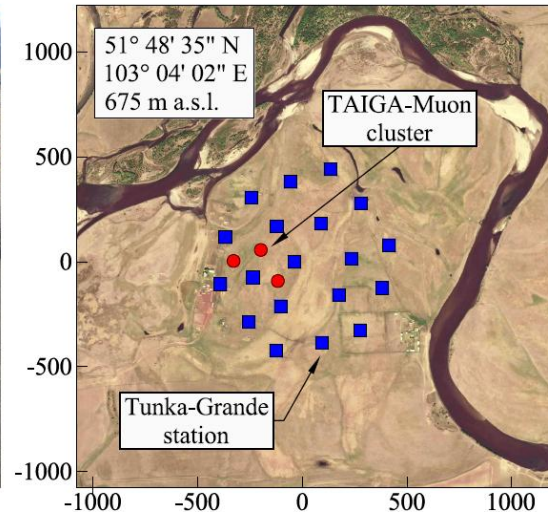


**Tunka-133 -
175 optical
detectors on
the area of 3 km²**

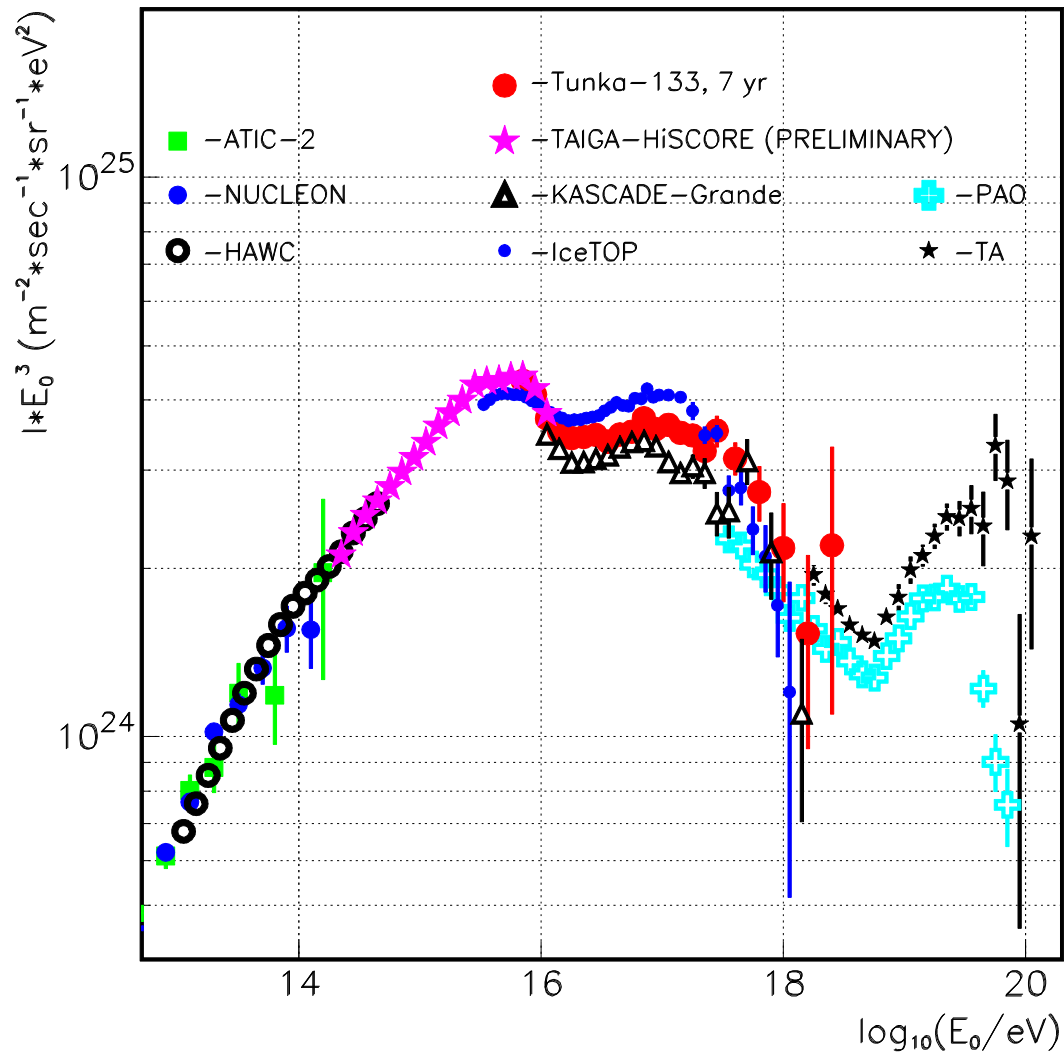


**Tunka- Grande –
380 scintillation counters
for detection of
EAS charged particles**

TAIGA_Muon



Спектр: HiSCORE +Tunka-133 – 4 порядка по энергии



2. High-energy gamma-astronomy and the TAIGA project

Гамма-астрономия высоких энергий

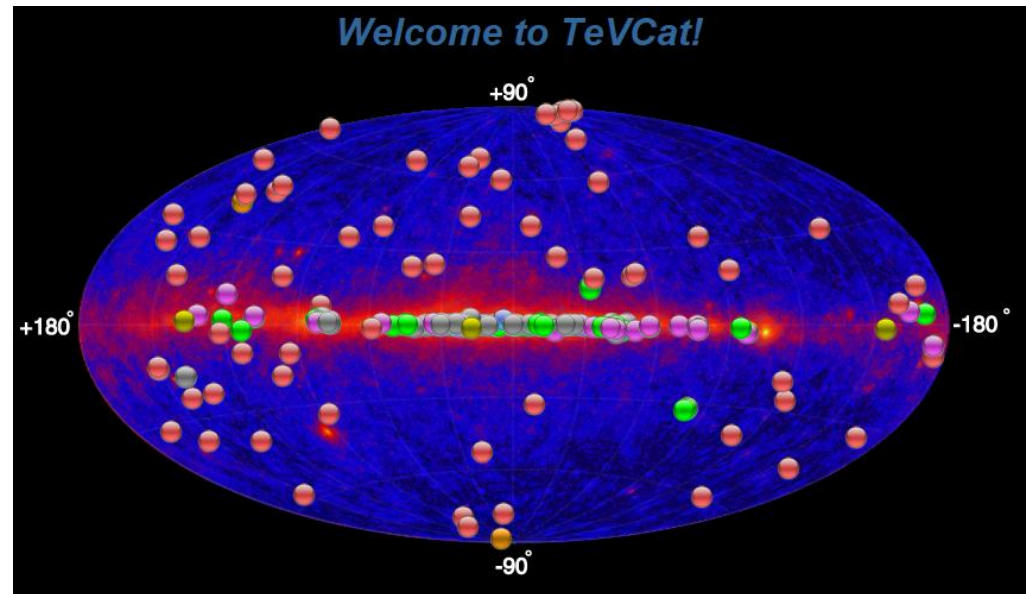
1. Происхождение космических лучей
2. Релятивистские джеты и АГЯ
3. Поиск темной материи
4. Прозрачность Вселенной и аксионы
5. Поиск нарушений Лоренц инвариантности

Источники гамма-квантов

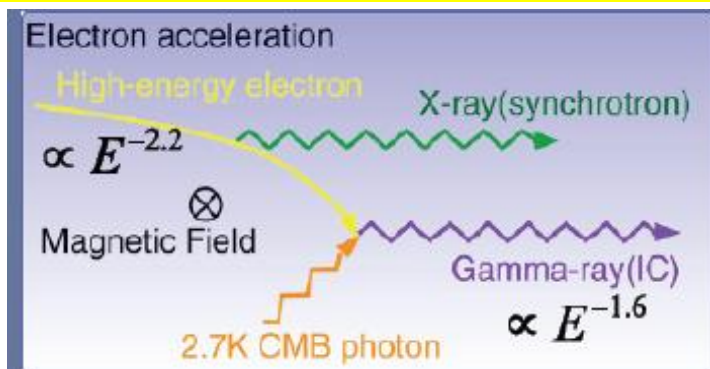
Более 200 источников с энергий гамма-квантов выше 1 ТэВ

1. Оболочки Сверхновых
2. Пульсарные туманности
3. Пульсары (Краб)
4. Двойные системы
5. Галактический центр
6. Блазары
7. Радиогалактики
8. Гамма-всплески (GRB190114C)

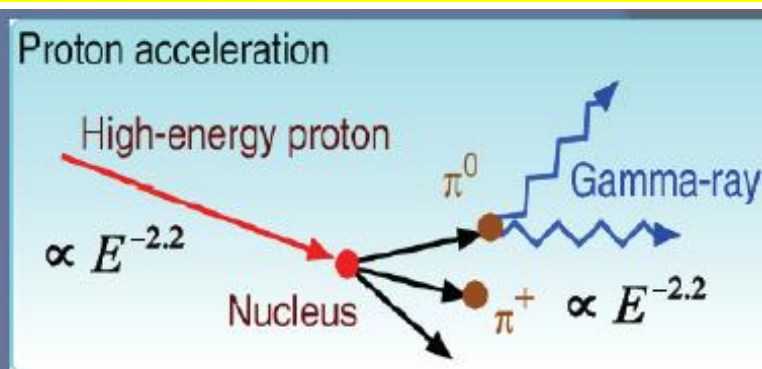
Каталог гамма-источников



Как рождаются гамма-кванты высоких энергий

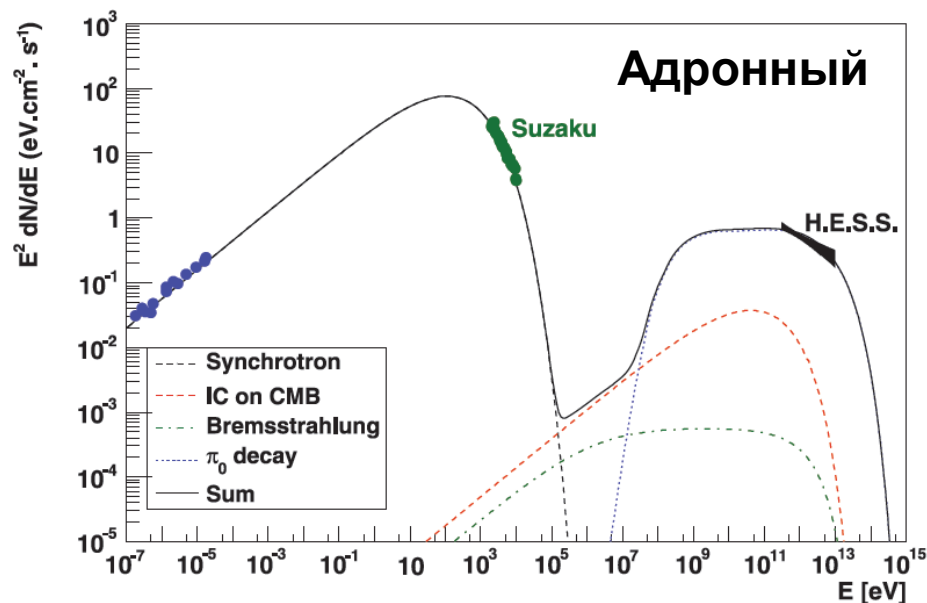
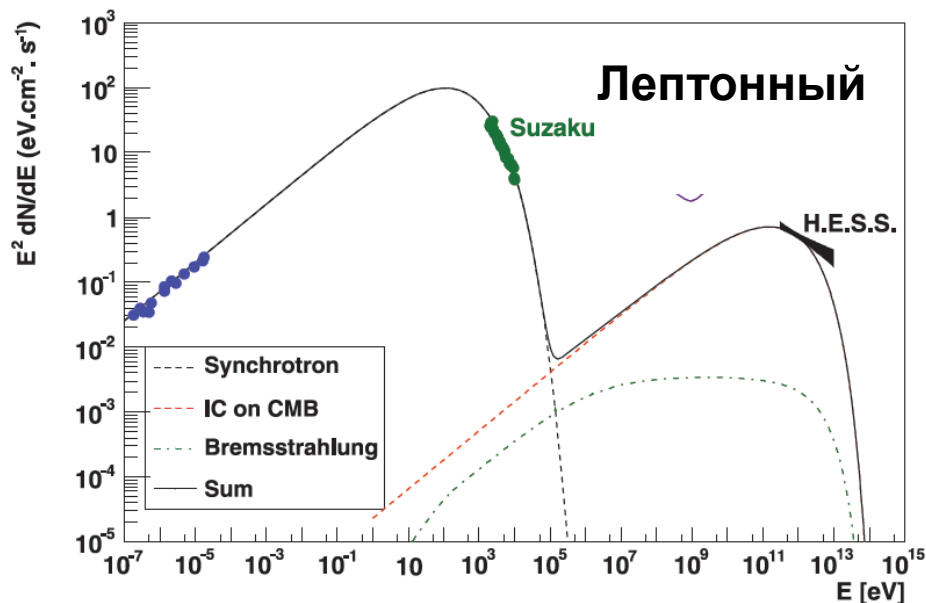


Лептонный



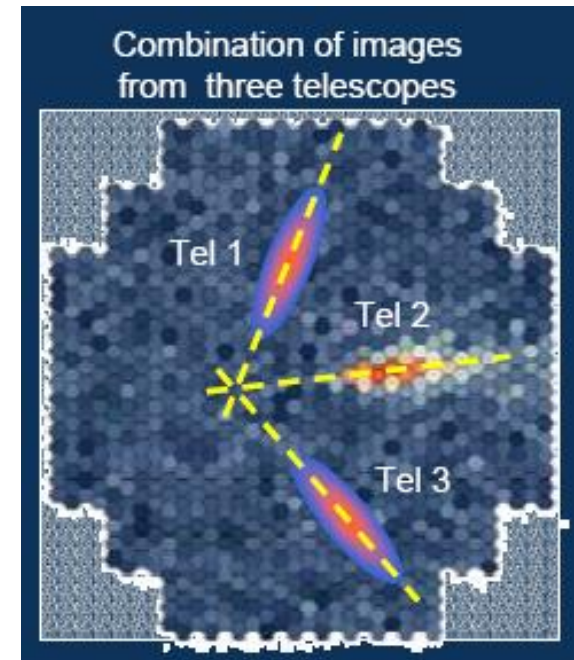
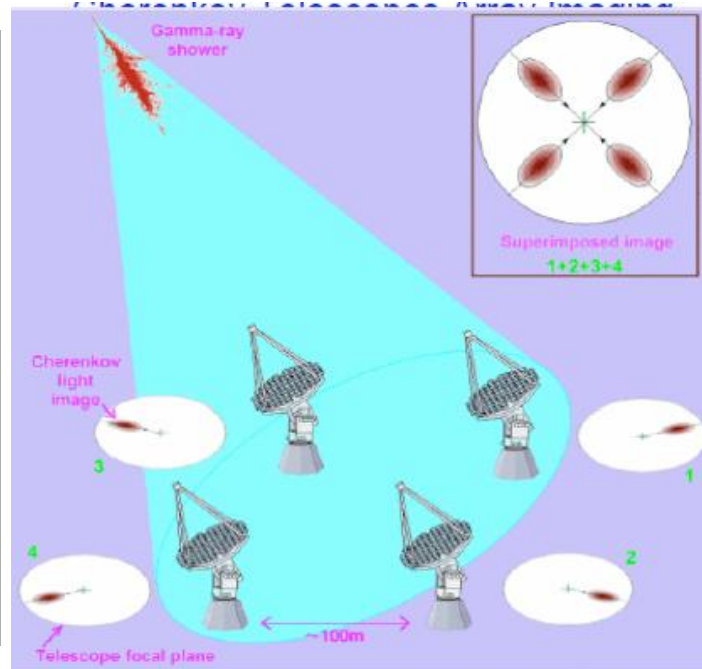
Адронный

SN 1006 : какой механизм генерации гамма-квантов?



Imaging Atmospheric Cherenkov Arrays (2-5 IACT)

Whipple
HEGRA
H.E.S.S.
MAGIC
VERITAS
S ~ 0.1 km²



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

Для исследования области энергий гамма-квантов нужны установки с площадью ~10 км²

Проект СТА : 100 IACT на площади 10 км²

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

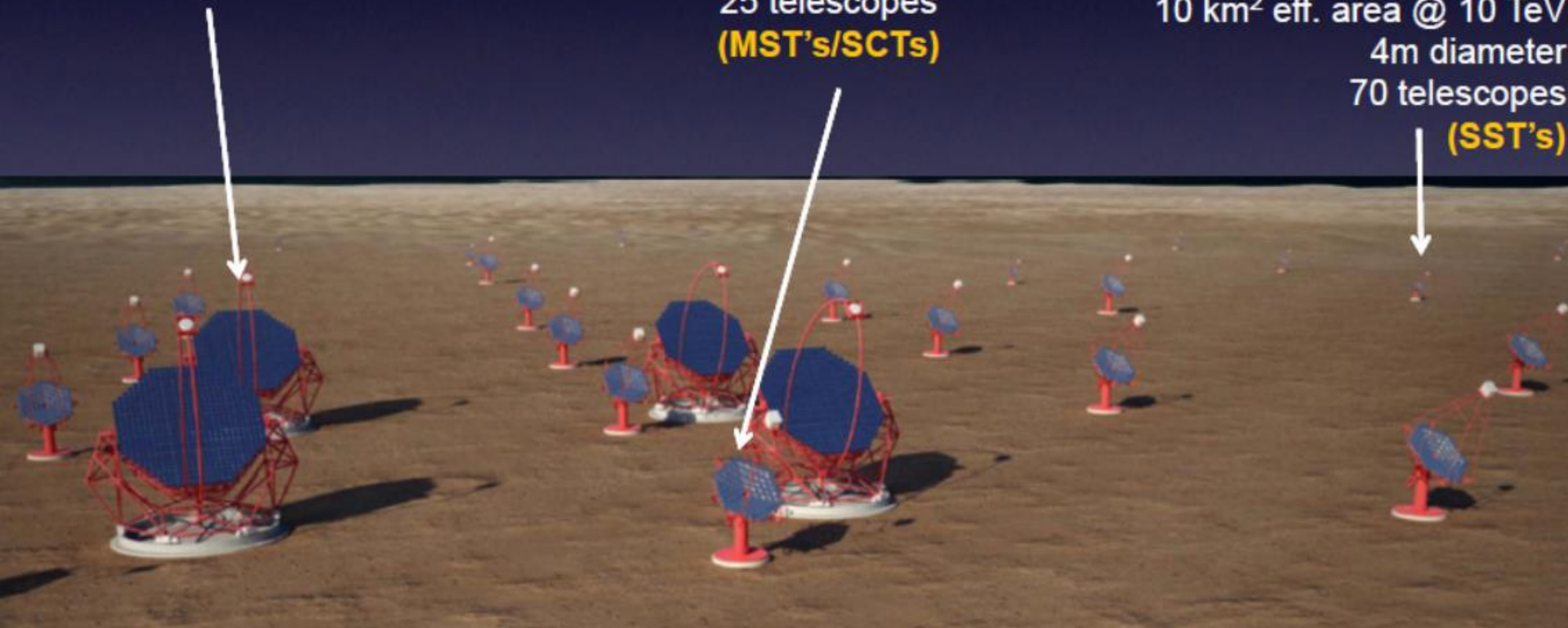
Up to > 300 TeV

10 km² eff. area @ 10 TeV

4m diameter

70 telescopes

(SST's)



The TAIGA experiment - a hybrid detector for very High energy gamma-ray astronomy and cosmic ray physics in the Tunka valley

The main idea: A cost effective approach for construction of large area installation is a joint operation of wide-field-of-view timing Cherenkov detectors (the *non-imaging technique*) with a few *small-size imaging Air Cherenkov Telescopes*.



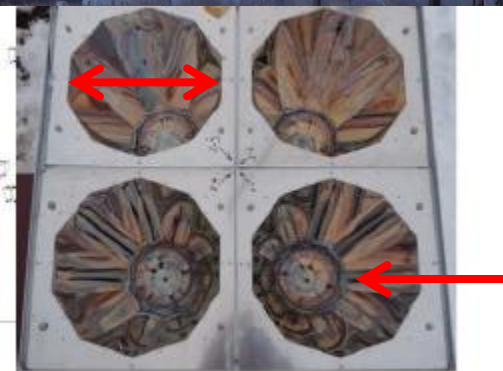
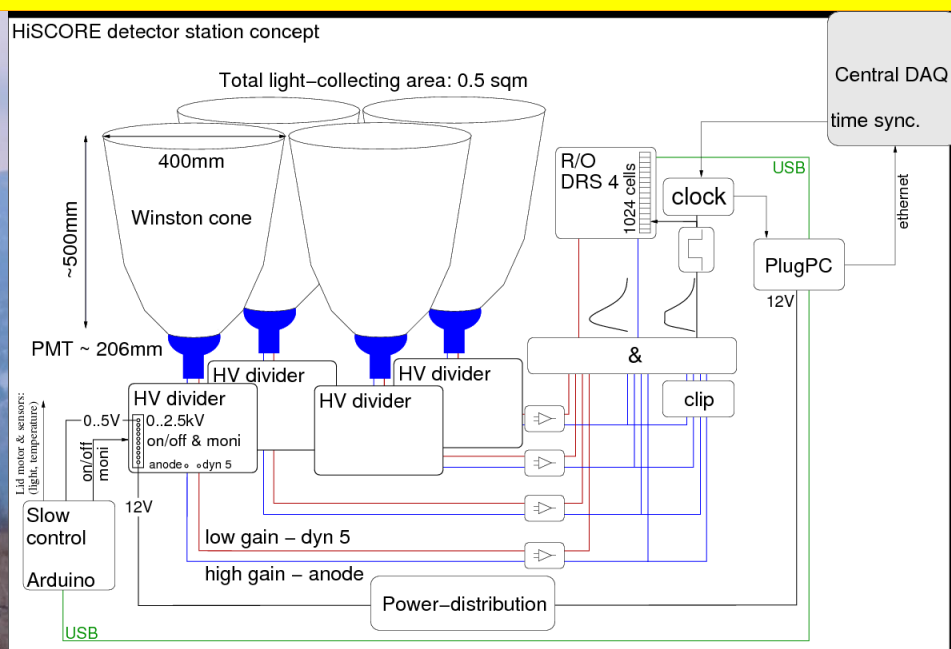
The first stage of TAIGA - 1 km² area installation with 120 wide-angle timing detectors and 3 IACTs.

Commissioning of installation in 2020

Scientific Program

1. Study of high-energy edge of spectrum of galactic gamma-ray sources. Search for Pevatrons
2. Monitoring of the bright extragalactic sources
3. Apply the new hybrid approach (joint operation of IACTs and wide-angle timing array) for study of cosmic rays mass composition in the “knee” region (10^{14} - 10^{16} eV)
4. Fundamental physics (photon-axion oscillation, indications of Lorentz invariance violation etc).

Wide angle station

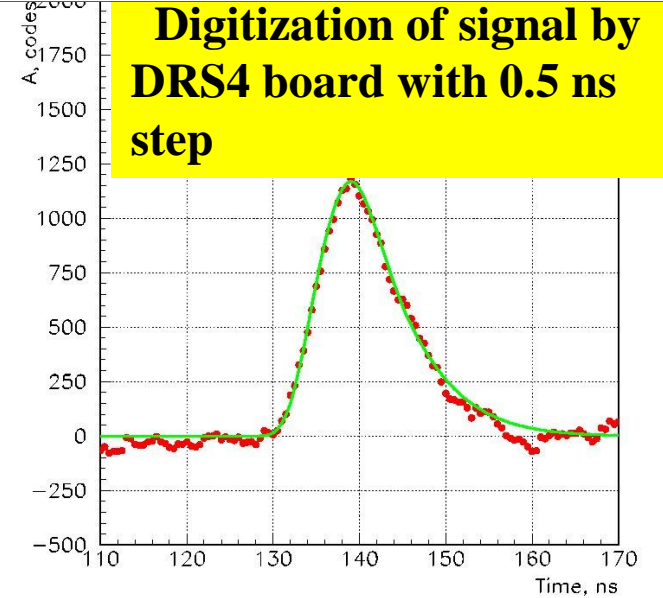


Winston cone and PMT with 20-25 cm photocathode diameter

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

(R5912, R7081, ET9352)

Synchronization and data taking via optical cable



Атмосферный черенковский телескоп TAIGA-IACT



Площадь зеркал - 9.6 m² (34 зеркала) *

Длина фокуса 4.75 m

FOV 9.5°

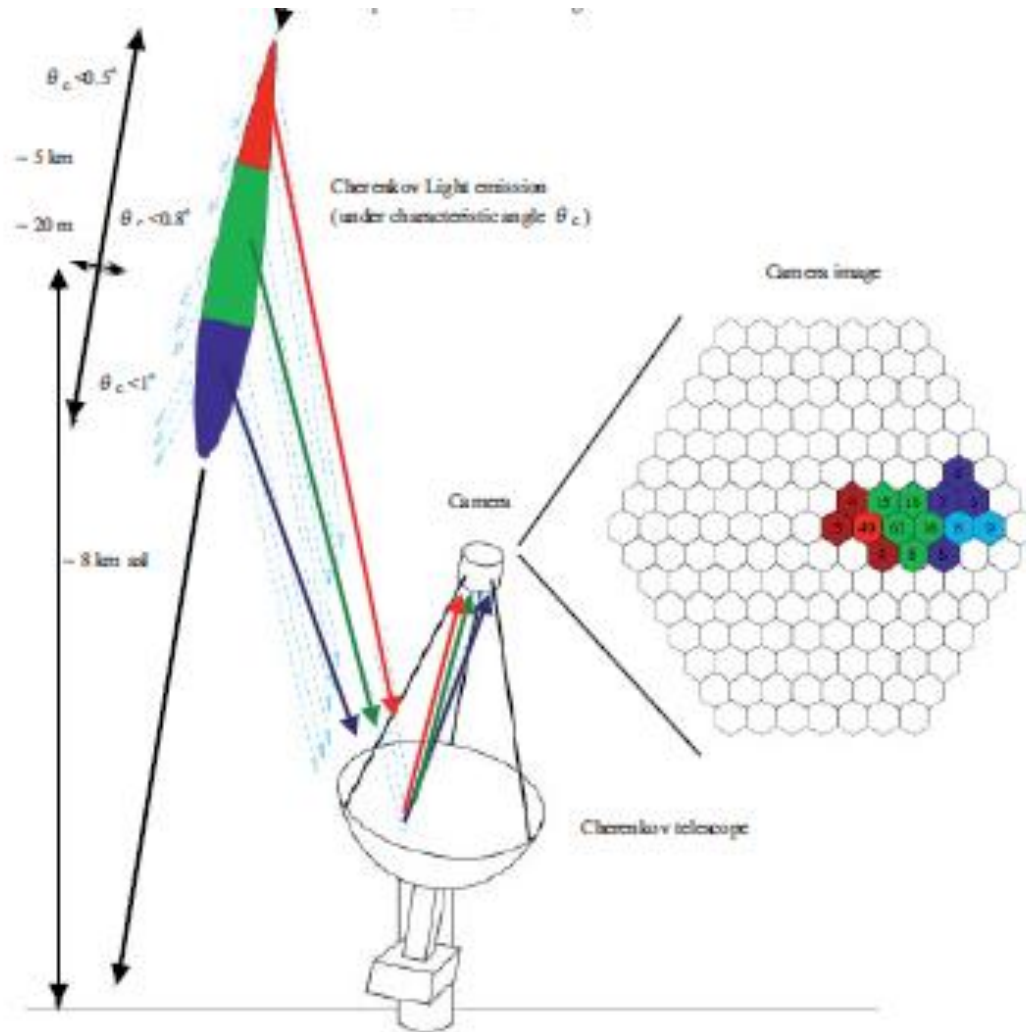
Угловой размер пикселя 0.36°

560 Пикселей (ФЭУ XP1911

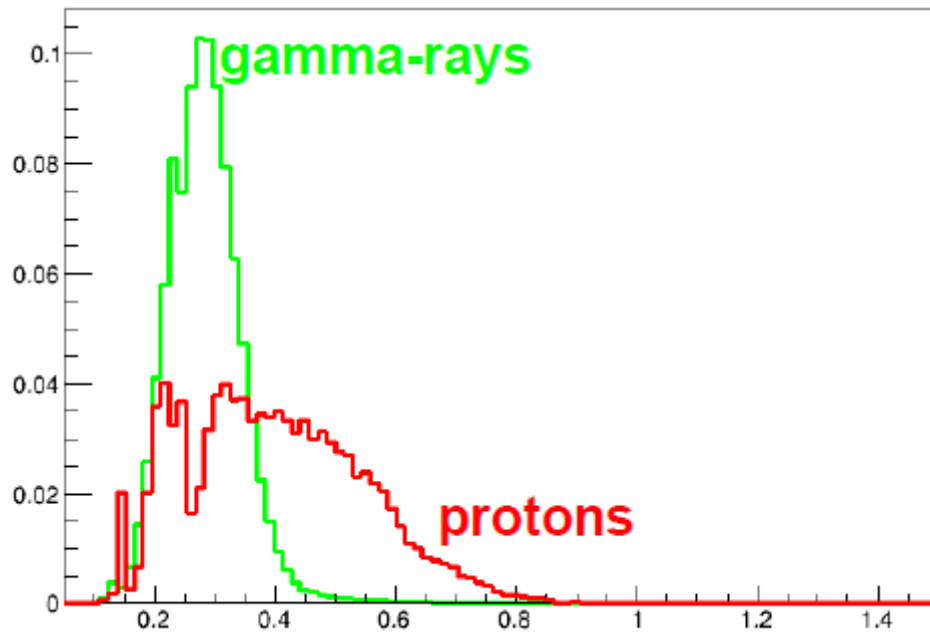
PSF ~0.1°

CCD камера для контроля точности наведения.

Формирование изображения ШАЛ



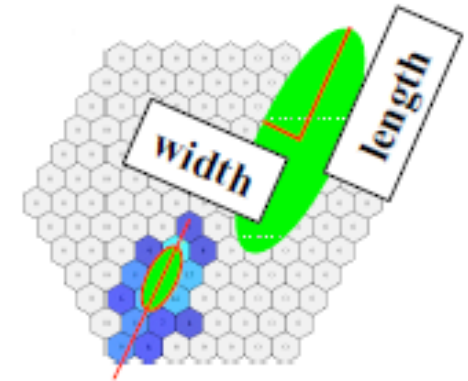
Выделение событий от гамма-кватнов по параметрам Хилласа



$$N_{\gamma} / \sqrt{(\text{background})} \longrightarrow N_{\gamma} \times K1 / \sqrt{(\text{background})} \times K2$$

$$Q = K1 / \sqrt{K2} \quad - \quad Q\text{-factor}$$

Gamma shower
(narrow, points to source)



Proton shower
(wide, points anywhere)



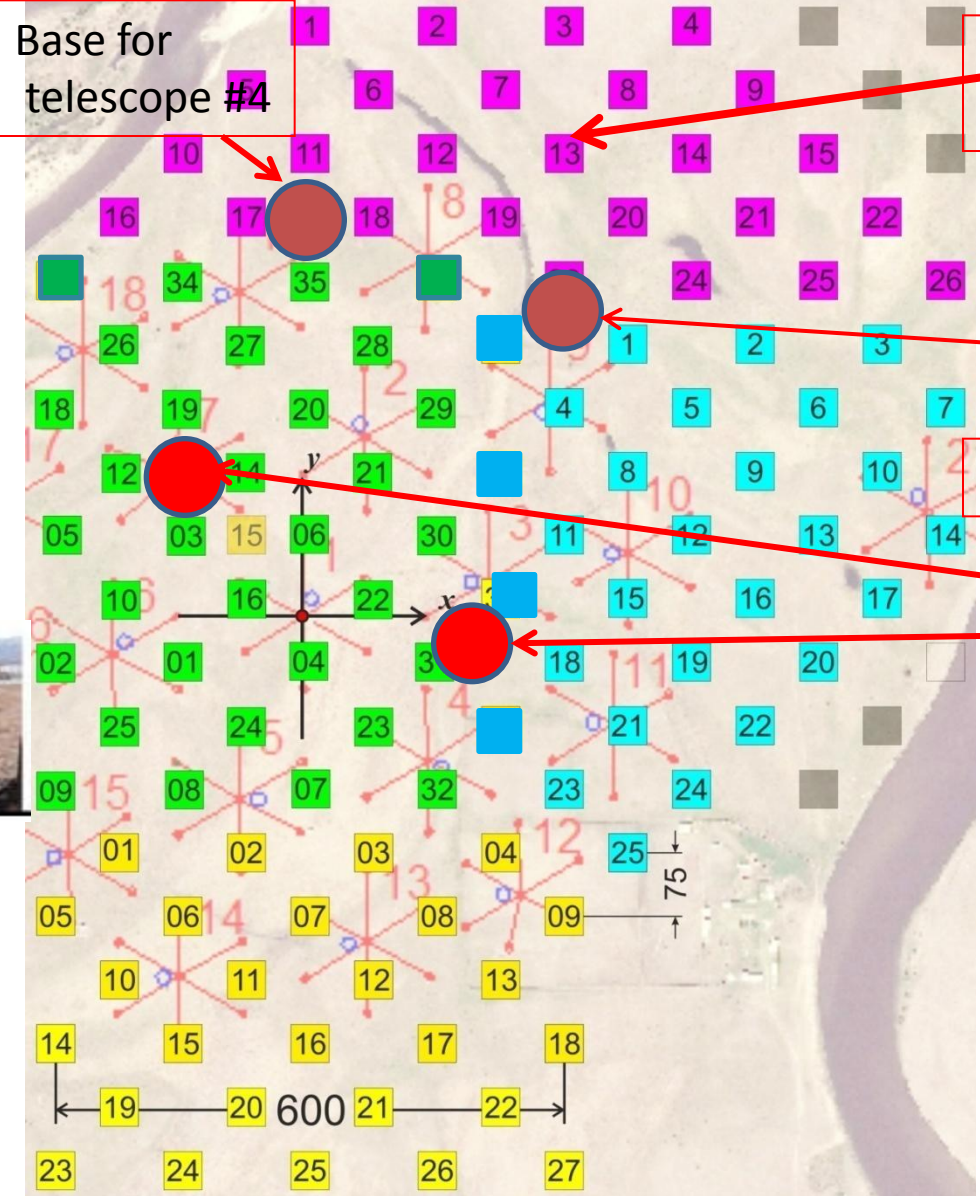
Четыре подхода к регистрации гамма-квантов в эксперименте TAIGA

1. Автономная работа одного телескопа $E < 10-15$ ТэВ
2. Стереоскопический подход при больших расстояний между телескопами $E \geq 10$ ТэВ
3. Гибридный подход – совместная работа HiSCORE и телескопов $E \geq 30$ ТэВ
4. HiSCORE и мюонные детекторы $E \geq 300-500$ ТэВ

3. TAIGA current status

TAIGA - март 2020 : 86 станций и 2 телескопа

N



Base for telescope #4

Cluster #4(30 station autumn 2020)

Cluster#1

Telescope #3
осень 2020



IACT#2
20/01

Cluster #2

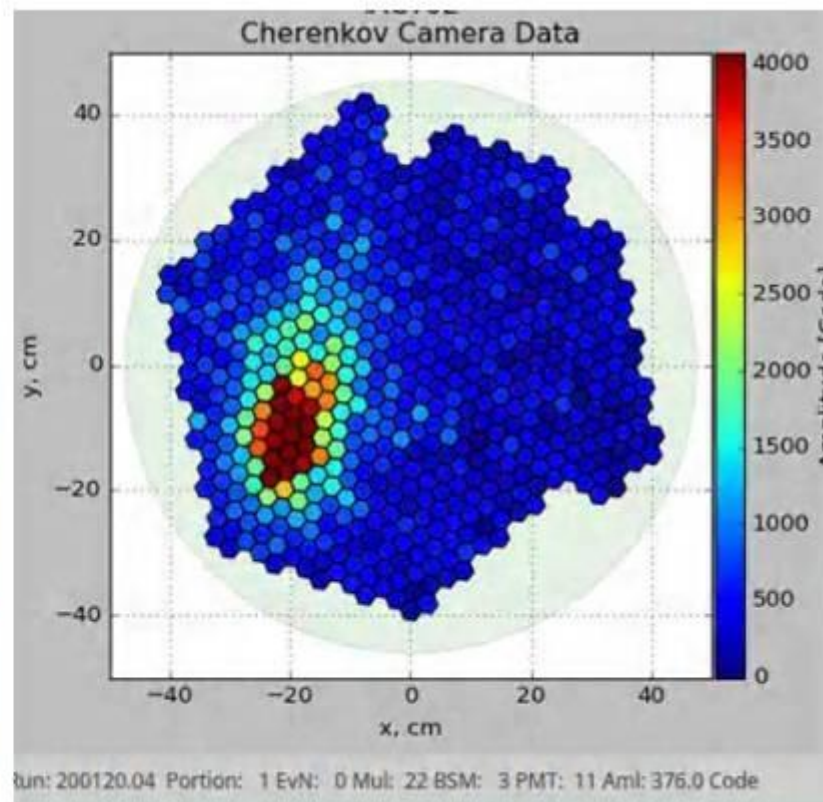
Установка камеры на второй телескоп (20 января 2020)



Второй телескоп в Тунке (с 20.01 2020)



Второй телескоп



Одно из первых событий

Два телескопа на расстоянии 320 м



4. Первые результаты

1. Автономная работа одного телескопа $E < 10-15$ ТэВ
2. Стереоскопический подход при больших расстояниях между телескопами $E \geq 10$ ТэВ
3. Гибридный подход – совместная работа HiSCORE и телескопов $E \geq 30$ ТэВ

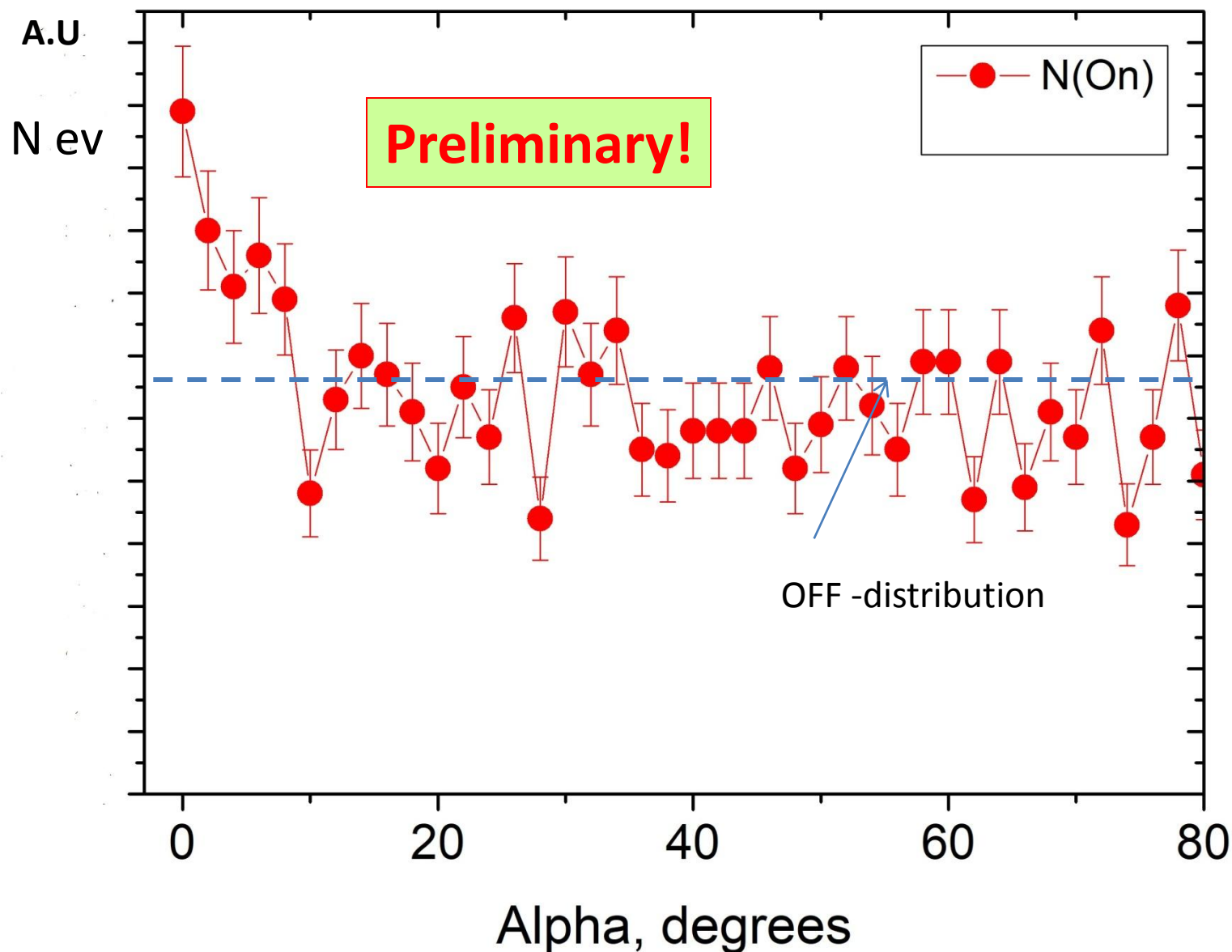
Мониторирование «тестовых источников» : Краб и Mrk421

Crab : Сеансы: октябрь – ноябрь, ноябрь – декабрь – 42 часа хорошей погоды – эти данные уже обработаны.

Еще два сеанса – декабрь-январь, январь –февраль-ождается около 30 часов

Mrk421 : декабрь –март - 60 часов

Распределение по углу ALFA для 40 часов наблюдения Краба. Избыток при $ALFA < 10^\circ$



IACT и HiSCORE совместные события

EAS core position

14000 совместных событий за 25 часов (данные сезона 2018-19)

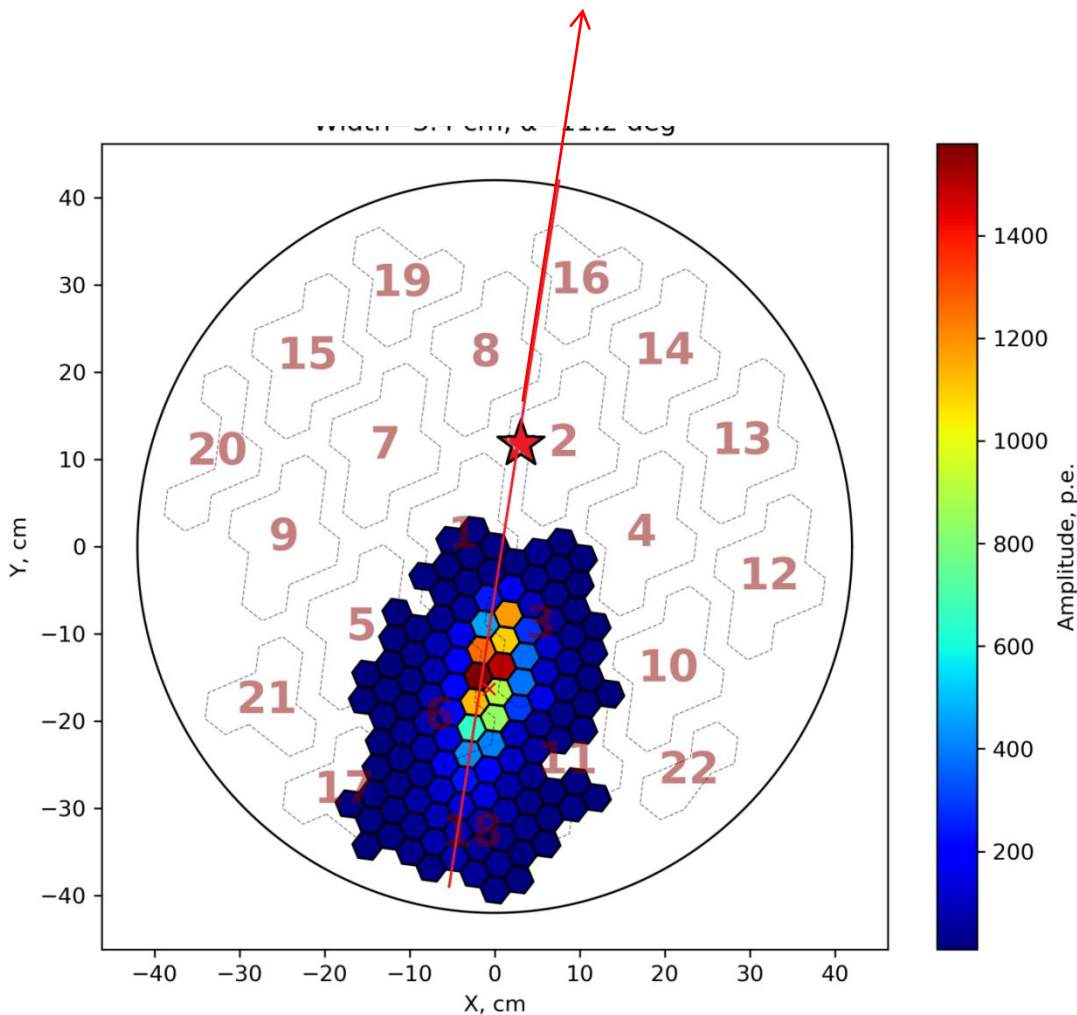
“Hadron –like”

Параметры Хилласа:

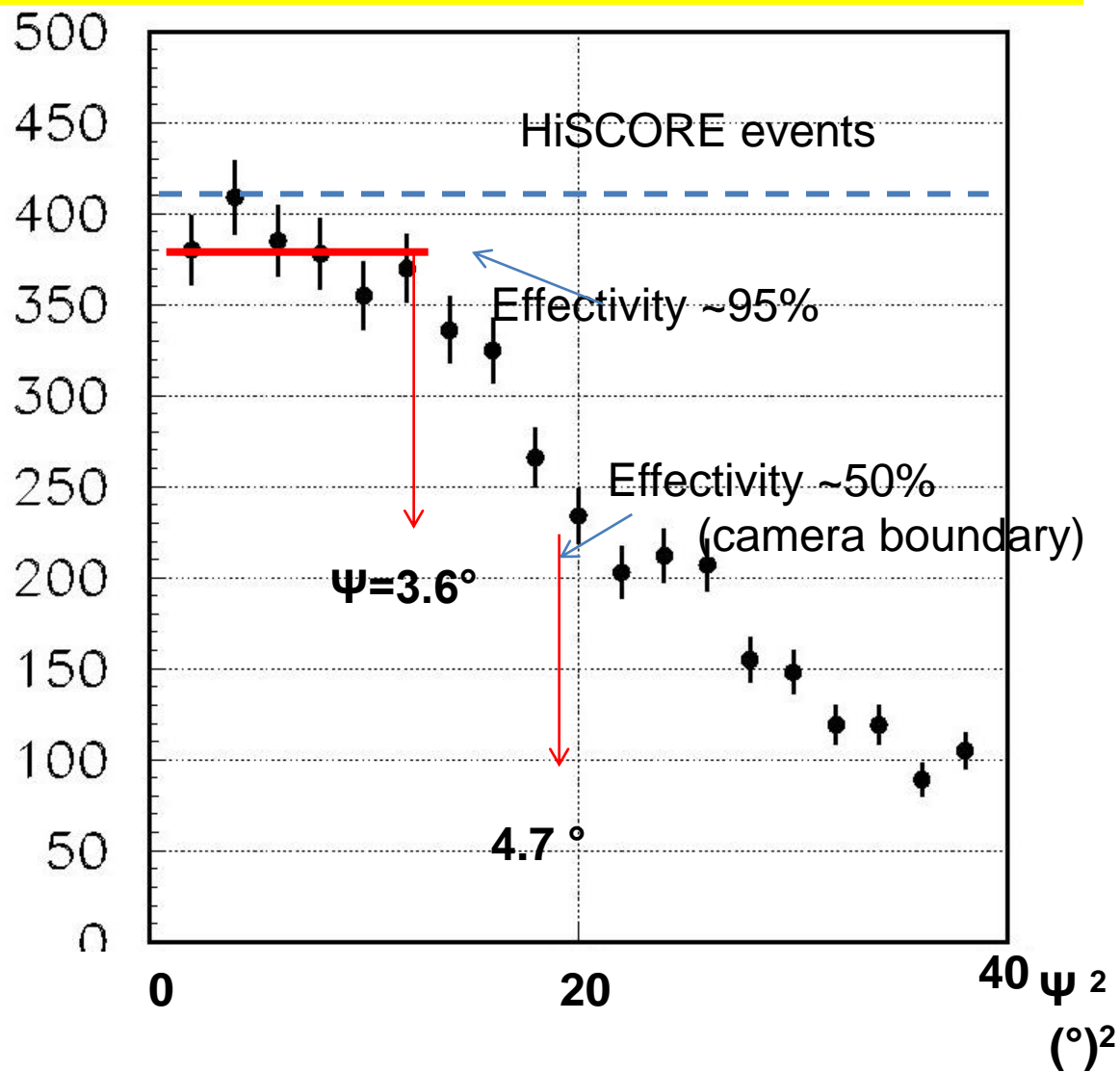
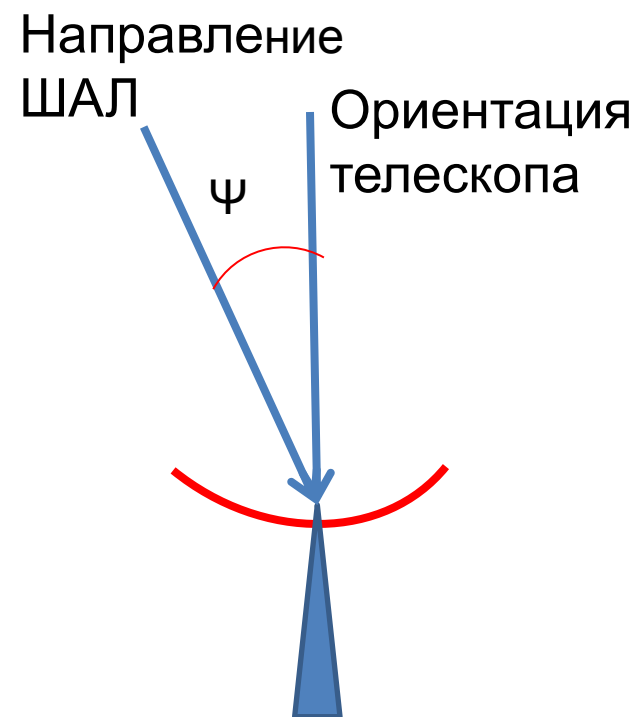
Size = 18500 pe.

Width = 0.4° alpha = 11°

Energy from HiSCORE:
840 TeV



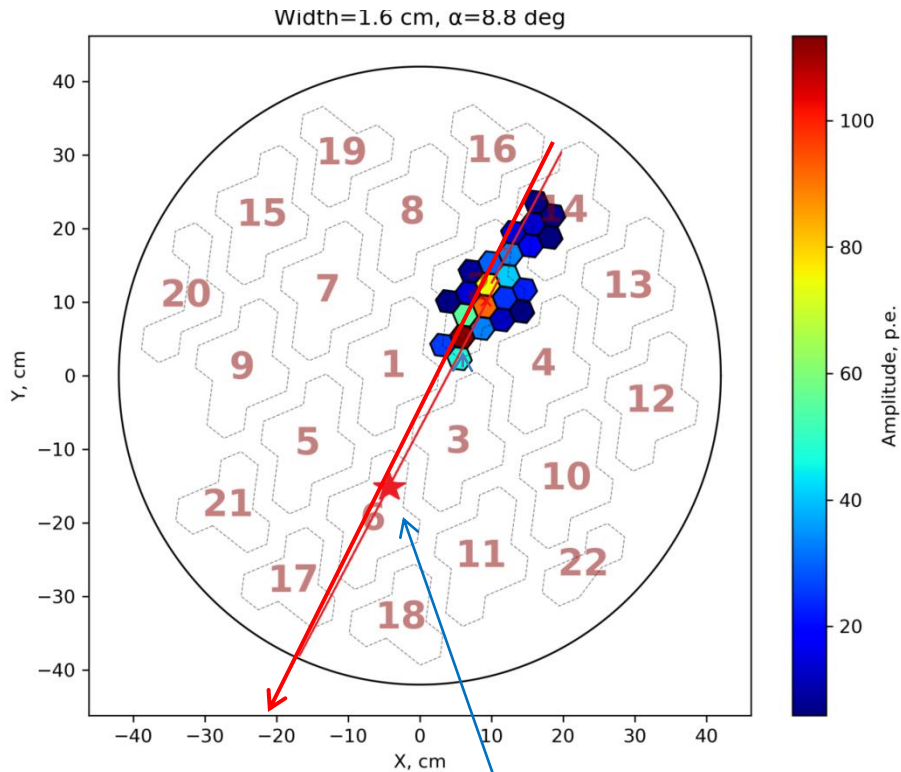
Ψ^2 – распределение для совместных событий



FIRST EXAMPLE OF HYBRID "GAMMA-LIKE" EVENT

IACT data

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

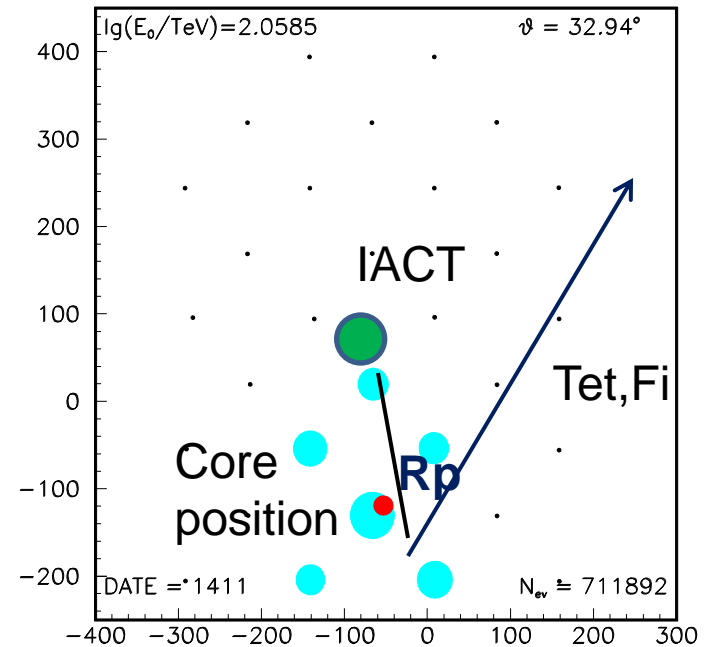


Recalculated core position in IACT plane after introduction of scaling factor $Rp' = Rp/1500$

HiSCORE data

$E = 55$ TeV

Tet = 32.9, Fi = 33.58



События от гамма-квантов (кандидаты)

Cuts:

Width $< 0.17^\circ$

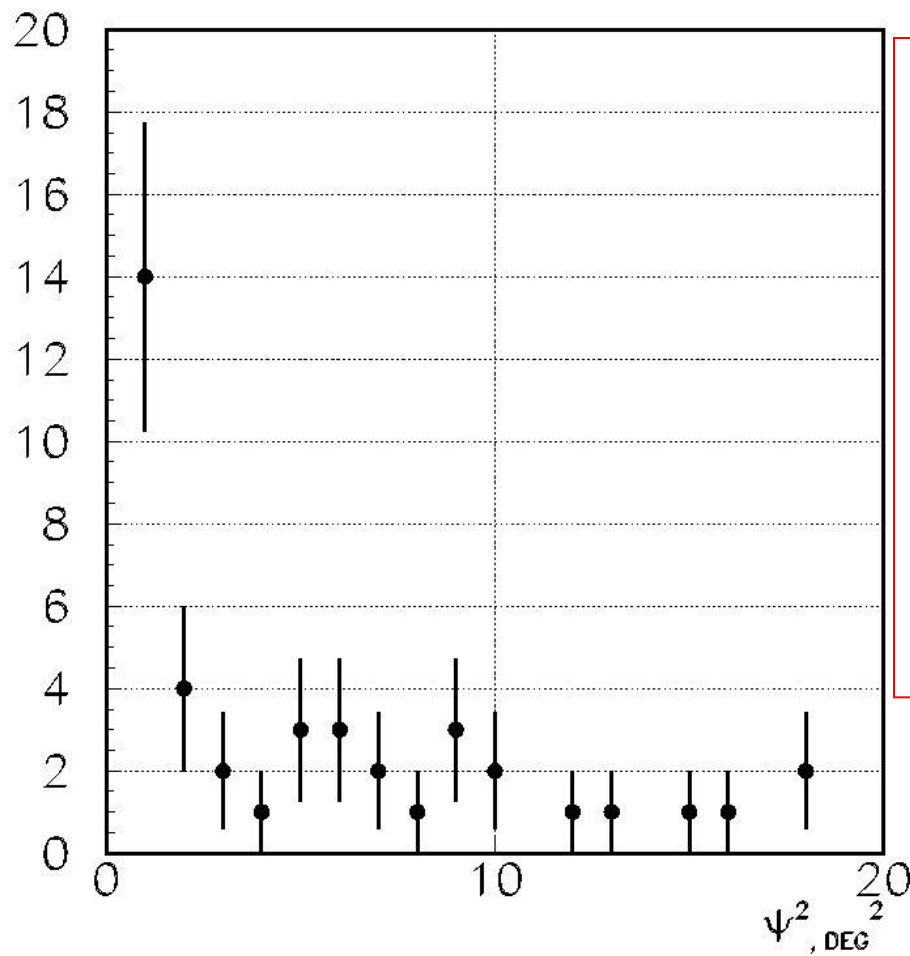
Alfa $< 15^\circ$

50 событий

14 событий

$\Psi < 1^\circ$

E – 45-60 ТэВ

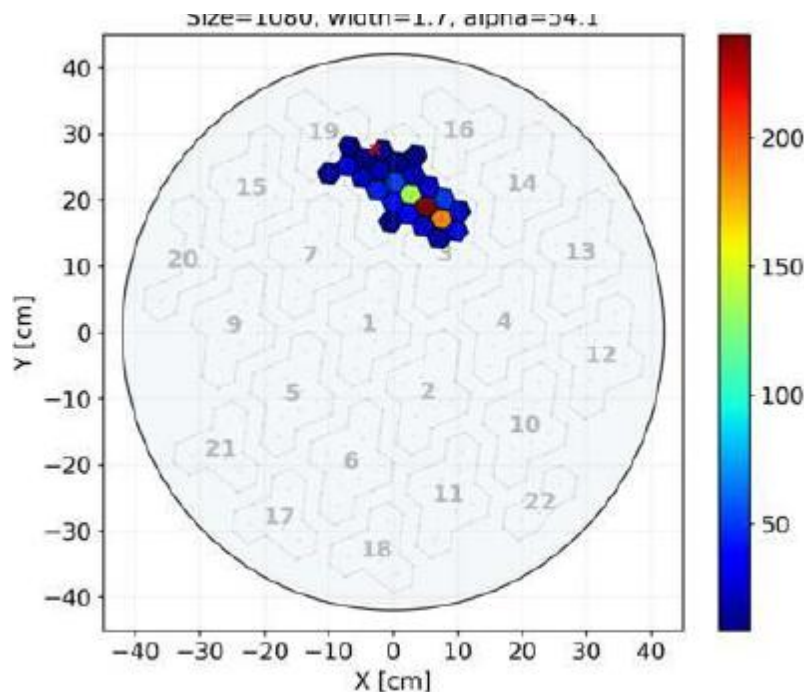


для 100 часов на
первой очереди TAIGA:

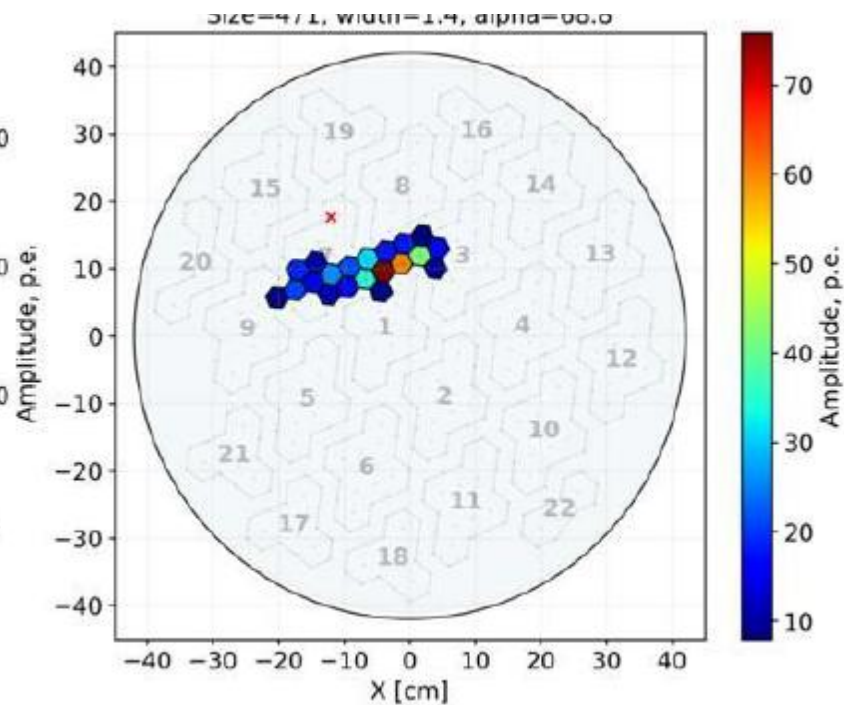
$3 \cdot 10^5$ гибридных событий
(изучение массового
состава КЛ)

50-100 гибридных
событий
от Краба ($E \geq 40 \text{ TeV}$)

Регистрация ШАЛ двумя телескопами на расстоянии 300 м-стереоскопический подход для высоких энергий



Size = 1080 pe, Width = 0.20 °

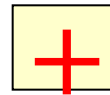


Size = 471 pe, Width = 0.17 °

Пример регистрации одного ШАЛ двумя телескопами.
10 тыс таких событий в ночь.

5. The future of experiment

A future 10 square kilometer scale hybrid array for astroparticle physics, gamma-astronomy and cosmic ray physics



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

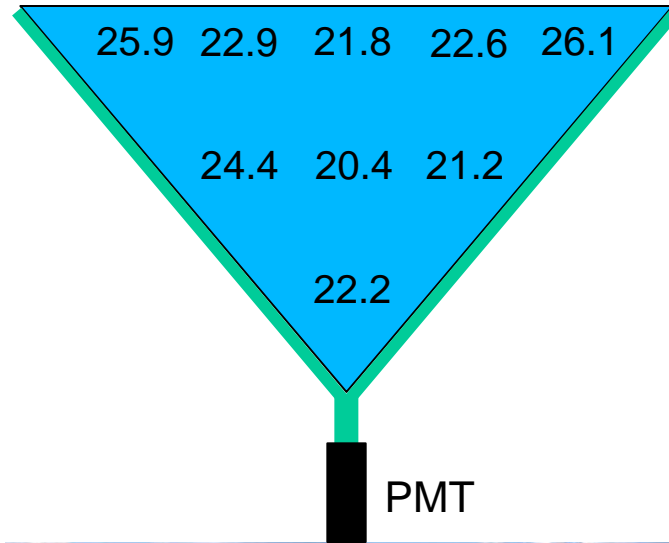
Charged particles rejection

The TAIGA-Muon scintillation array

Counter
dimension 1x1
m².

Wavelength
shifting bars are
used for
collection of the
scintillation light.

Mean amplitude
from cosmic
muon is 23.1 p,e,
with $\pm 15\%$
variation.

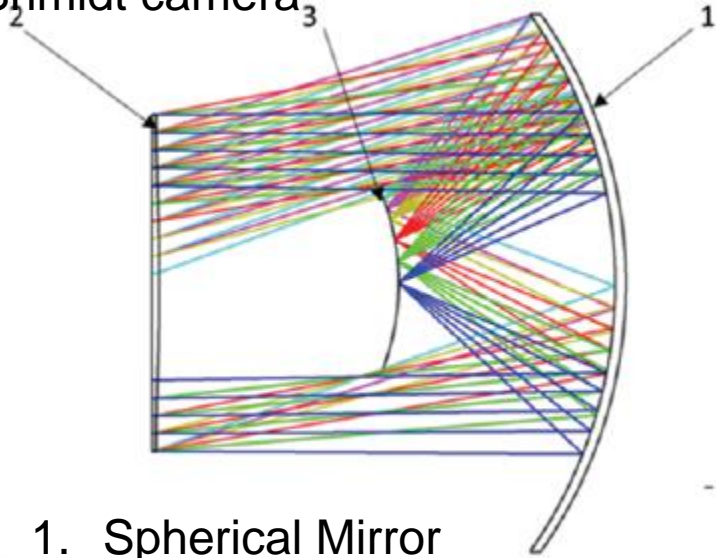


Wide-angle telescope on SiPMs

FoV of TAIGA-HiSCORE detectors is 60° but TAIGA-IACT – 10° as a result we have only 1% of joint events.

To study the gamma-ray with energy above 30 TeV we started off a development of a Small Image Telescopes (SIT) with a SiPM-based camera with a FoV up to 60° and an effective recording area of 1m^2 . We intend to test 3 variants of the SIT optical system: spherical mirror, a system of Fresnel lenses, combination of the two mentioned technologies

Schmidt camera



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

FOV $\sim 15^\circ$

S $\sim 1\text{m}^2$

Number of pixels $\sim 1000-1200$

FOV for one pixel $\sim 0.4^\circ$

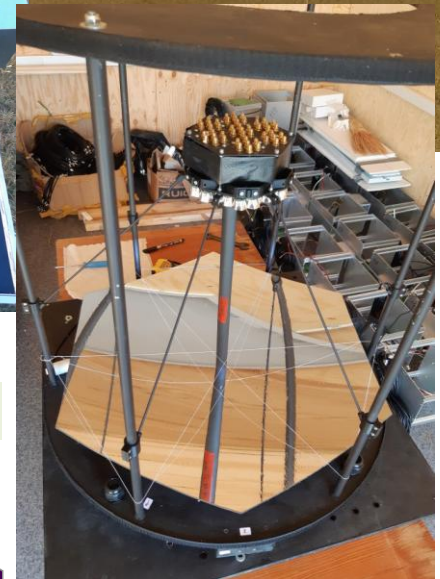
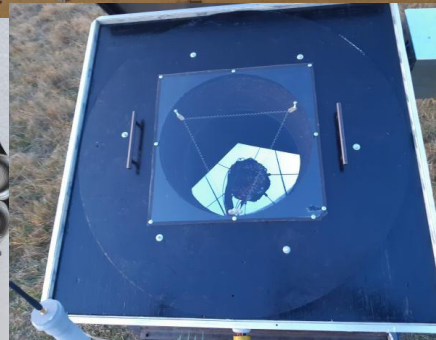
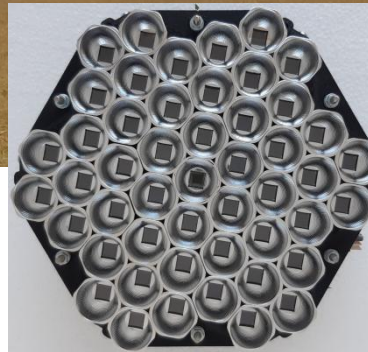
Energy threshold $\sim 10\text{TeV}$

A compact-size wide Field of View IACT with a SiPM-based camera for energies above 10 TeV.

Prototype SIT (FOV $\sim 20^\circ$, S $\sim 0.1 \text{ m}^2$, 49 SiPM SensL MicroFC-60035-SMT, $6 \times 6 \text{ mm}^2$) was installed in the Tunka Valley for operation together with the TAIGA-HiSCORE array in September 2019.



Prototype SIT



Examples of detected events by the SIT prototype

432024



432884



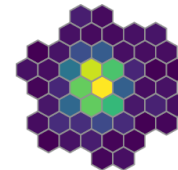
433114



433173

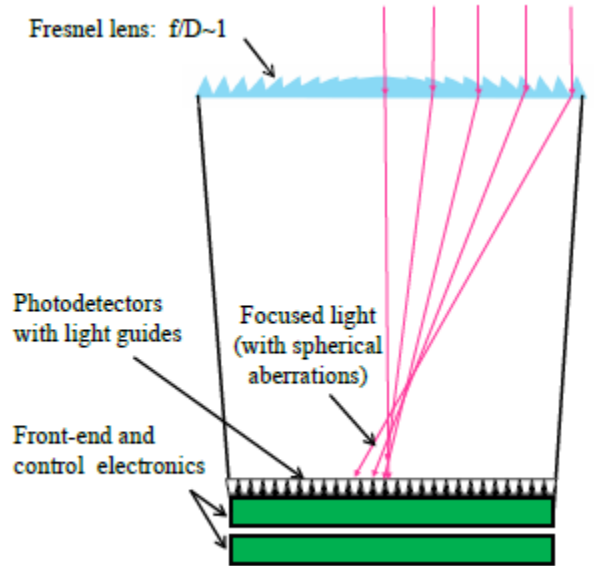
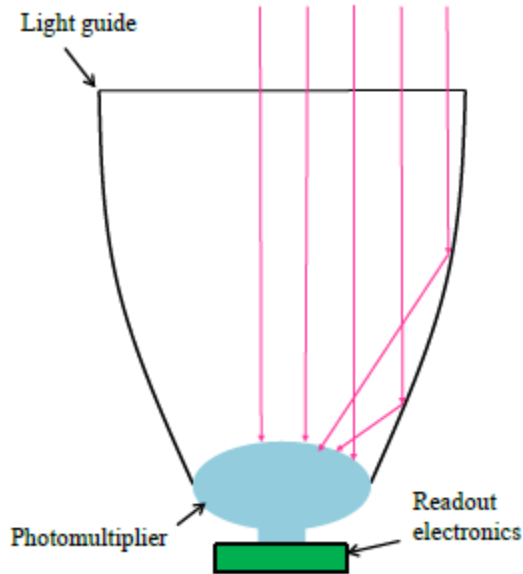


433985



How to decrease HiSCORE energy threshold ?

M. Shayduk et al (2015)



100 channel
May be another
optical system

Background per
channel in 100
smaller than
Energy threshold in
10 times smaller
(5 times for
HiSCORE station
with 4 PMT)

$\Delta\Omega \sim 0.6 \text{ sr} \gg 0.03$ (for EAS)

Conclusion

1 TAIGA - 10 km² hybrid array 1000 wide-angle stations and 15-20 IACTs).
The sensitivity for local sources in the energy range 30 -200 TeV is expected be **$- 10^{-13} \text{ TeV cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ (for 500 h observation)**

2. Deployment of the full scale TAIGA prototype -120 wide-angle stations and three IACTs is planned for 2019-2020.

The expected sensitivity for 300 hours source observation with this array in the range 30 – 200 TeV is about **$2.5 \cdot 10^{-13} \text{ TeV}/(\text{cm}^2 \text{ sec})$** , extending the energy range of existing and planned experiments to the ultra-high energy range.

3. The first commission seasons were successful:

- CR energy spectrum below the knee
- Detection of gamma-rays from Crab
- First results from joint operation of HiSCORE and IACT

4. Work has begun on the creation of a new cameras based on SiPM

Спасибо за внимание

