

Астрофизические исследования на Земле и в космосе

Л.Г.Ткачев 19.02.2015



- К столетию открытия космических лучей
- Галактические космические лучи
 - эксперимент НУКЛОН
- Космические лучи предельно высоких энергий
 - эксперимент ТУС
- Гамма-астрономия и астрофизика
- Нейтринная астрономия и астрофизика
- Поиски антиматерии в КЛ: ПАМЕЛА, AMS
- Новые проекты

Столетие открытия космических лучей.

В 1912 году

были сделаны два выдающихся открытия,
изменившие наше мировоззрение

1. Открытие атомного ядра Э.Резерфордом

- Лауреат [Нобелевской премии по химии 1908 года](#)

2. Открытие космических лучей В.Гессом

- Лауреат Нобелевской премии по физике [1936 года](#) (через 24 года!!)



Electroscopes discharge spontaneously. Why?

- **Космические лучи были открыты с помощью электроскопа**



Один из первых полетов В.Гесса

7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon: „Böhmen“ (1680 cbm Wasserstoff).

Meteorolog. Beobachter: E. Wolf.

Führer: Hauptmann W. Hoffory.

Luftelektr. Beobachter: V. F. Hess.

Наб. ионизация

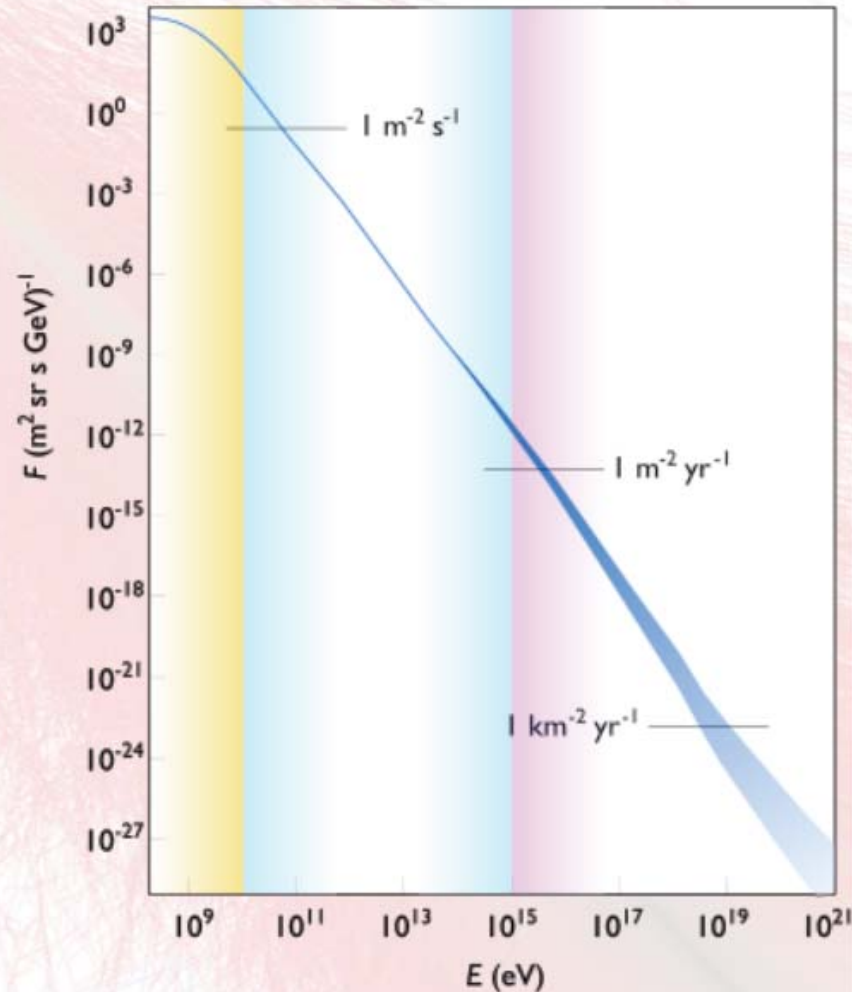
Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				Temp.	Relat. Feucht. Proz.		
		absolut m	relativ m	Apparat 1		Apparat 2				Apparat 3	
				q_1	q_2	q_3	reduz. q_3				
1	15h 15—16h 15	156	0	17,3	12,9	—	—	—	—		
2	16h 15—17h 15	156	0	15,9	11,0	18,4	18,4	} 1 ¹ / ₂ Tag vor dem Aufstiege (in Wien)	—		
3	17h 15—18h 15	156	0	15,8	11,2	17,5	17,5		—		
4	6h 45—7h 45	1700	1400	15,8	11,4	21,1	25,3		+6,4 ^o	60	
5	7h 45—8h 45	2750	2500	17,3	12,3	22,5	31,2	+1,4 ^o	41		
6	8h 45—9h 45	3850	3600	19,8	16,5	21,8	35,2	-6,8 ^o	64		
7	9h 45—10h 45	4800	4700	40,7	31,8	—	—	-9,8 ^o	40		
		(4400—5350)		—	—	—	—	—	—		
8	10h 45—11h 15	4400	4200	28,1	22,7	—	—	—	—		
9	11h 15—11h 45	1300	1200	(9,7)	11,5	—	—	—	—		
10	11h 45—12h 10	250	150	11,9	10,7	—	—	+16,0 ^o	68		
11	12h 25—13h 12	140	0	15,0	11,6	—	—	(nach der Landung in Pieskow, Brandenburg)	—		

Использовалось 3 электроскопа Вульфа. Электроскоп с номером 3 был открыт на воздух. После **коррекции на уменьшение давления (??)** этот электроскоп показывал 2-кратное увеличение ионизации на высоте 4000 м по сравнению с ионизацией на поверхности Земли. Это было свидетельством того, радиация (Hohenstrahlung) попадает в атмосферу из внешнего пространства.

Галактические космические лучи

Galactic CR

- The total energy density of CR particles is about 1 eV/cm^{-3} .
- About 1% of energy from SN required to sustain CR abundance.
- At 1 TeV, $B \sim 1 \mu\text{G}$, Gyro-Radius $\sim 200 \text{ AU}$, $0.001 \text{ pc} \rightarrow$ Highly isotropic

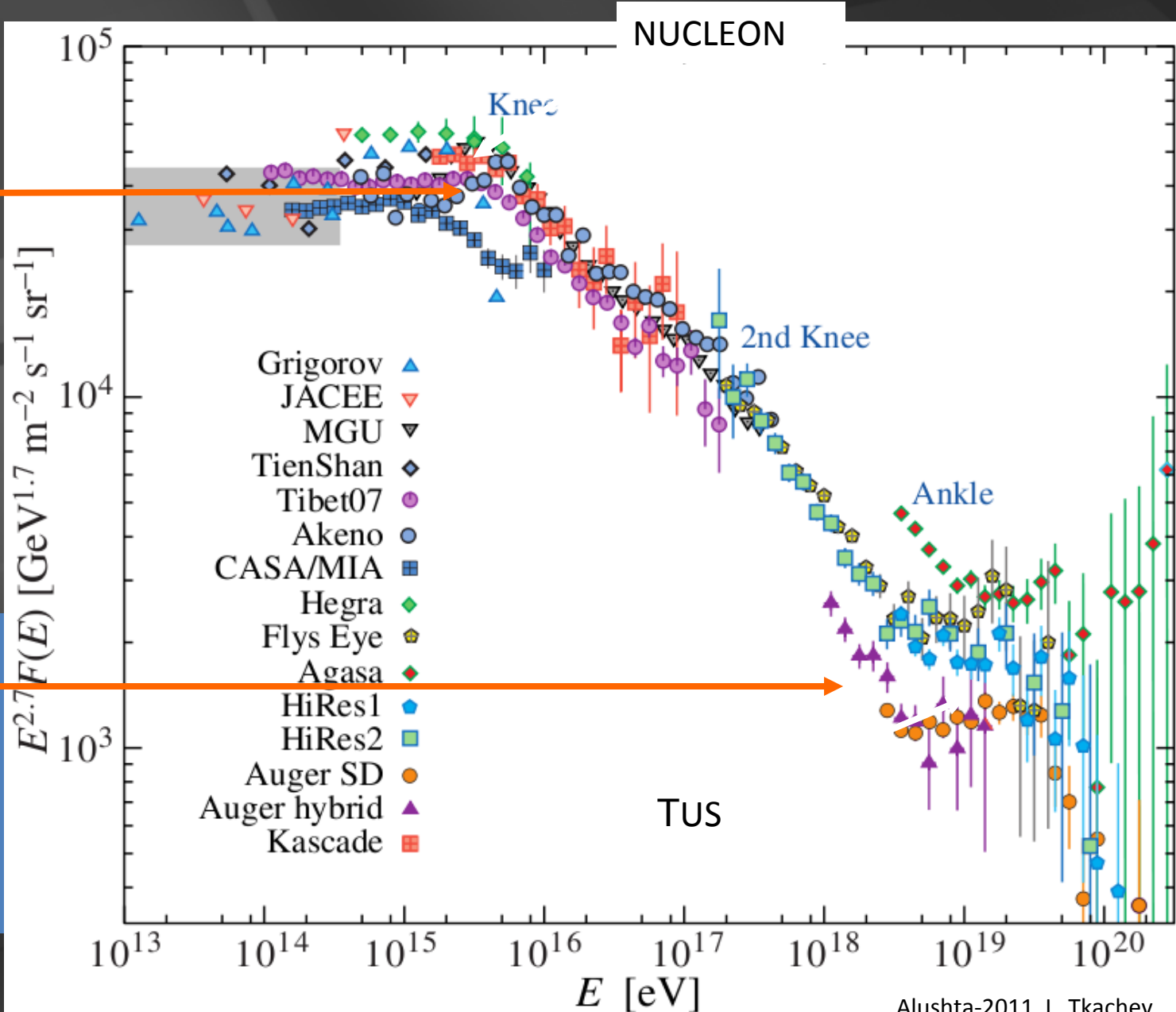




Галактика M81 - одна из самых ярких галактик, которые могут наблюдаться с Земли. Находится она в созвездии Большой Медведицы, на расстоянии 11.6 миллионов световых лет от нас (3.6 мегапарсека). Видимая звёздная величина 6.8m.

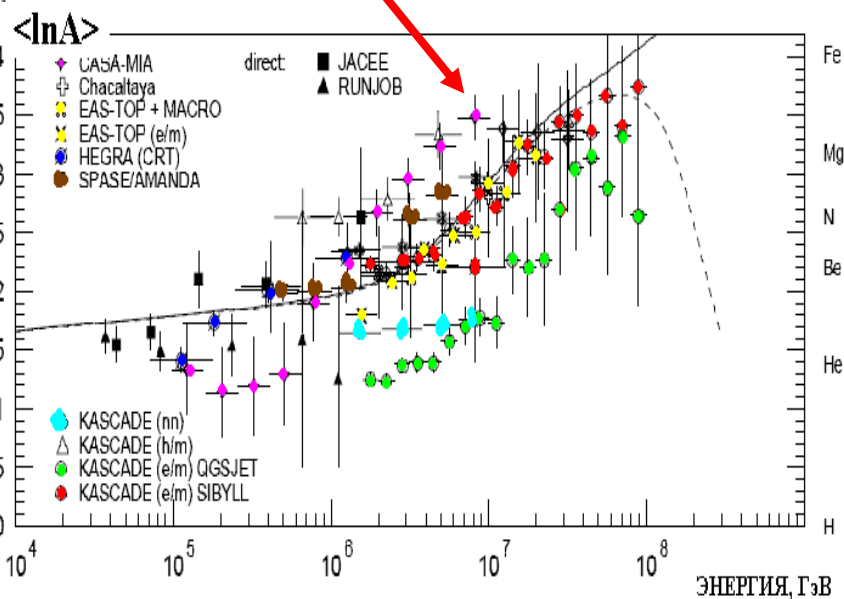
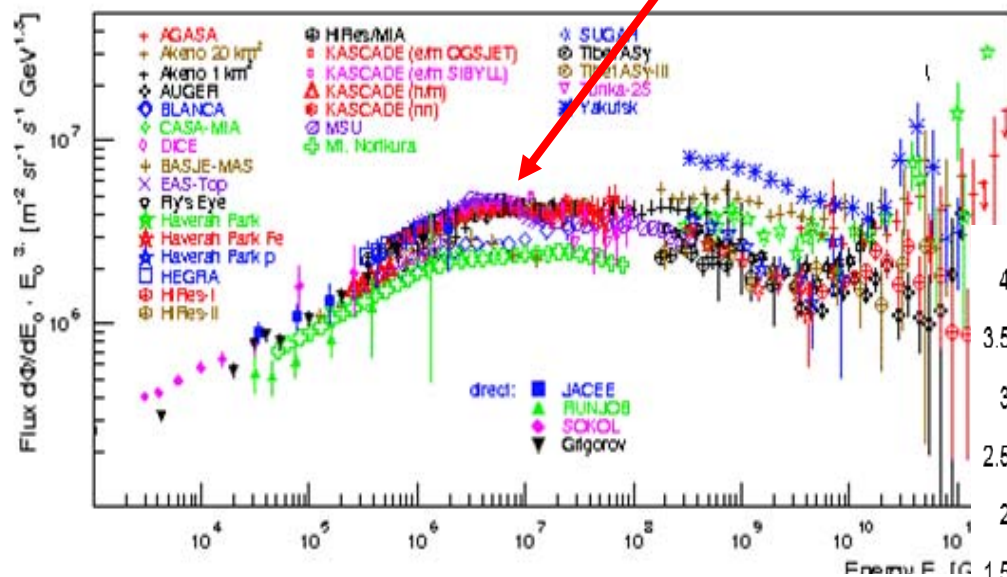
Galactic:
supernova
remnants?

extragalactic:
gamma ray
bursts?



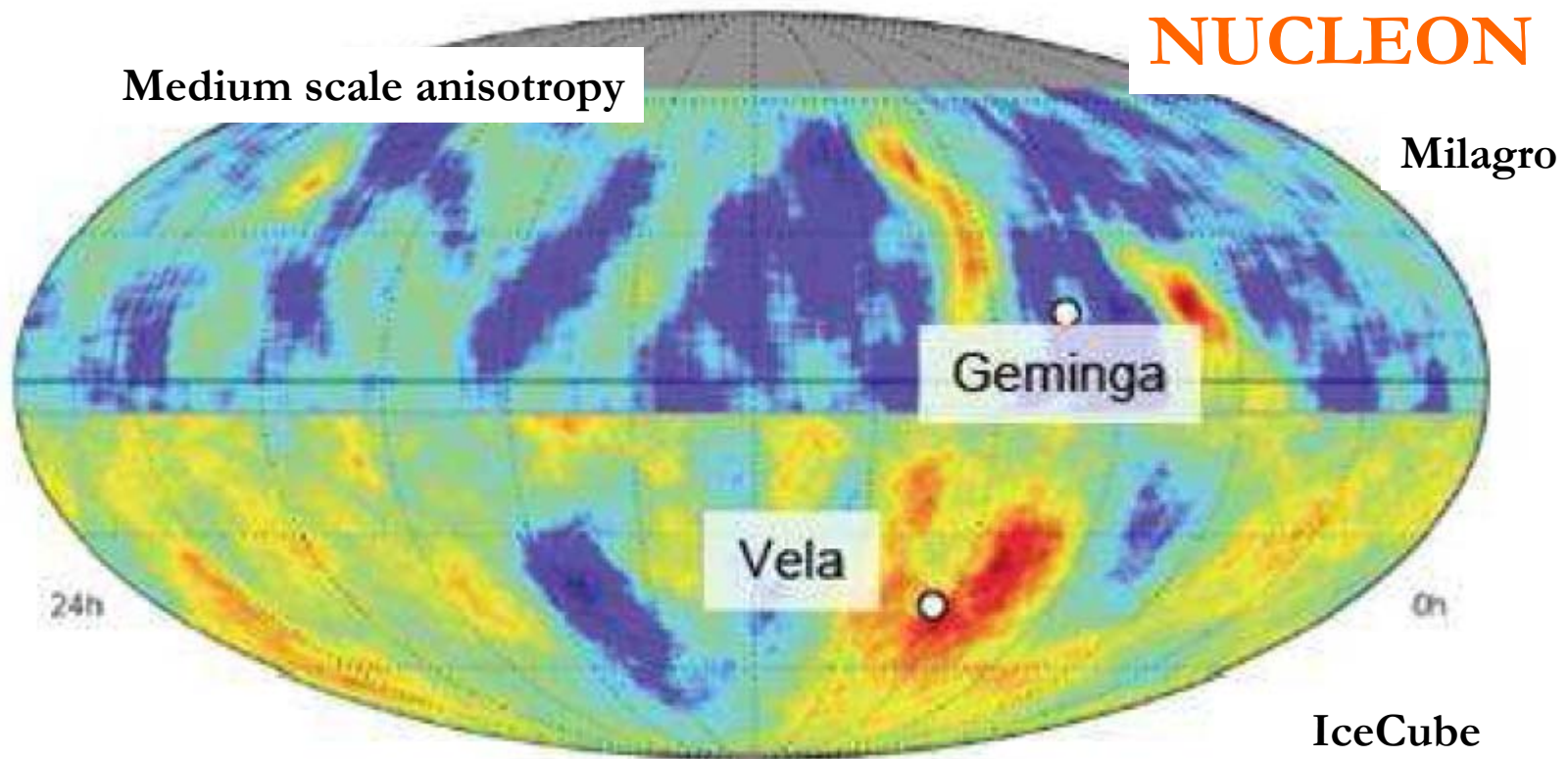
There is a large difference in data for the CR nuclear component flux and composition around of the knee region

Knee



NUCLEON

Medium scale anisotropy

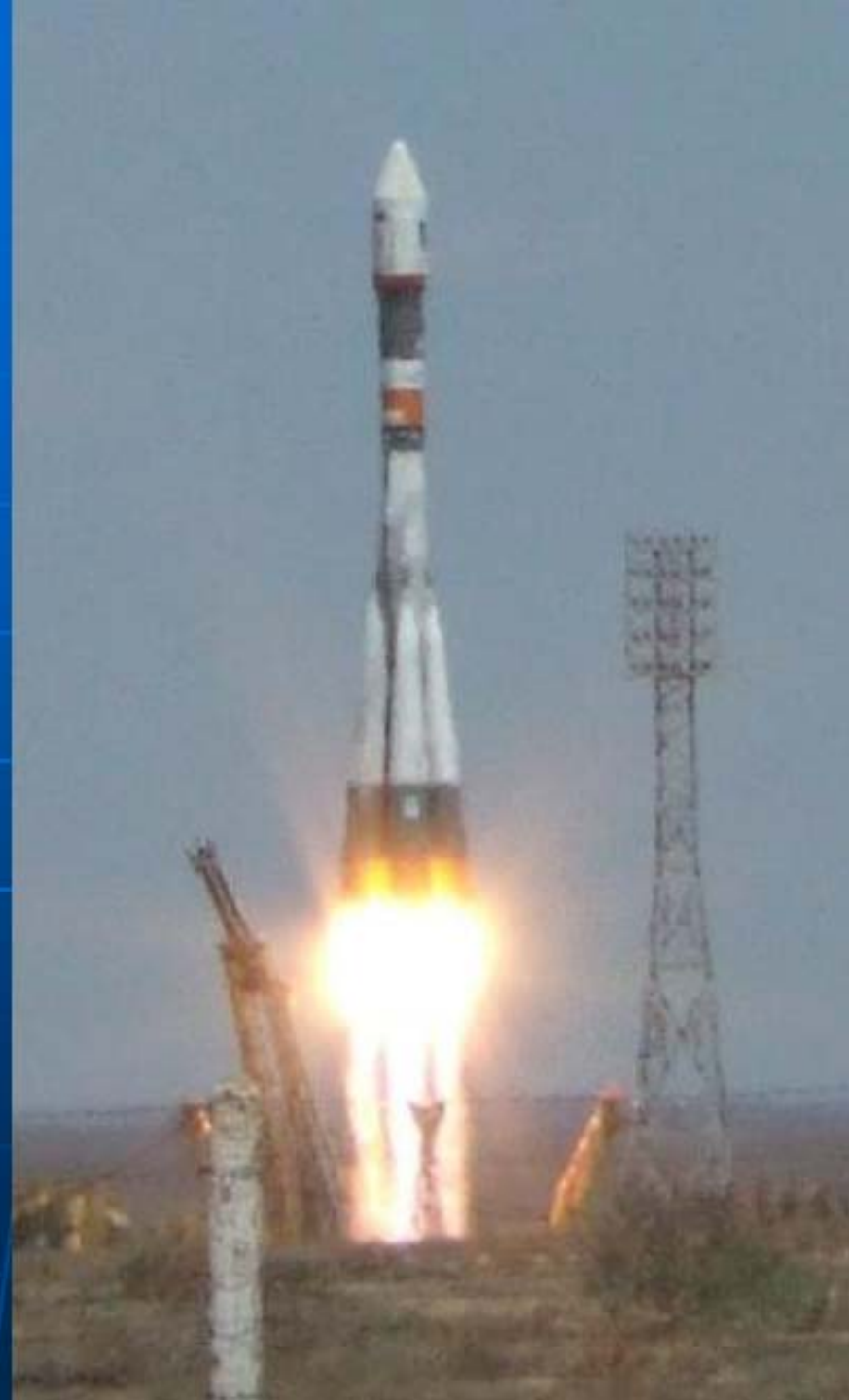


The arrival direction of cosmic-ray muons recorded with 40 IceCube strings (Southern Hemisphere). The variations are of order 10^{-3} on a uniform distribution. The color scale represents the relative intensity. The dots indicate the directions of Vela and Geminga - the brightest gamma-ray sources in the sky. Also shown is the muon data of Milagro obtained by the same method (Northern Hemisphere). Muon energy ≈ 20 TэВ. The anisotropy contradicts to the average value of the galactic magnetic fields about of few μG : charge particle giroradius is ~ 0.1 pc for $E \sim 100$ TeV, distance up to Vela ~ 100 pc that is possible source of GCR. **NUCLEON provides good statistics to study anisotropy.**

PAMELA

Launch
15/06/06

*16 Gigabytes transmitted
daily to Ground
NTsOMZ Moscow*

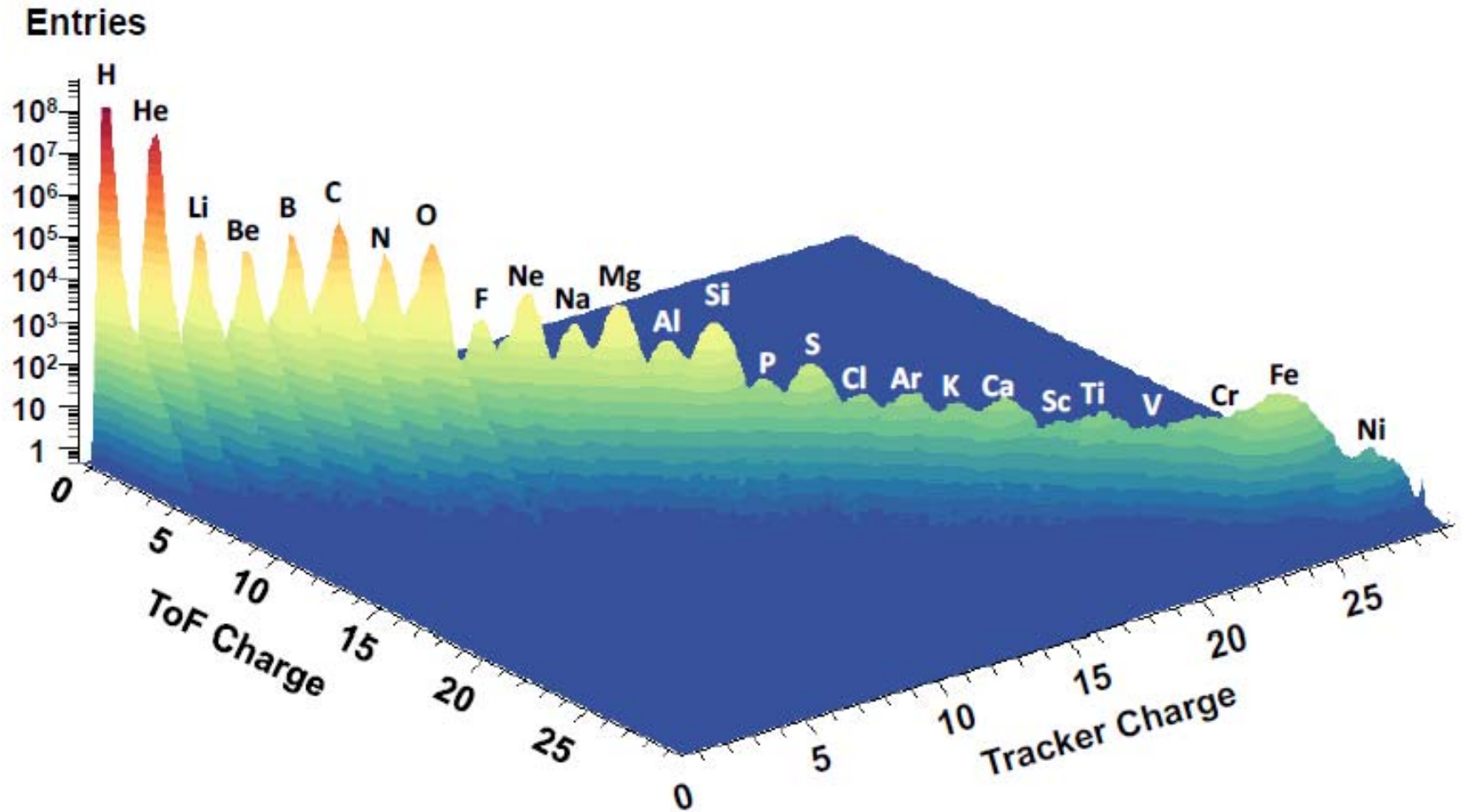


Эксперимент AMS-2



STS-134 launch May 16, 2011 @ 08:56 AM

AMS Nuclei Measurement on ISS





Proton flux

Search for structures

2×10^4

AMS-02 Data ●

Pamela Data ●



PAMELA Measurements of Cosmic-Ray Proton and Helium Spectra
O. Adriani et al.
Science 332, 69 (2011);
DOI: 10.1126/science.1199172

Flux $\times R^{2.7}$ ($\text{m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{s}^{-1} \text{GV}^{1.7}$)

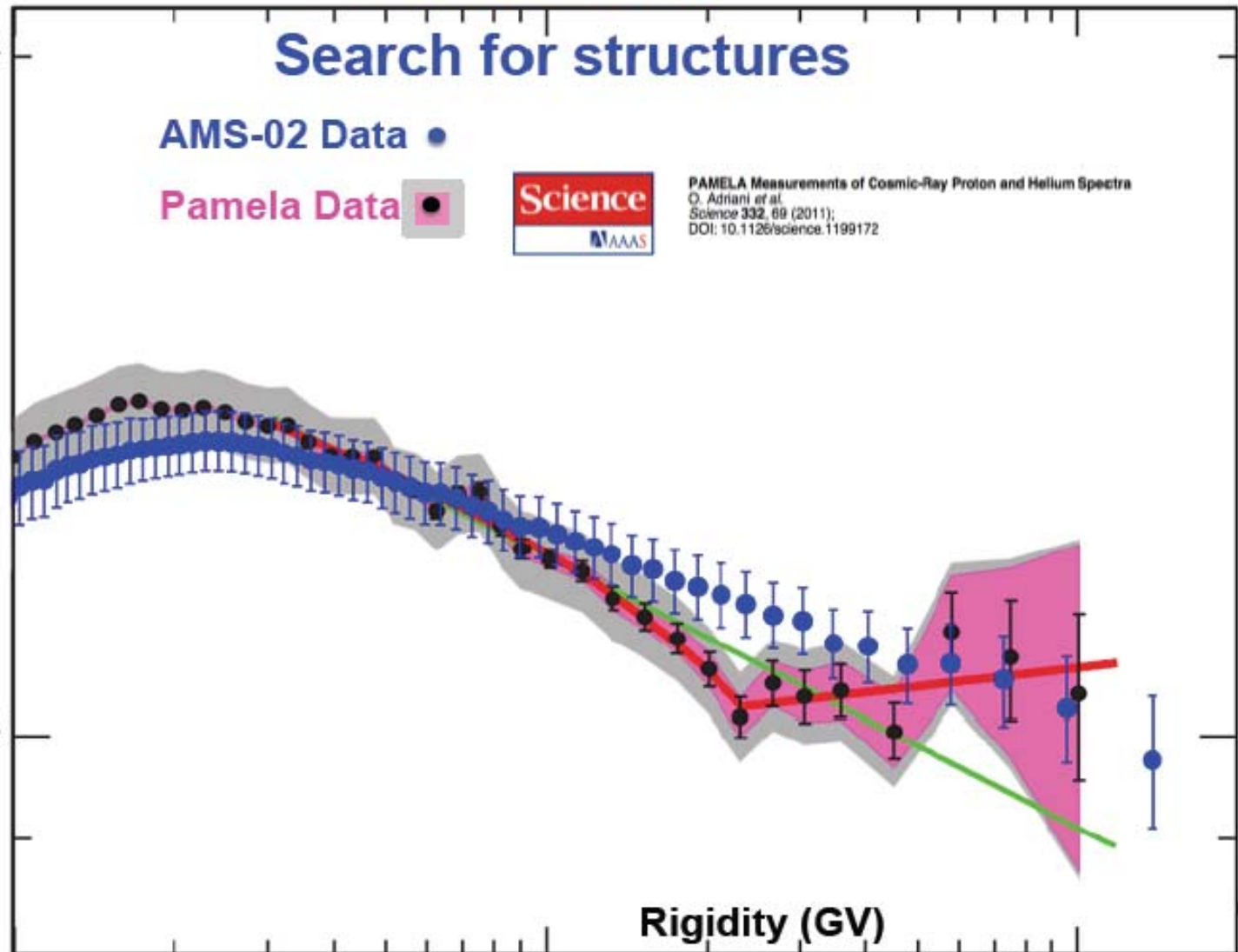
10^4

Rigidity (GV)

10

10^2

10^3



Cosmic Ray Energetics And Mass
CREAM: Results, Implications, and outlook

32nd ICRC, Beijing, China
August 17, 2011.

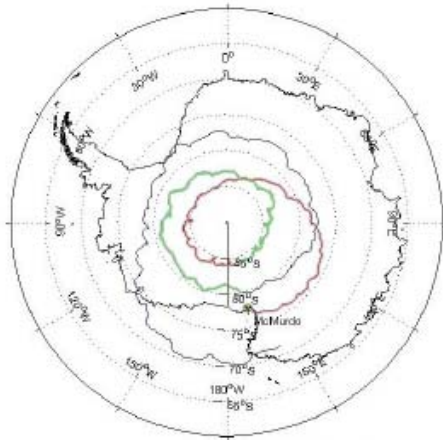


Eun-Suk Seo
IPST and Dept. of Phys., University of Maryland
for the CREAM Collaboration

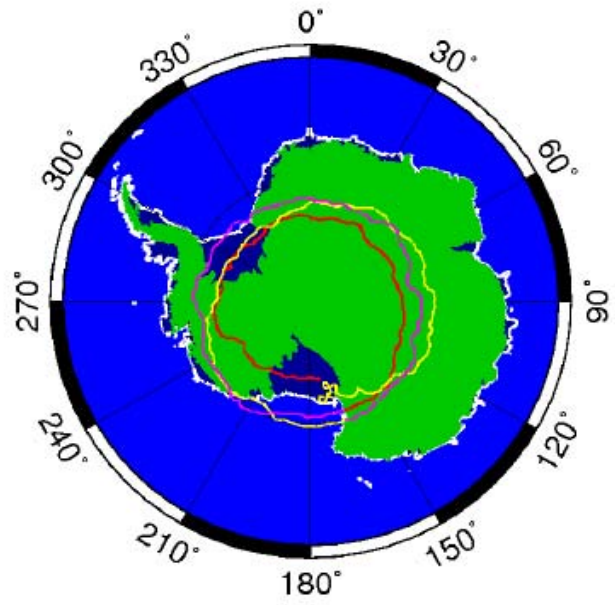


Five successful Flights: ~ 156 days cumulative exposure

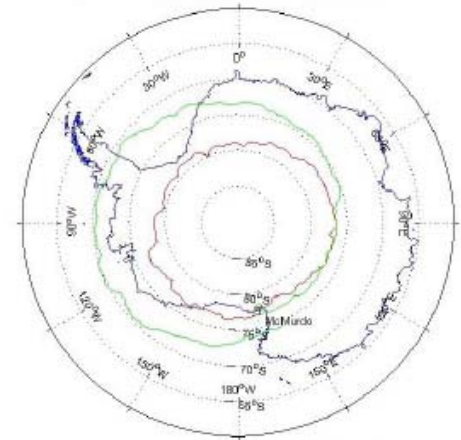
Many thanks to CSBF, WFF, NSF & RPSC for a great campaign!



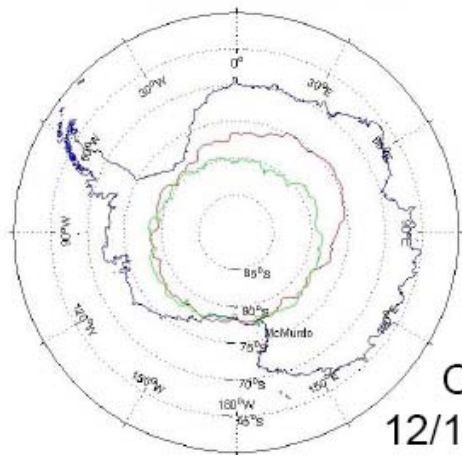
CREAM-I
12/16/04 – 1/27/05
42 days



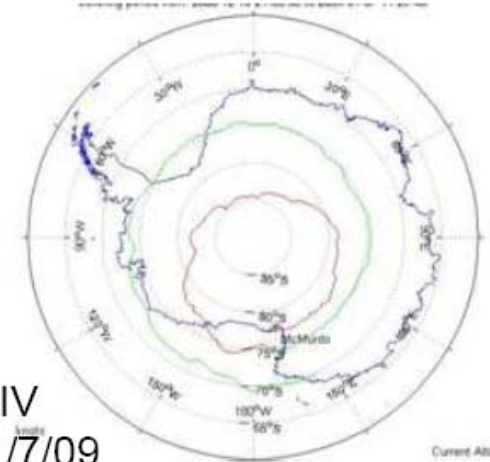
CREAM-V
12/1/09 – 1/8/10
37 days 10 hrs



CREAM-II
12/16/05-1/13/06
28 days



CREAM-III
12/19/07-1/17/08
29 days



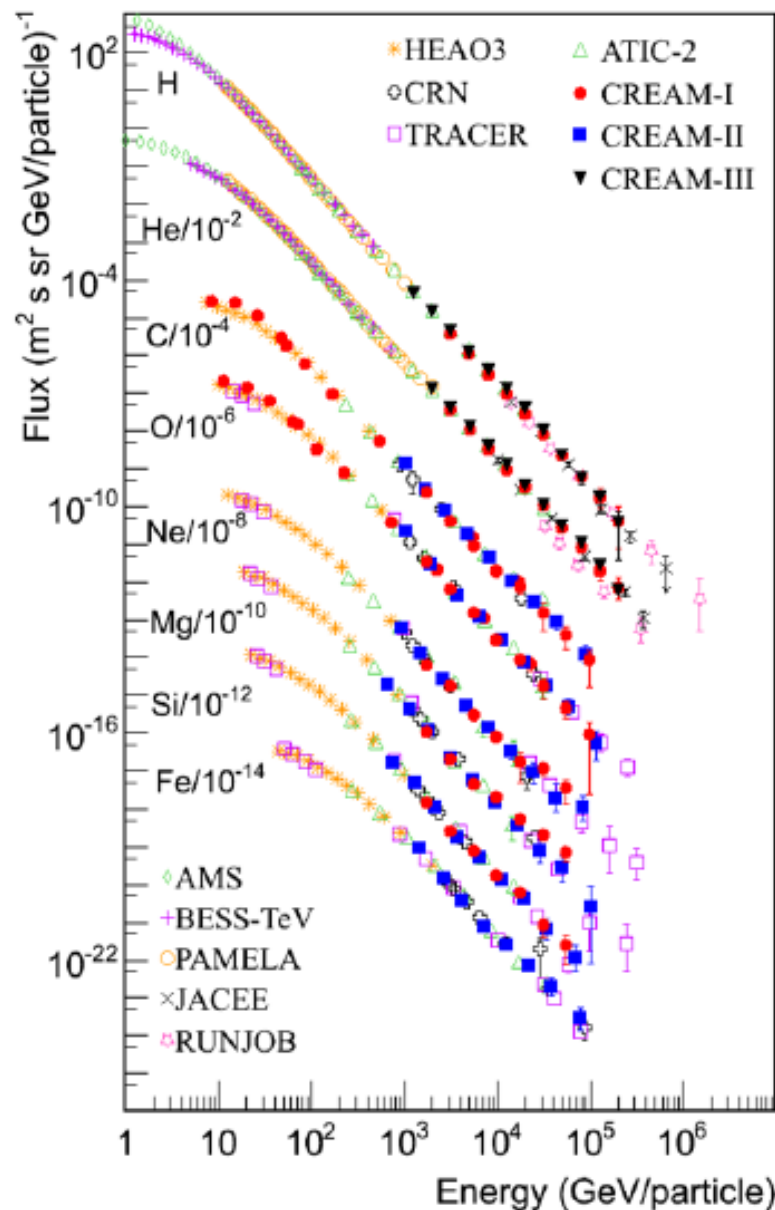
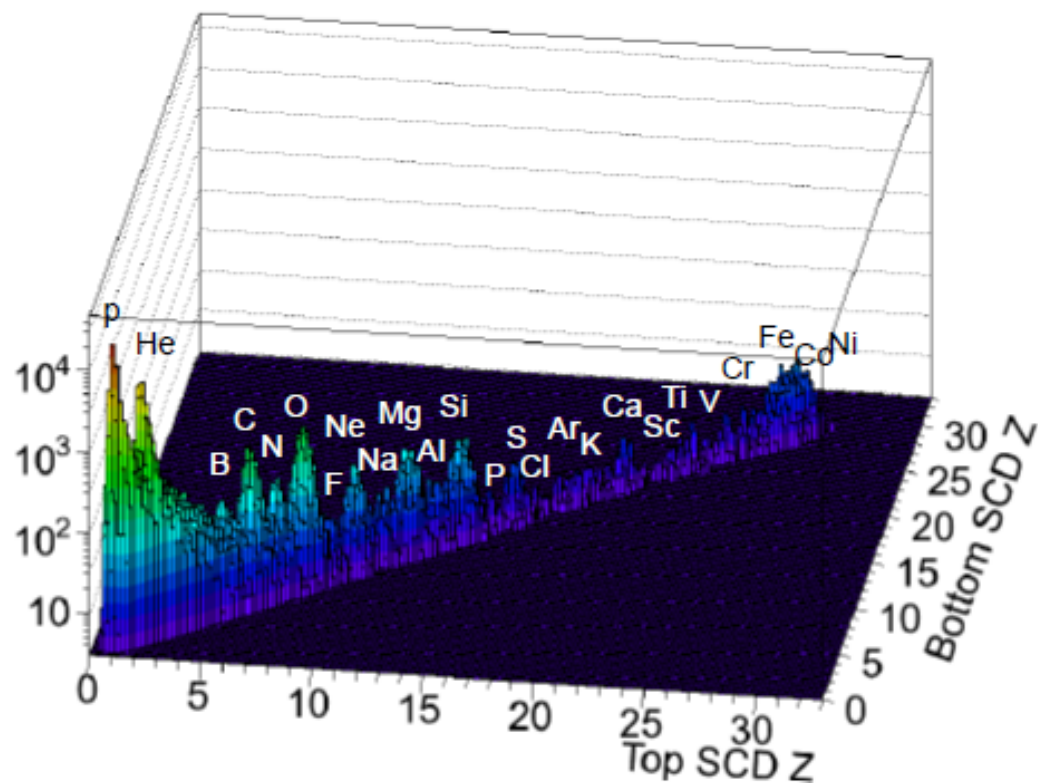
CREAM-IV
12/19/08 – 1/7/09
19 days 13 hrs

CREAM-III with lower energy threshold

Yoon et al. (CREAM collaboration) OG1.1 1109, this conference

Improved charge resolution with dual SCD

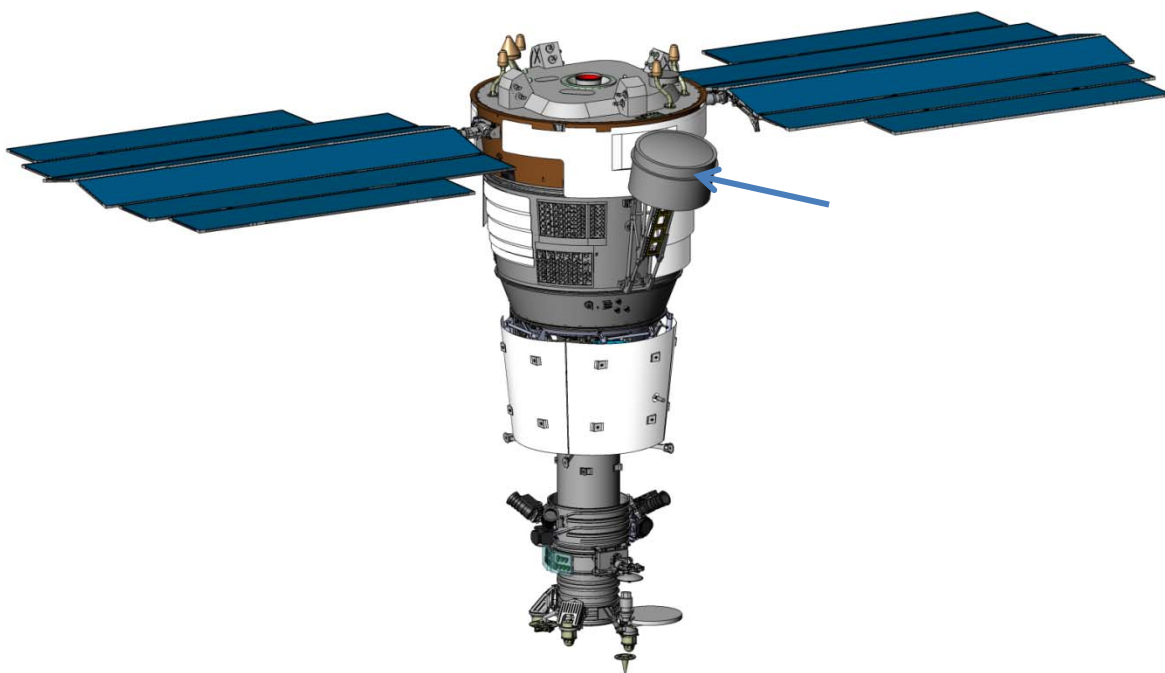
CREAM-III Top and Bottom SCD



Эксперимент НУКЛОН

NUCLEON apparatus consists of

- NUCLEON detector as a monoblock inside of pressure container,
- Special **telemetry** system inside of separate container,
- Antenna-fider system,
- Mechanical support interface of the connection with base satellite system.

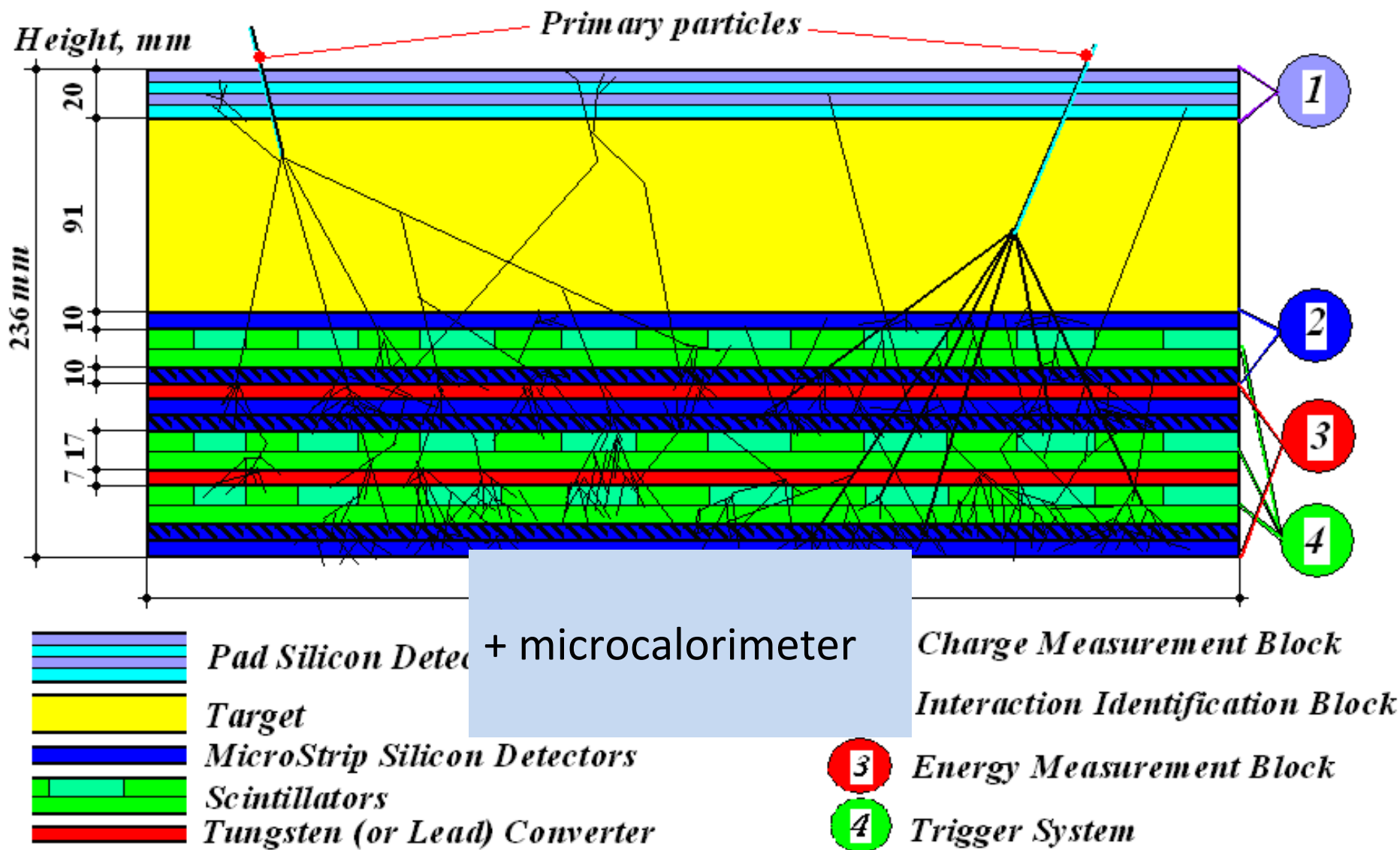


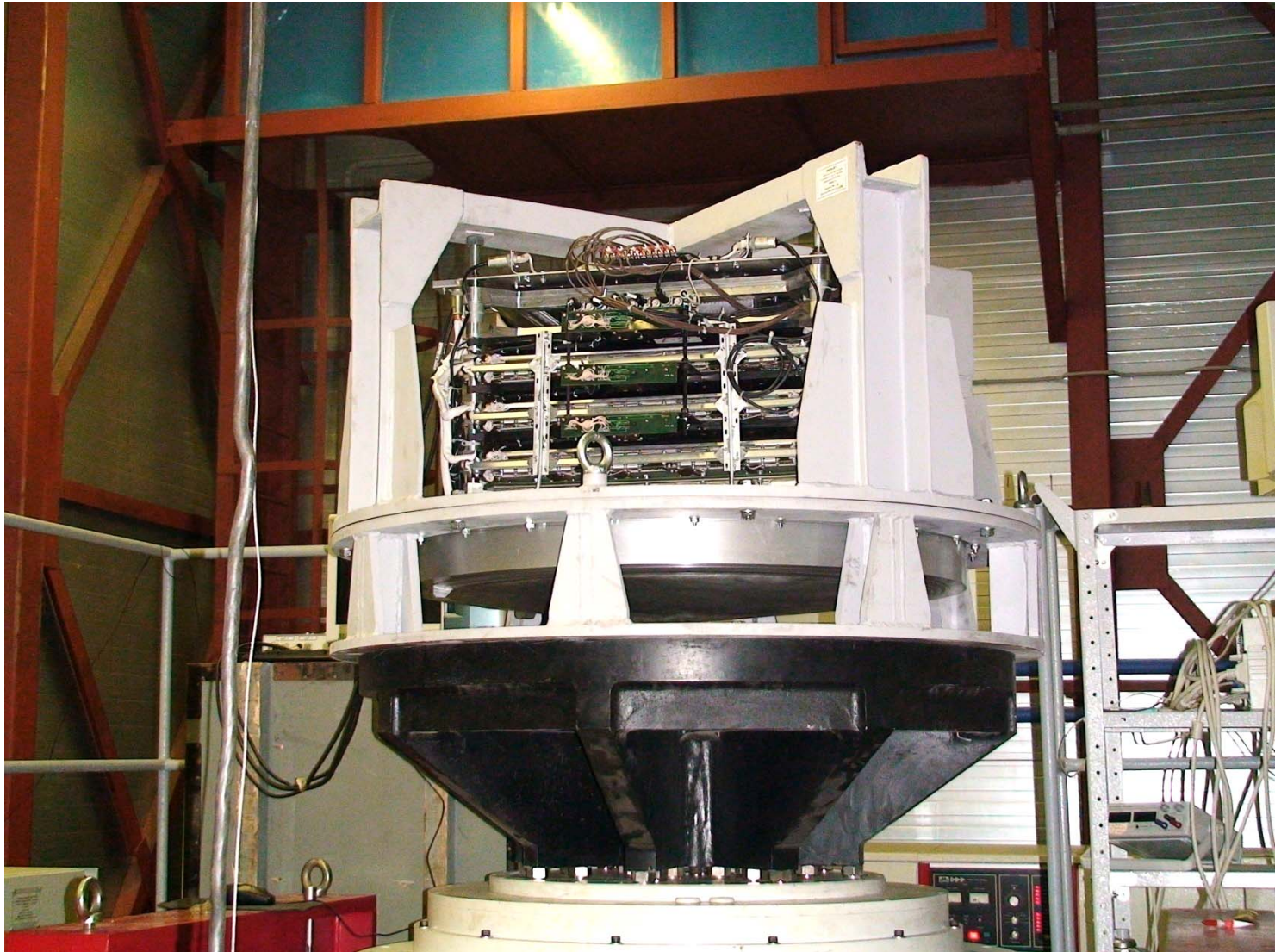
Main NUCLEON parameters:

- Total weight ~ 265 kg (for detector ~ 165 kg);
- Power consumption ~ 150 W (for detectors ~ 120 W);
- Number of chan. 14000
- Telemetry ~ 270 MB/day;
- Data taking period ≥ 5 years.

NUCLEON on the RESURS-П satellite

NUCLEON эксперимент



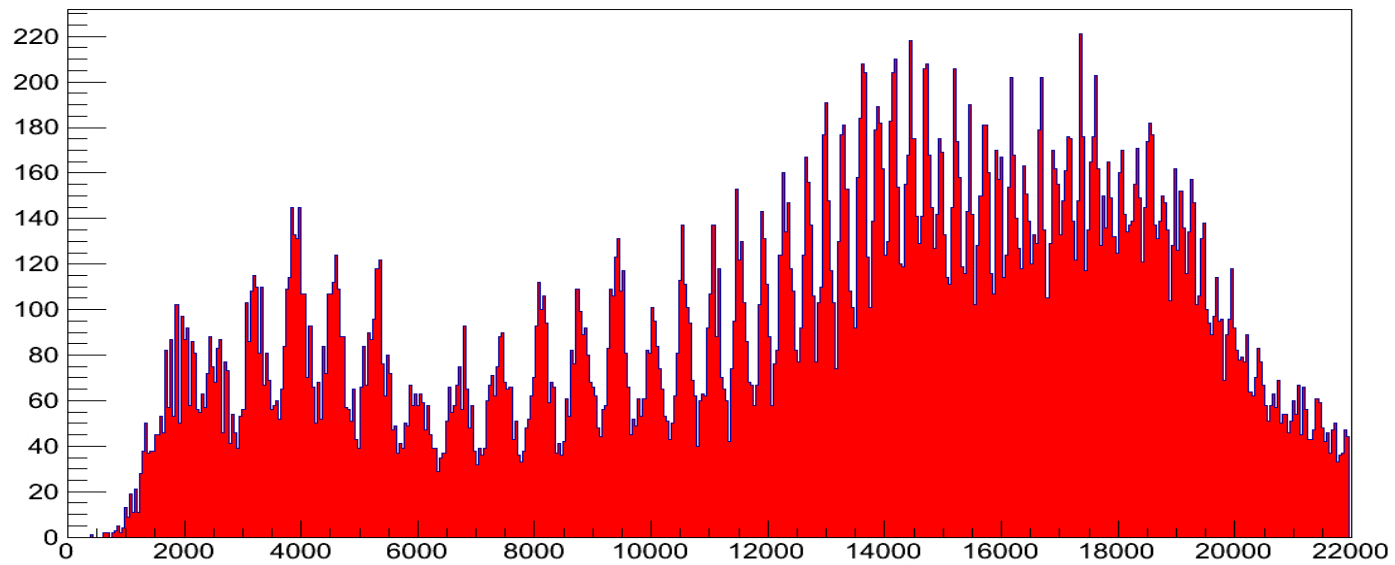
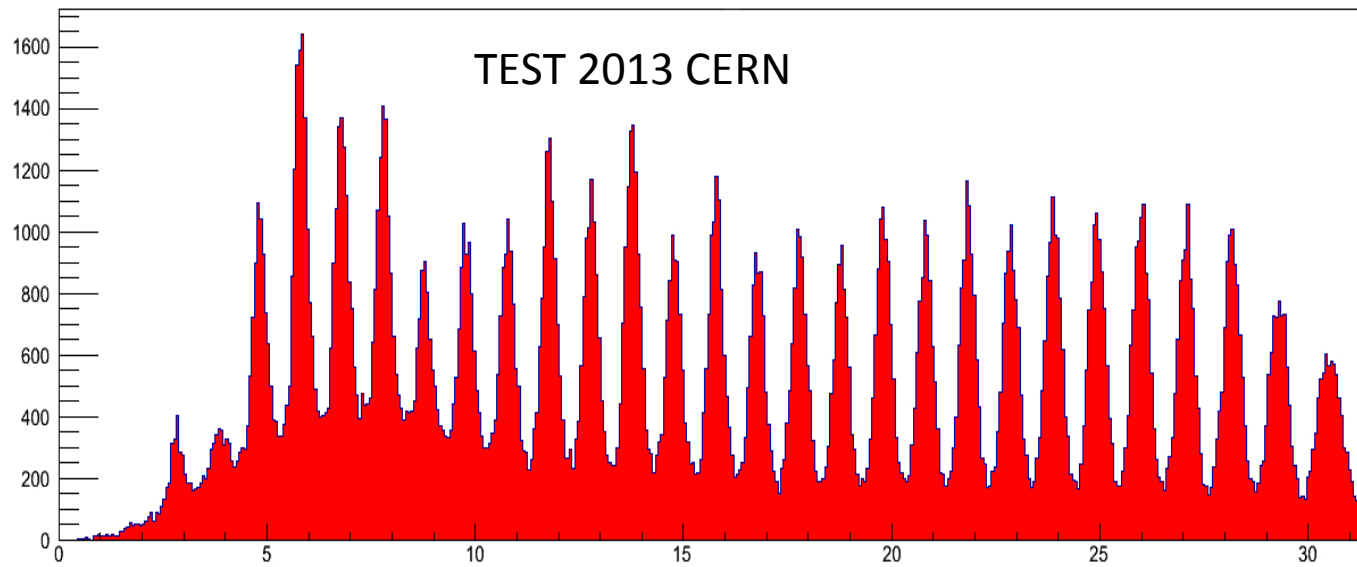


Space qualification tests of the technological NUCLEON prototype at the “ARSENAL” workshop

Beam test at CERN - Nov. 2011



2011 год, на пучке ускорителя в ЦЕРН,





2014 год, Космодром Байконур



2014 год, Космодром Байконур



25 декабря 2014 года, космодром Байконур



26 декабря 2014 года, космодром Байконур



Космодром Байконур 26 декабря 2014 года, запуск спутника в 23 часа 55 минут

КЛ предельно высоких
энергий. Эксперимент ТУС

Космические Лучи Предельно Высоких Энергий

Southern Pierre Auger Observatory

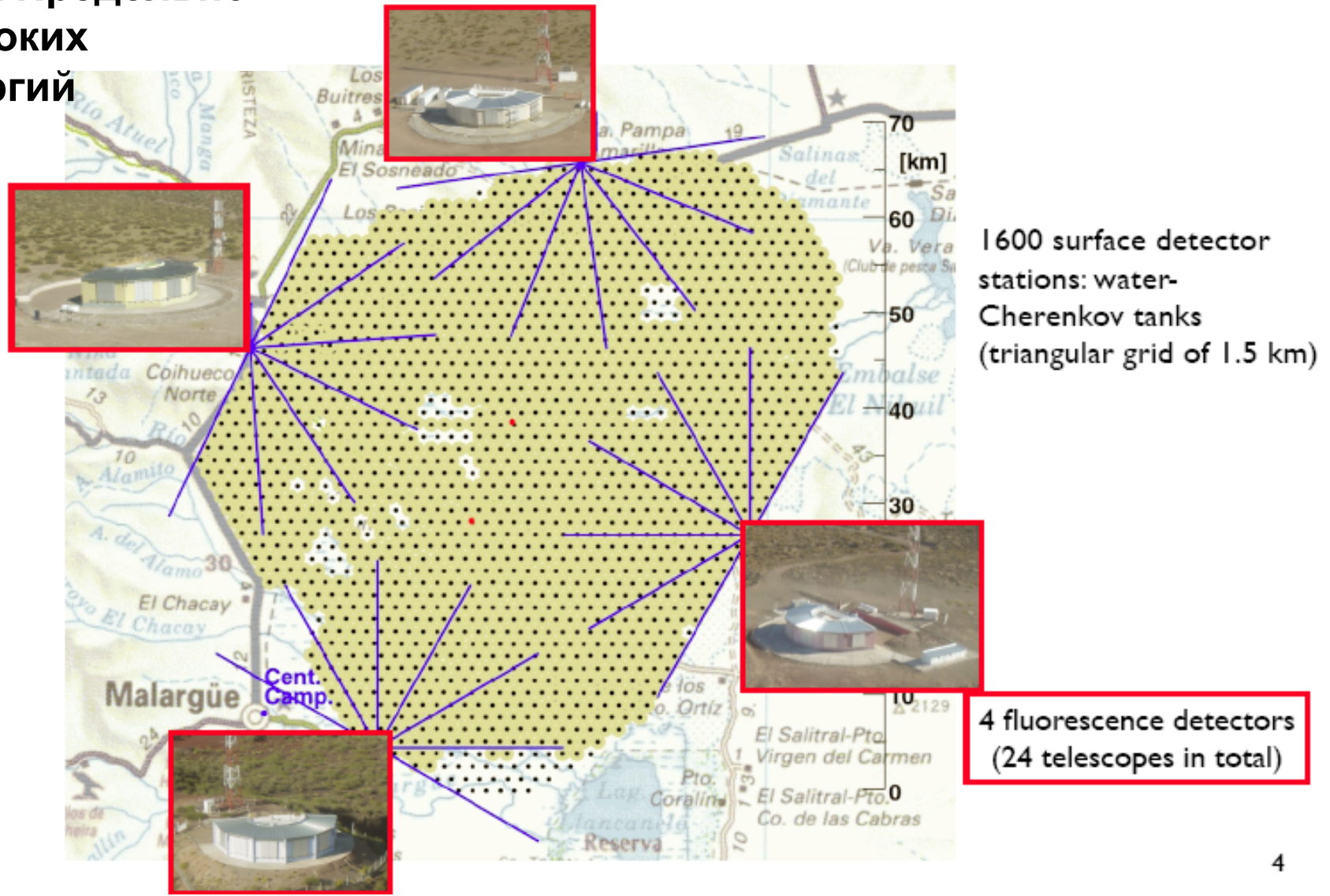
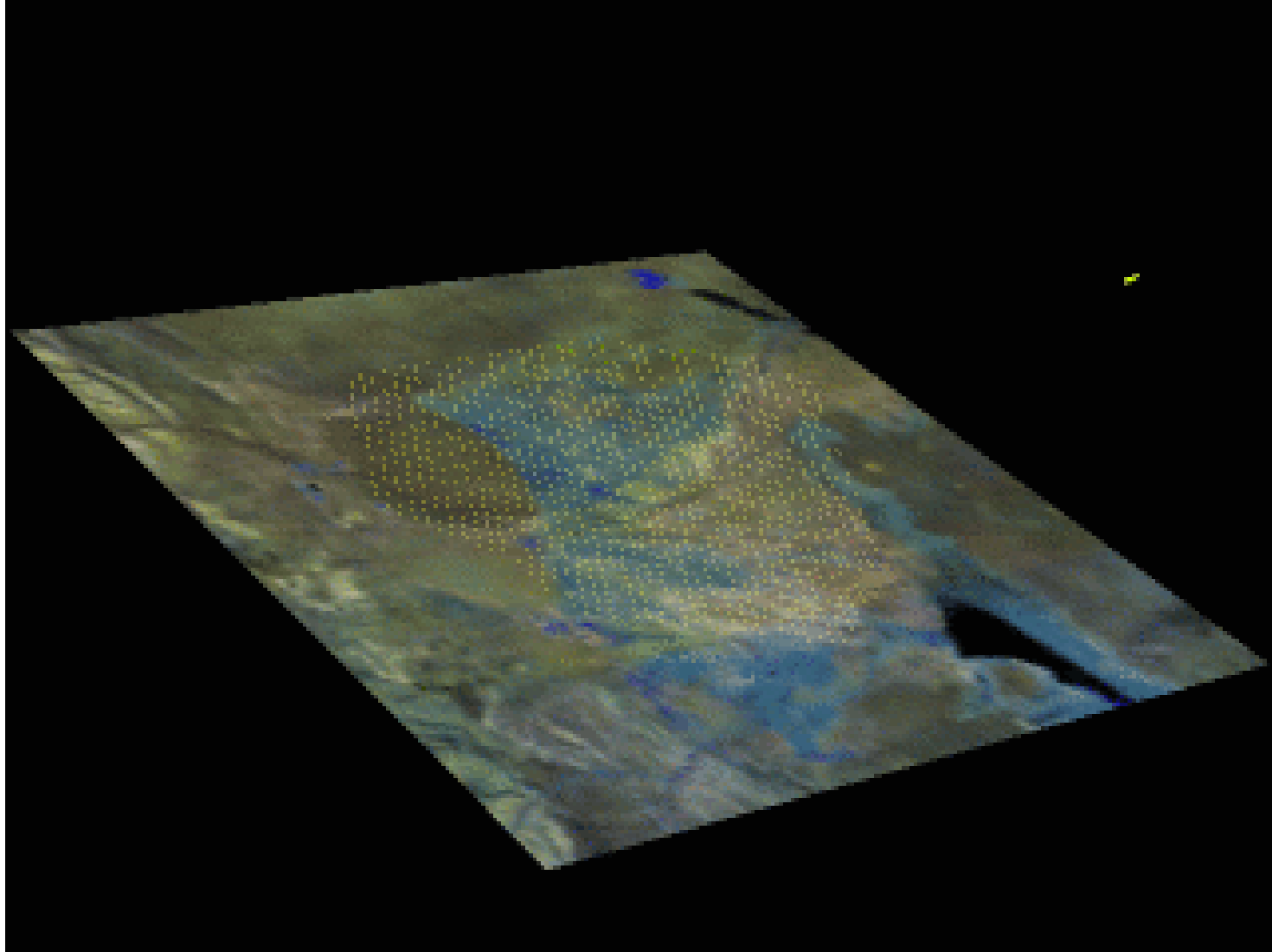


Рис.18. Местоположение и состав Pierre Auger Observatory

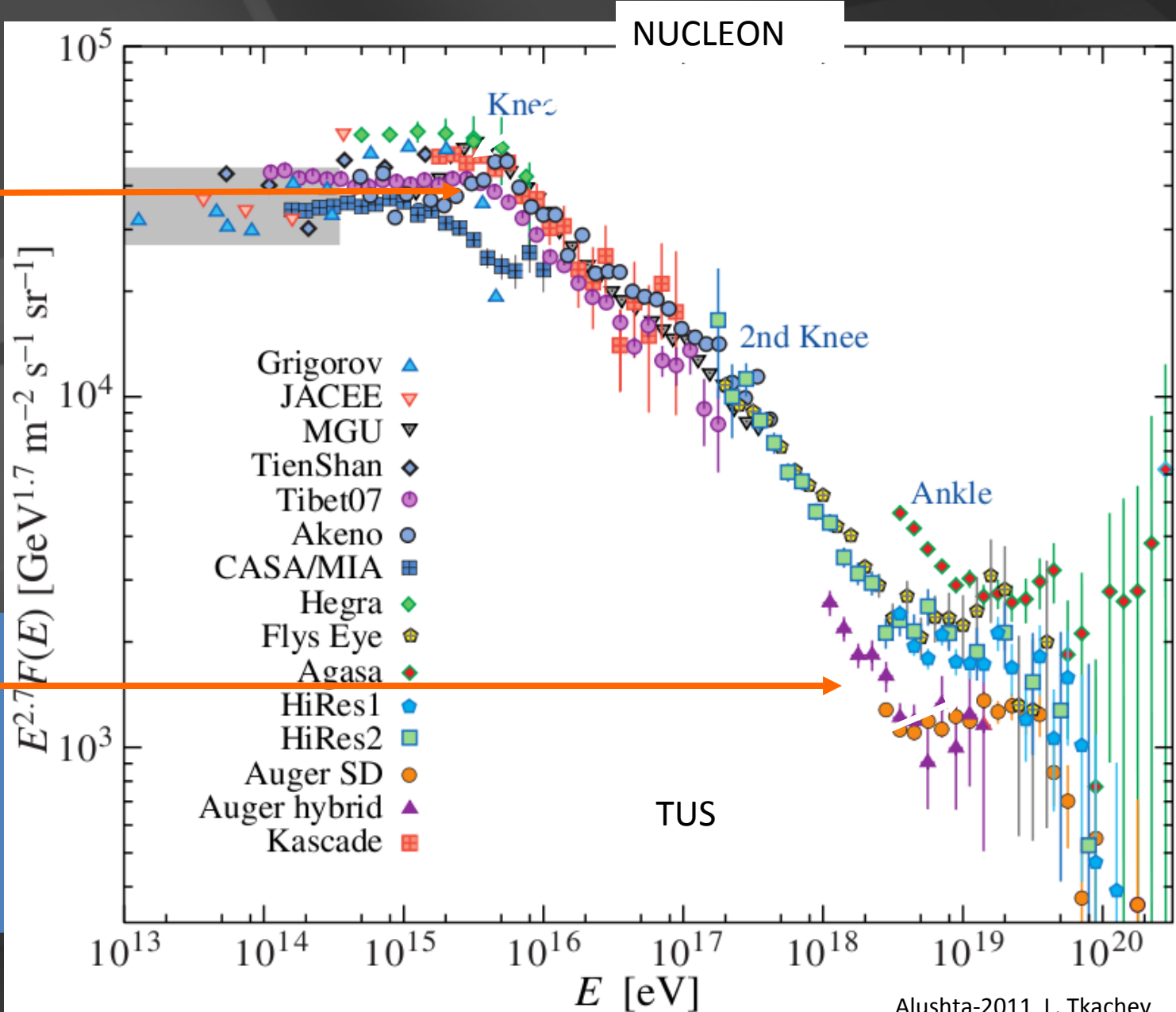


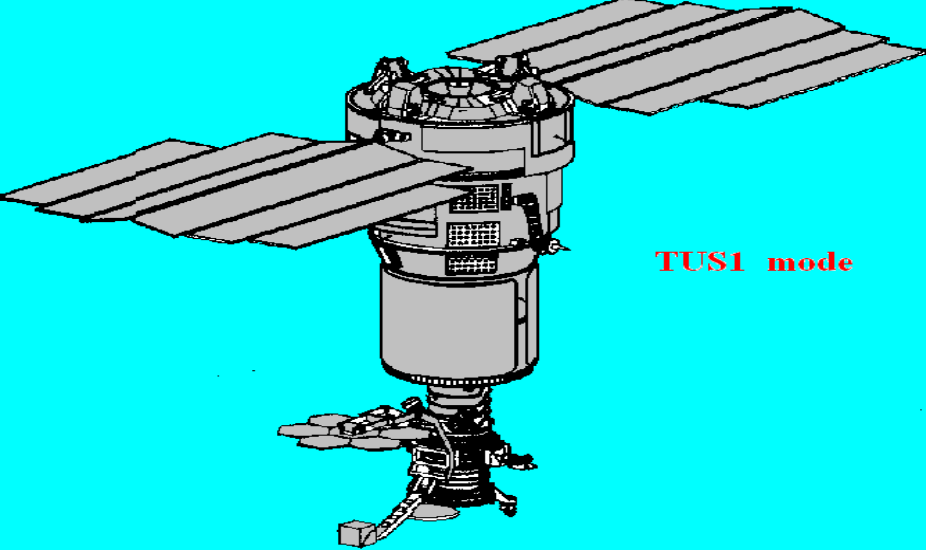
This picture shows an animation of a shower caused by a **proton with an energy of 10^{19} electron volts**. The colors represent different kinds of particles (photons, electrons, muons) contained in the shower

CR spectrum at $E = 10^{13} - 10^{20}$ eV

Galactic:
supernova
remnants?

extragalactic:
gamma ray
bursts?





TUS1 mode

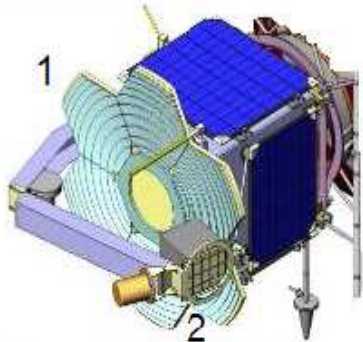
ТУС на спутнике РЕСУРС ДК-1
2002 – 2007



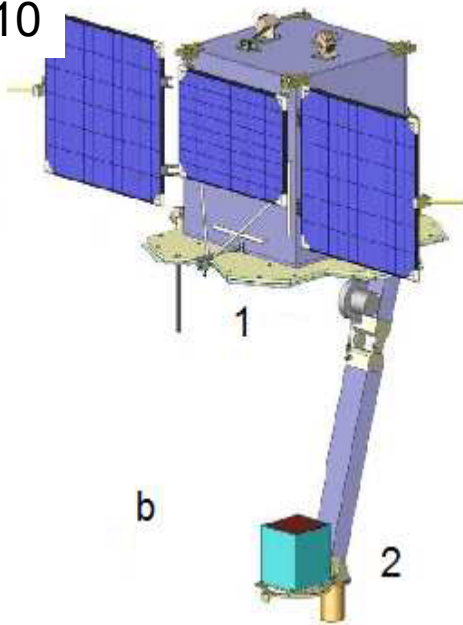
Спутник Фотон
2008 -2009

The TUS is the main detector at
“Mikhail Lomonosov” satellite 2011-2014

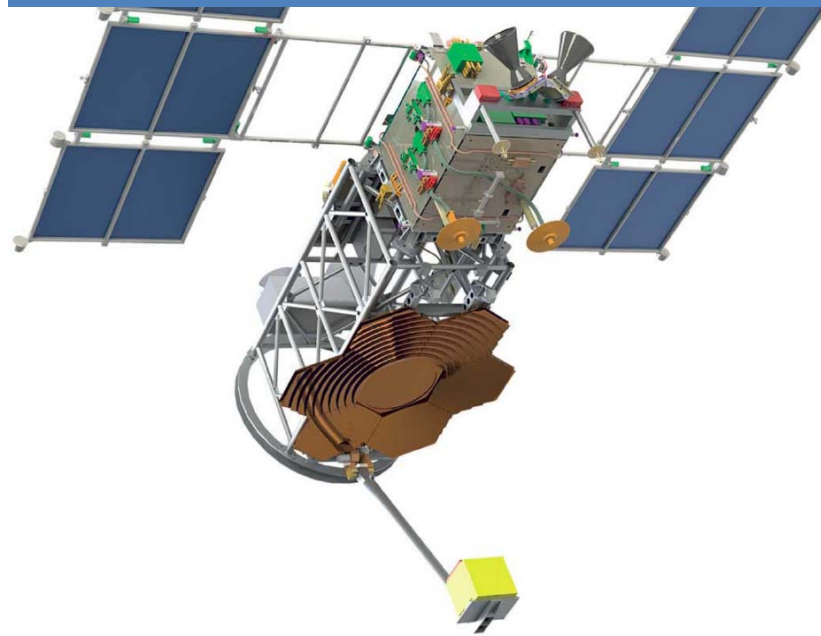
Спутник Бион 2010



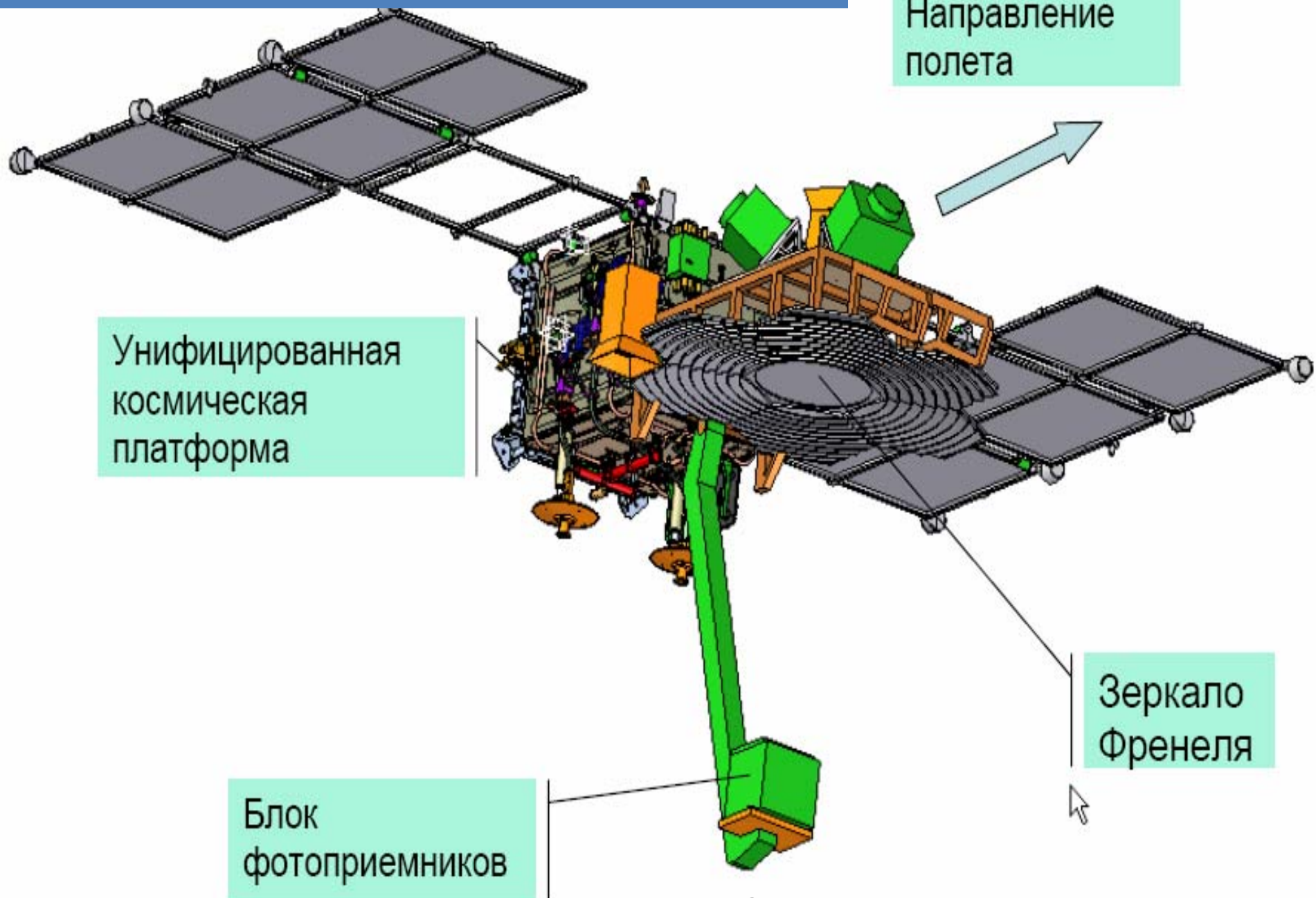
a



b



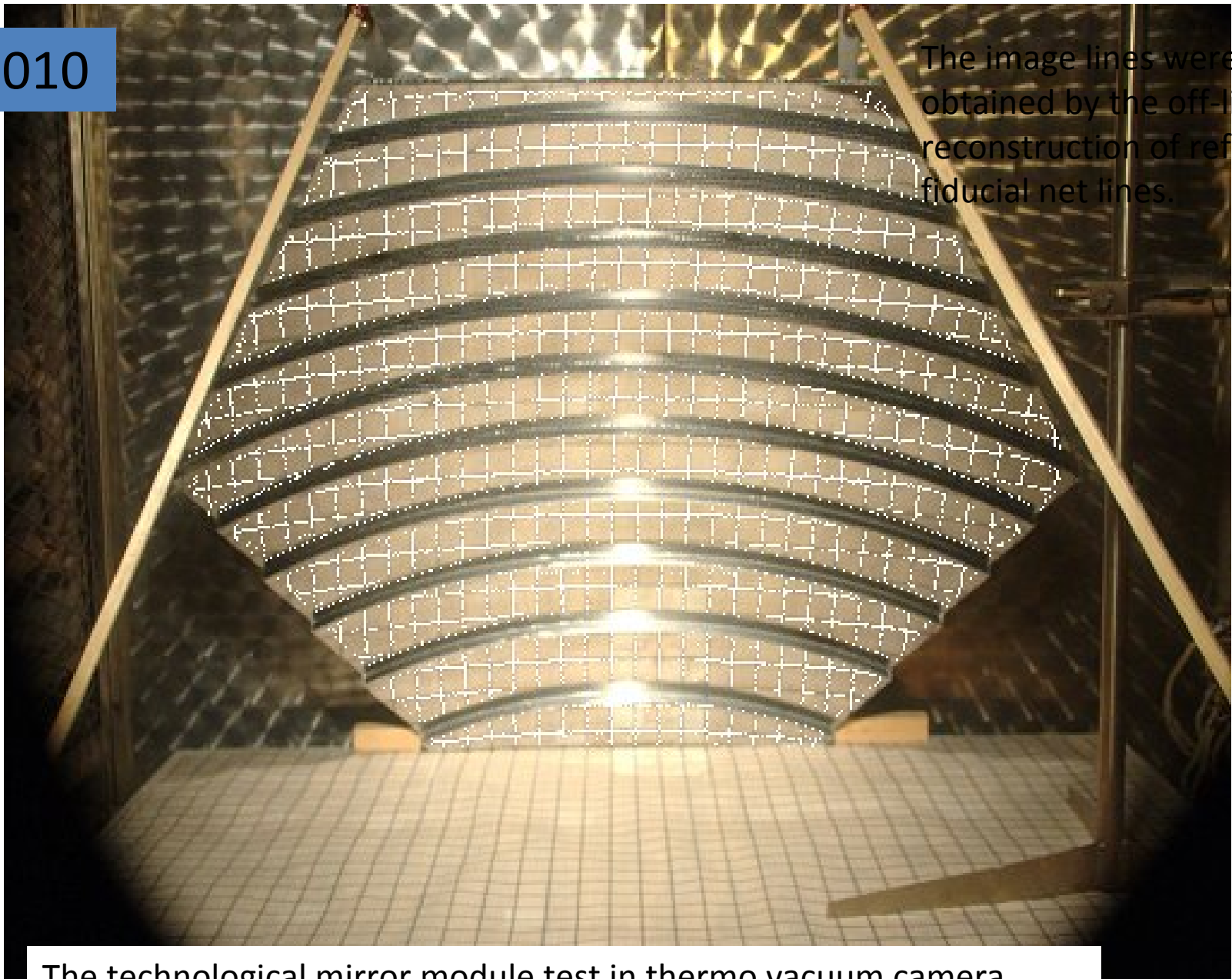
Общий вид КА МВЛ-300 (ТУС) в полетной конфигурации



Спутник Михаил Ломоносов 2011 год

2010

The image lines were obtained by the off-line reconstruction of reflected fiducial net lines.



The technological mirror module test in thermo vacuum camera at temperature $\pm 80^{\circ}\text{C}$ and pressure 0.02 – 1.0 a tm



Измерение оптических параметров зеркала ТУС

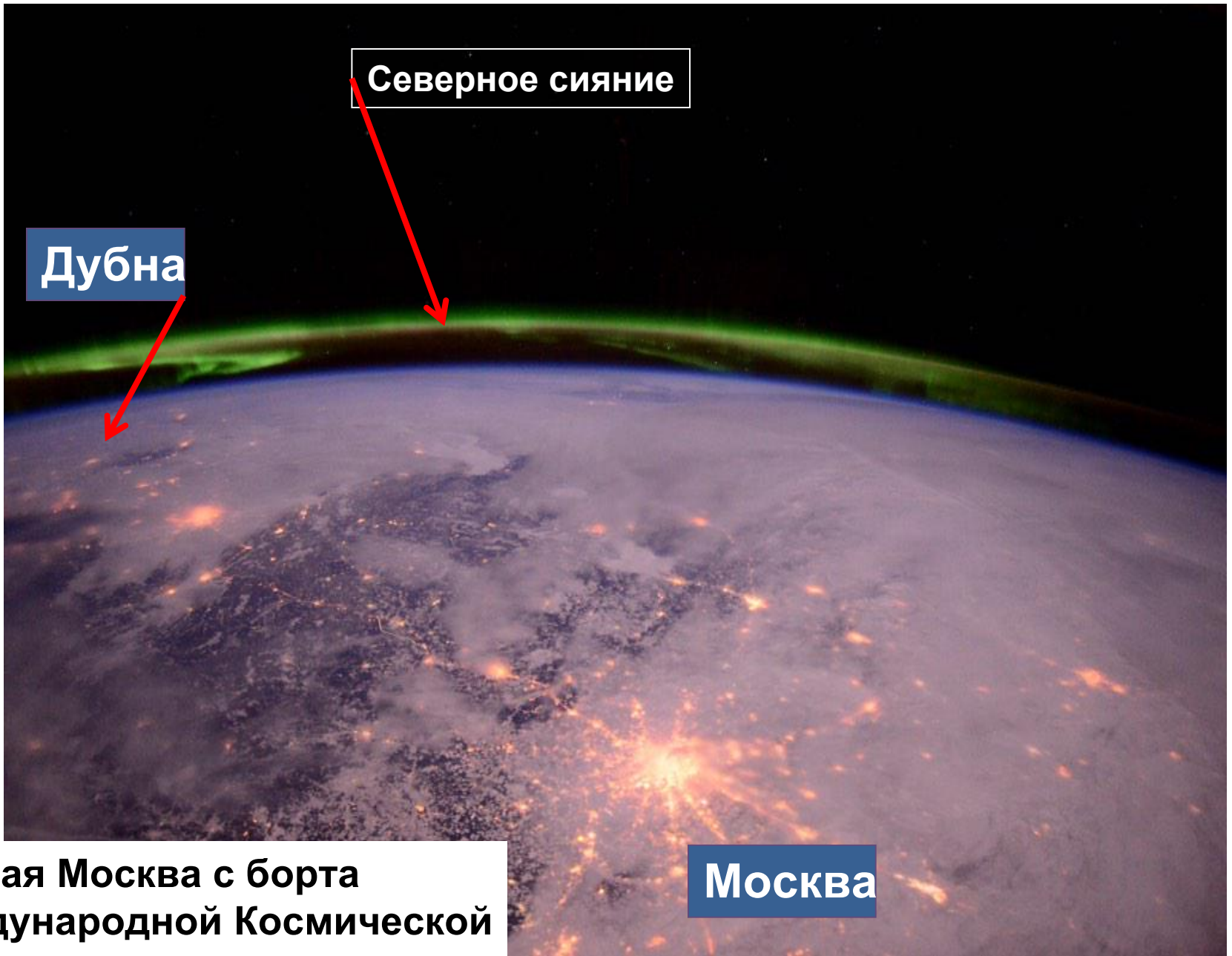
2010



Space qualification tests of the technological Fresnel mirror



Detector TUS at "Mikhail Lomonosov" satellite during tests at 2013



Северное сияние

Дубна

Москва

Ночная Москва с борта
Международной Космической
Станции

гамма-астрономия

Observatories



Fermi LAT



MAGIC



Whipple



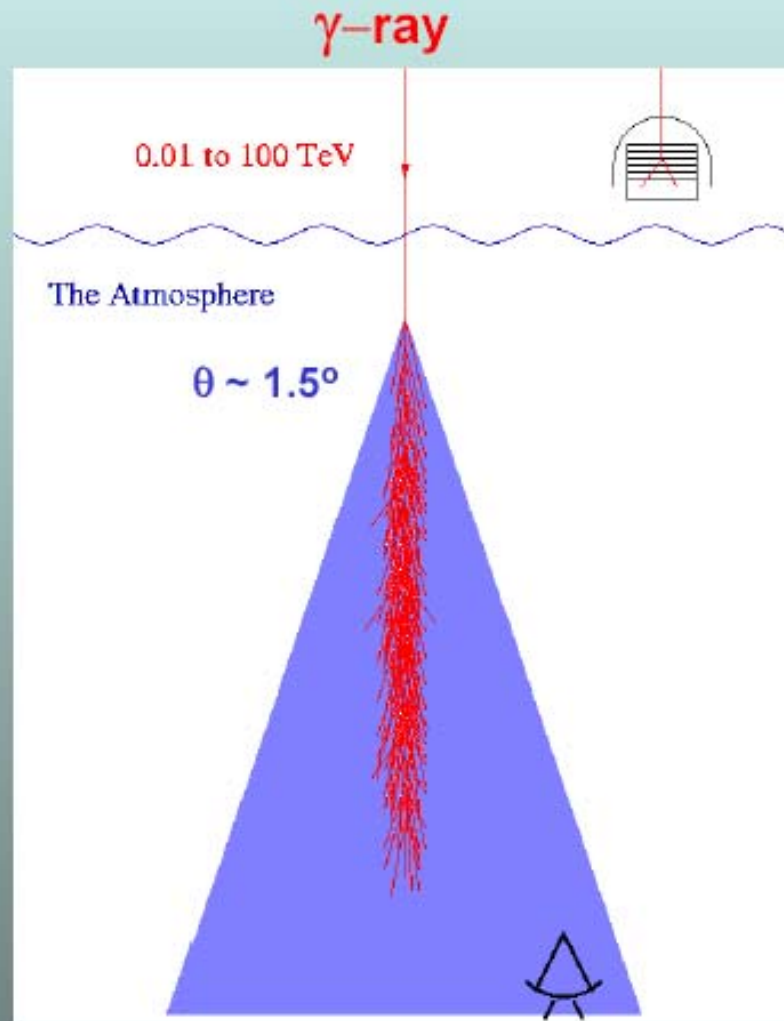
VERITAS



H.E.S.S.



Cherenkov Telescopes

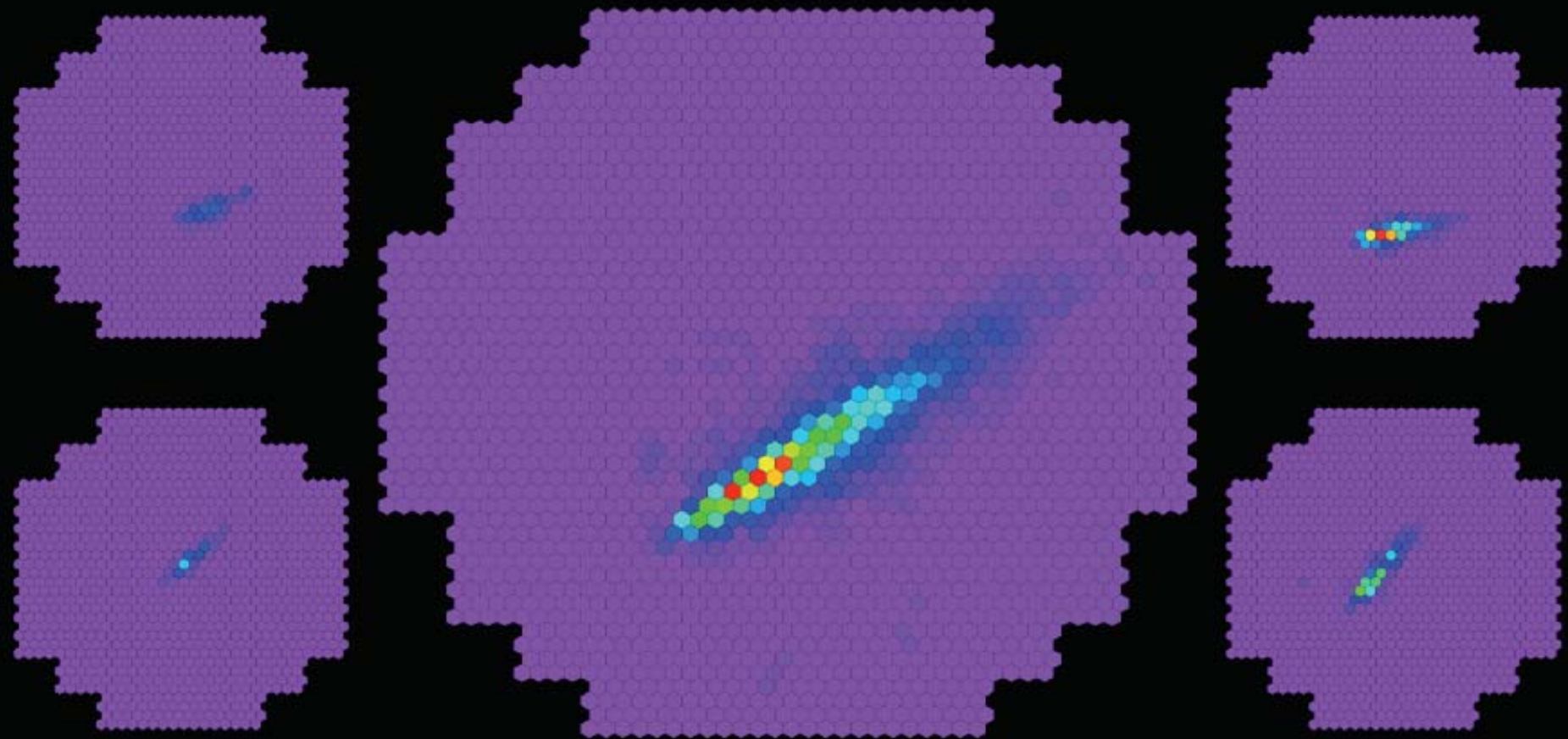


H.E.S.S.

- > Four 12m telescopes (H.E.S.S. I) + one 28 m (H.E.S.S. II) in Namibia
- > HESS II
 - first light a few weeks ago
 - significant lower energy threshold

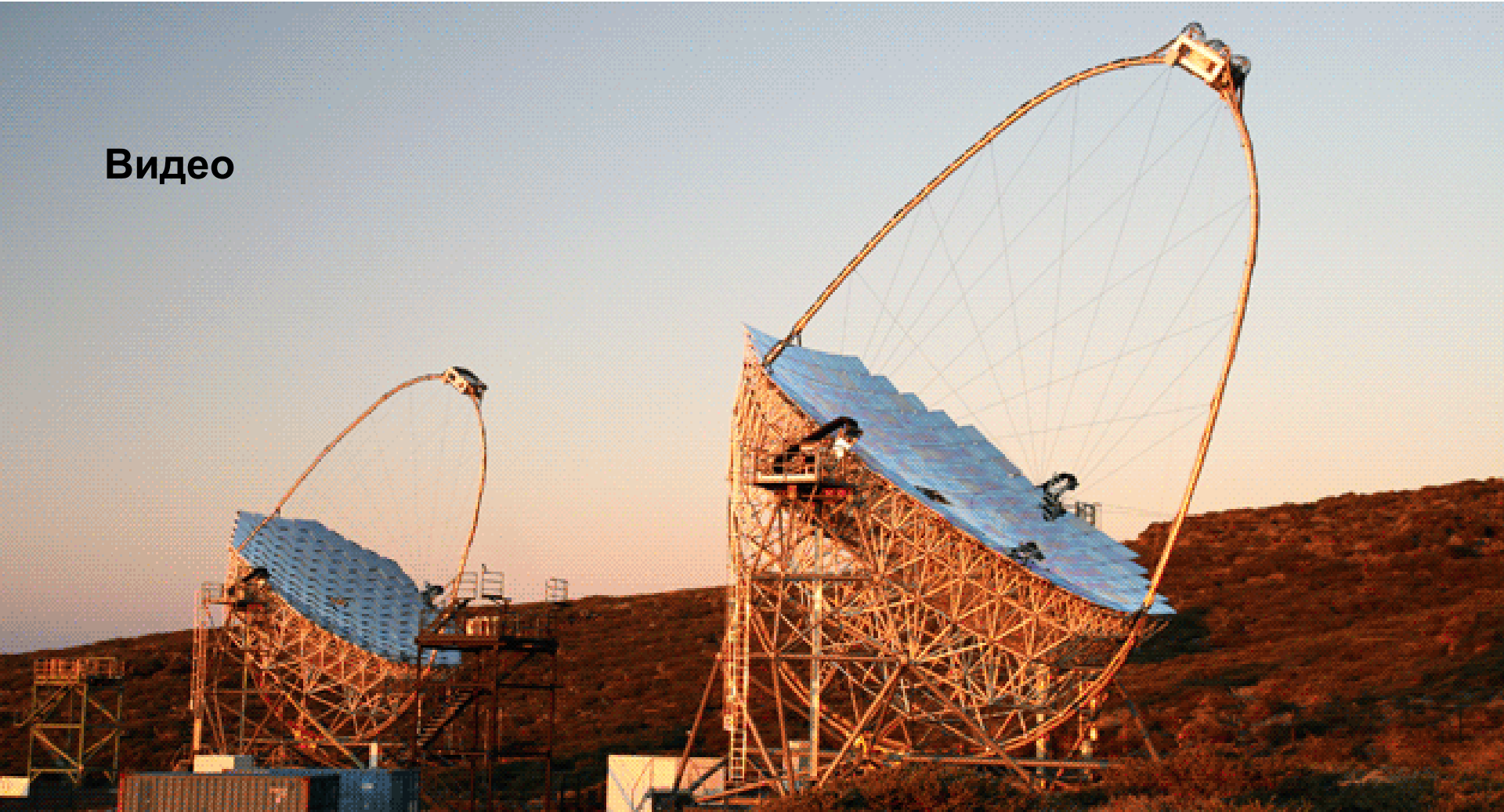


H.E.S.S. II



MAGIC – Канарские острова

Видео



La Palma $\sim 28^\circ$ N, $\sim 18^\circ$ W, 2200 m a.s.l.

место ускорения КЛ гамма-телескоп H.E.S.S
остаток Сверхновой J1713.7—3946

Dec.

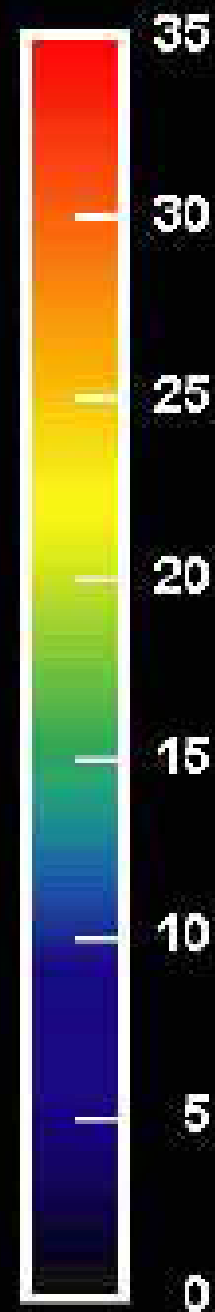
39°30'

40°0'

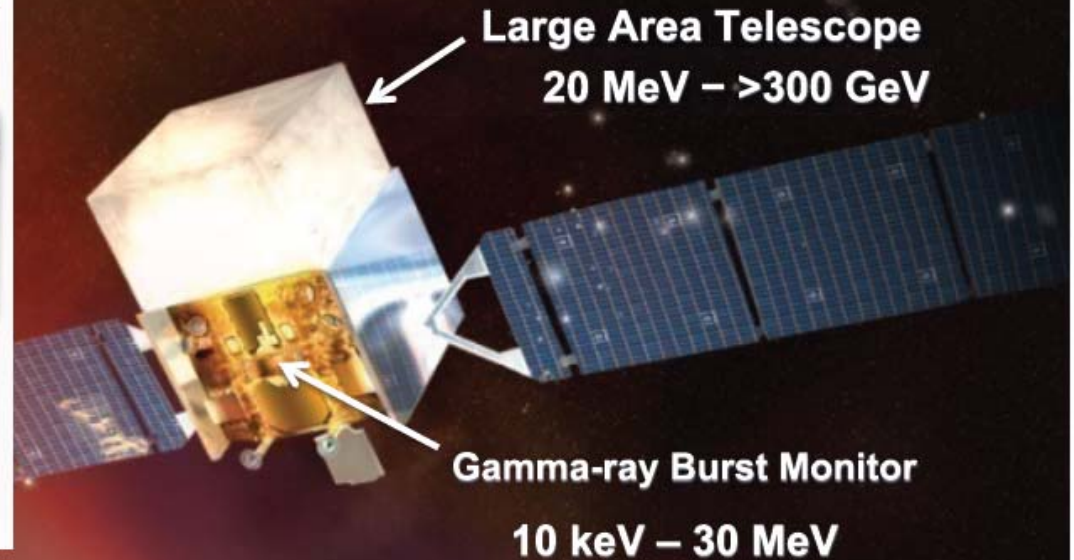
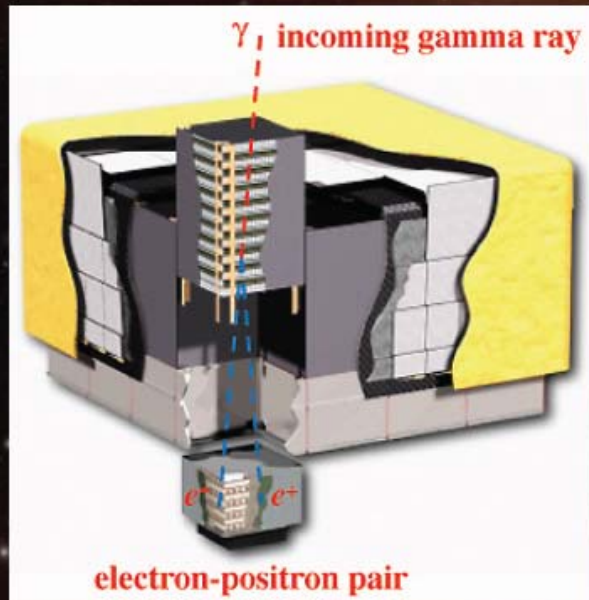
17h15m

17h11m

RA

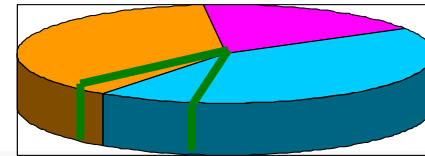


Fermi Gamma-ray Space Telescope



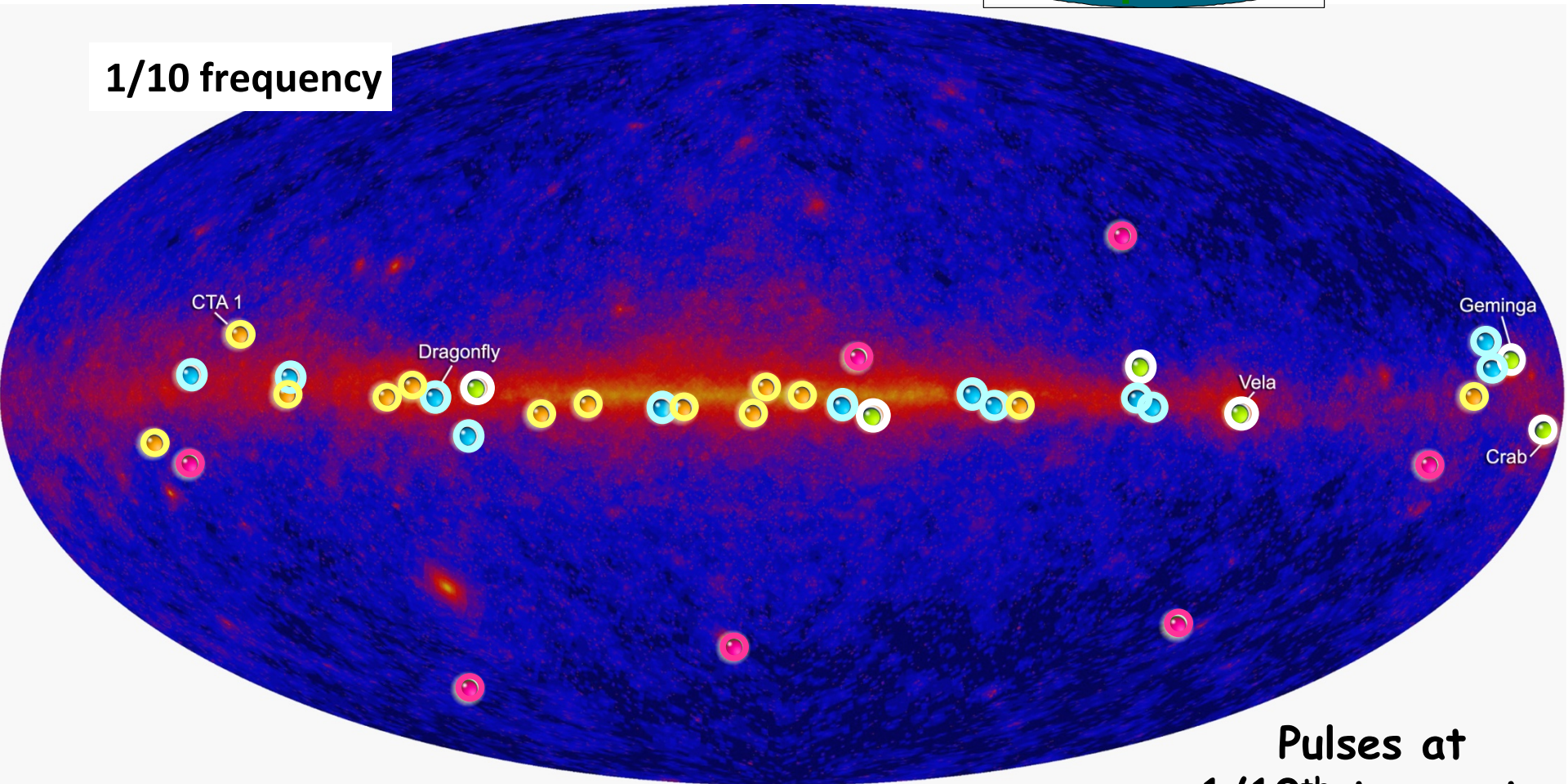
- ❖ The LAT is a unique resource providing
 - ✦ *Broad energy coverage, overlap with ACTs*
 - ✦ *Large FoV: all-sky coverage every 3 hours – transients*
- ❖ Observatory is operating smoothly
 - ✦ *Instruments and spacecraft operate as designed, no degradation in science performance since launch*

Where we are...



- Gamma Only
- MSP
- Radio+Gamma

1/10 frequency



Fermi Pulsar Detections

Pulses at
1/10th true rate

- New pulsars discovered in a blind search
- Millisecond radio pulsars
- Young radio pulsars
- Confirmed pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

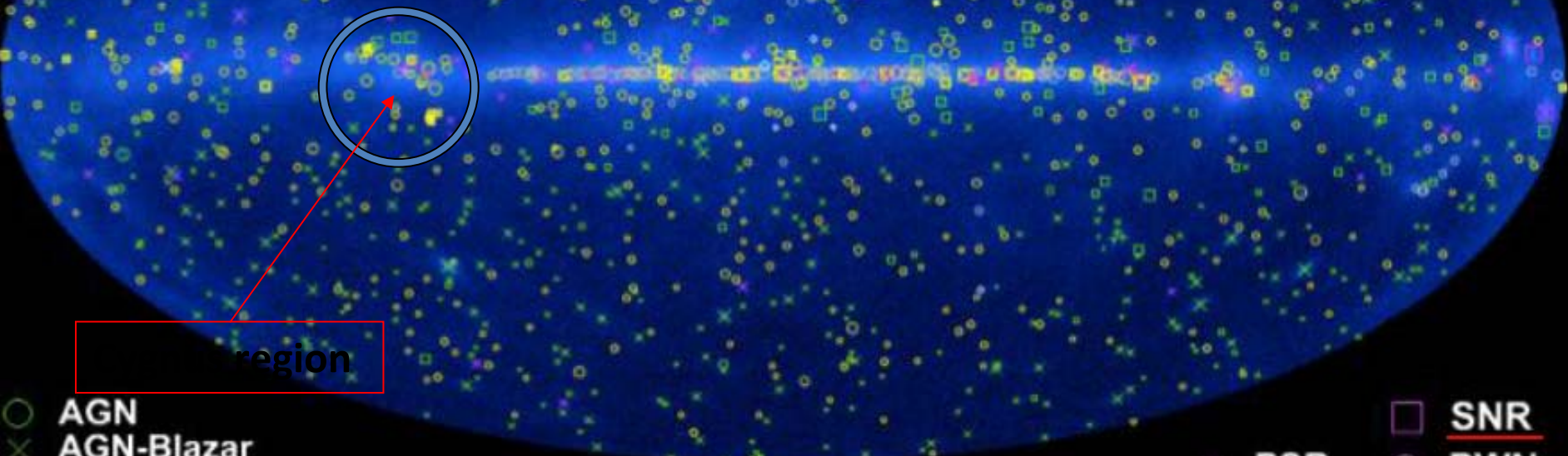


The Fermi LAT 1FGL Source Catalog

First 11 months of data

1451 Sources (>4 σ significance)

Галактические
источники



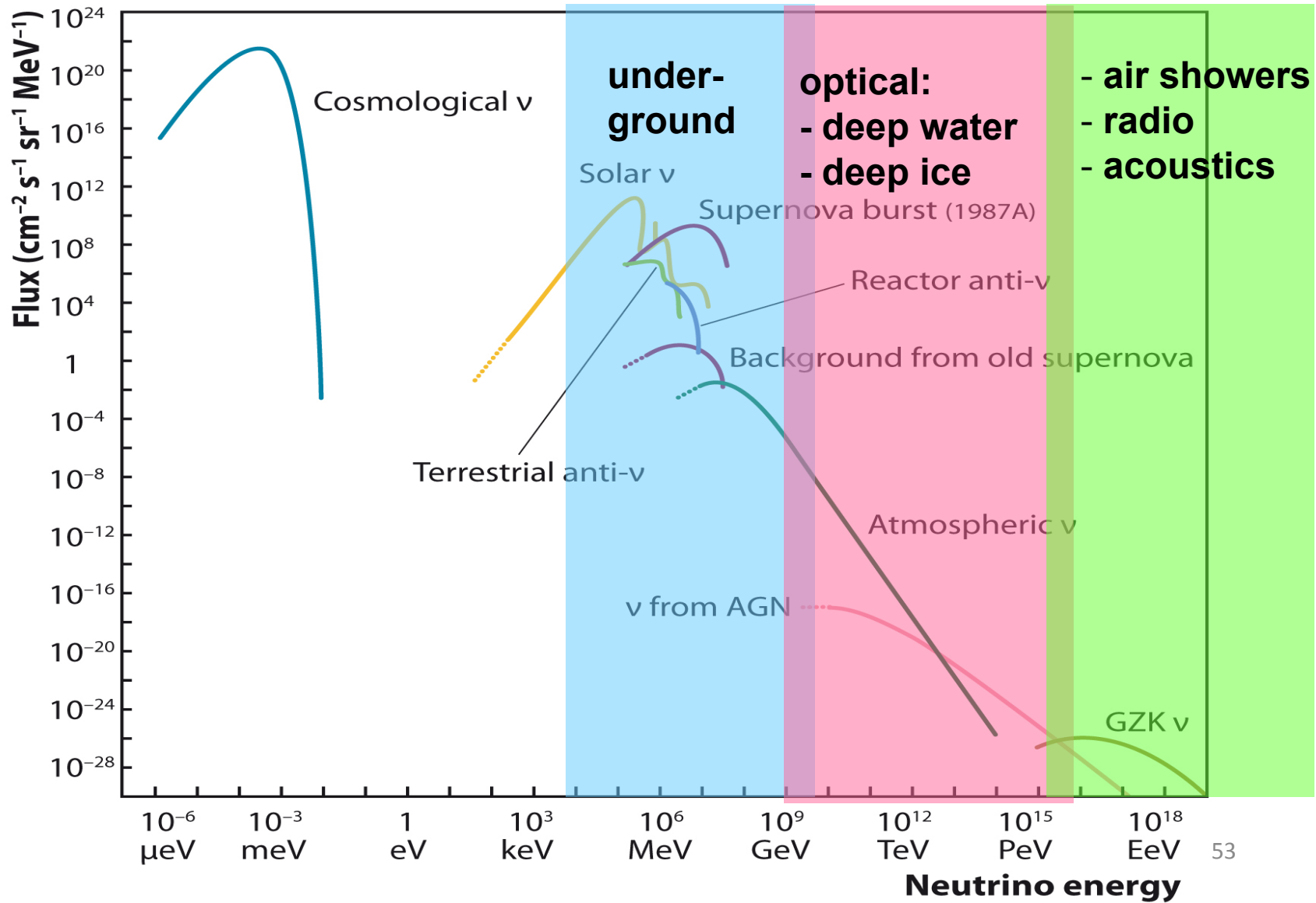
Galactic region

- AGN
- × AGN-Blazar
- AGN-Non Blazar
- No Association 630
- Possible Association with SNR and PWN
- Possible confusion with Galactic diffuse emission
- SNR
- PWN
- × PSR
- ⊗ PSR w/PWN
- ◇ Globular Cluster
- × HXB or MQO
- Starburst Galaxy
- + Galaxy

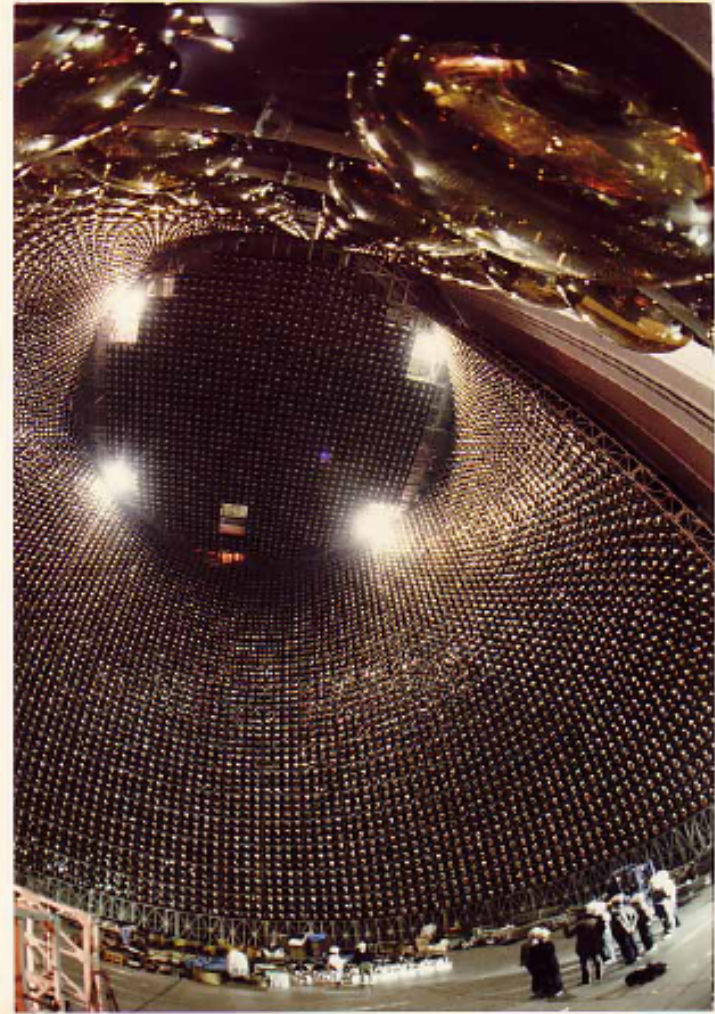
New classes not associated (confidently) with γ -ray sources in 3rd EGRET catalog.

NEUTRINO ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS

Fluxes of (cosmic) neutrinos



Fish-Eye View of Super-KamiokaNDE's Interior

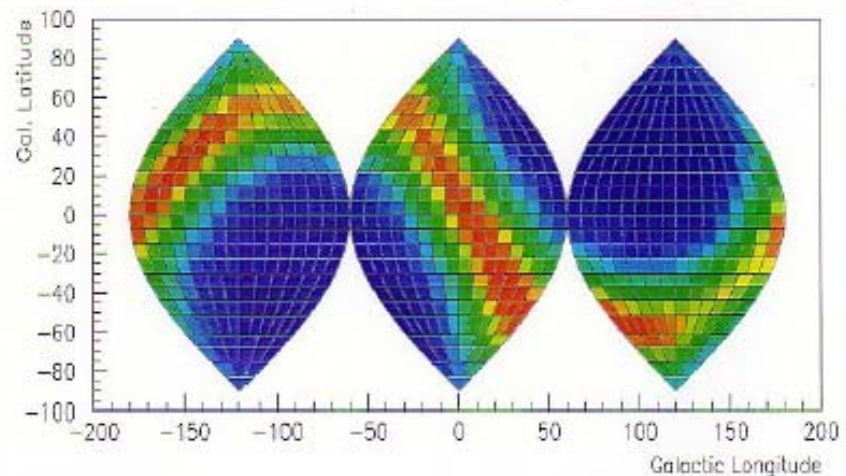
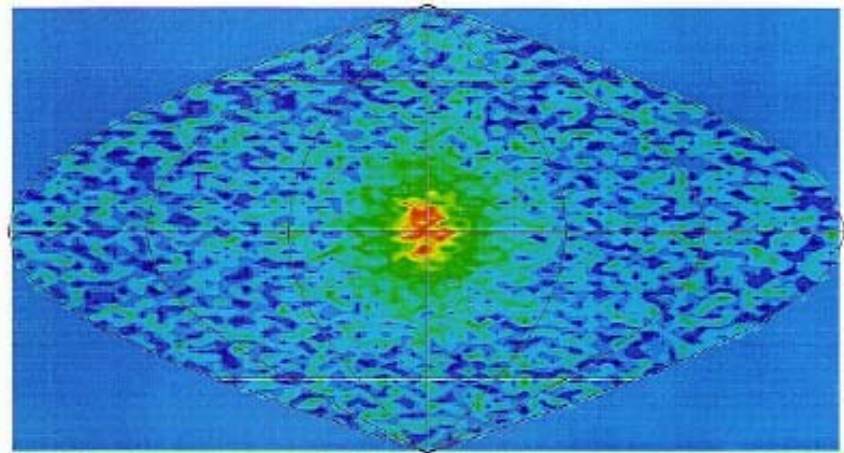


Детектор SuperKamiokanda

The Sun by Neutrino-graph

The Sun as seen by ν 's
and its orbit in the
Galactic coordinate.

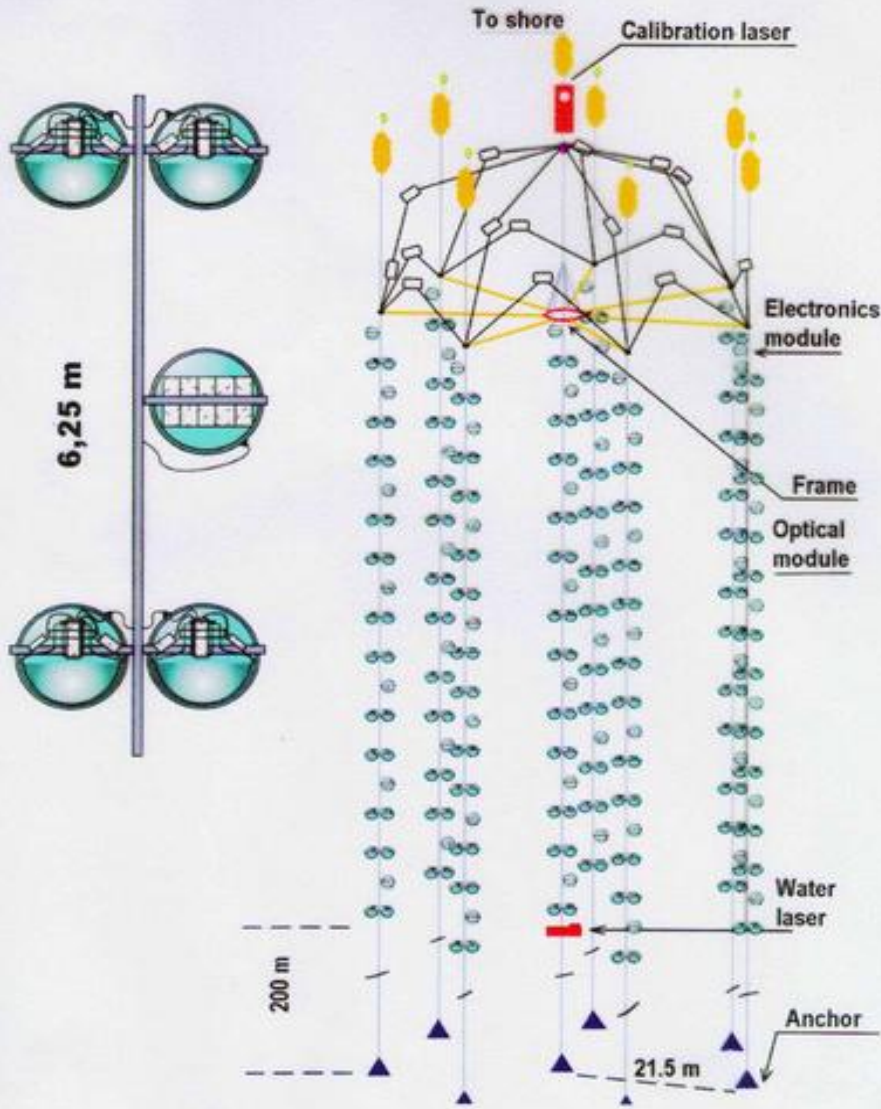
You have to excuse the
poor angular resolution
because the neutrino
astrophysics is still in
its infantile stage.



Байкальский глубоководный нейтринный эксперимент

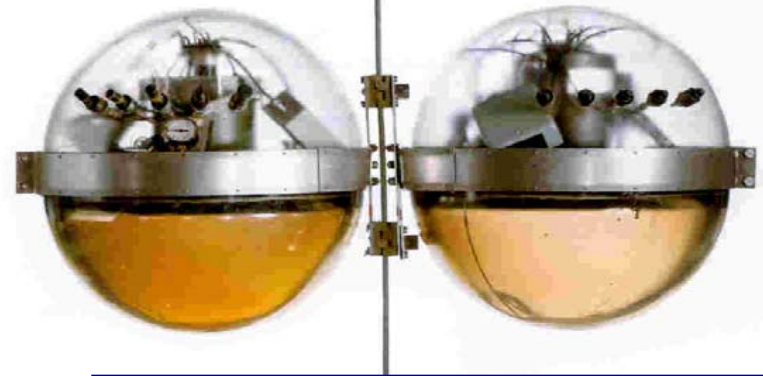
Баир Шайбонов от имени Байкальской коллаборации
РККЛ2014, 12.08.2014

NEUTRINO TELESCOPE NT-200



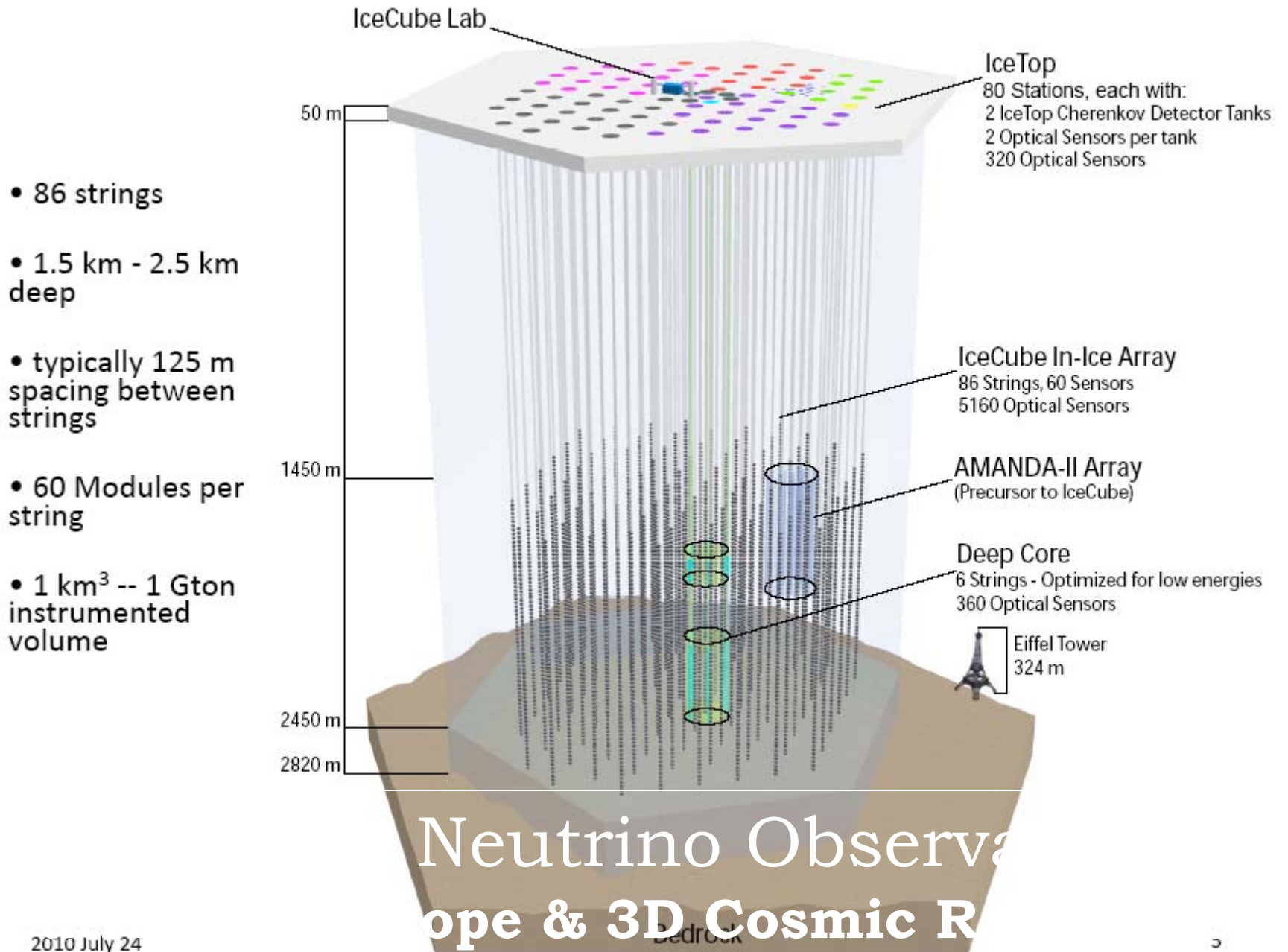
- 8 strings: 192 optical modules
- 96 measuring channels
- T, Q measure
- *Timing ~ 1 nsec
- *Dyn. Range ~ 10^3 ph.e.

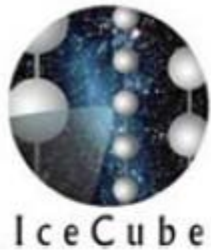
Effective muon-area: 1 TeV ~ 2000m^2
Eff. shower volume: 10 TeV ~ 0.2 Mt



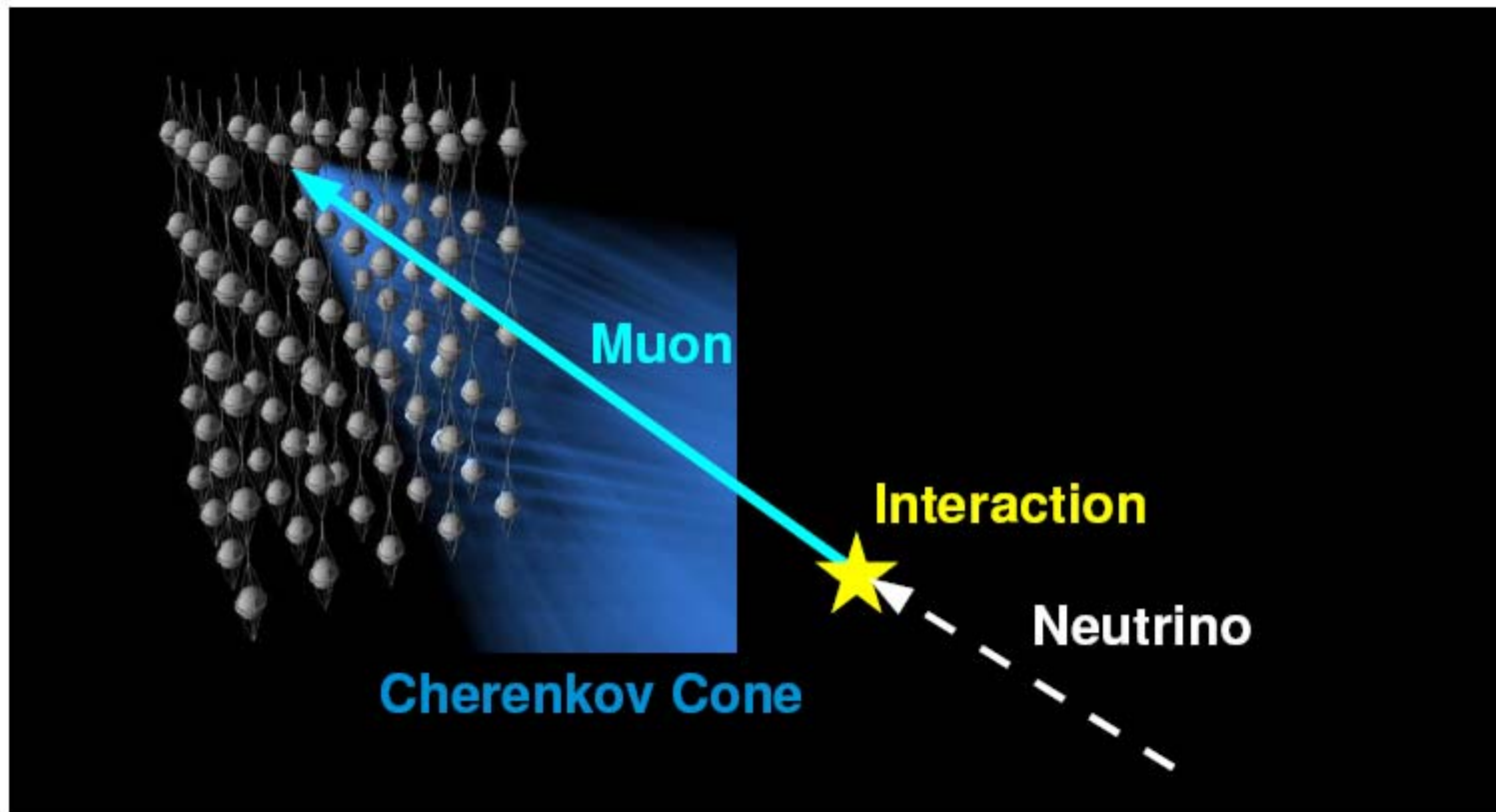
Quasar PMT: $d = 37\text{cm}$

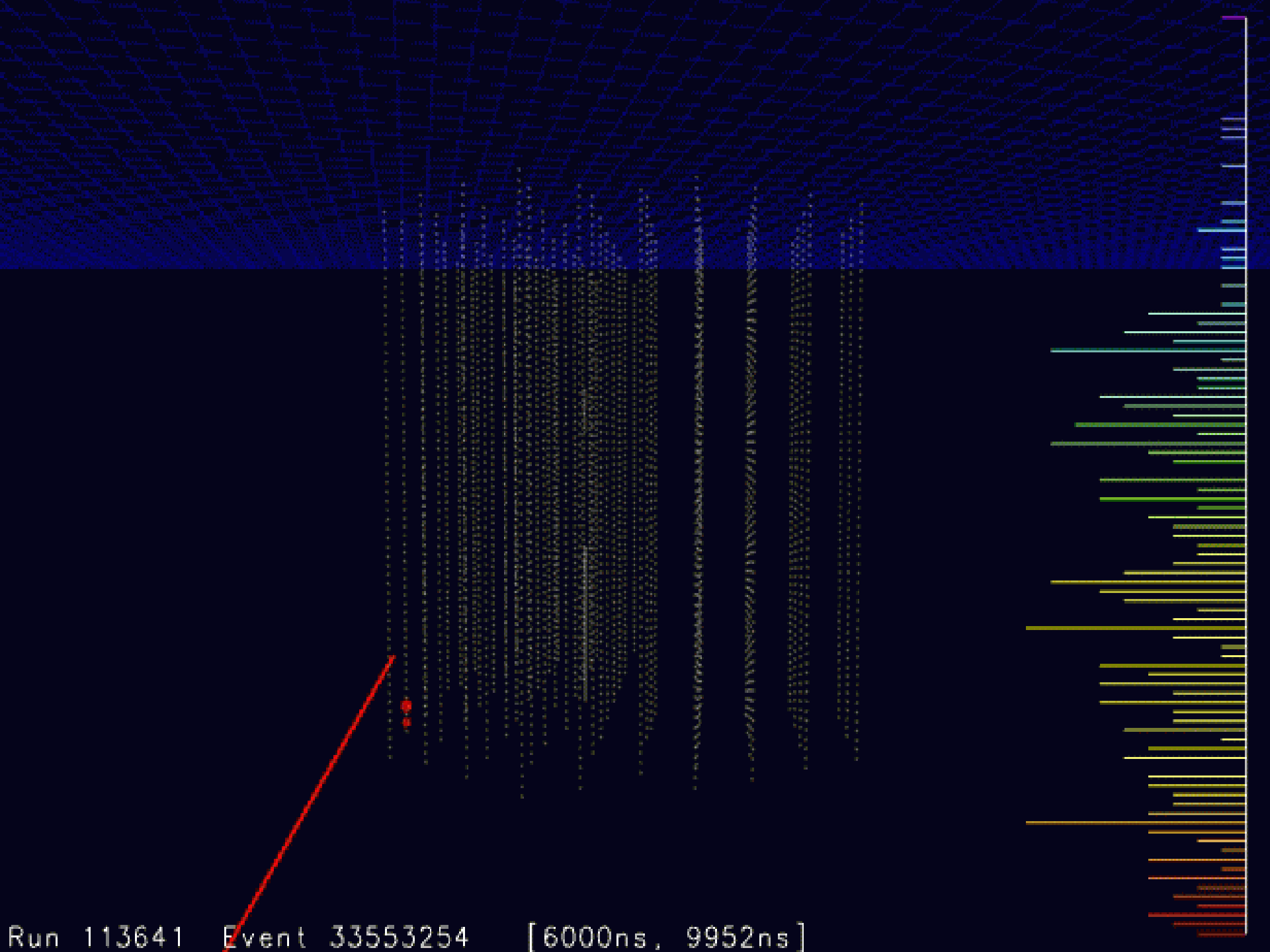
Height \times \varnothing = 70m \times 40m, $V_{\text{geo}} = 10^5\text{m}^3 = 0.1\text{Mton}$



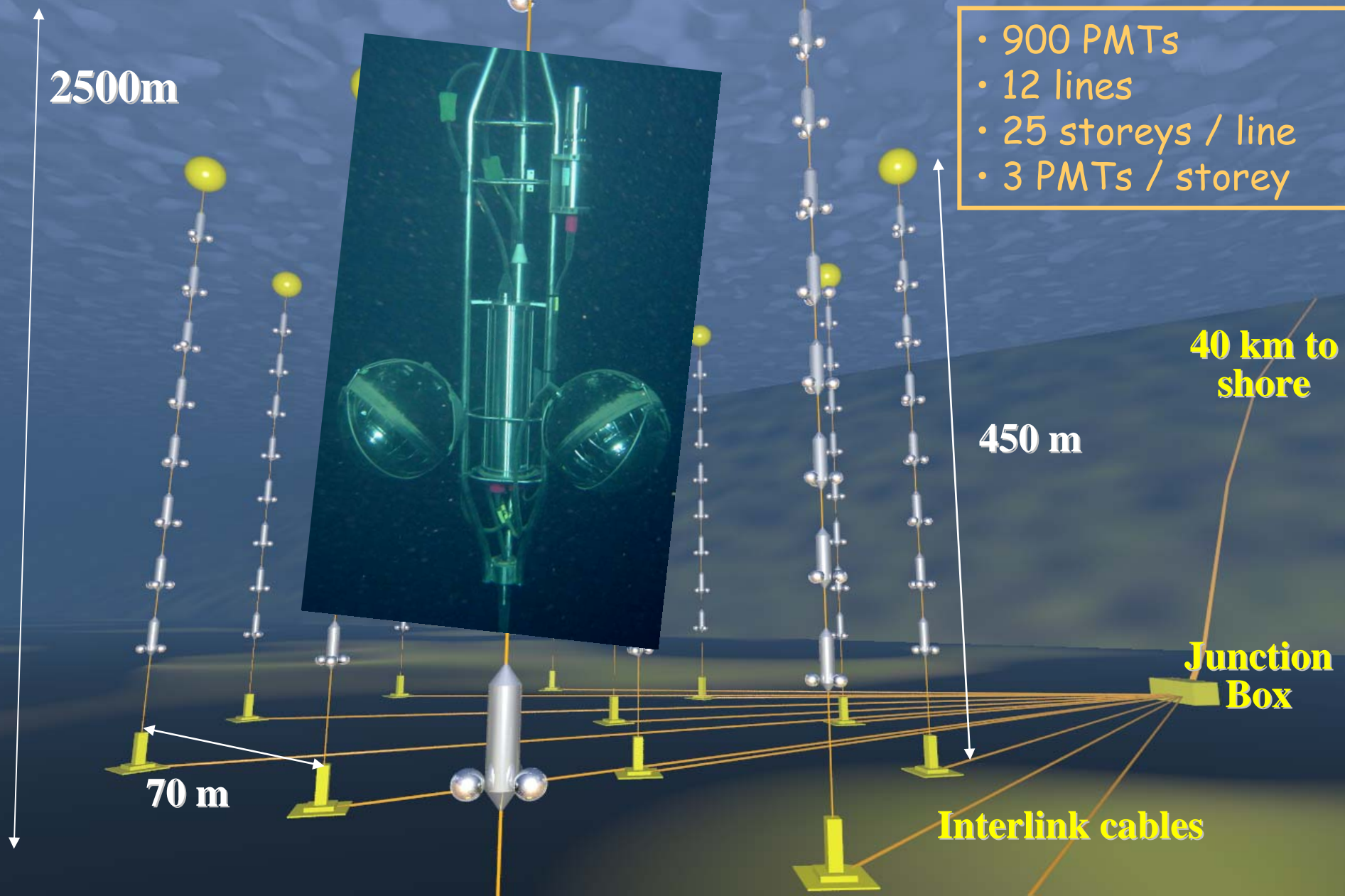


(Very Basic) Detection Principle

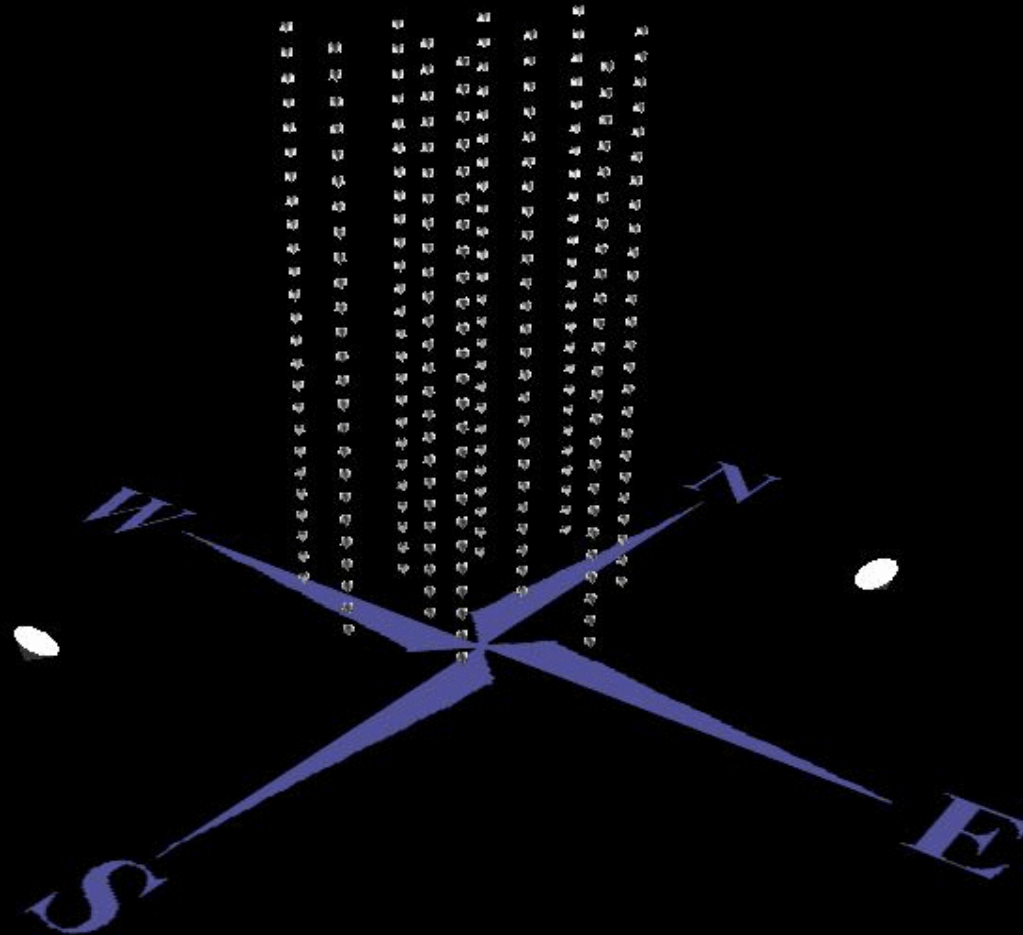




The ANTARES apparatus



ANTARES

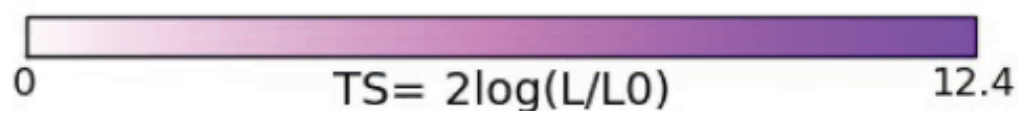
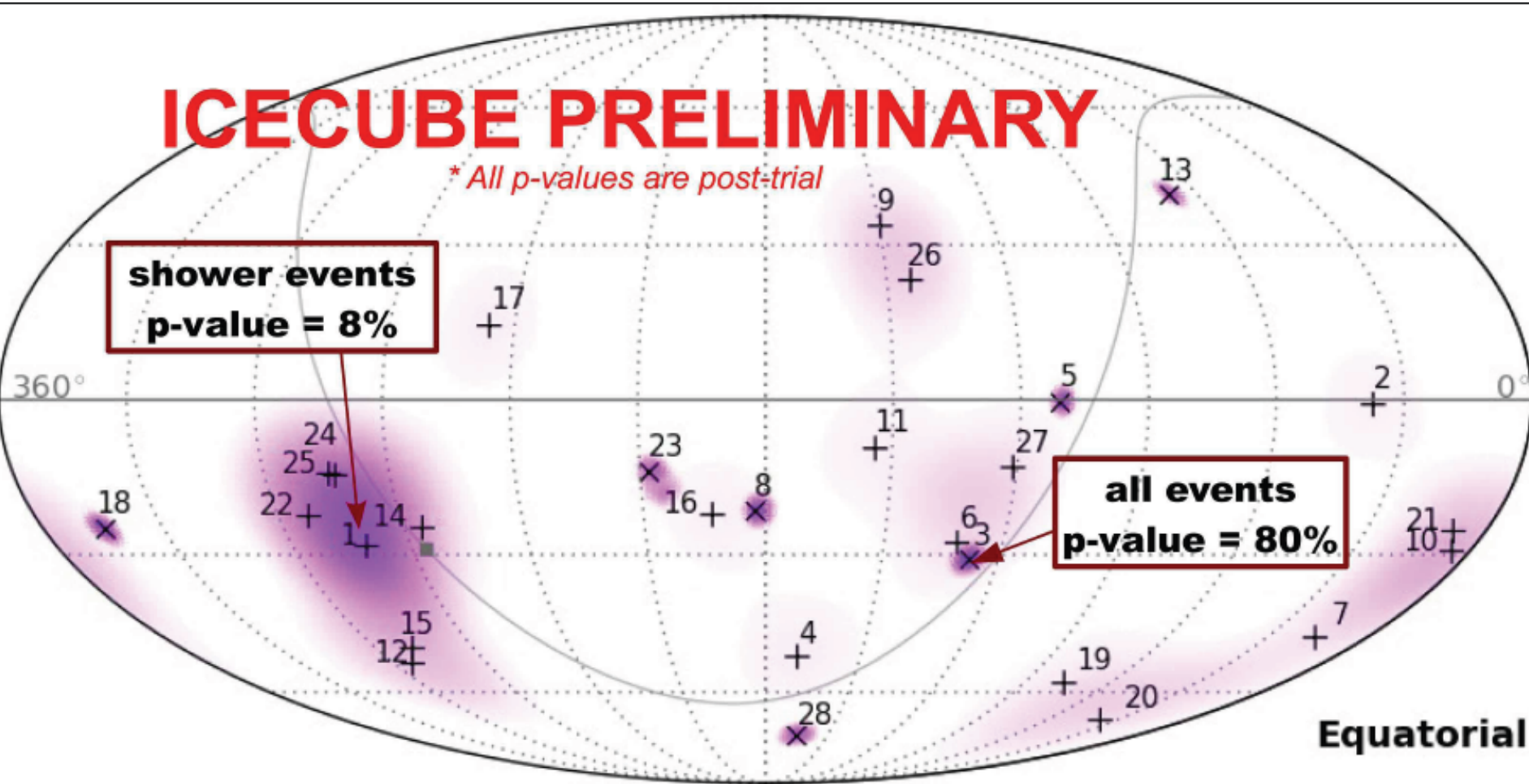


ICECUBE PRELIMINARY

** All p-values are post-trial*

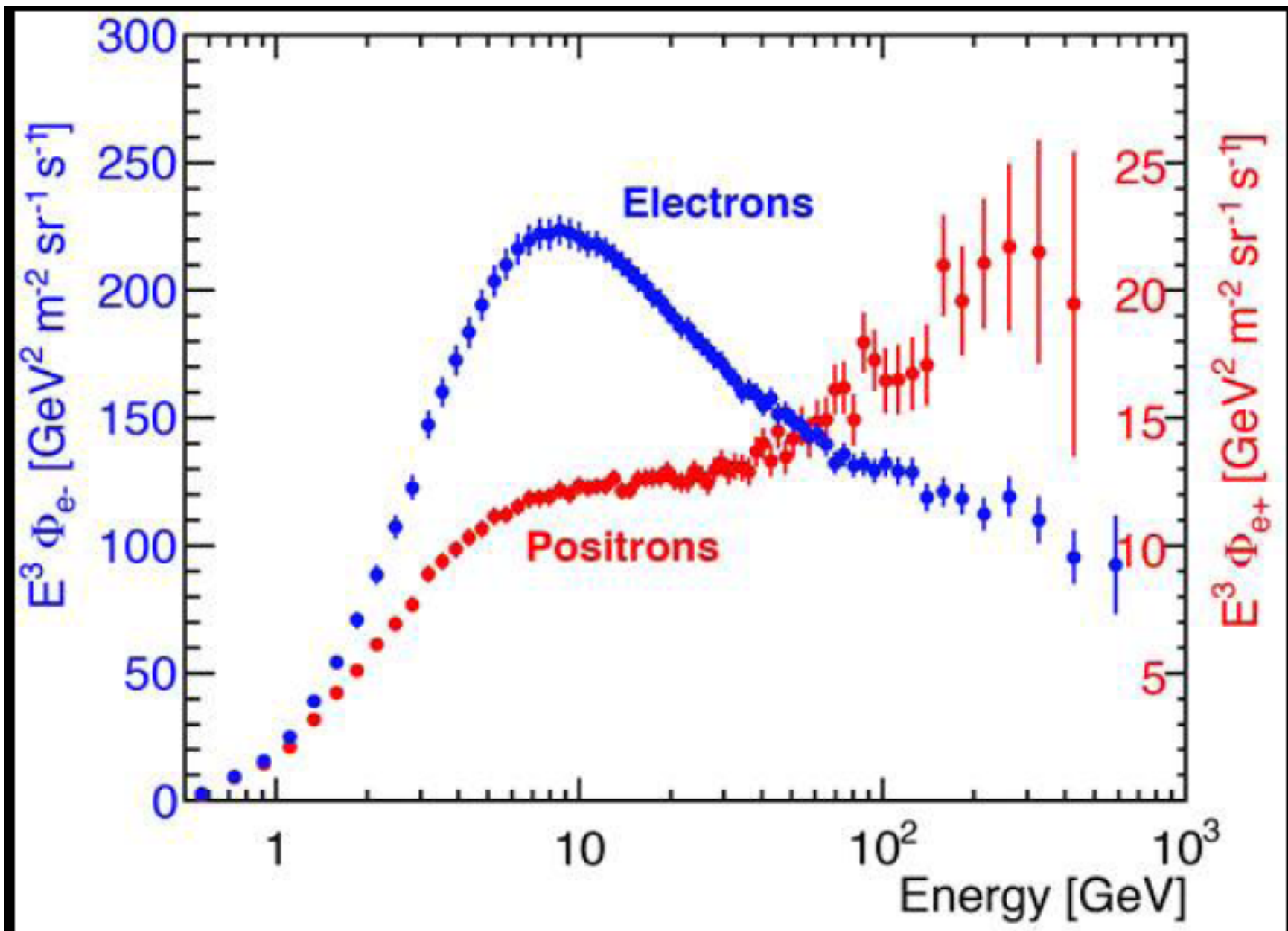
**shower events
p-value = 8%**

**all events
p-value = 80%**



Поиски темной материи

Поиски темной материи в КЛ



Будущие детекторы



Гамма-телескоп HAWC в Мексике, $160 \times 160 \text{ м}^2$, на высоте 4100 м.

CTA

~23m telescopes

4 - 6° FoV

0.08 - 0.12° pixels

Parabolic/Hybrid $f/D \sim 1.2$

12m telescopes

7 - 8° FoV

0.16 - 0.18° pixels

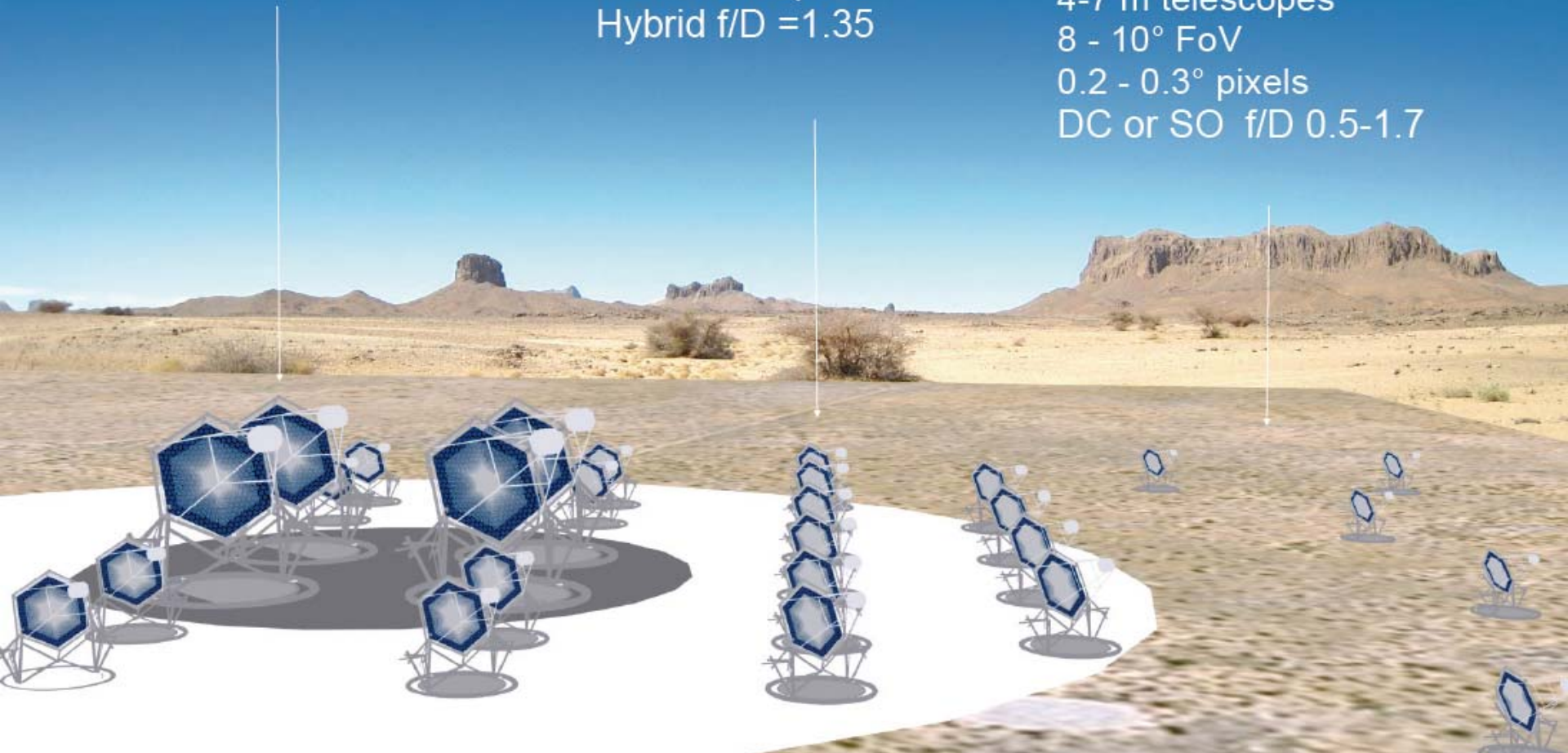
Hybrid $f/D = 1.35$

4-7 m telescopes

8 - 10° FoV

0.2 - 0.3° pixels

DC or SO f/D 0.5-1.7



Third stage (2017-2019)

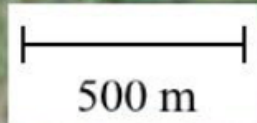
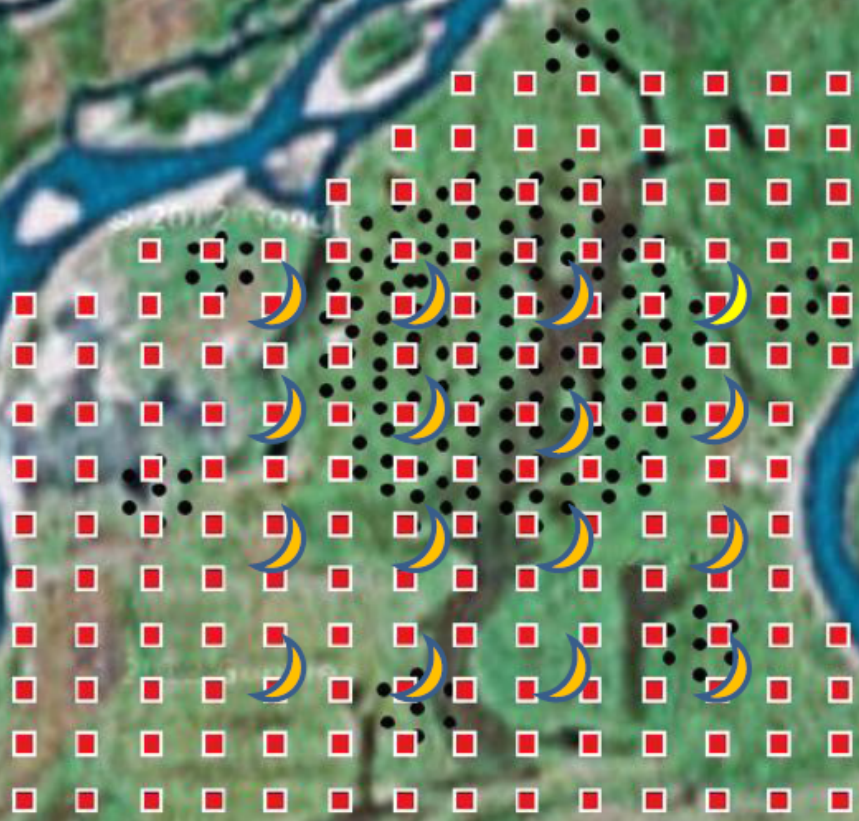
☾ - Air Cherenkov imaging telescope

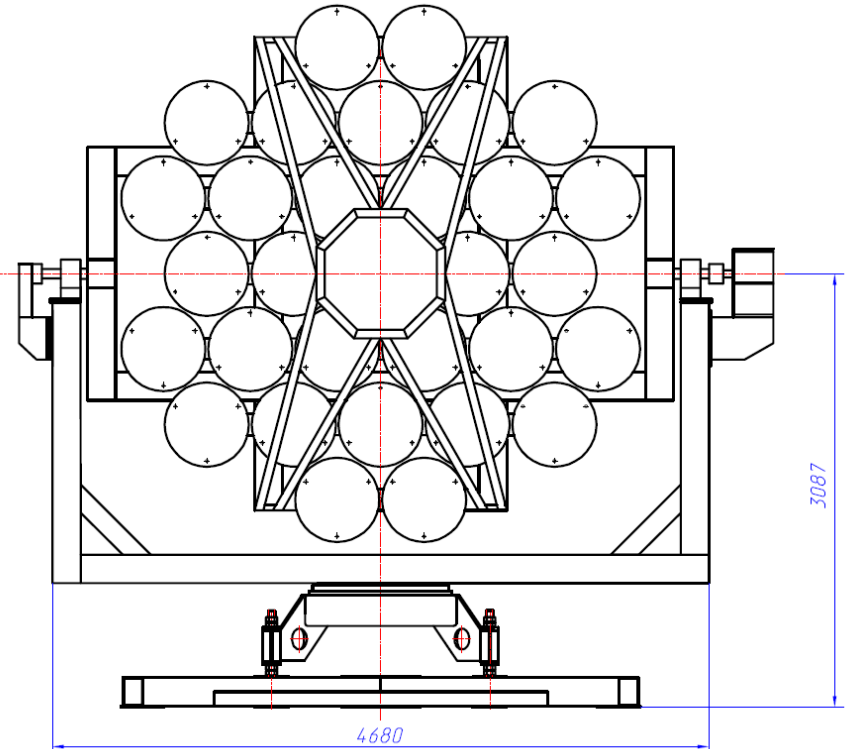
■ HiScore

● Tunka

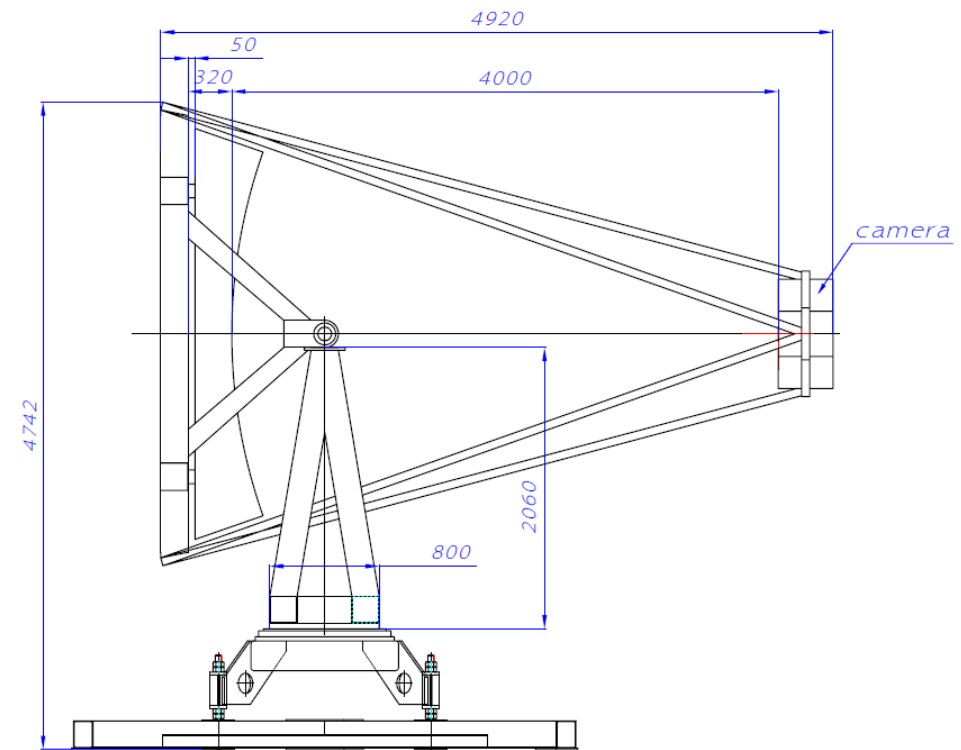


ТАЙГА





**Гамма-телескоп для
эксперимента ТАЙГА**
Порог ~ 30 TeV
FoV ~ 10 град.
Зеркало – 10 кв. м





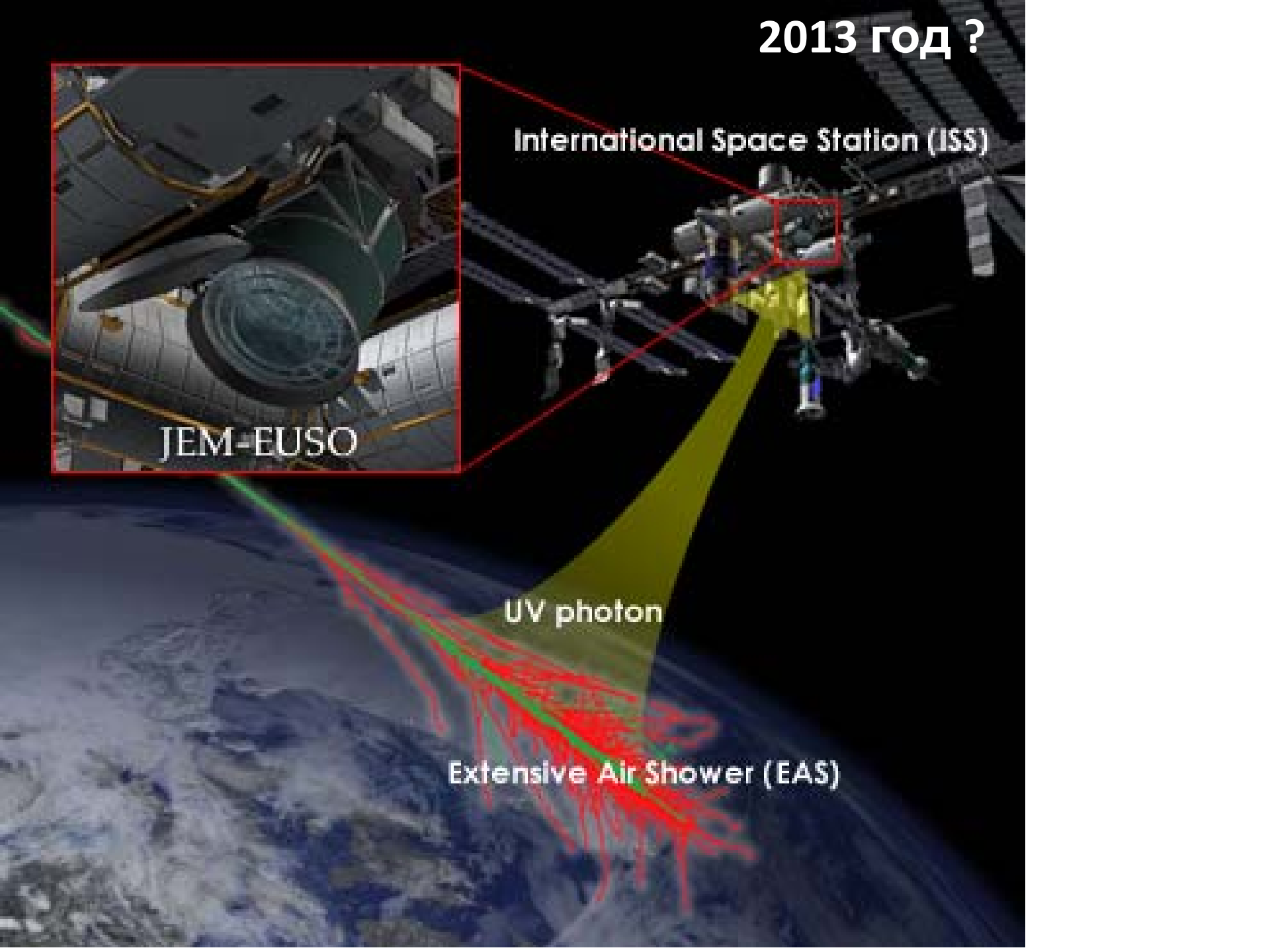
2013 год ?

International Space Station (ISS)

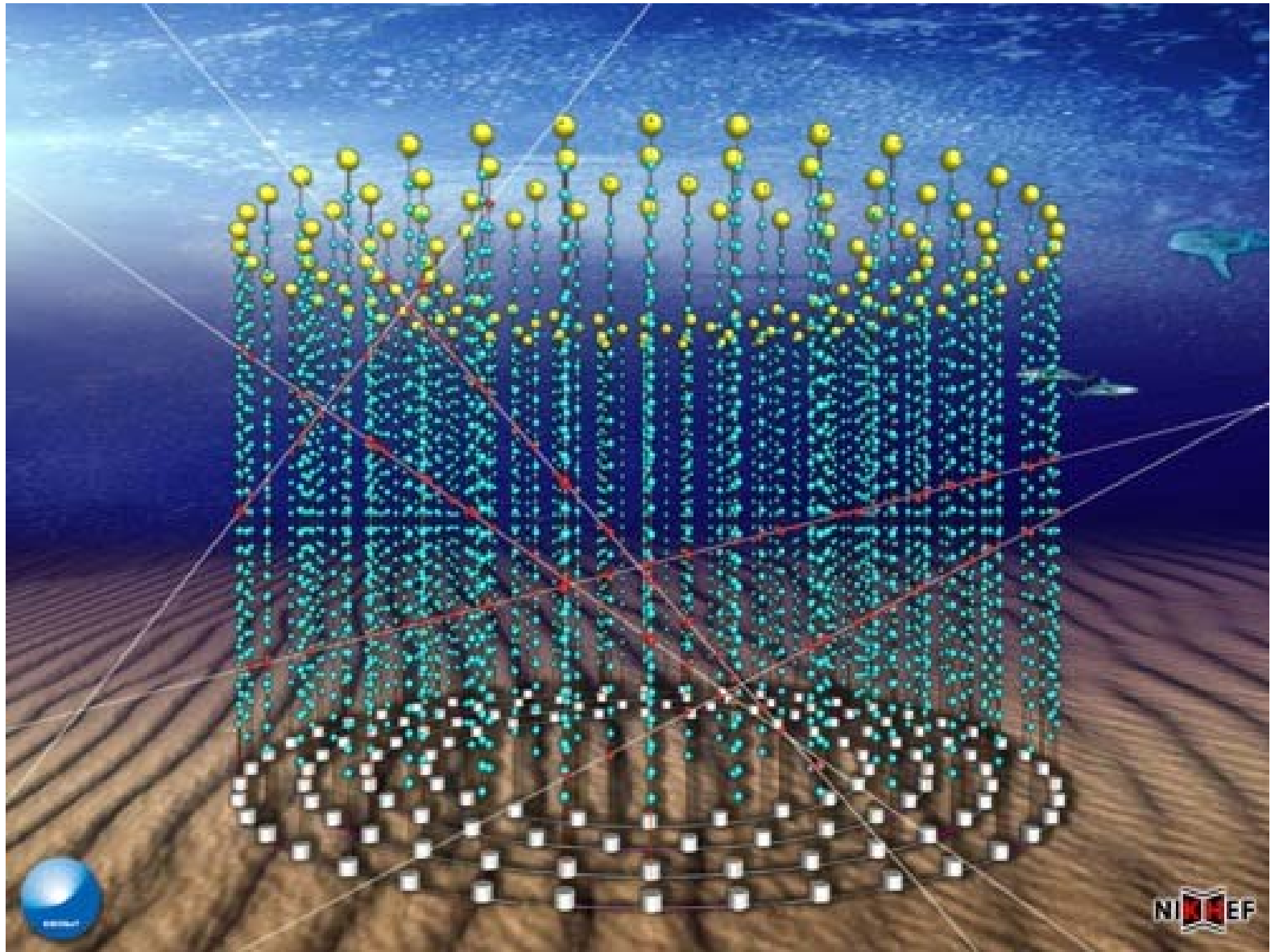
JEM-EUSO

UV photon

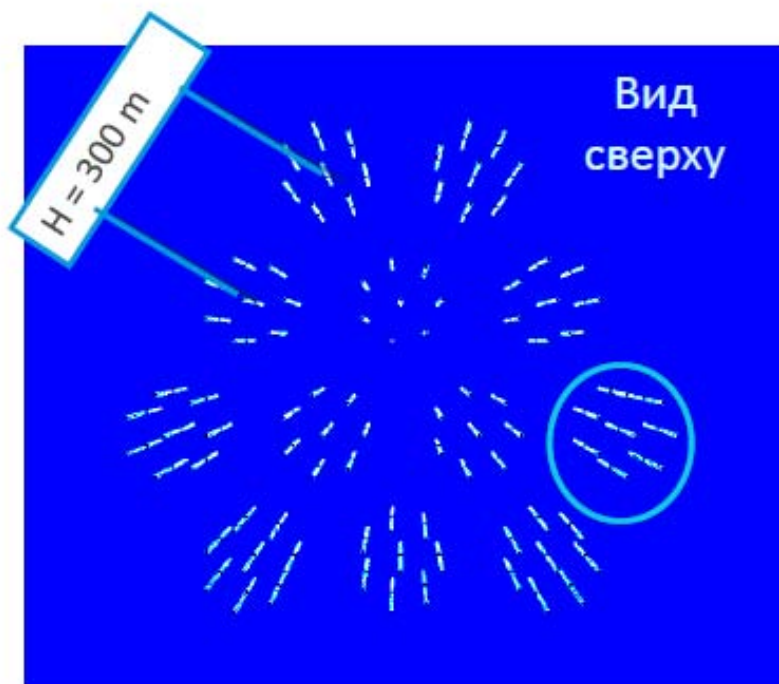
Extensive Air Shower (EAS)



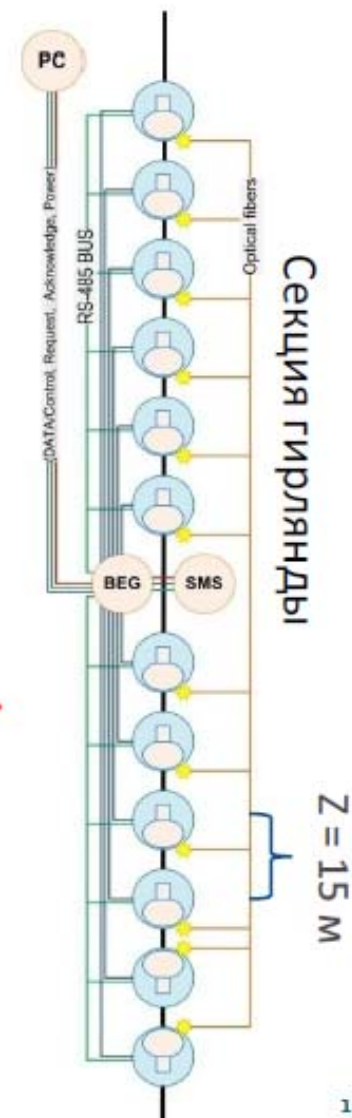
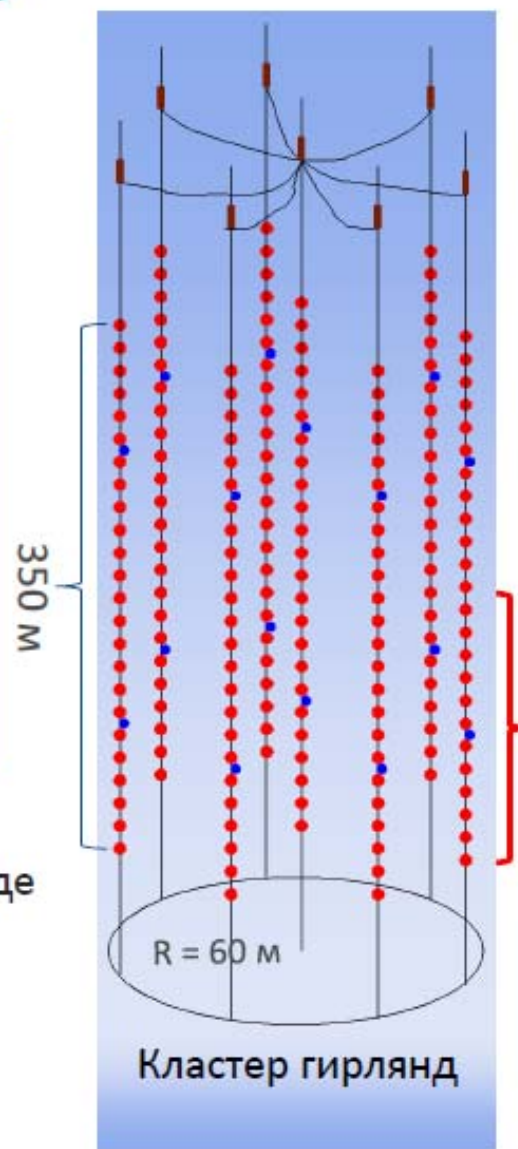
km3net experiment



Телескоп НТ1000



- 12 кластеров по 8 гирлянд
- 22 – 24 оптических модуля на гирлянде
- Всего ~2300 оптических модулей
- Возможность изменять расстояния между ОМ -> порог, угловое и энерг. разрешение



HUNTING GRAVITATIONAL WAVES USING PULSARS

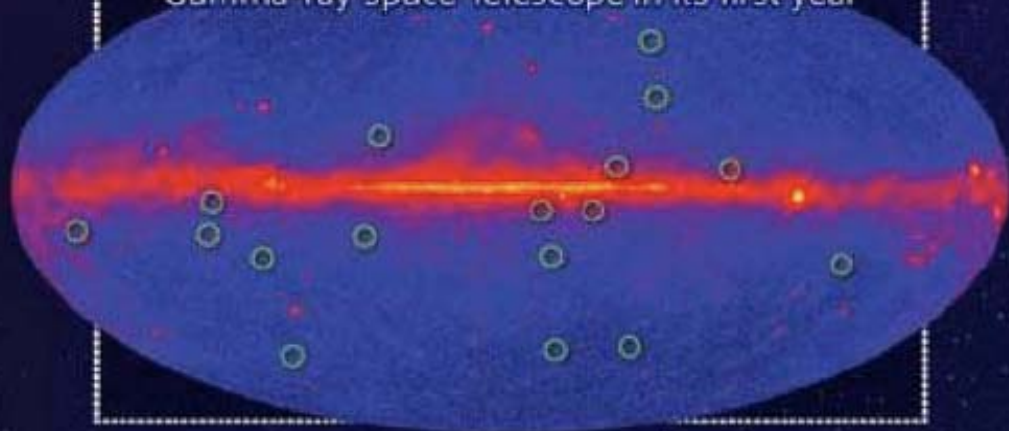
1 Gravitational waves from supermassive black-hole mergers in distant galaxies subtly shift the position of Earth.

2 Telescopes on Earth measure tiny differences in the arrival times of the radio bursts caused by the jostling.

3 Measuring the effect on an array of pulsars enhances the chance of detecting the gravitational waves.

NEW MILLISECOND PULSARS

An all-sky map as seen by the Fermi Gamma-ray Space Telescope in its first year



Вид будущего радиоастрономического комплекса ALMA



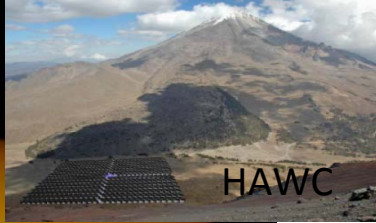
ALMA will be the world's most powerful telescope for studying the Universe at submillimetre and millimetre wavelengths, on the boundary between infrared light and the longer radio waves.

Первые радиотелескопы ALMA установлены Atacama Large Millimeter Array



В течение 2009 года первые три антенны весом 115 тонн были установлены на свои рабочие точки на высоте 5000 м. Астрономы и инженеры состыковали антенны в единый комплекс и успешно провели совместные испытания, что открыло зеленый свет для массового производства антенн в странах-участниках проекта ALMA и отправку в Чили.

Затмение Солнца
4 января 2011 г.
Видна МКС, на которую
будет запущен АМС-02
детектор 29 апреля
2011 г.



Астрофизика даст в ближайшие годы
много неожиданных открытий

