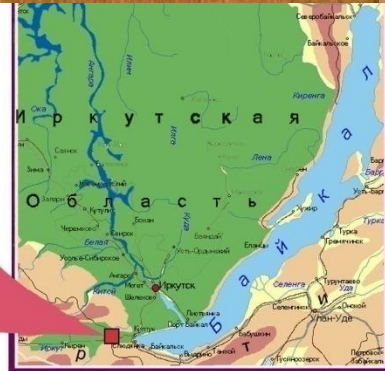


Создание гамма-обсерватории TAIGA-1 и результаты исследования энергетического спектра гамма-излучения источника в крабовидной туманности

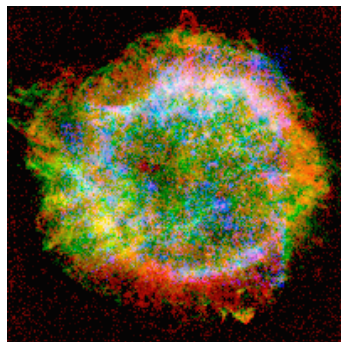


51° 48' 35" N
103° 04' 02" E
675 m a.s.l.



**Н. Буднев, Иркутский
государственный
университет**

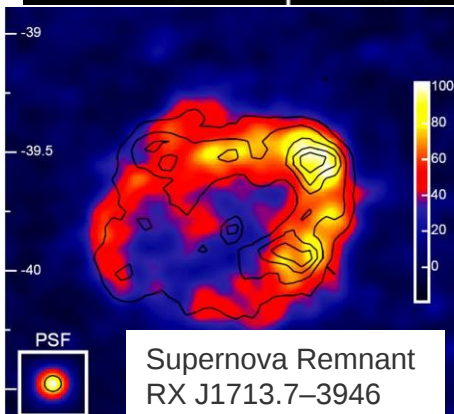
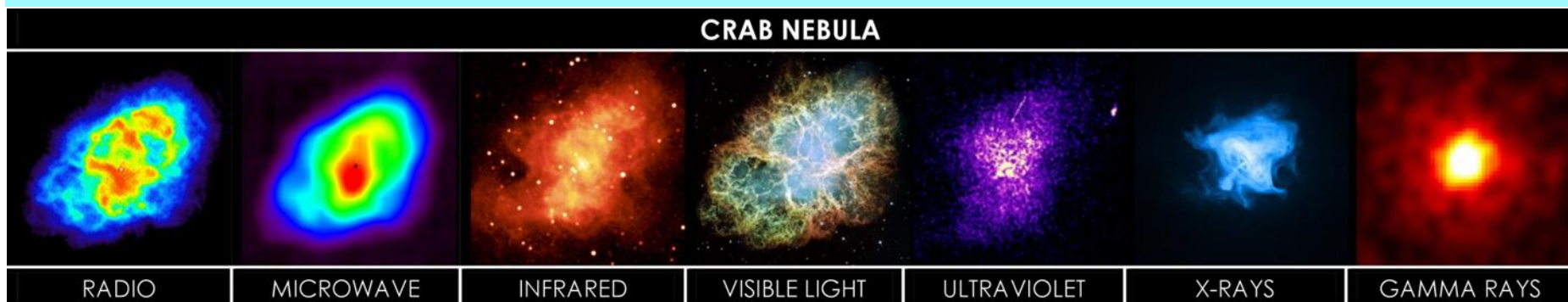
Гамма-астрономия – инструмент исследования Вселенной высоких энергий.



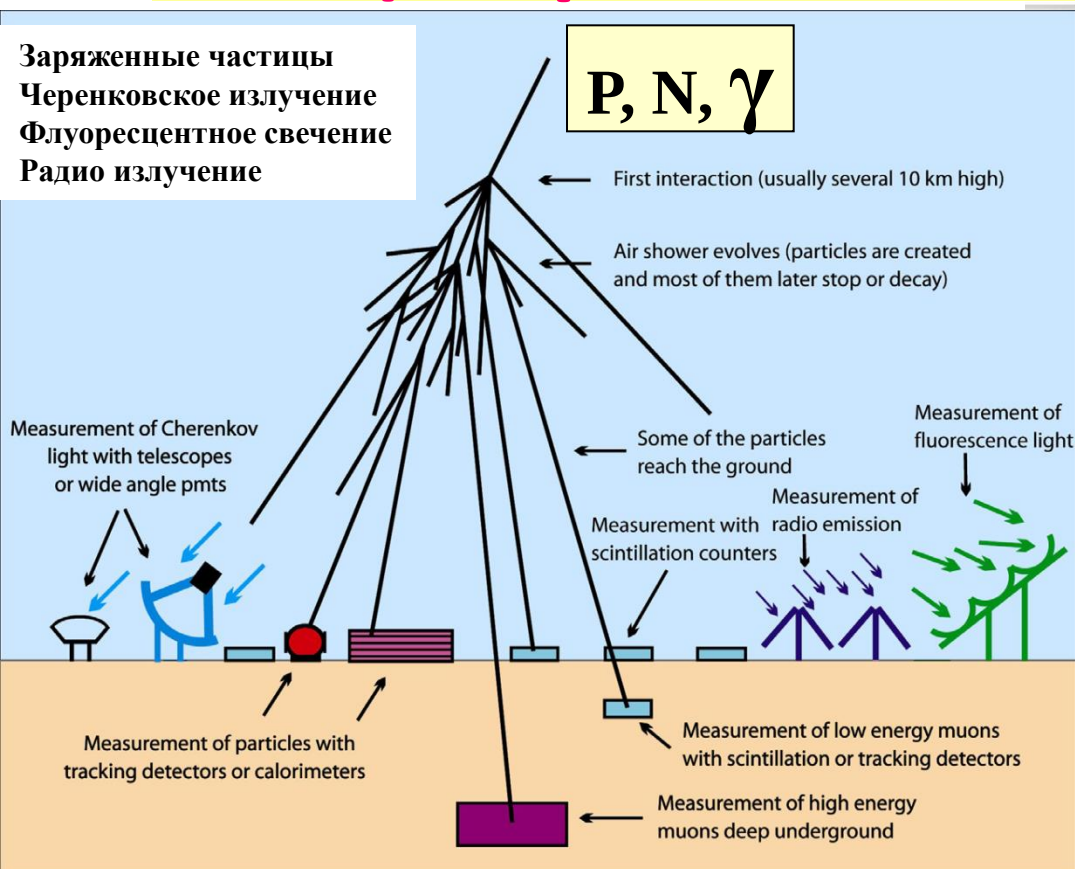
В среднем каждые 30 лет в нашей Галактике происходит взрыв сверхновых

При этом выделяется энергия 10^{46} Дж
Мощность Солнца - $3,86 \cdot 10^{26}$ Вт

• Крабовидная туманность (остатки Сверхновой, взорвавшейся 4 июля 1054 года)



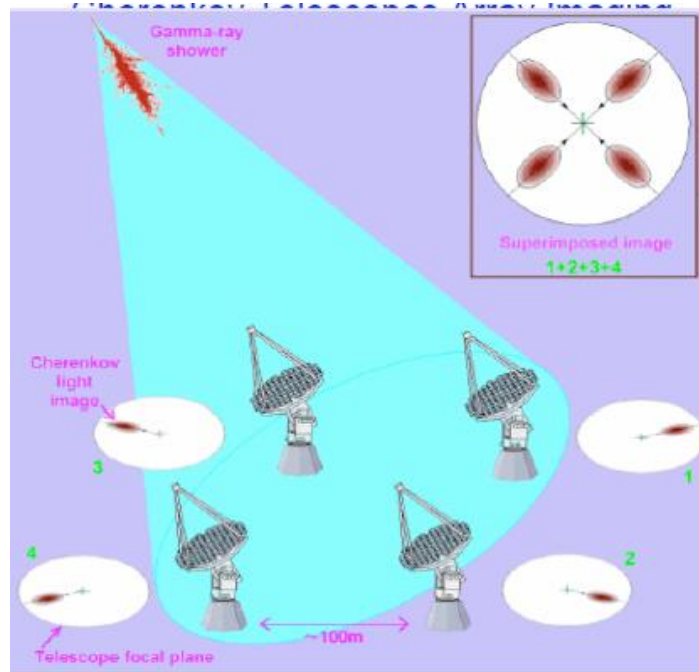
Широкие атмосферные ливни – каскады частиц в атмосфере (открыты Р. Auger в 1938 году)



Атмосфера – гигантский
калориметр

Основные открытия в гамма- астрономии сделаны с помощью Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope (IACT)

HEGRA
HESS
MAGIC
VERITAS
 $S < 0.1 \text{ km}^2$
Future Project
CTA



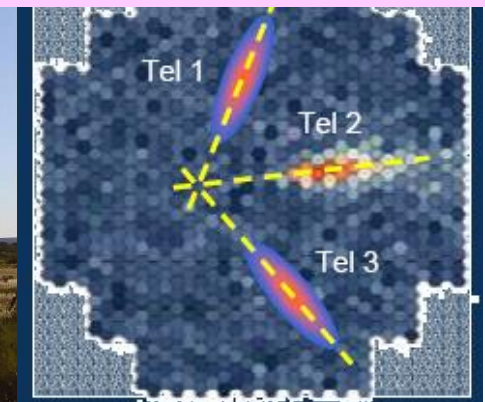
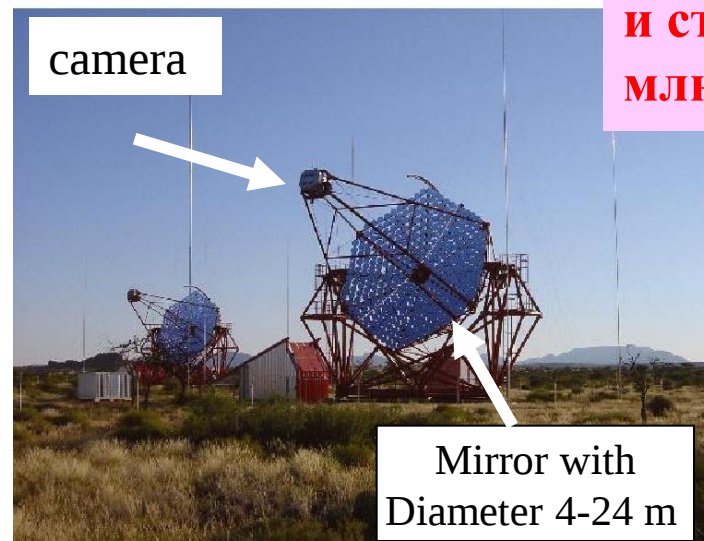
Больше 200 источников гамма-квантов с энергией выше 1 ТэВ открыто с помощью установок на базе IACT.

Но с помощью IACT зарегистрировано только несколько гамма-квантов с энергией выше 50 TeV.

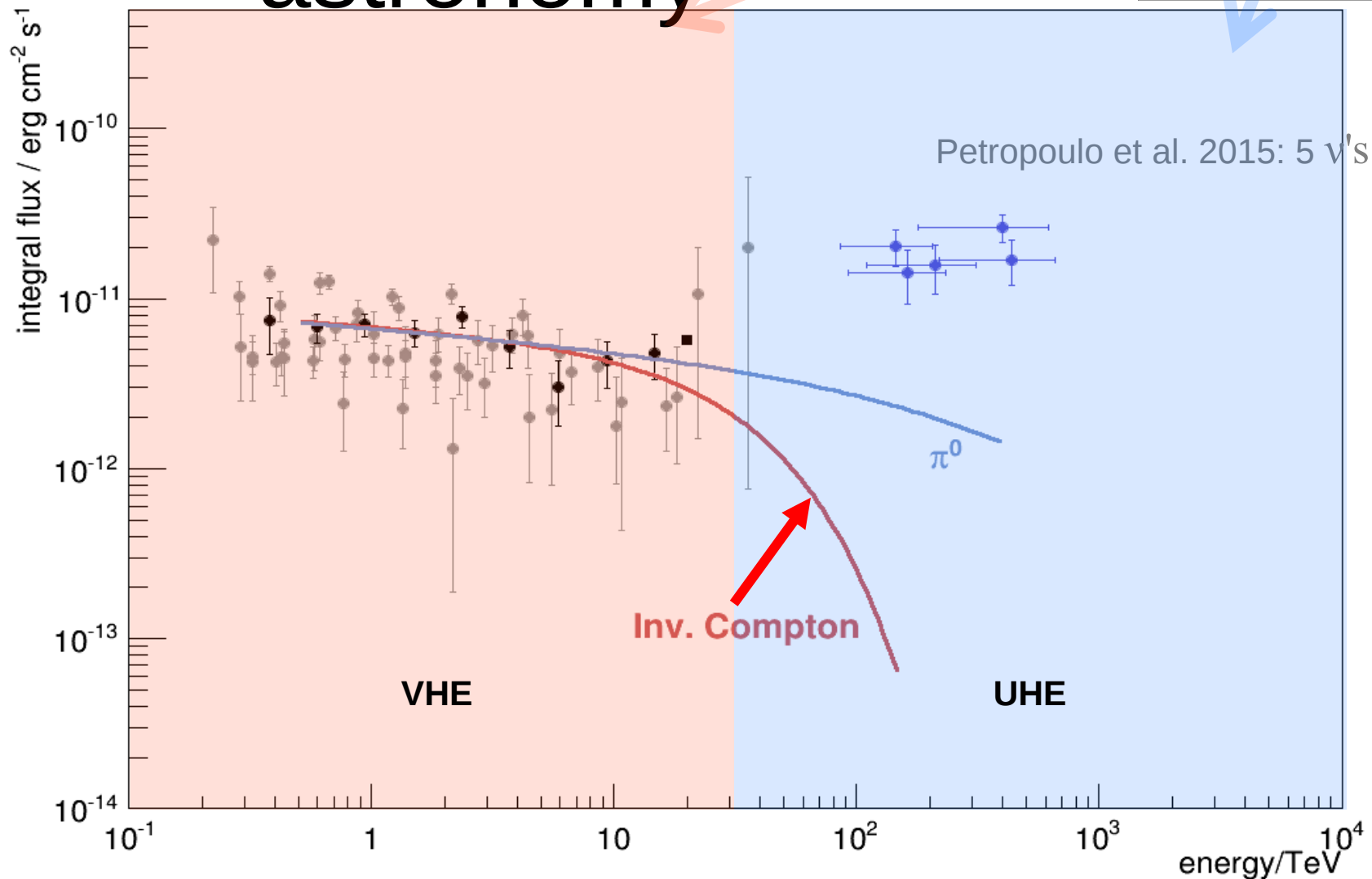
Для этого нужны установки площадью не менее **1 km^2**

и стоимостью от 100 млн.Евро/км²!!!!

IACT – имеют составное Зеркало диаметром 4 –24м, и многоканальную камеру, в котором фиксируется Черенковское изображение ШАЛ



VHE-UHE Gamma-ray astronomy



EAS Energy

$$E = A \cdot [N_{ph}(200m)]^g$$

$$g = 0.94 \pm 0.01$$

Average CR mass A

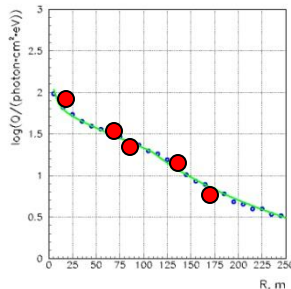
$$\ln A \sim X_{max}$$

$$X_{max} = C - D \cdot \lg \tau(400)$$

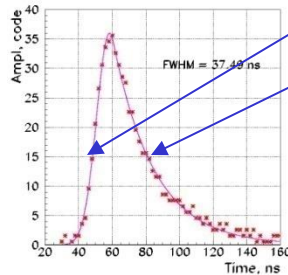
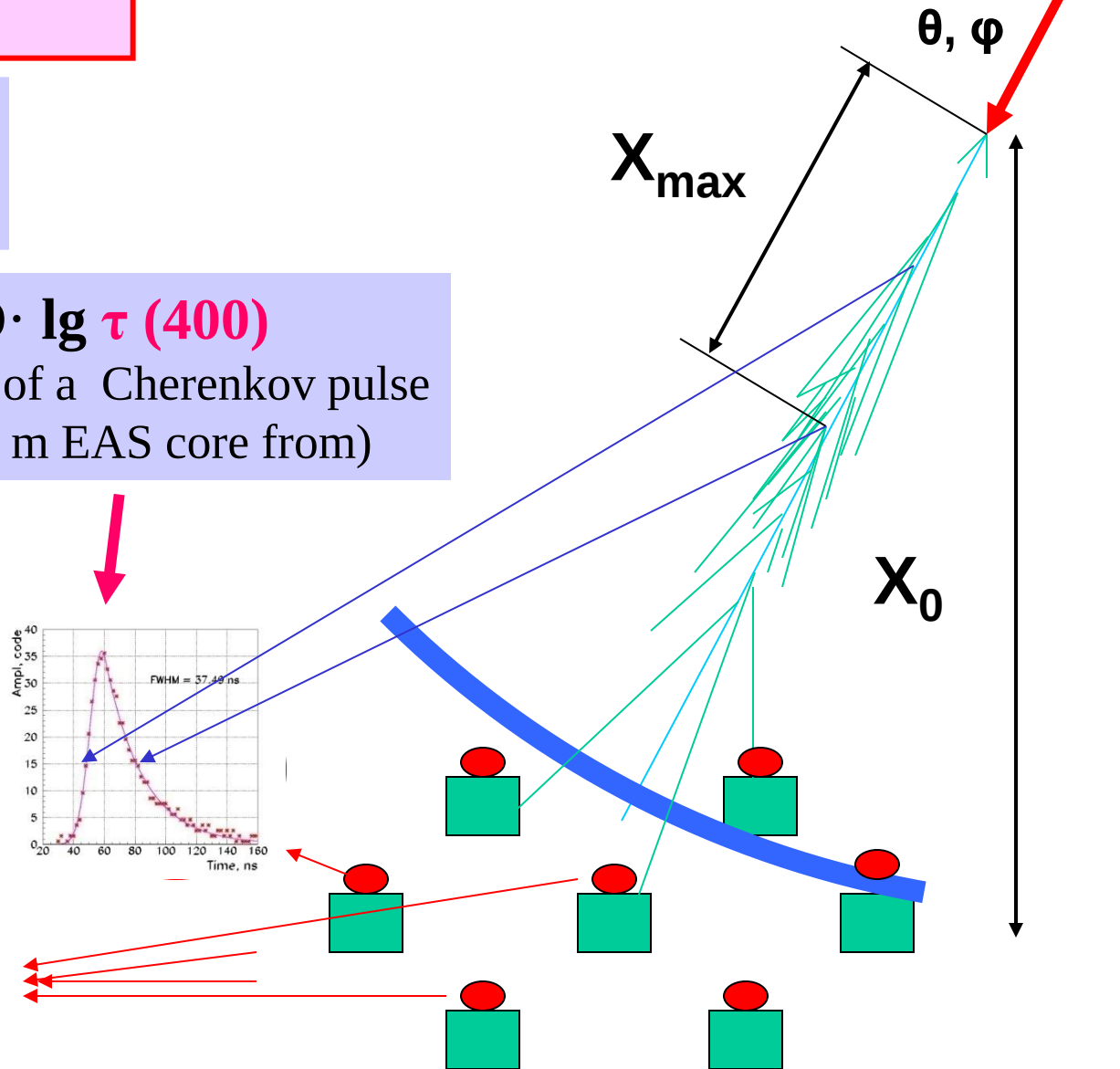
($\tau(400)$ - width of a Cherenkov pulse at distance 400 m EAS core from)

$$X_{max} = F(P)$$

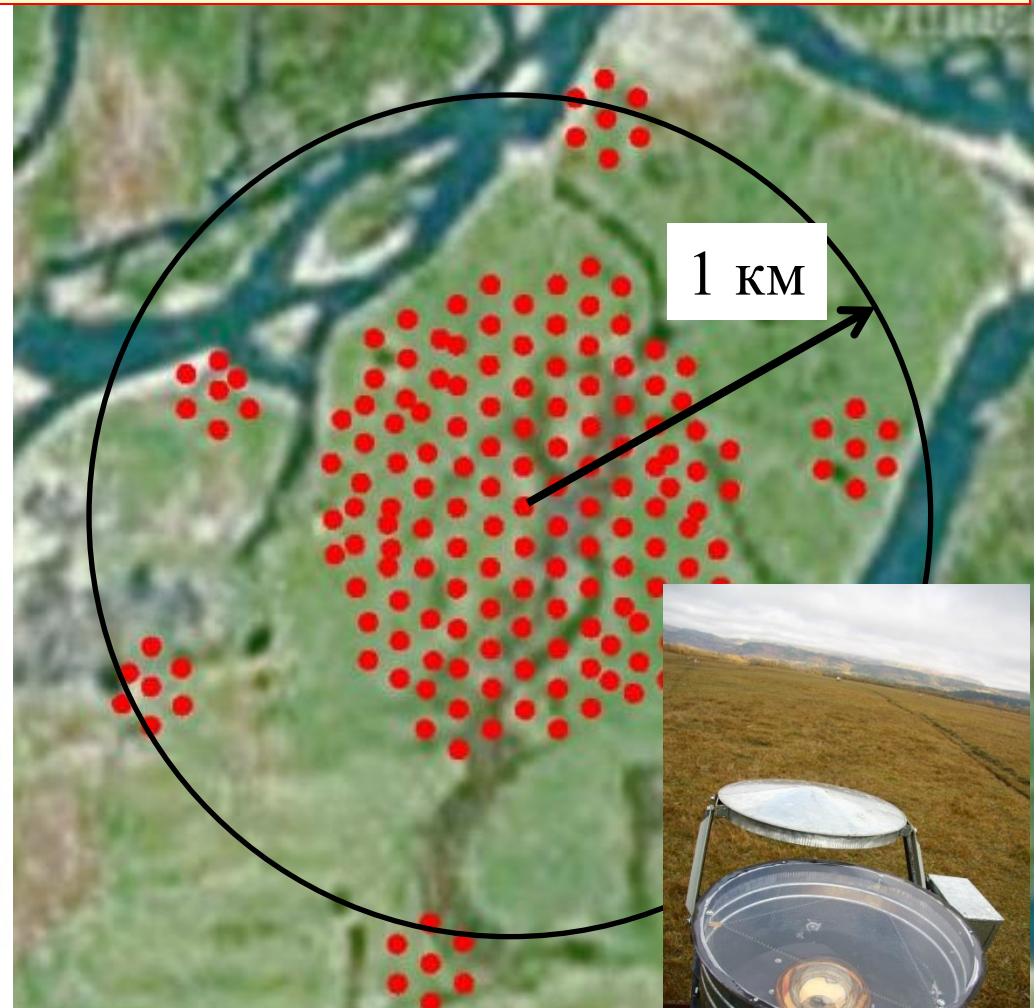
P - Steepness of a Lateral Distribution Function (LDF)



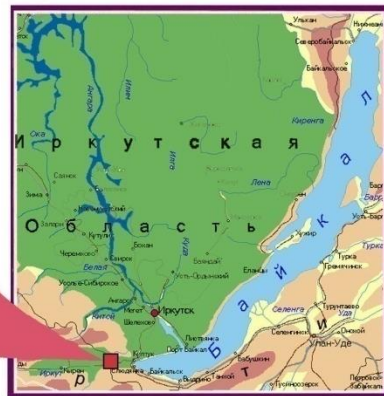
EAS Cherenkov light detection with non-imaging" wide-angle detectors



Тунка-133 – крупнейшая в мире установка для исследования космических лучей Черенковским методом (2006-2012 г.)



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



50 km from Lake Baikal



**С помощью установки Tunka-133 показана перспективность
развитых при ее создании технологий для исследований природы
Галактических источников сверхвысоких энергий, это
стимулировало создание **TAIGA-Collaboration****

 **Irkutsk State University (ISU), Irkutsk, Russia**

 **Scobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Moscow State University (SINP MSU),
Moscow, Russia**

 **Institute for Nuclear Research of RAS (INR), Moscow, Russia**

 **Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation of RAS
(IZMIRAN), Troitsk, Russia**

 **National Research Nuclear University (MEPhI), Moscow, Russia**

 **Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS (BINP), Novosibirsk, Russia**

 **Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia**

Joint Institute of Nuclear Physics (JIRN), Dubna

 **Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), Zeuthen, Germany**

 **Institut für Experimentalphysik, University of Hamburg (UH), Germany**

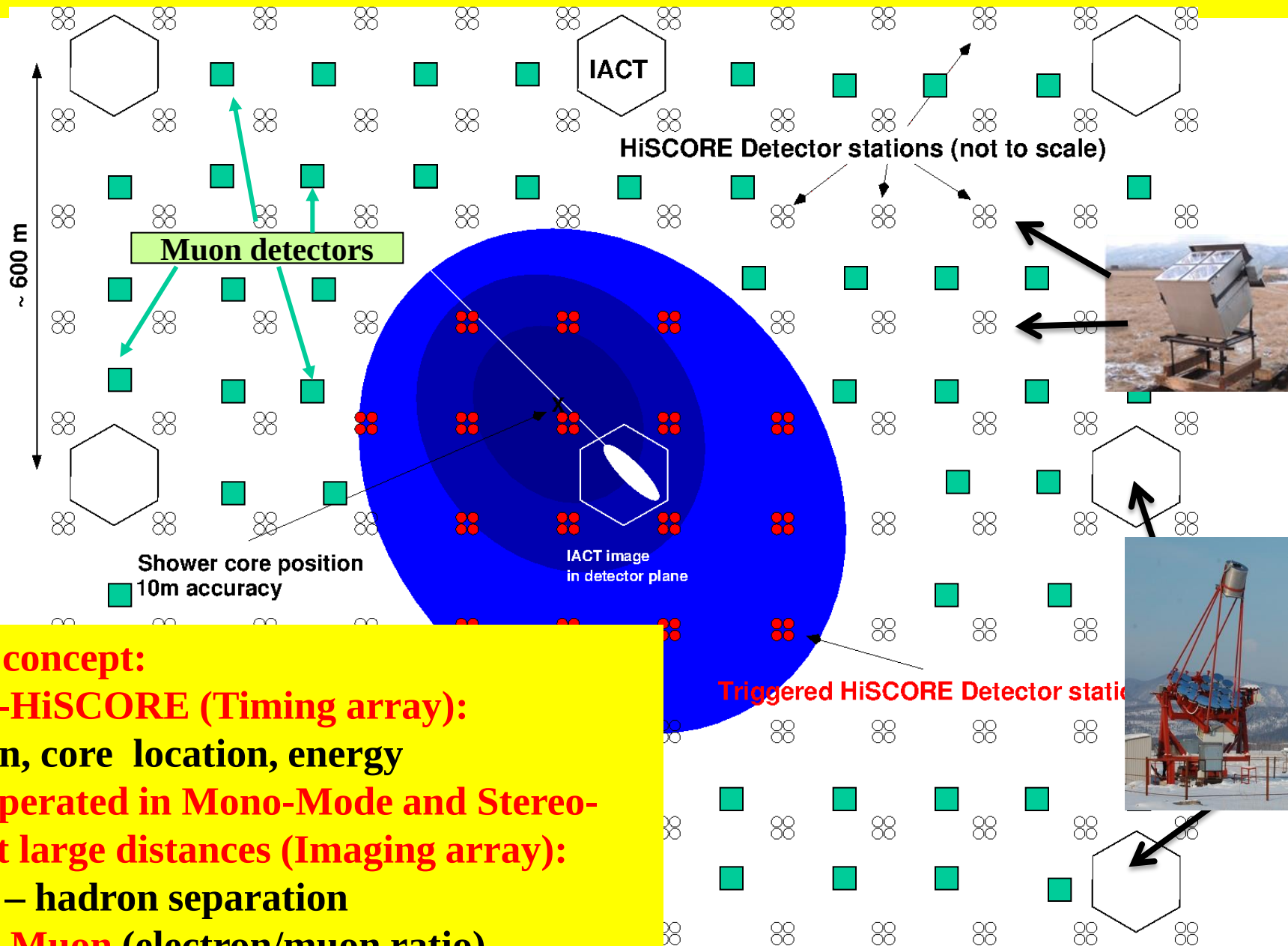
 **Max-Planck-Institut für Physik (MPI), Munich, Germany**

 **Institut für Kernphysik, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany**

 **Fisica Generale Università di Torino and INFN, Torino, Italy**

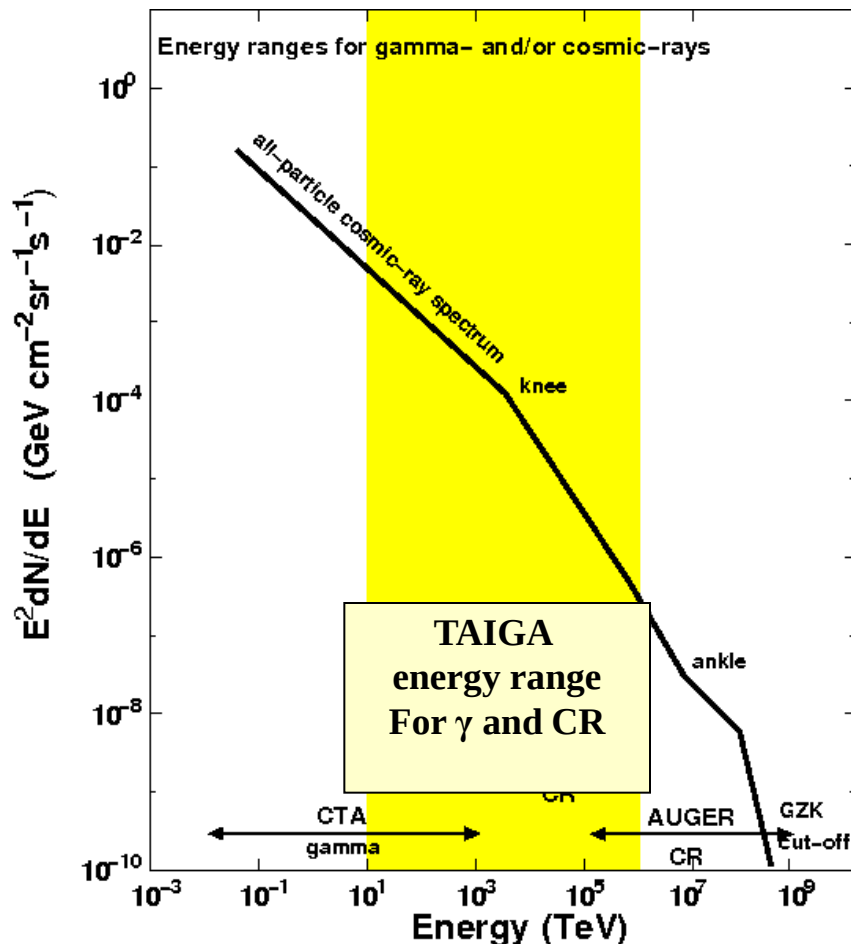
 **ISS, Bucharest, Rumania**

TAIGA - сочетание двух Черенковских технологий



Hybrid concept:
TAIGA-HiSCORE (Timing array):
direction, core location, energy
IACT operated in Mono-Mode and Stereo-Mode at large distances (Imaging array):
gamma – hadron separation
TAIGA-Muon (electron/muon ratio)

Main Topics for the TAIGA observatory



Gamma-ray Astronomy

Search for the PeVatrons.

VHE spectra of known sources:
where do they stop?

Absorption in IRF and CMB.

Diffuse emission: Galactic plane, Local
supercluster.

Charged cosmic ray physics

Energy spectrum and mass composition
anisotropies
from 10^{14} to 10^{18} eV.
 10^8 events (in 1 km^2 array)
with energy $> 10^{14}$ eV

Particle physics

Axion/photon conversion.
Hidden photon/photon oscillations.
Lorentz invariance violation.
pp cross-section measurement.
Quark-gluon plasma.

TAIGA-HiSCORE



PMT HAMANTSU R5912



120 optical station
on 1,1 km² area

1425

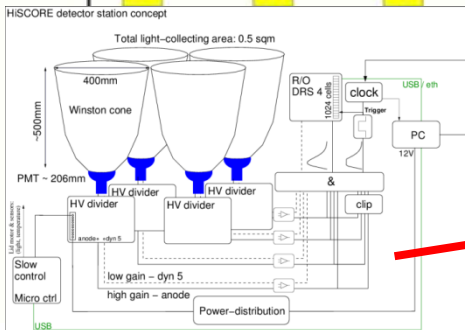
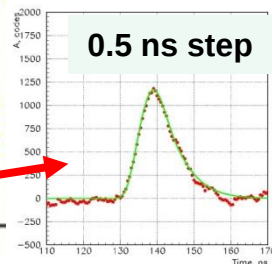
106,07

75

Advantage of a wide – angle tuning Cherenkov array:

- Good accuracy positioning of EAS core (5 -10 m)
- Good energy resolution (10 - 15%)
- Good angular resolution (~ 0.15 degree)
- Good accuracy of Xmax measurement (~ 20 -25 g/cm²).
- Low cost (~ 10⁶ Euro/ km²)

0.5 ns step



The TAIGA – IACT

The TAIGA - IACT

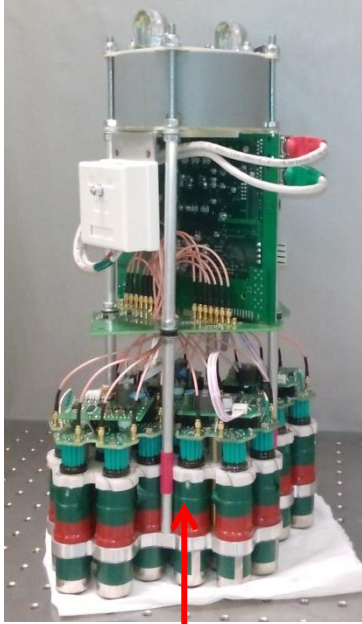
First 2017y, second 2019y, third 2022y
situated at the vertices of a triangle
with sides:

300 m, 400 m and 500 m about

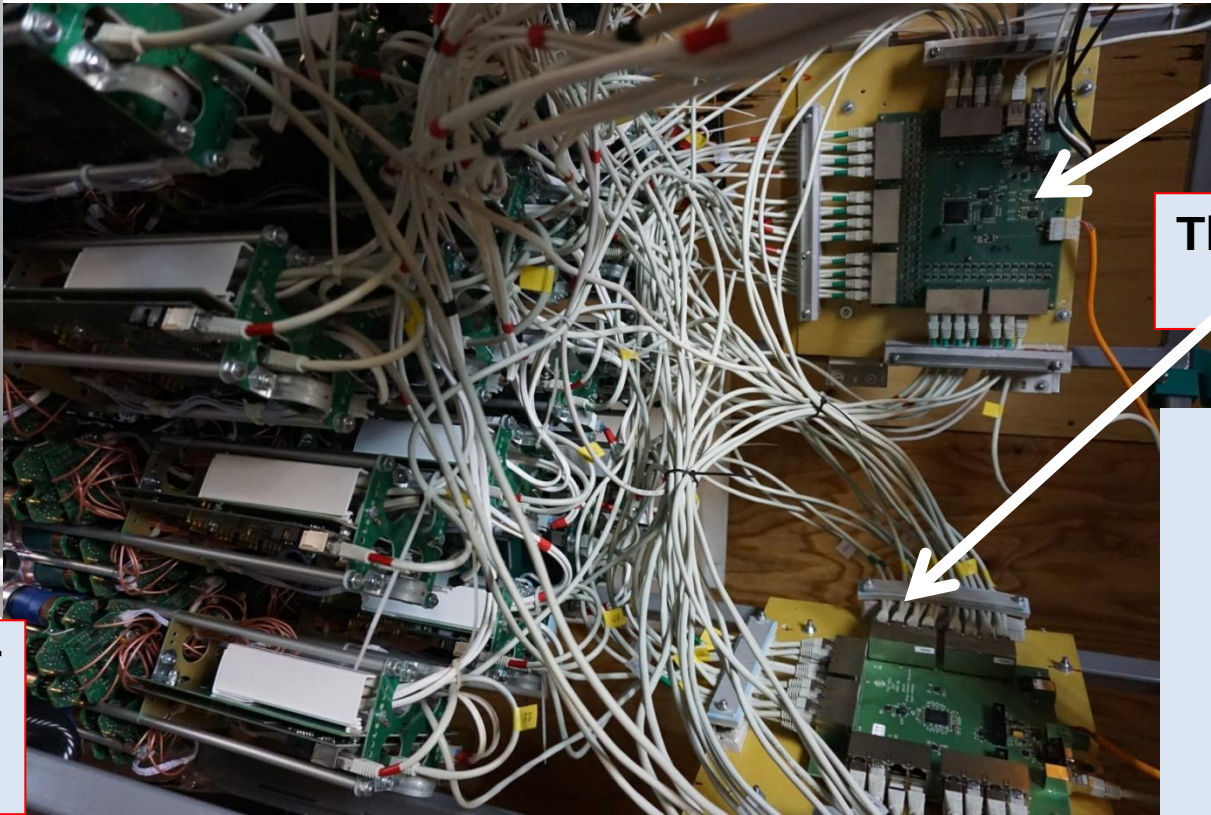
- 34-segment reflectors (Davis-Cotton)
- Diameter 4.3 m, area $\sim 10 \text{ m}^2$
- Focal length 4.75 m
- Threshold energy $\sim 2 - 3 \text{ TeV}$



The Camera of the TAIGA-IACT



28 PMTs cluster
on the base of
MAROC-3



Central
Controller
Board

The Fast_Hold
Boards

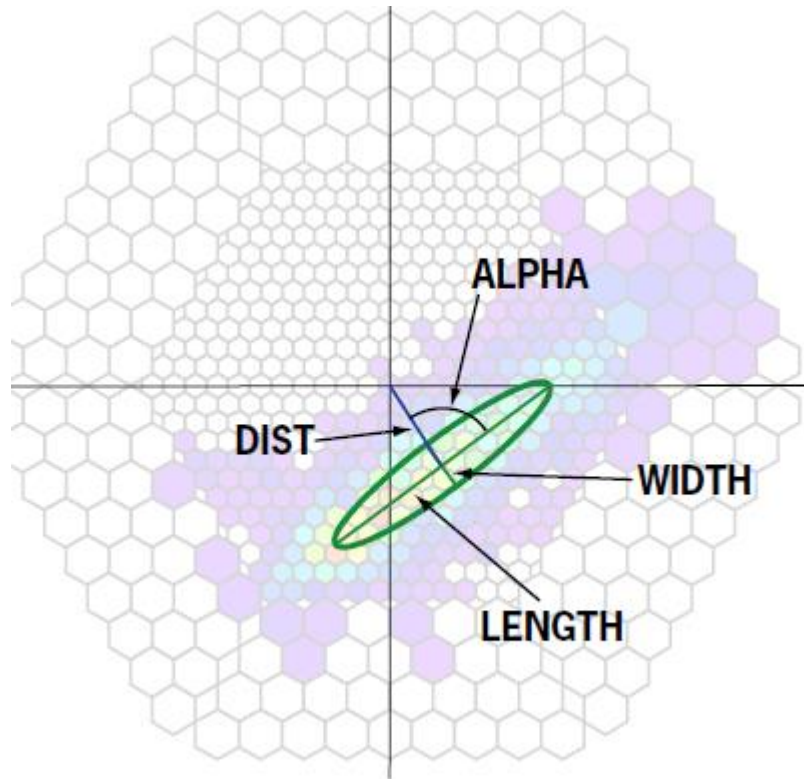
Hold on all
clusters.
It make
possible
to read out
amplitudes
from all
pixels of
camera

595 PMTs (XP 1911) with

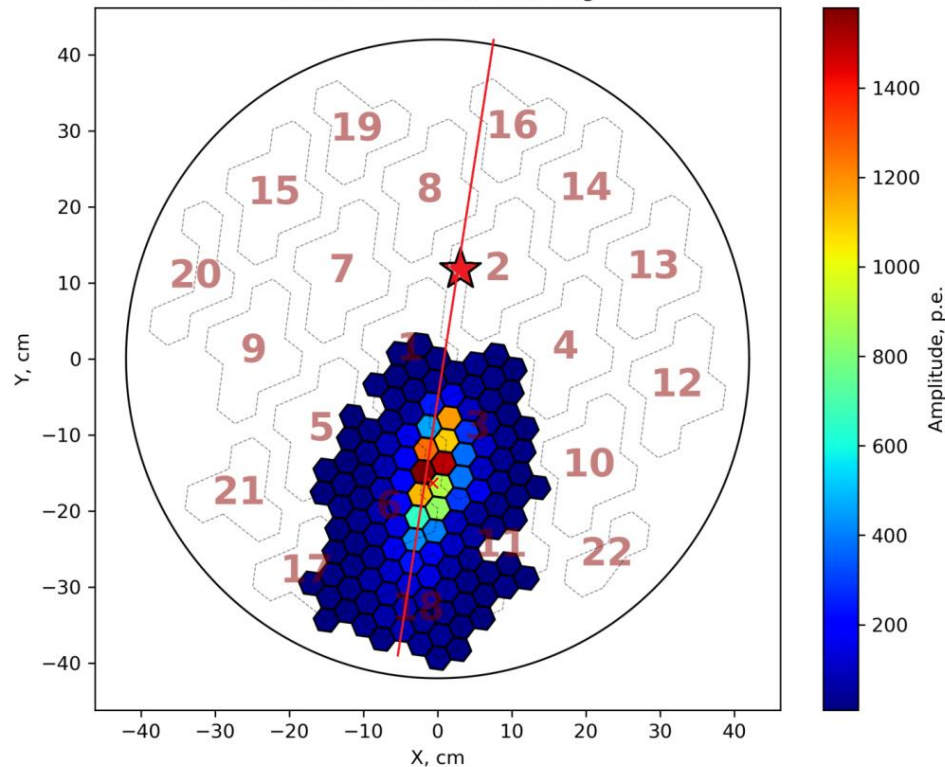
- 15 mm useful diameter of photocathode
- Winston cone: 30mm input size
- each pixel = 0.36 deg
- FOV 9,6 x 9,6 deg

TAIGA-IACT and TAIGA-HiSCORE joint events.

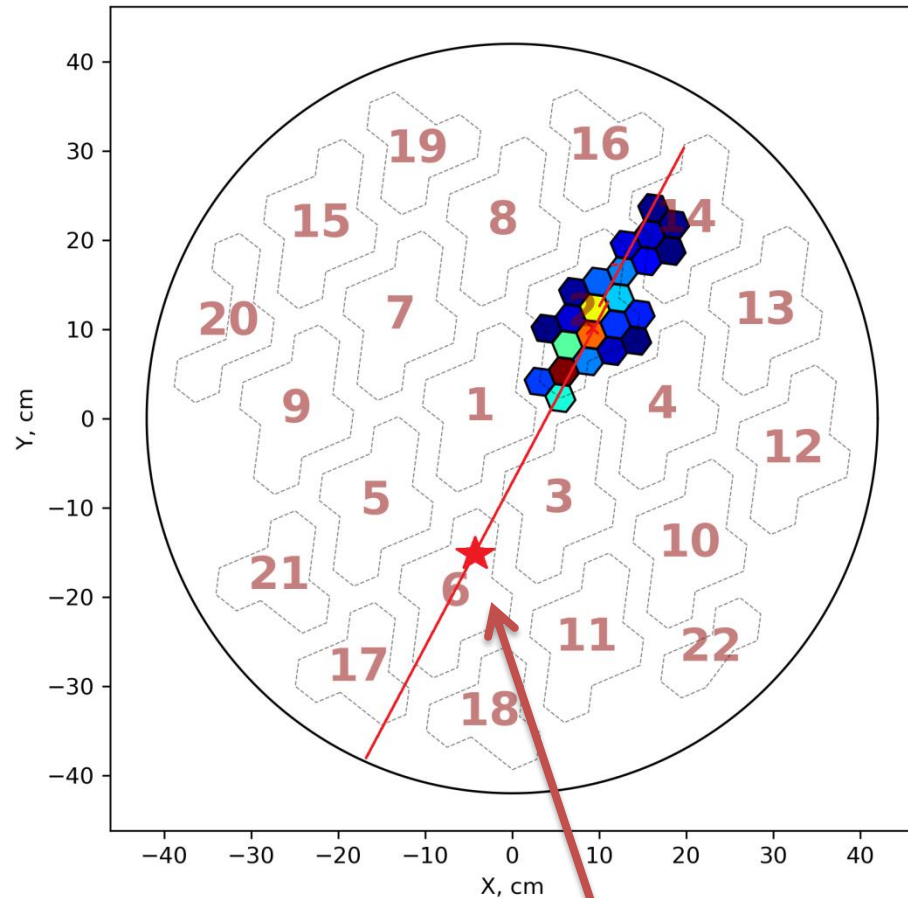
Hillas parameters



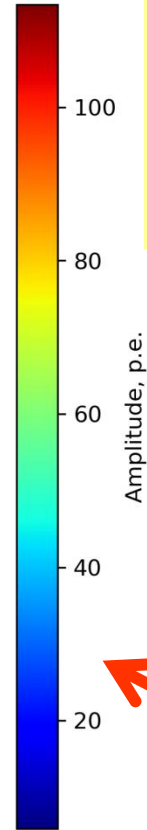
Most of events are
“Hadron-like”
 $E = 880 \text{ TeV}$
 $\text{width} = 0.4^\circ$



Event #6281867
Ncl = 0, Npix = 23
Size = 709 p.e.
Width=1.6 cm, $\alpha=8.8$ deg

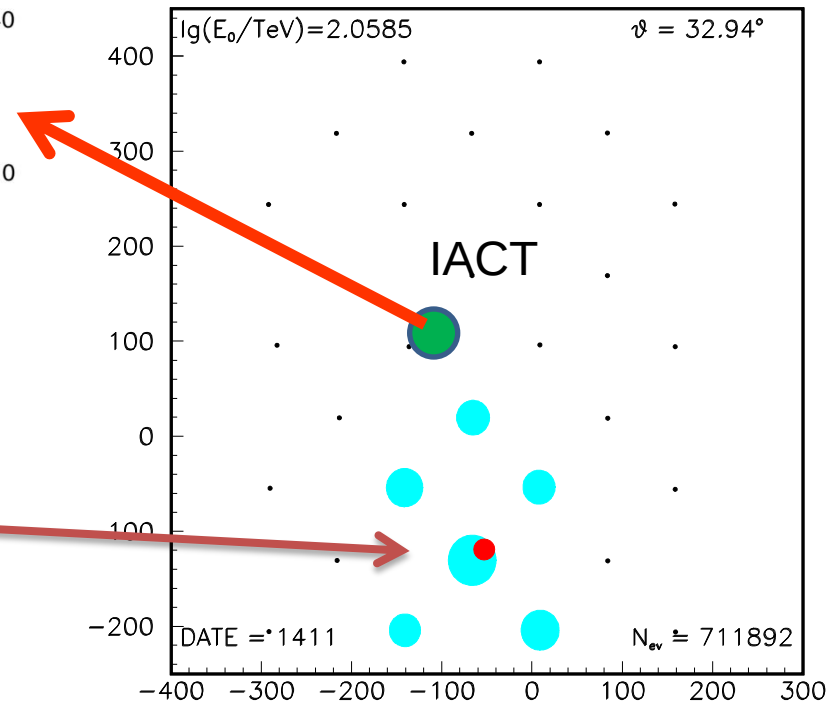


Core position

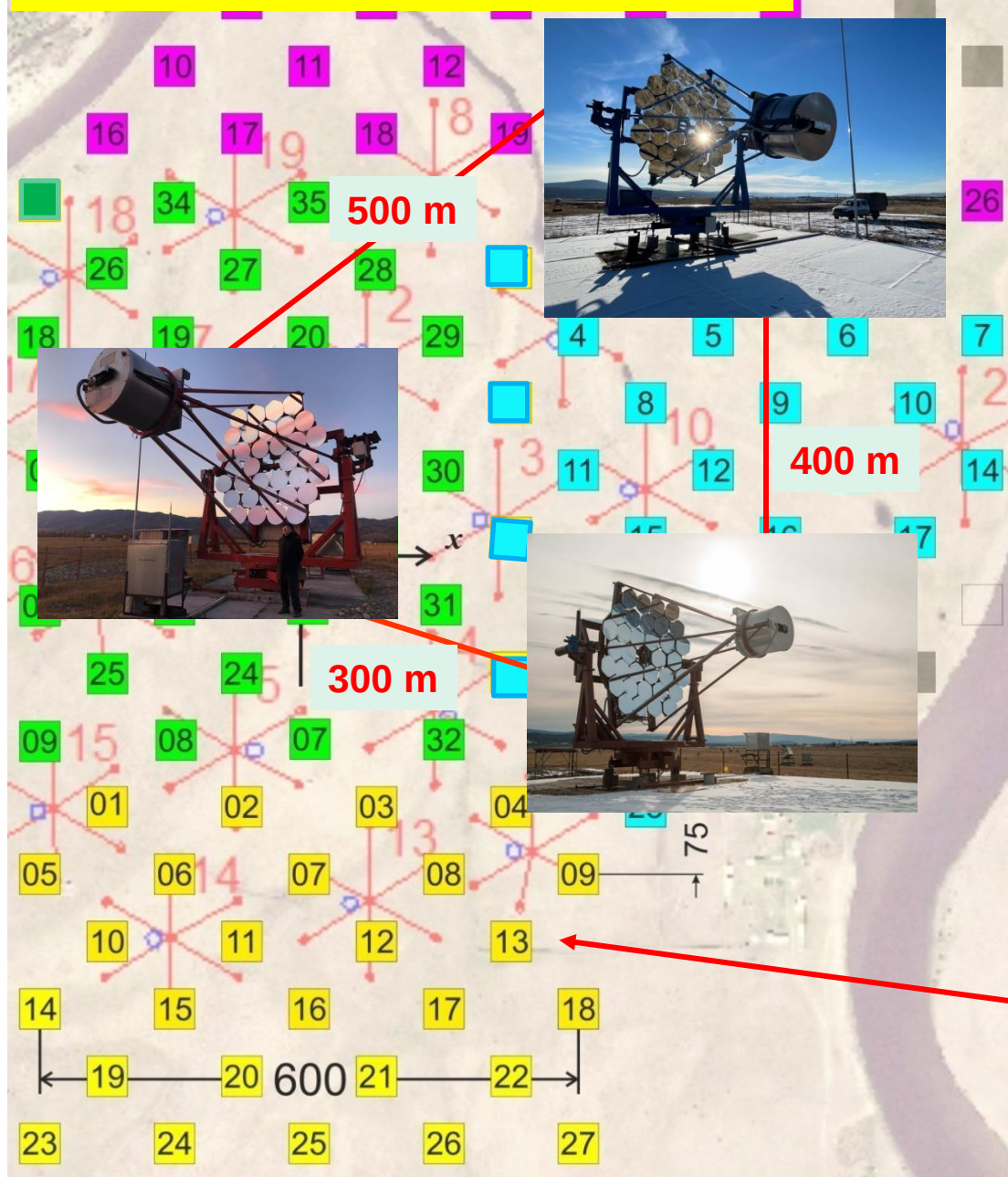


**But some events
looks as
“Gamma-like”**

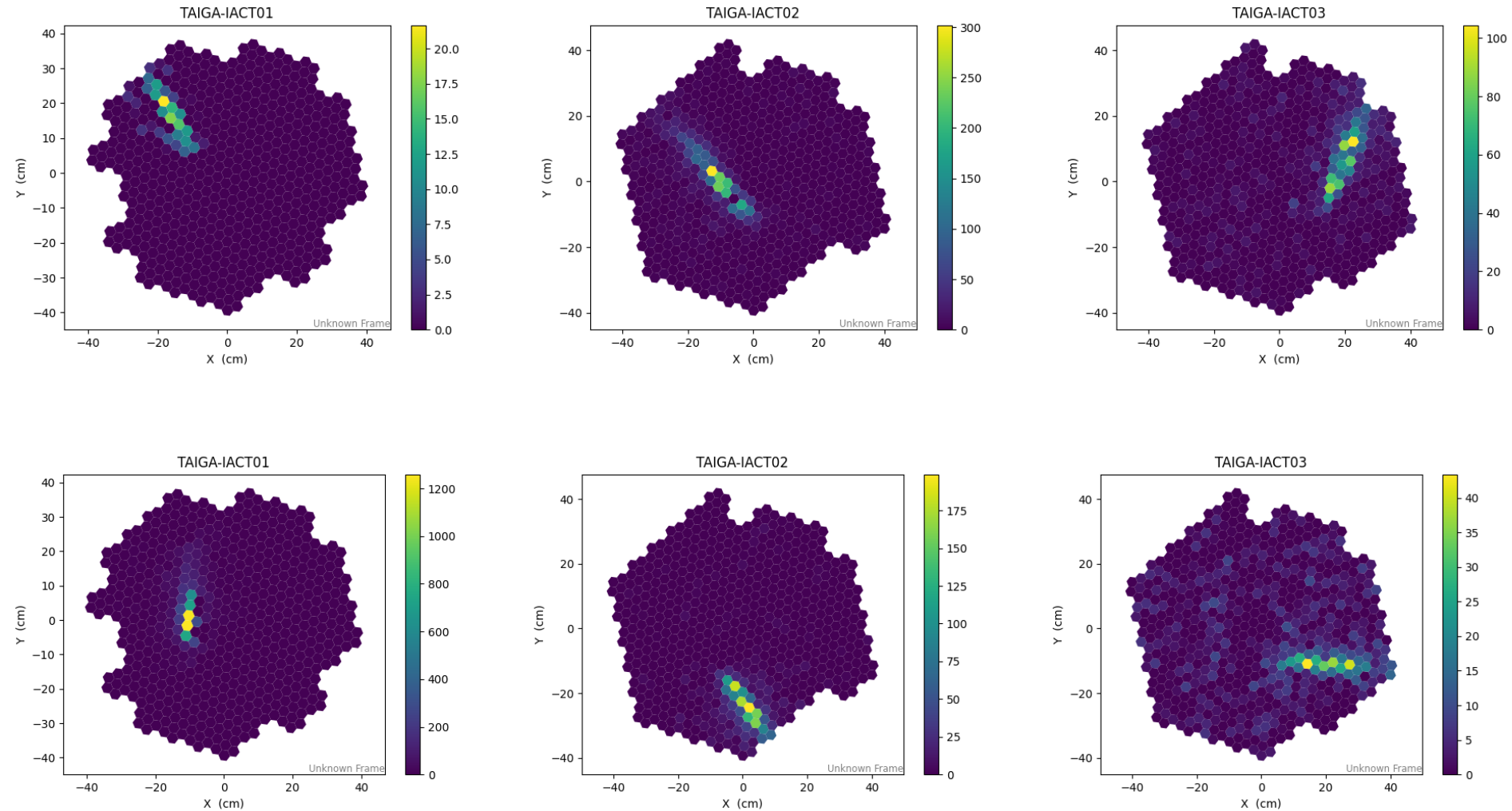
**E = 50 TeV
Width = 0.19°**



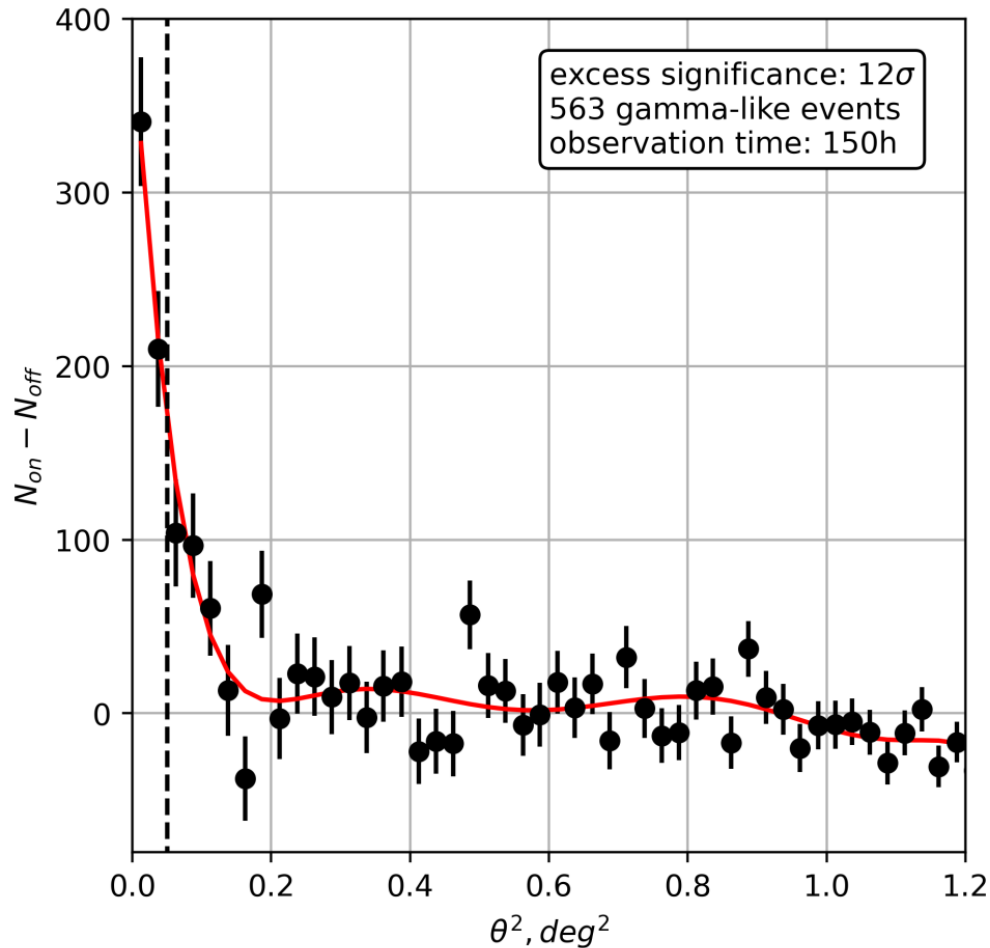
TAIGA-1, 2022year



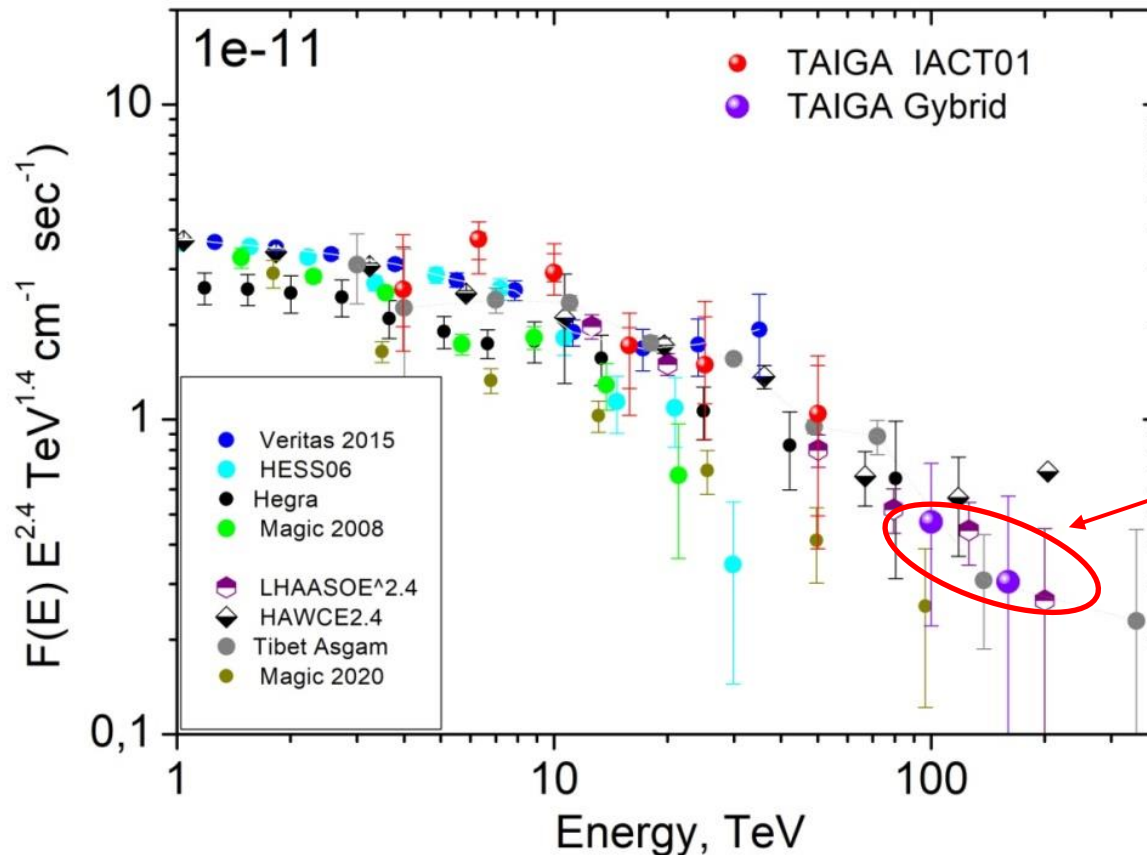
EAS detection by three IACT at a distance of 300 m – 400 m – 500 m in stereoscopic mode for high energies



Background subtracted Θ^2 -distributions for 150 hours Crab Nebula observation

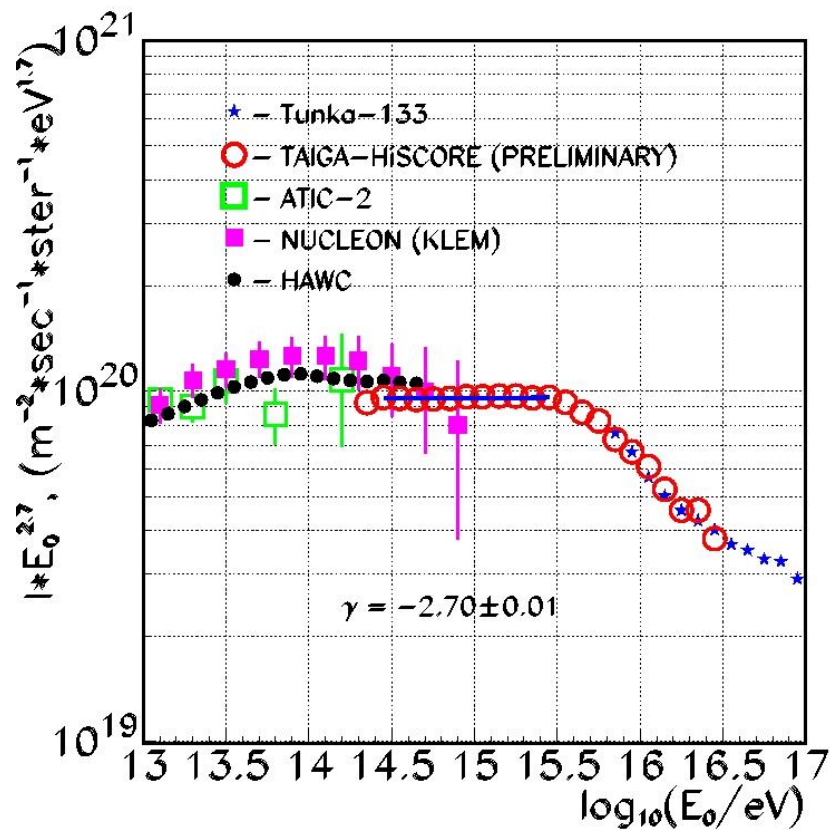


The energy spectrum of gamma quanta from the Crab Nebula (150 hours)

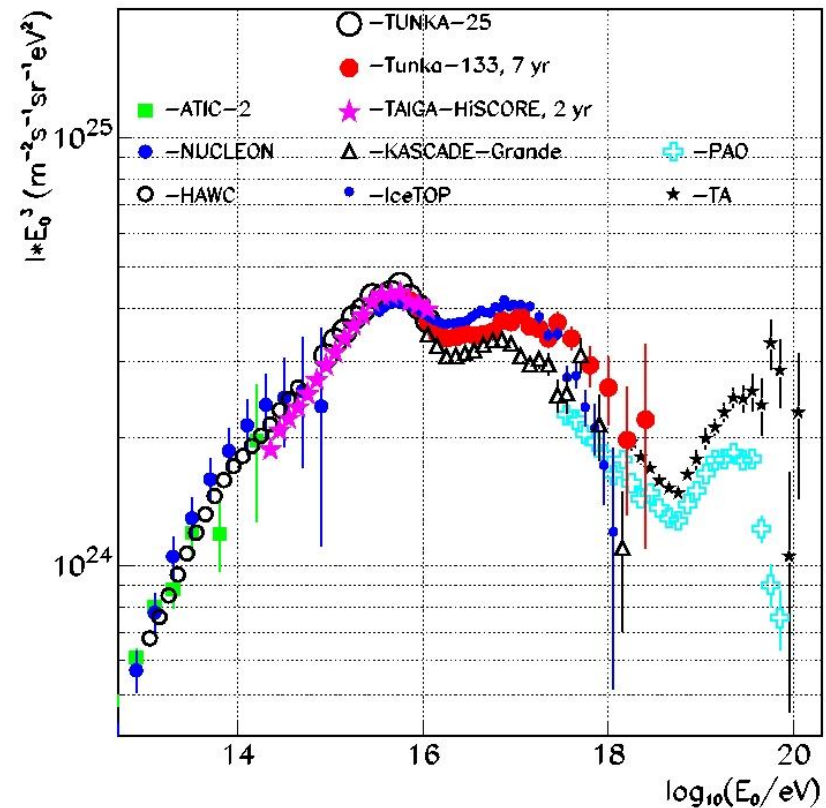


Hybrid events
6 events
0.25 km²

TAIGA -1 : >100 TeV 300 h (2-3 seasons) 40-60 gamma,

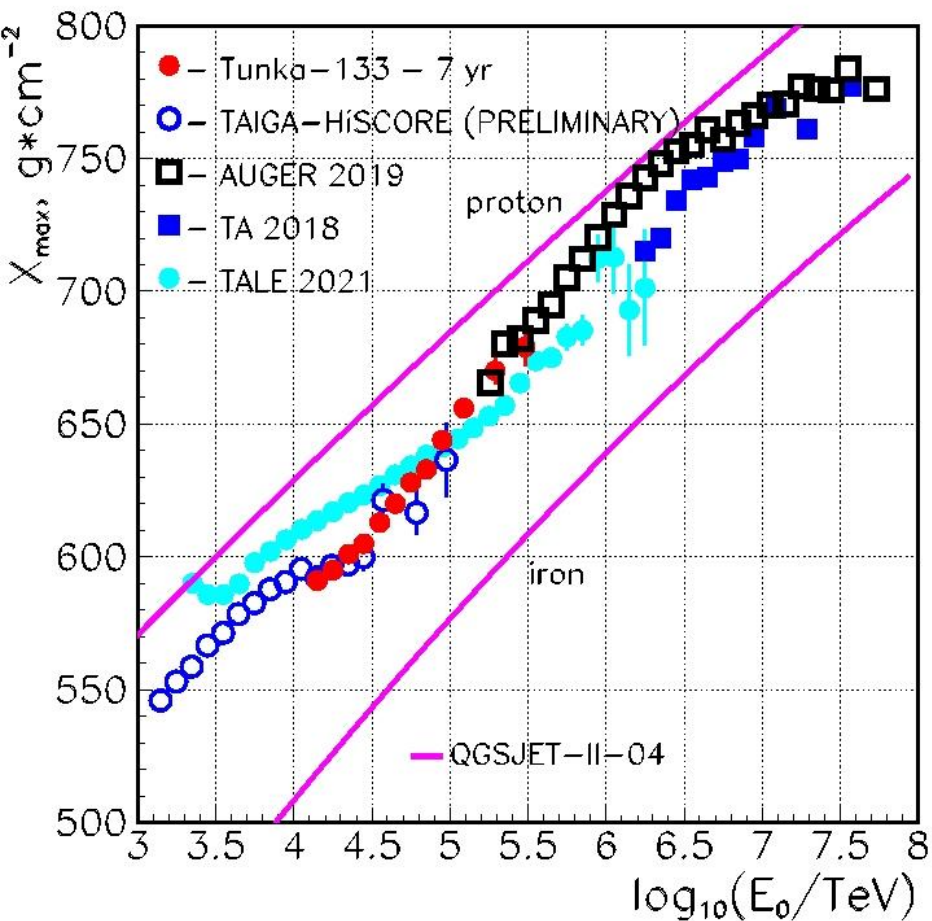


TAIGA-HiSCORE energy spectrum

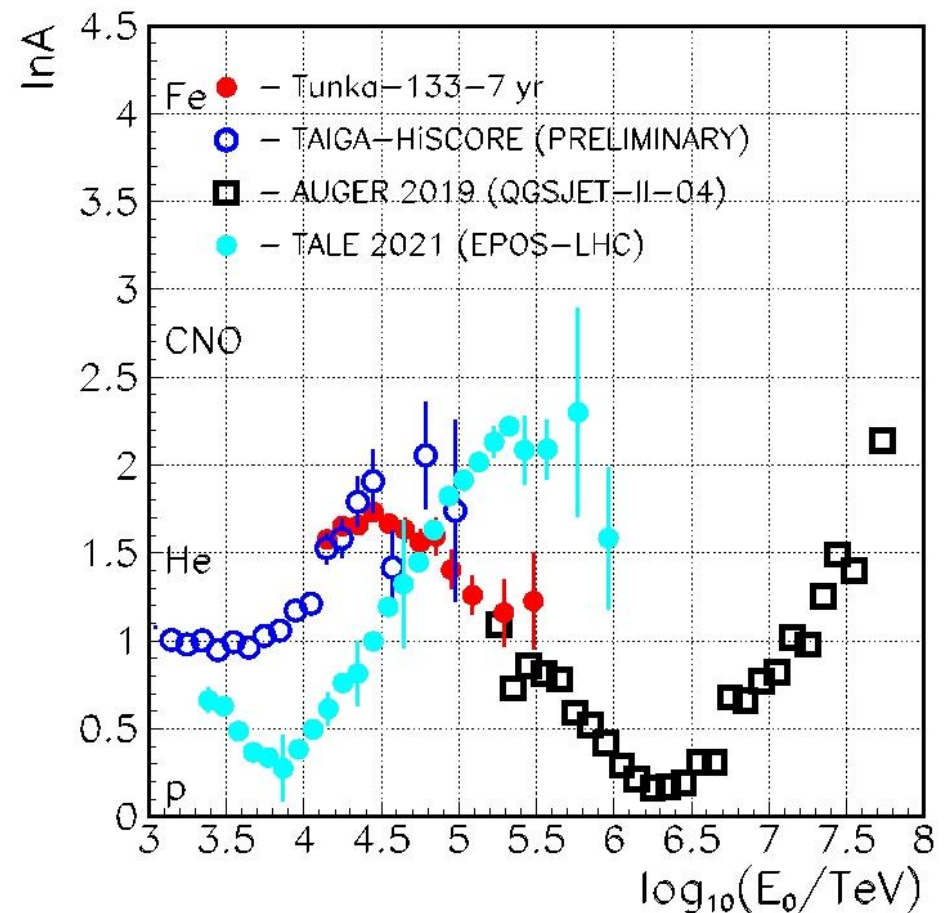


Comparison of the Tunka-25 & Tunka-133 & TAIGA-HiSCORE energy spectra with other experimental results

Mean Depth of EAS maximum $X_{\max}$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)



Mean logarithm of primary mass.



Поиск астрофизических наносекундных оптических вспышек с помощью установки TAIGA-HiSCORE.

Отличительные особенности

Равномерная засветка всех или большей части оптических станций установки TAIGA-HiSCORE волной с плоским фронтом.

В результате предварительного анализа данных установлен верхний предел на поток фотонов с плотностью выше 10^{-4} эрг/с/см² и длительностью больше 5 нс.

Поток таких событий меньше чем $2 \cdot 10^{-3}$ событий/стер/час (preliminary)

Будущий комплекс TAIGA-10 с гибридной системой детекторов на площади 10 км²

A point source sensitivity: $2.5 \cdot 10^{-14} \text{ TeV/cm}^2 \text{ s}$ (300 hours, 30–200 TeV)

Energy range
50 TeV – 1 PeV.
300- 400 gamma from
Crabe Nebule with
Energy > 100 TeV
For 300 hours



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 5-10 IACT with mirrors – 4.3 m diameter.
Charged particles rejection using imaging technique.

The net (50-100) of wide angle (30°) Small Imaging Telescope (SIT), 1/5 diameter mirror, SiPM based camera

Заключение

В Тункинской долине (республика Бурятия) создан не имеющий аналогов в мире комплекс черенковских установок TAIGA-1, нацеленный на решение широкого круга фундаментальных проблем в области гамма-астрономии, физики космических лучей и астрофизики элементарных частиц.

Эффективная площадь комплекса для исследования потоков гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ составляет 0,9 км²

Чувствительность для регистрации гамма-квантов с энергией 30- 200 ТэВ от локальных источников - $2.5 \cdot 10^{-13} \text{ TeV/cm}^2 \text{ s}$ (300 часов наблюдений).

Впервые получены экспериментальные данные об энергетическом спектре гамма-излучения источника в Крабовидной туманности при энергиях выше 80 ТэВ черенковским методом.

Опыт, полученный при строительстве комплекса TAIGA-1, является основой для создания с разумными затратами установки TAIGA-10 с гибридным комплексом детекторов на площади 10 км², которому не будет конкурентов в мире в ближайшие десятилетия.