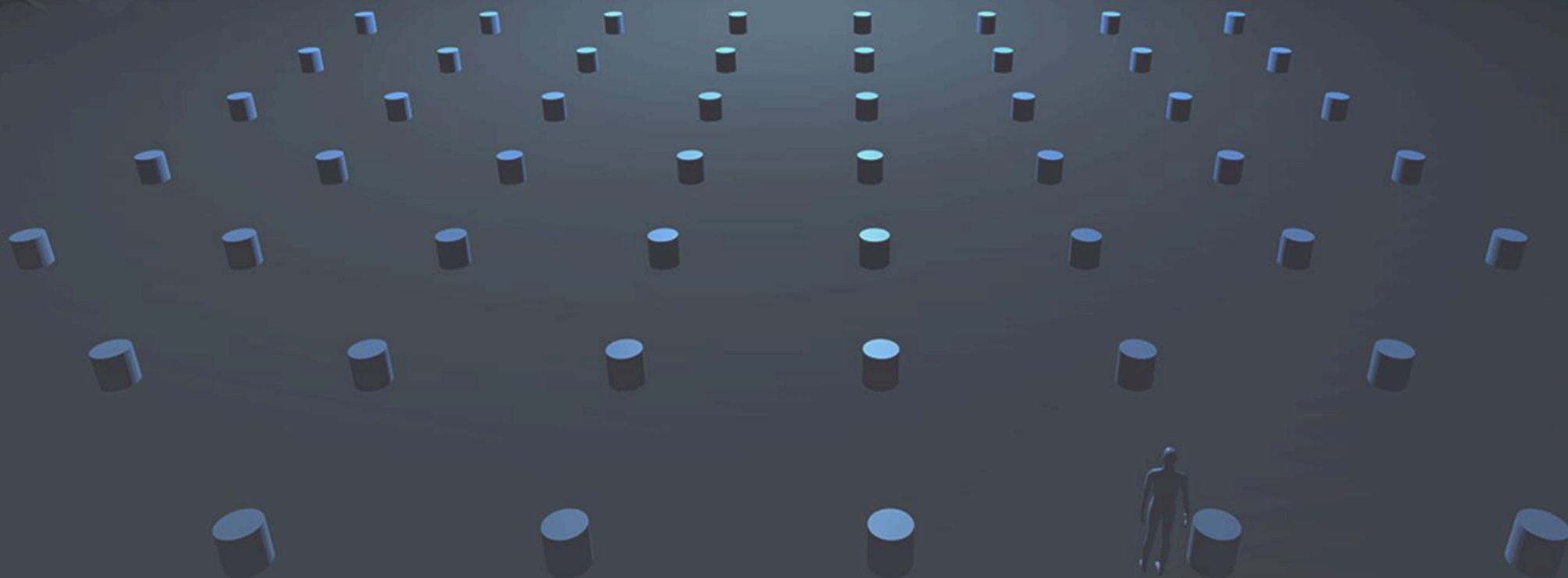


# Статус высокогорной установки ENDA-LHAASO

Стенькин Ю.В. от имени коллаборации ENDA  
ИЯИ РАН



# Where is LHAASO in the World

**29°21' 27.6" N, 100°08' 19.6" E**  
**4410 m a.s.l.**





# LHAASO Collaboration

(by country)

U. Geneva, Switzerland  
VHE gamma astro.

PAS, France  
VHE Gamma Astro.  
and CR phys.

RAS NPR, Russia  
CR phys.

24 Chinese  
institutions

LHAASO

Mahidol U. Thailand  
Solar CR phys. and  
Space-weather

Adelaide U. Australia  
CR phys.  
VHE Gamma Astro.



# LHAASO

in the eyes of  
reporters from  
Nature

## CATCHING RAYS

China's new observatory will intercept ultra-high-energy  $\gamma$ -ray particles and cosmic rays.

~25,000 m



12 wide-field-of-view air Cherenkov telescopes

4,400 m

80,000 m<sup>2</sup> surface-water Cherenkov detector

5,195 scintillator detectors

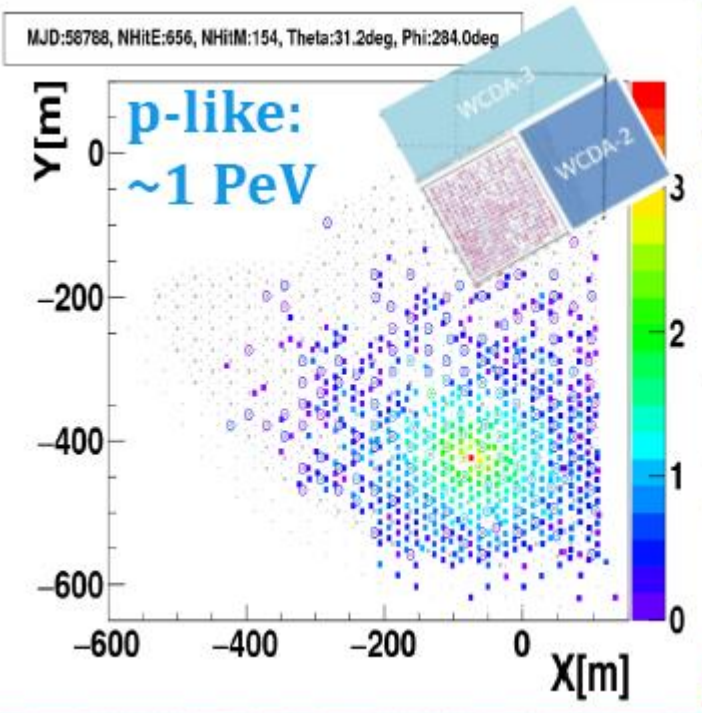
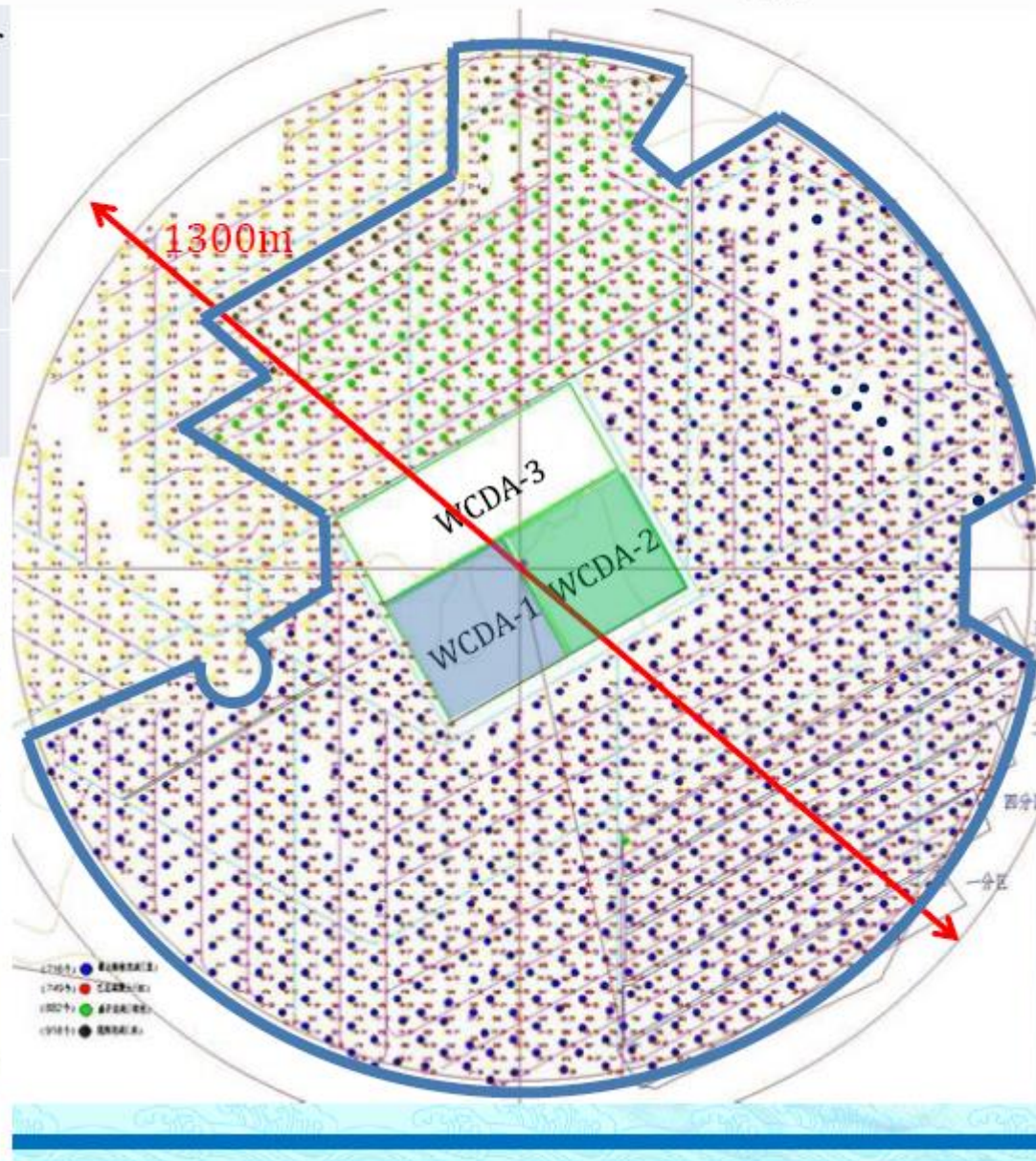
1,171 underground water Cherenkov tanks

nature

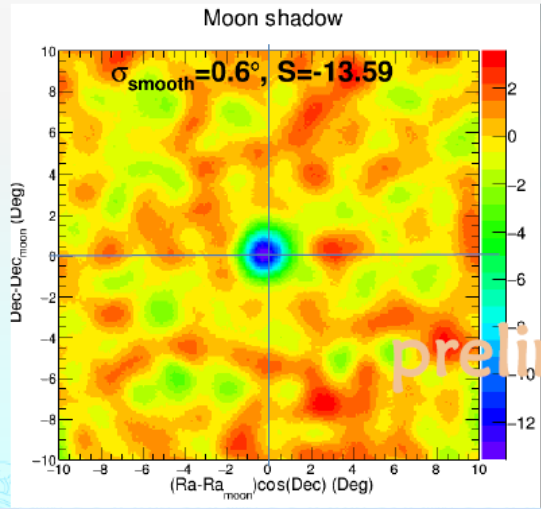
# Готовность LHAASO и первые результаты



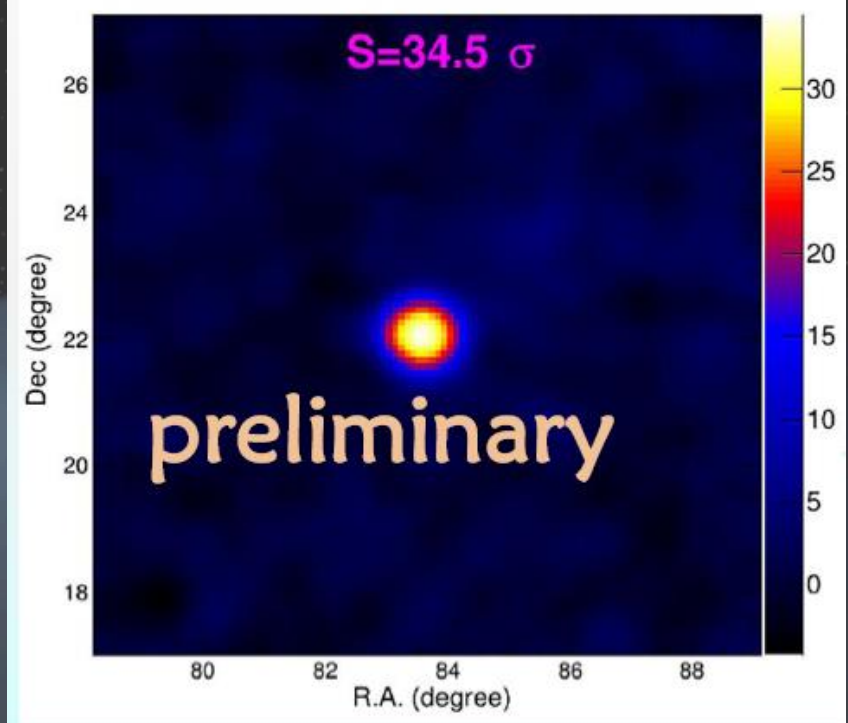
2019-12-12	Muon Counter	Scintillator Detector
operating	594	2514
2020-09-30		
operating	<b>915</b>	<b>3948</b>
Percentage of designed sensitivity	<b>88%</b>	



Moon shadow:  $-13.6 \sigma$   
 R.A.=-0.10 Dec=0.10

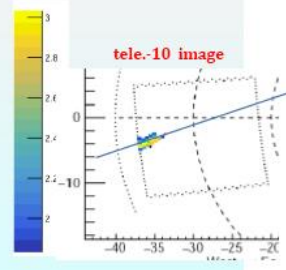
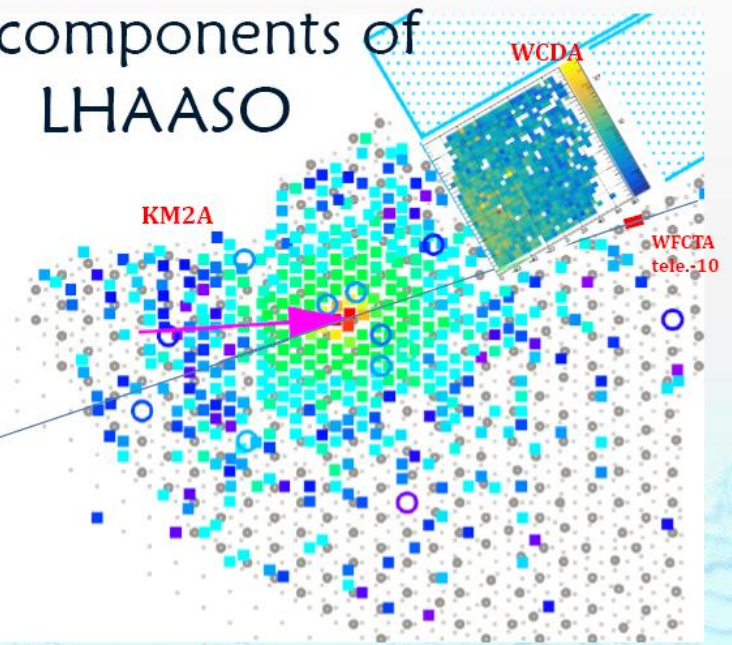


# Standard Candle



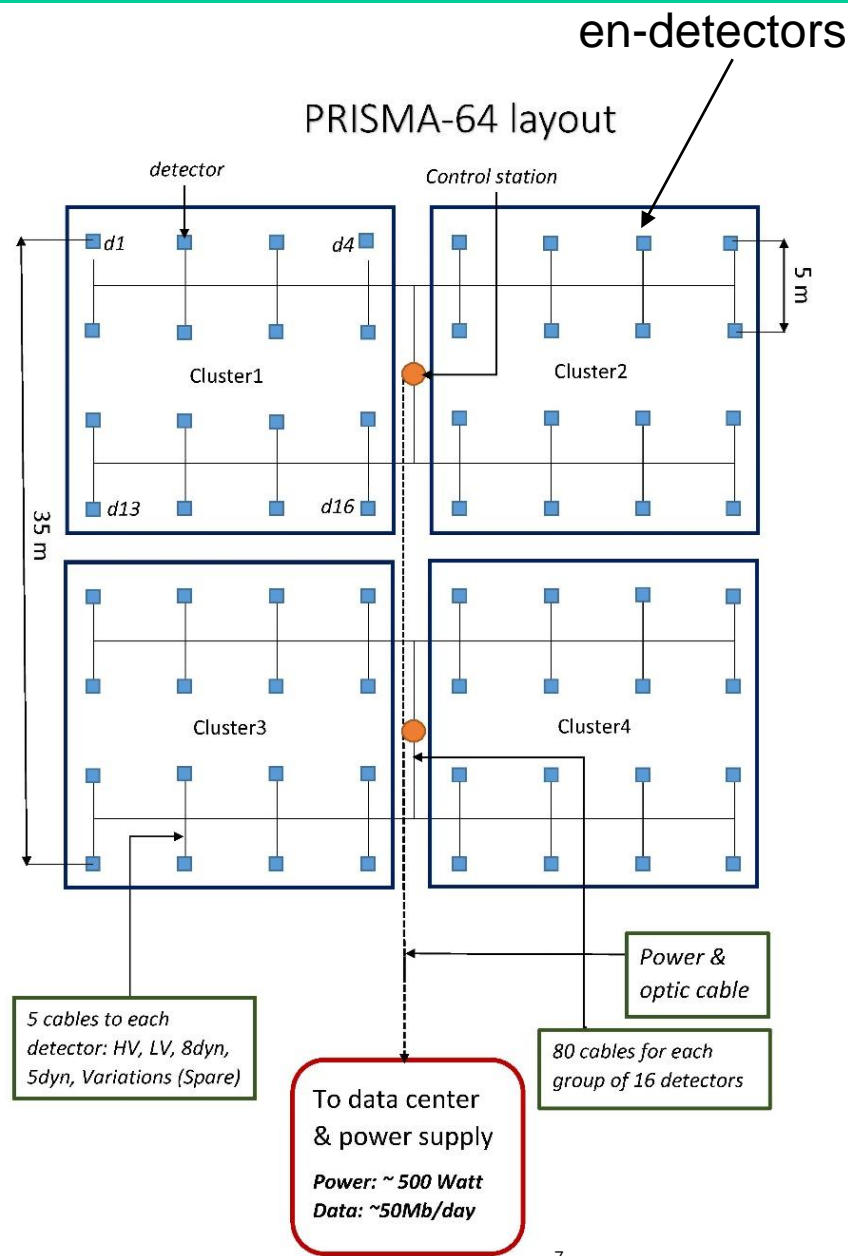
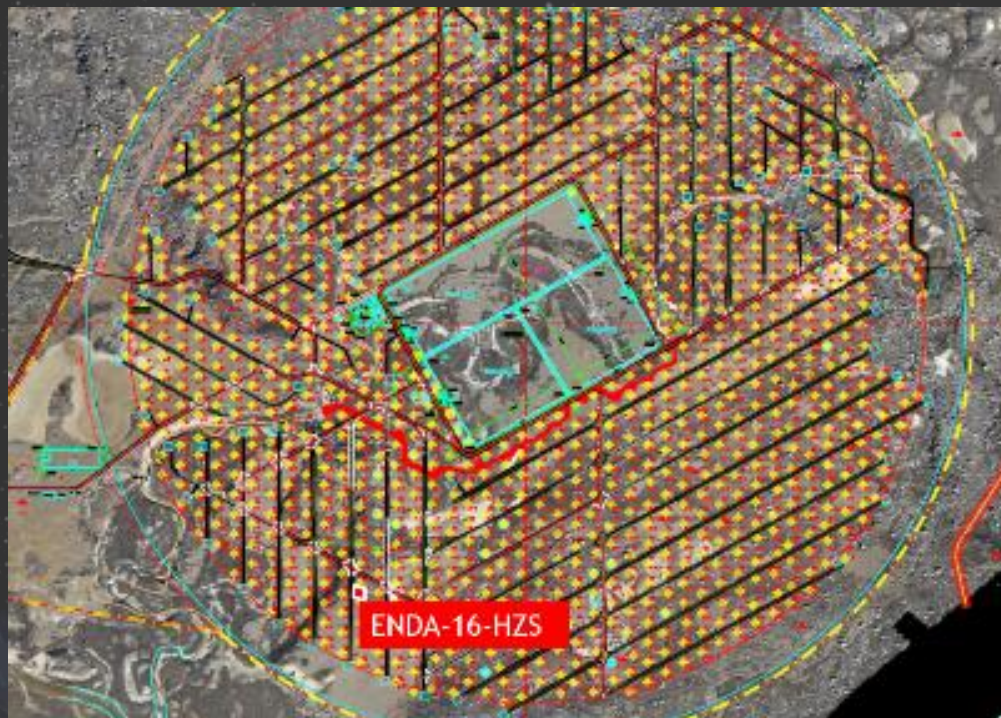
~1 PeV gamma  
 detected by  
 all components of  
 LHAASO

- ◆ WFCTA: very slim image, L/W~2.6, Npe~9100,
- ◆  $1.2 \pm 0.3$  PeV (assuming proton),  $0.9 \pm 0.2$  PeV (assuming gamma)
- ◆ ED: Nd~395, Ne~4574, E~0.9 PeV
- ◆ Chance probability: <0.1% (15  $\mu$ 's detected in 11 MDs)



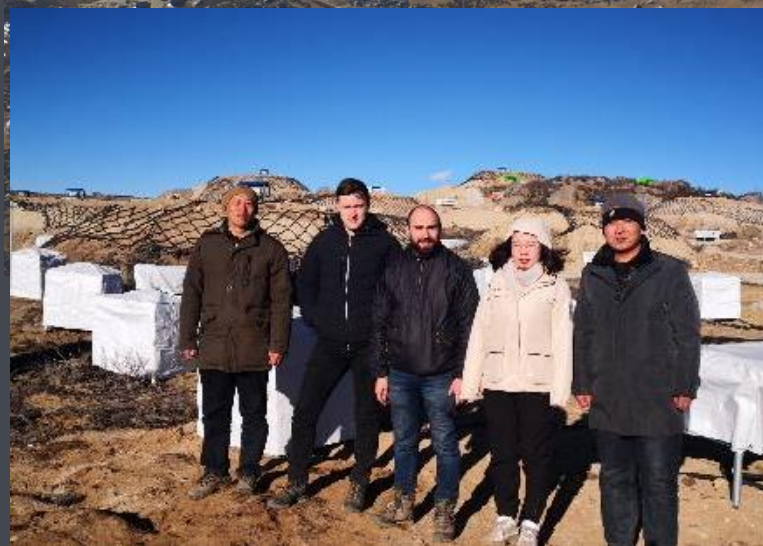
- ◆ 2019-09-11 to 2020-07-07
- ◆ Pointing accuracy:  $\sim 0.1^\circ$
- ◆ Angular resolution:  $0.26^\circ$
- ◆ Significance:  $35 \sigma$  at 25 TeV

# ENDA (Electron-Neutron Detector Array)



г. Хайци, пров. Сычуань, КНР  
4410 м над уровнем моря

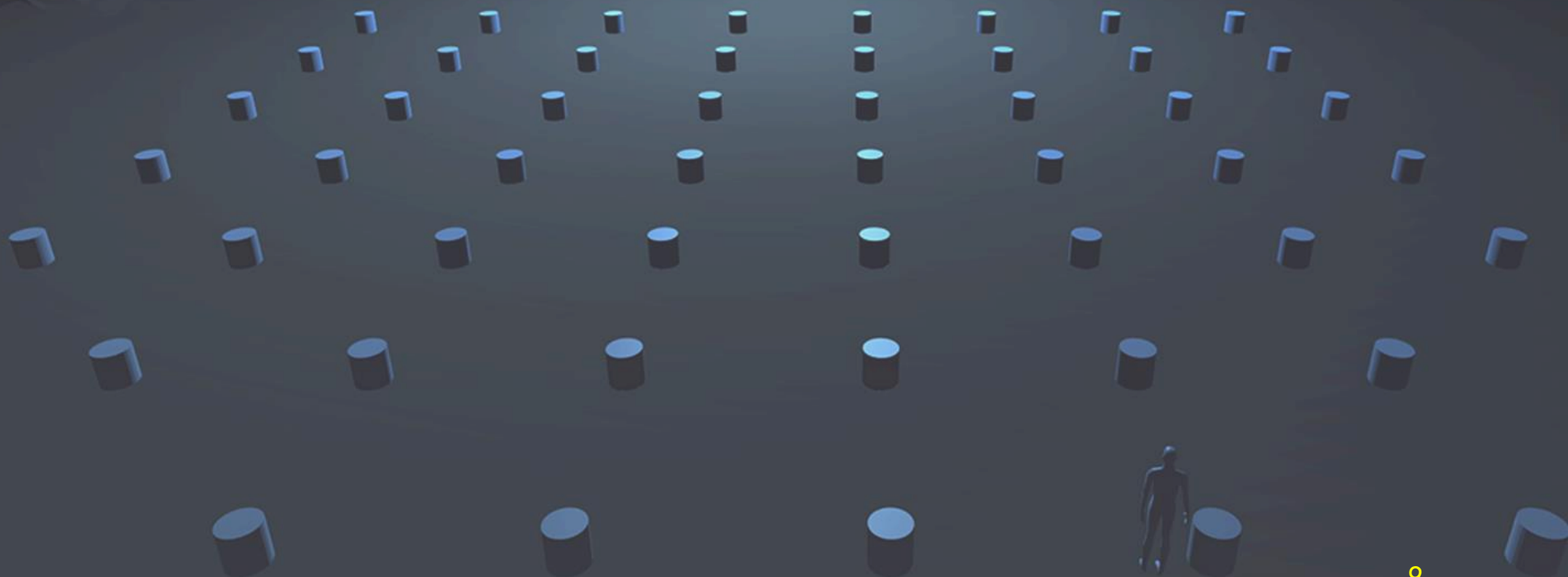
ENDA





В настоящее время работают 3 прототипа ENDA:

1. На г. Хайци (4410 м) – 1 кластер
2. В Янгбаджинге (4300 м) – 1 кластер (на базе эксперимента Tibet AS $\gamma$ )
3. В Москве, в ИЯИ РАН (ур. моря) – 1 кластер (см. постер Щеголева)



# Расположение эн-детекторов ENDA и система сбора данных

Детекторы объединены в кластеры по 16 детекторов. Кластеры синхронизованы и могут работать как независимо, так и совместно с другими установками.

Cluster #1 (since Dec. 2019)



## Сцинтиллятор:

компаунд  $ZnS(Ag)+B_2O_3$  на необогащенном боре, толщиной  $50 \text{ мг/см}^2$ , что дает эффективность регистрации тепловых нейтронов  $\sim 20\%$

$\sim 80000$  фотонов на захват

Наличие у  $ZnS(Ag)$  нескольких временных компонент позволяет отделять сигналы от захвата нейтрона на боре-10.

- 2: ФЭУ – Beijing Hamamtsu CR165 (4")
- 6: Для питания ФЭУ используются 16-канальные прецизионные источники питания с дистанционным управлением

Сигналы снимаются с последнего и с промежуточного 5-го диодов.

Все сигналы оцифровываются 32-канальными 14-битными FADC в интервале 10 мс с шагом 20 нс.

Форма импульса анализируется.

# en-detector

Предусилитель-интегратор

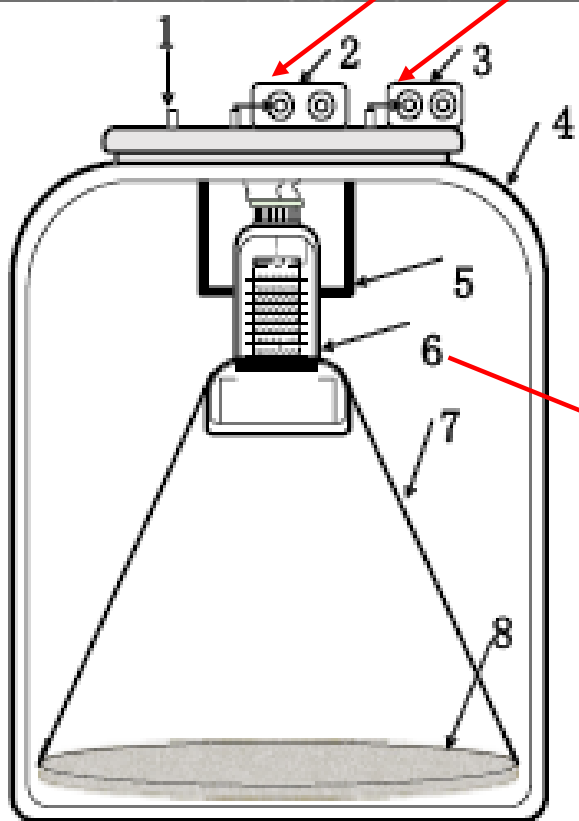


Fig. 1. Structure of the thermal neutron detector: 1- High voltage input required for photomultiplier tube (PMT); 2- Preamplifier connected to the eighth dynode; 3- Preamplifier connected to the fifth dynode; 4- Black opaque polyethylene bucket; 5- PMT fixture; 6- PMT; 7- Light collection layer; 8- Scintillator screen  $ZnS(Ag) + B_2O_3$ .

Thermal neutron efficiency: 20%



Bejing Hamamatsu CR165 (4")



Scintillator:  $ZnS(Ag)+B_2O_3$

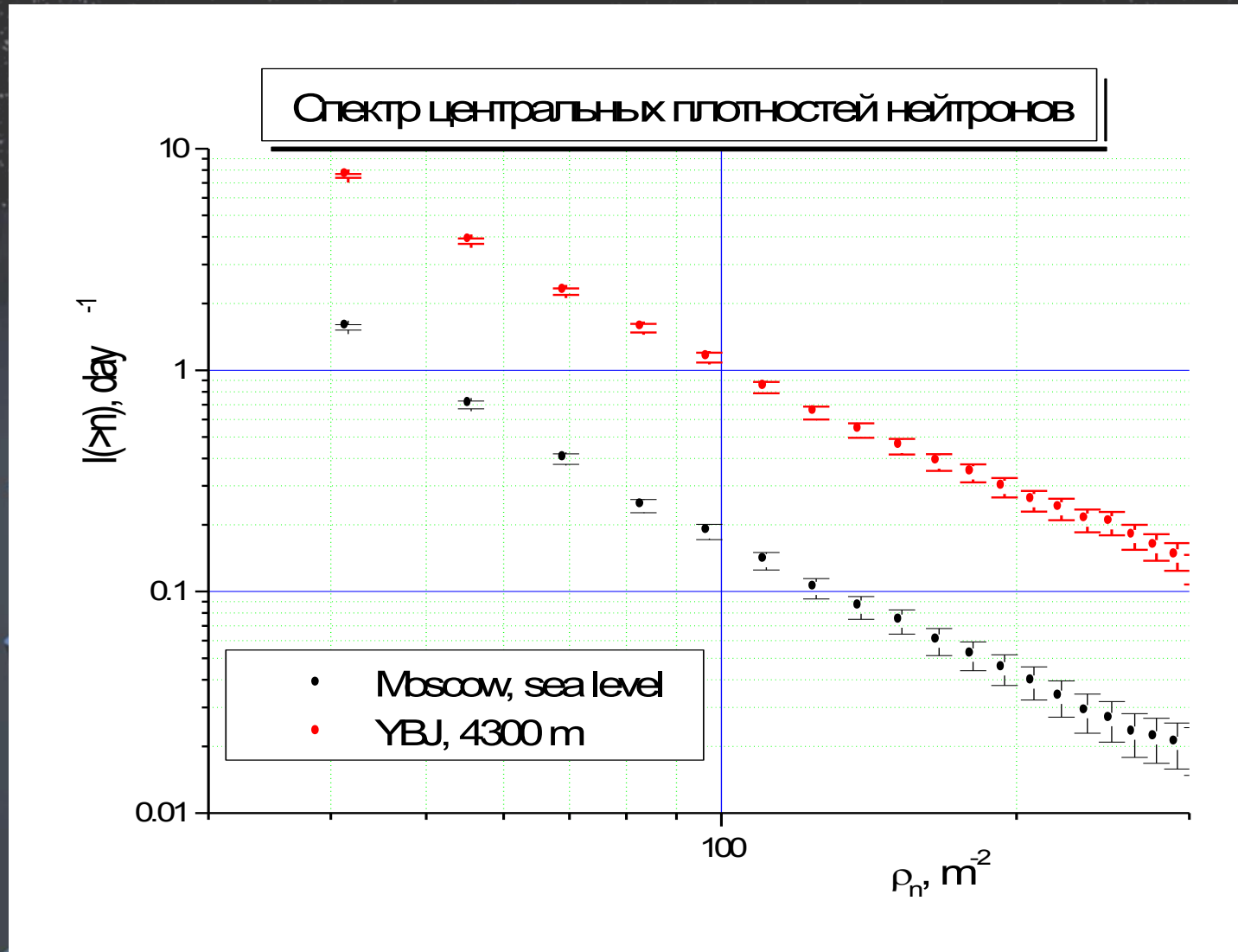
$S = 0.35 \text{ m}^2 \quad 50 \text{ mg/cm}^2$

# Цели и параметры установки ENDA

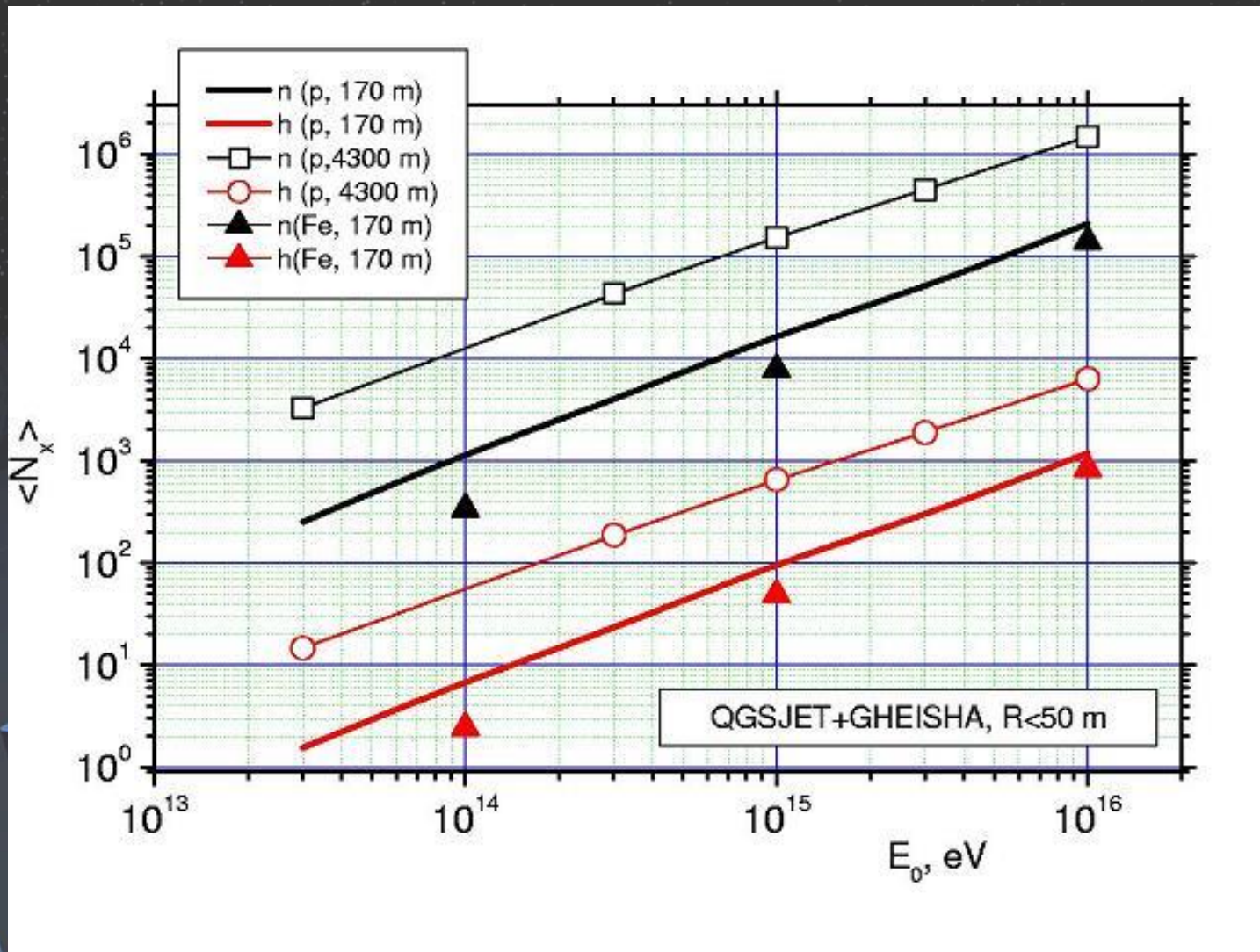
1. ENDA является реализацией предложенного нами ранее проекта PRISMA для изучения спектра космических лучей и их химсостава при энергии выше 1 ПэВ.
2. Это установка нового типа, измеряющая адронную компоненту ШАЛ по всей площади установки, равной (в проекте) 1 га, с помощью разработанных нами в ИЯИ РАН специализированных электронно-нейтронных детекторов (эн-детекторы).
3. Использование только этих детекторов позволяет измерять как электронную, так и адронную компоненты. Последнее особенно важно, поскольку именно адроны являются основной компонентой ШАЛ, определяющей его свойства на уровне наблюдения. При совместной работе с LHAASO дополнительно:  $\mu$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ , etc.
4. Разработка и применение нового метода определения химического состава к. л. по  $n/e$  соотношению.
5. Поднимать установку высоко в горы надо для того, чтобы снизить порог по первичной энергии, т. к. адроны составляют  $\sim 1-2\%$  от электронов и их мало доходит до уровня моря.
6. Число эн-детекторов ENDA будет зависеть от финансирования (максимально 400), расположенных в виде треугольной сетки, с шагом 5 м ( $10000\text{ м}^2$ ).
7. Будет продолжено изучение вариаций природного потока тепловых нейтронов, которое уже позволило обнаружить ряд новых эффектов: сезонные и лунно-приливные волны, «пампинг-эффект» в нейтронах, отклик нейтронного фона на землетрясения и др.

# Результаты, полученные на прототипах и в расчетах

## Экспериментальные спектры центральных плотностей тепловых нейтронов

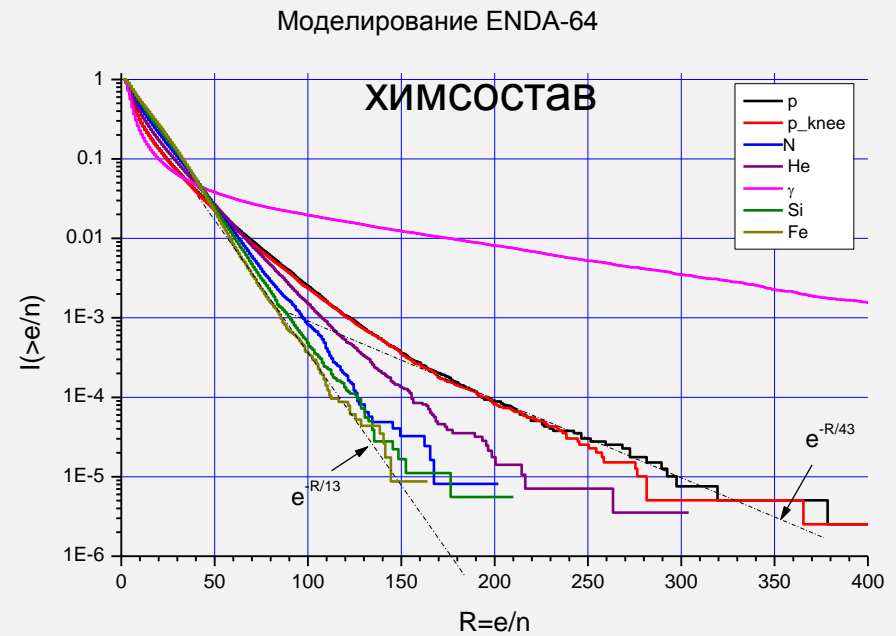
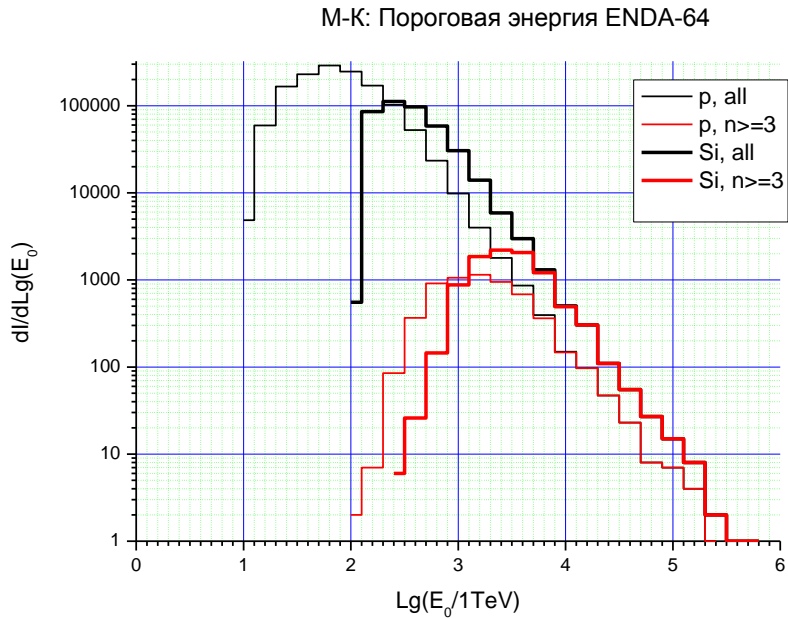


# “Нейтронный пар” как energy estimator

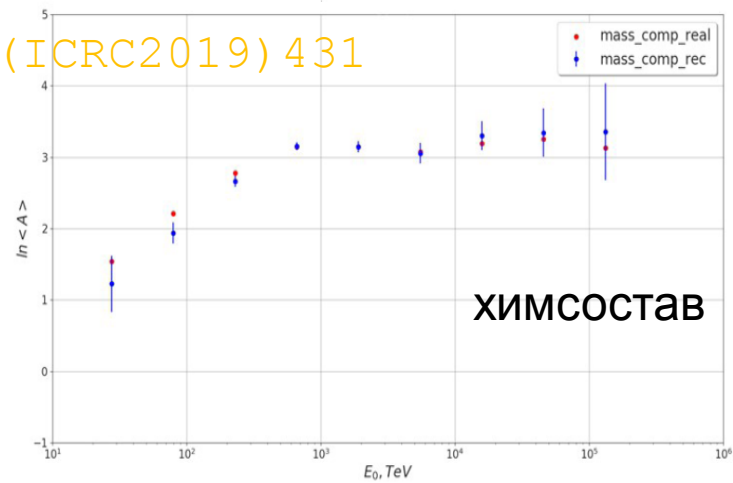


Yu.V. Stenkin, V.V. Alekseenko, et al. Chinese Physics C, v. 37, No 1, (2013)

# Моделирование эксперимента ENDA-64

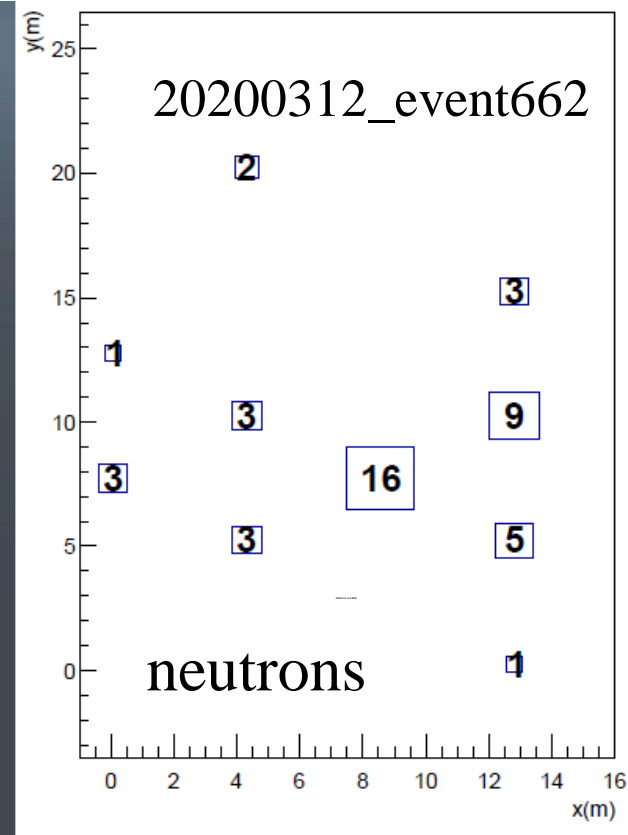
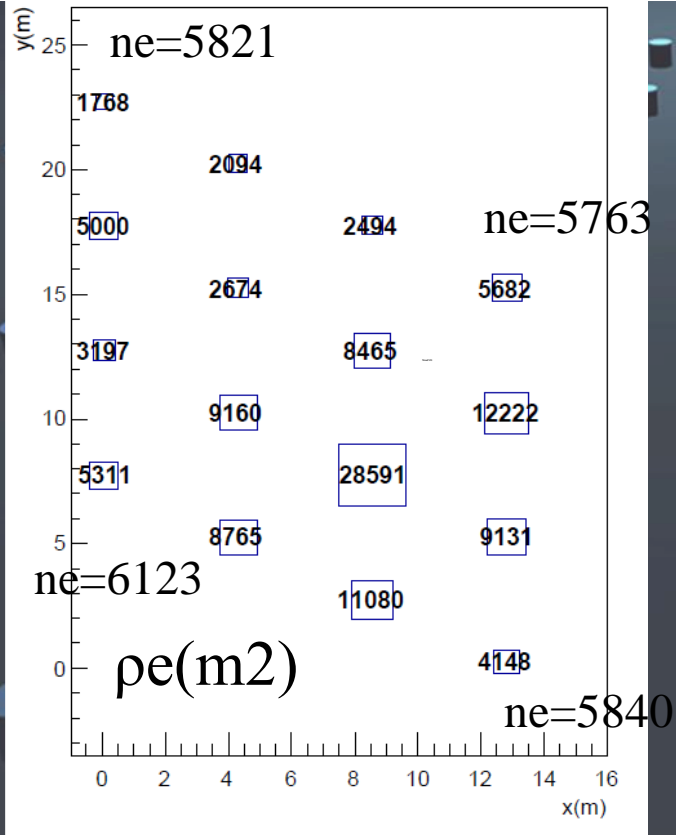
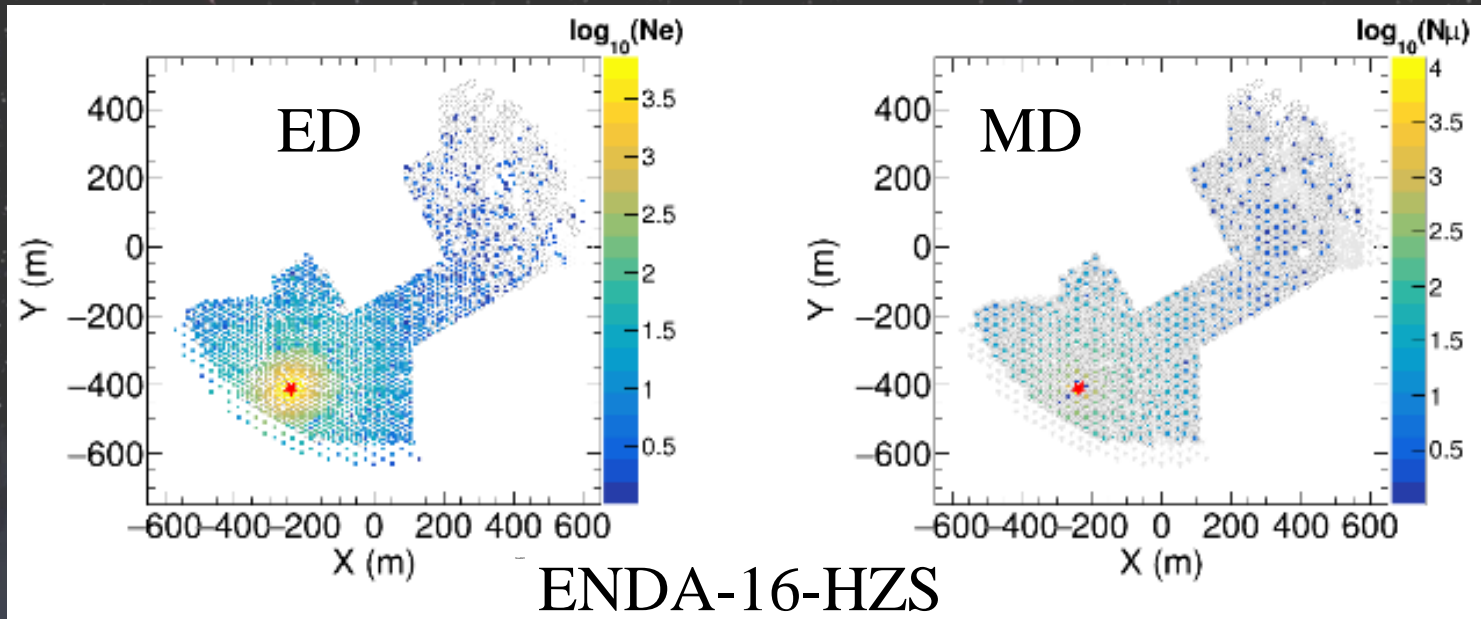


PoS (ICRC2019) 431



**Figure 4:** Mean atomic number reconstruction as a function of primary energy made using k-NN technique on multiple variables:  $\lg E_{\text{rec}}$ ,  $s$ ,  $\ln(Nn+1)$ . Mass composition is the random mixture of p, He, N, Si, Fe. Red circles – real values of used composition and blue circles – reconstructed values.

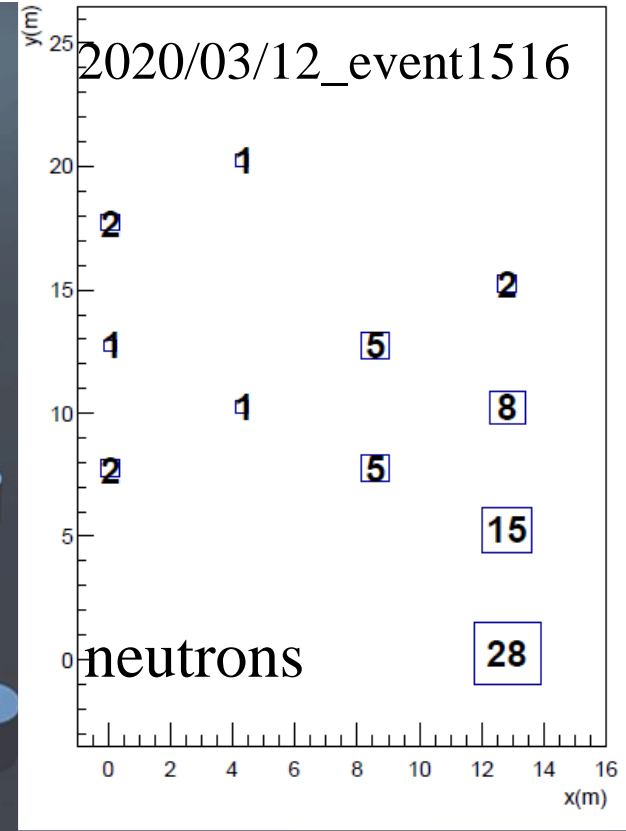
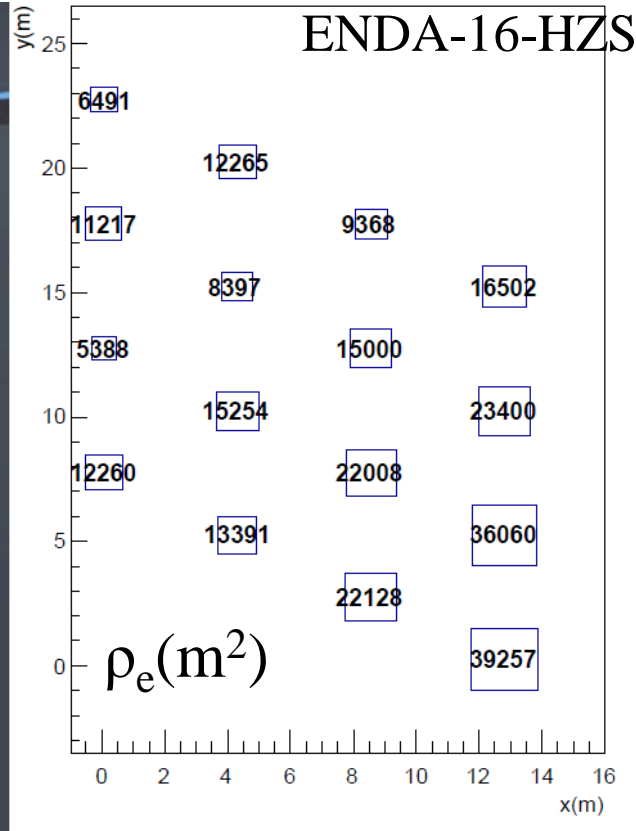
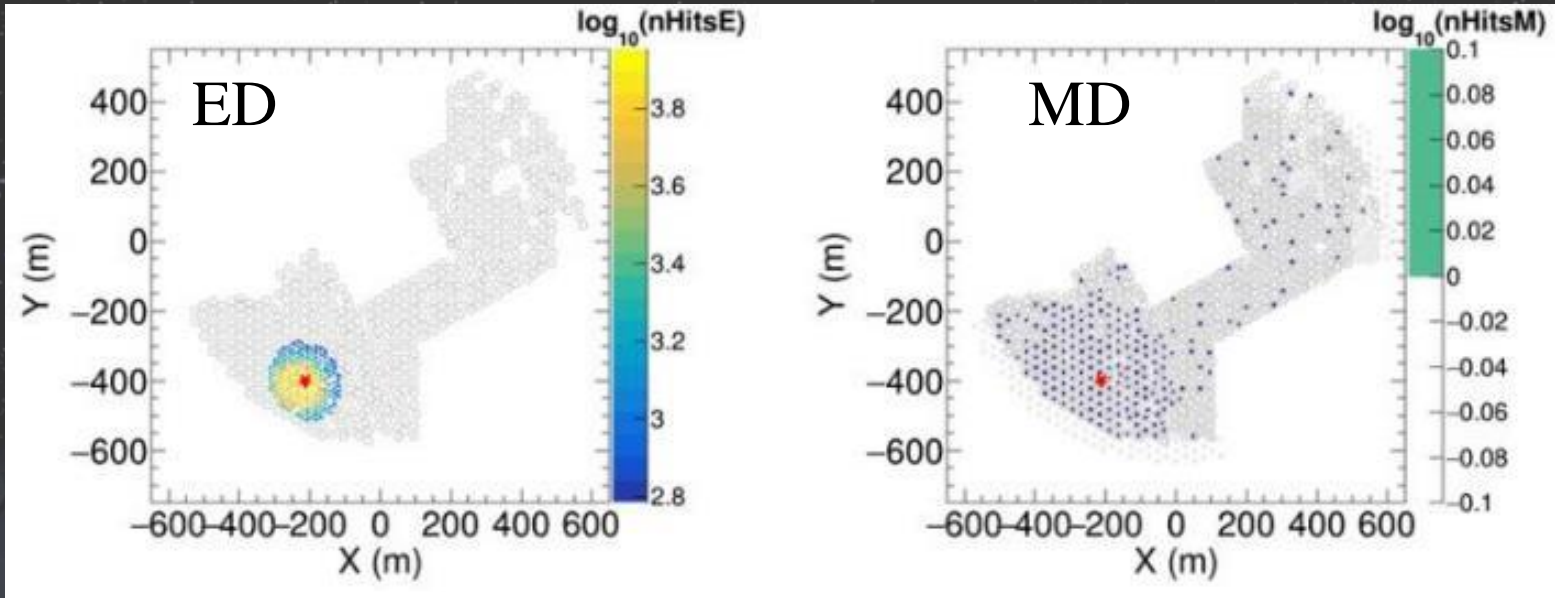
# Coincident event #1





# Coincident event #2

WFCTA: not work in day time



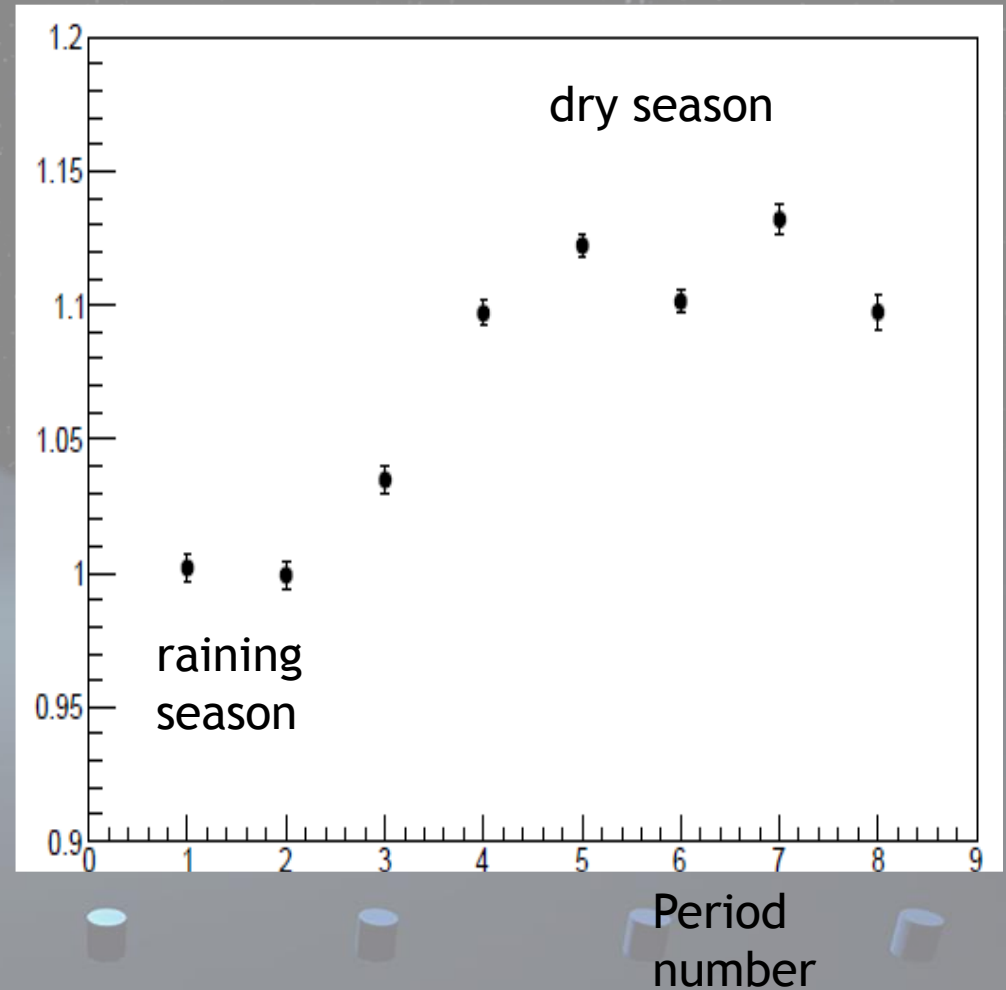
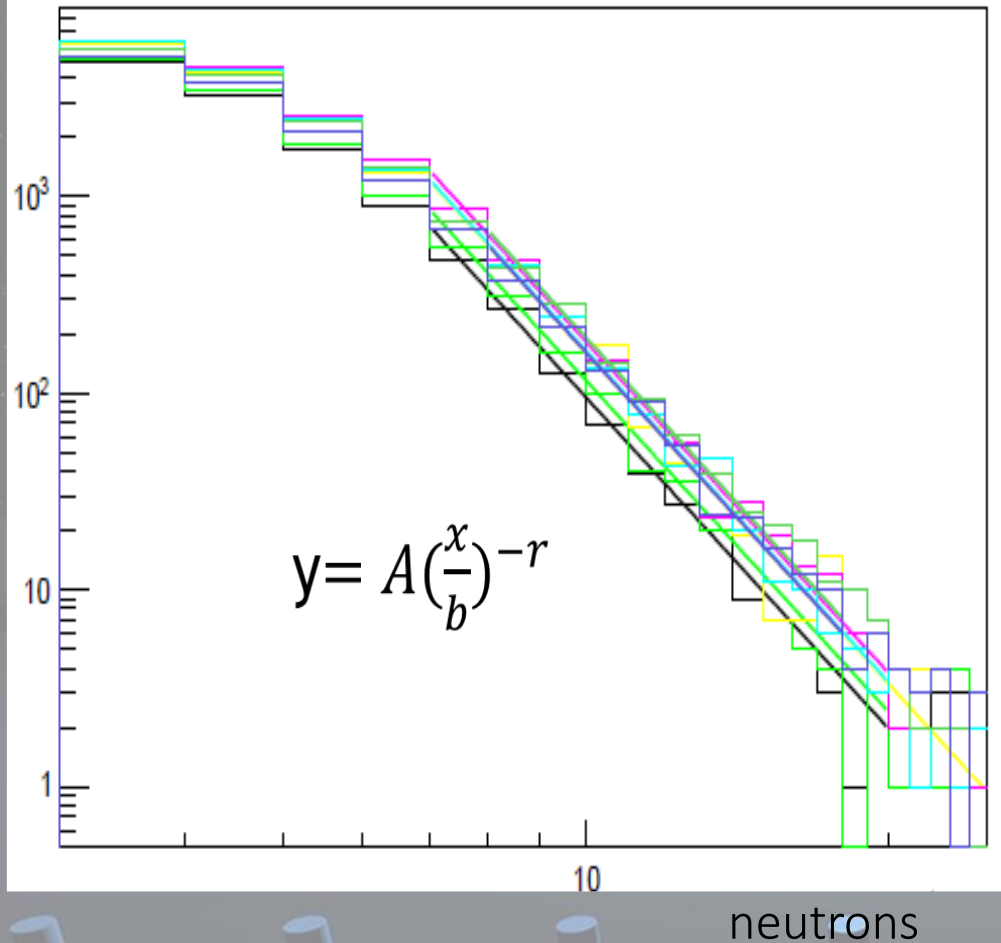
# Прототип Р-16-УВУ

расположение: Янгбаджинг, Тибет, 4300 м над ур. моря,  
на базе эксперимента **Tibet AS $\gamma$**

1. Test specification of one cluster of ENDA
2. Test hybrid measurement of cosmic showers between ENDA and big array (YBJHA: ED+MD)



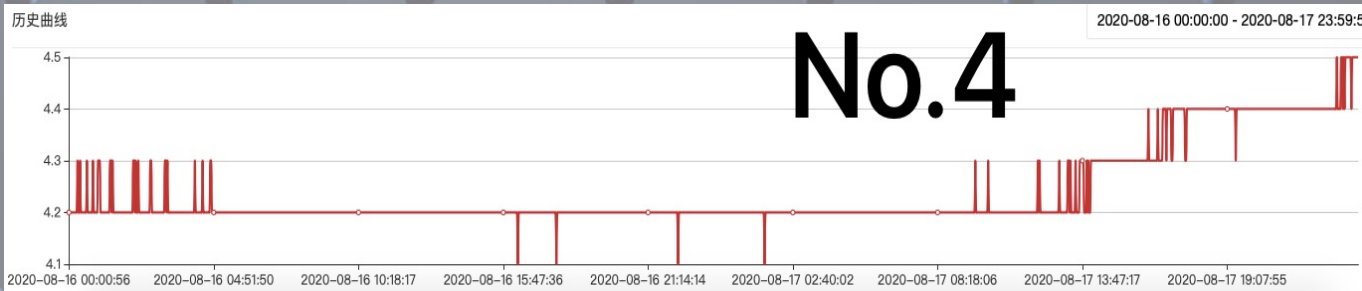
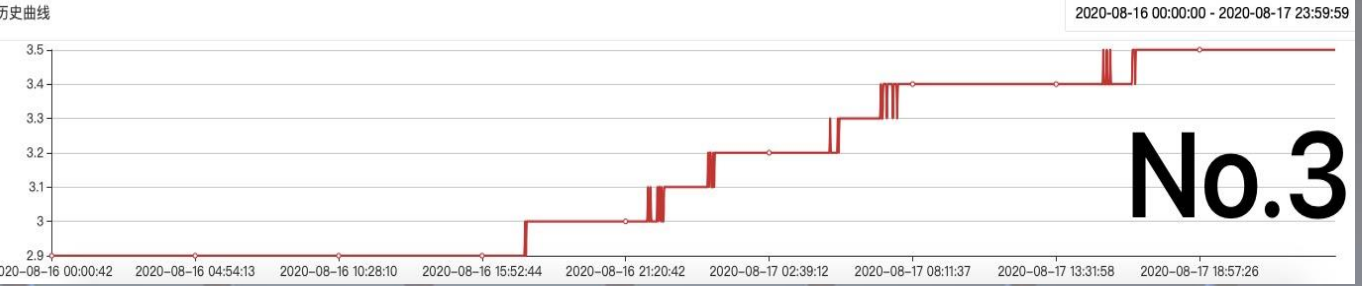
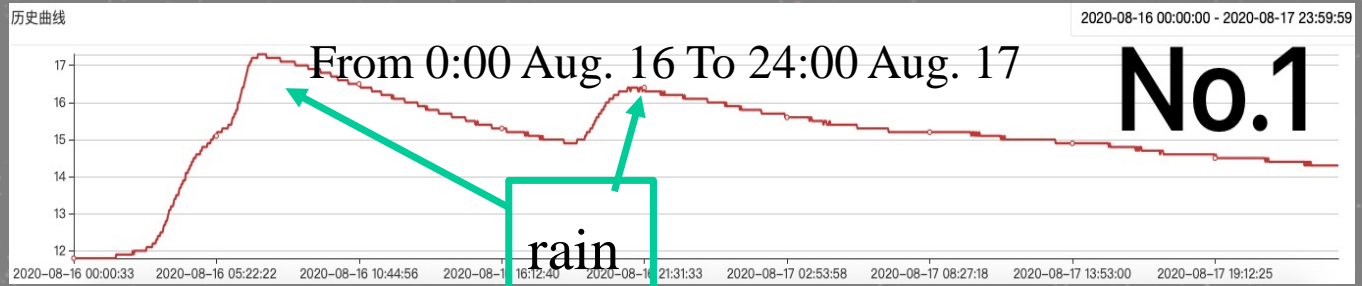
events



Neutrons in rain season are 10% less than ones in dry season because more water in soil under the cluster.



Humidity (%)



- ground
- 20cm No.1
- 30cm No.2
- 50cm No.3
- 50cm No.4
- 50cm No.5

7.1

5.2

3.5

2.9

4.5

4.1

6.4

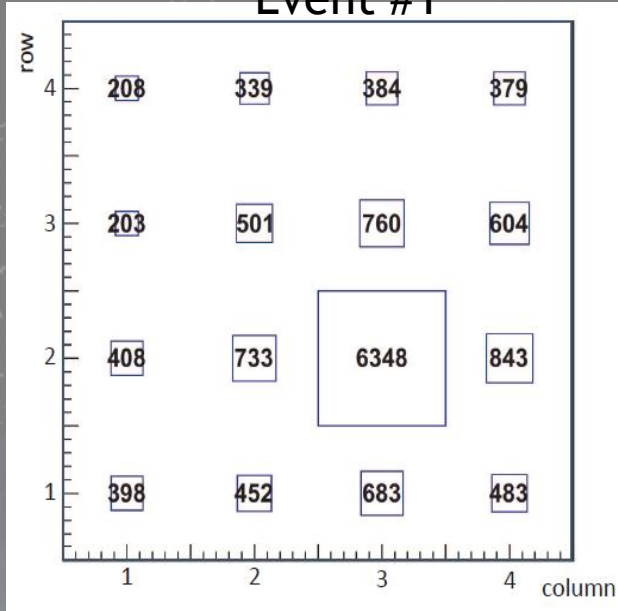
6.2

time

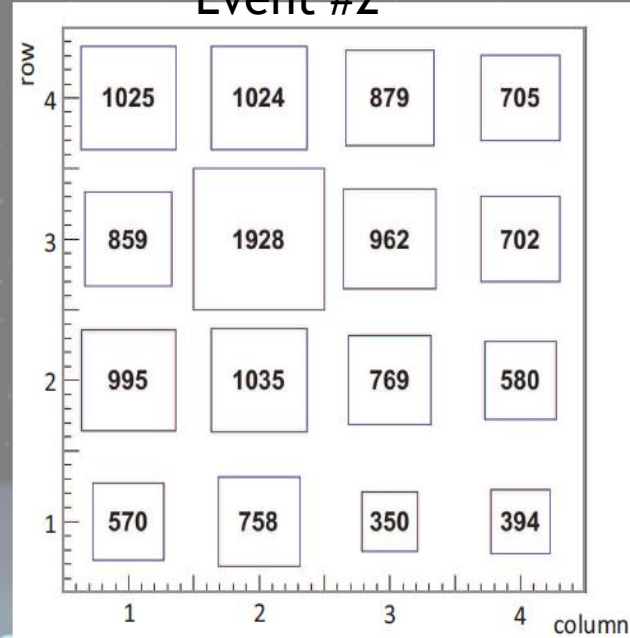
# Two typical events

electrons

Event #1



Event #2

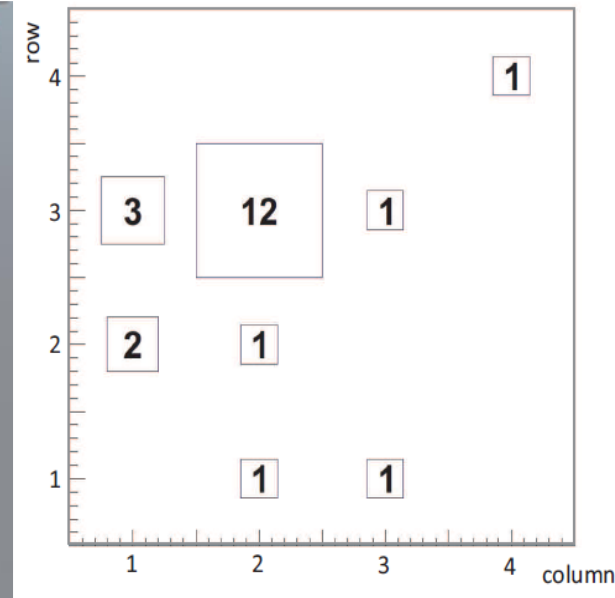
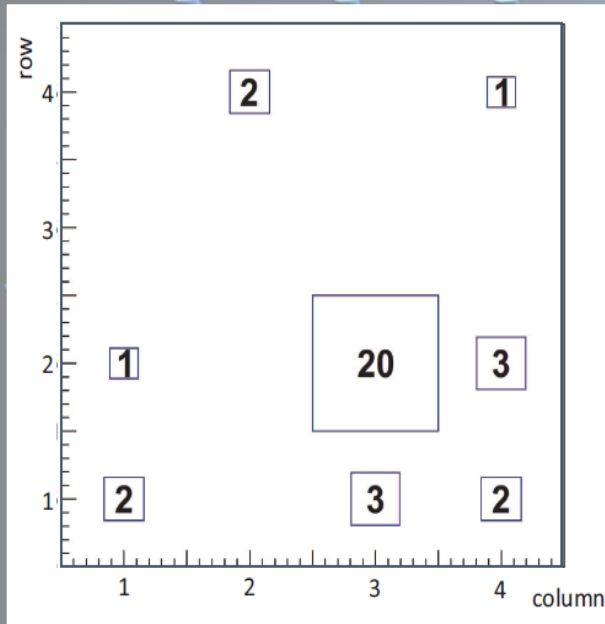


Total electrons difference 1.4% ,

but,

Total neutrons difference 55%

neutrons



Primary p?

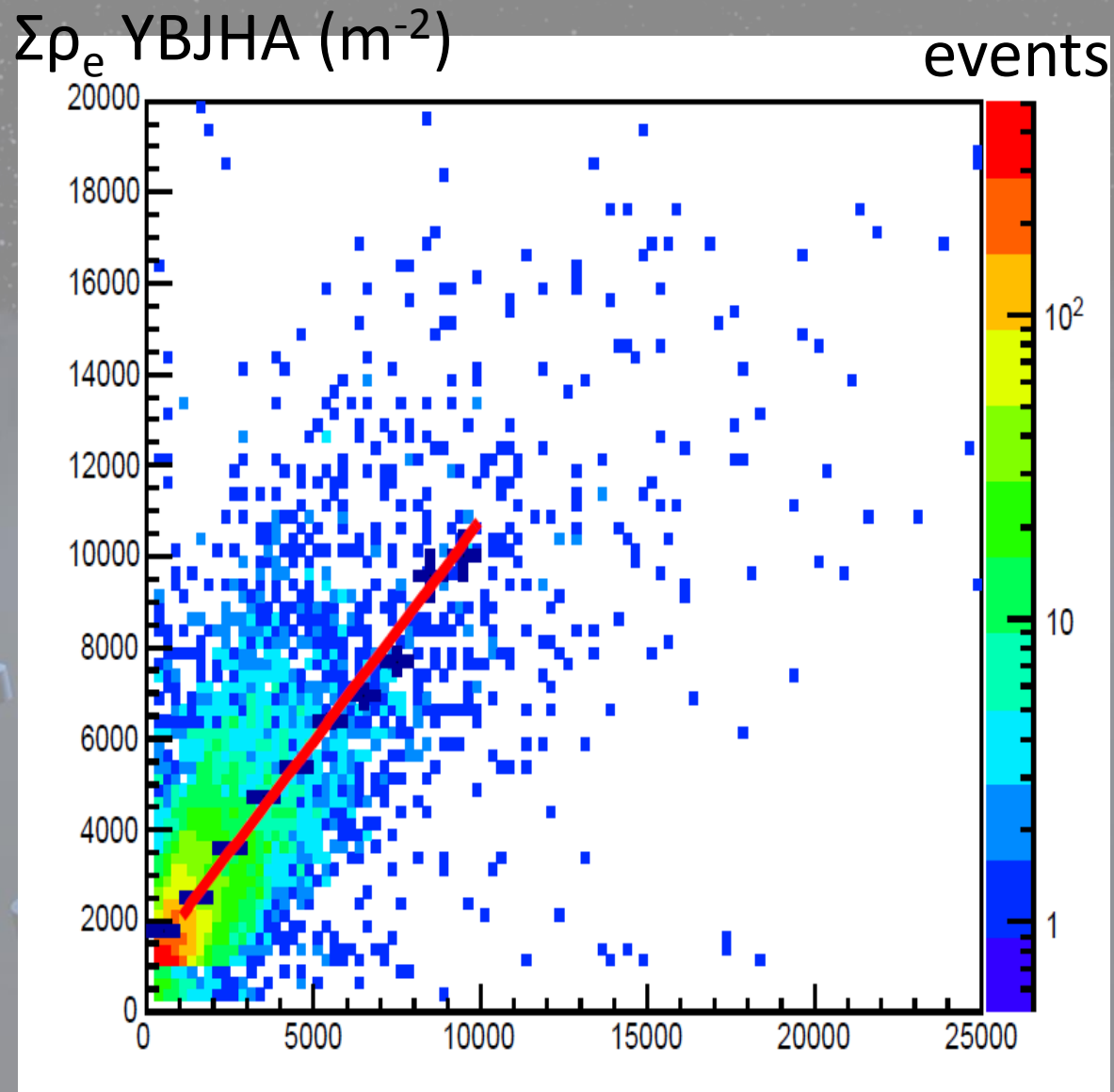
Heavy primary?

Linear fitting  $y=a+bx$

$b=0.97\pm 0.02$

$a=1099\pm 43$

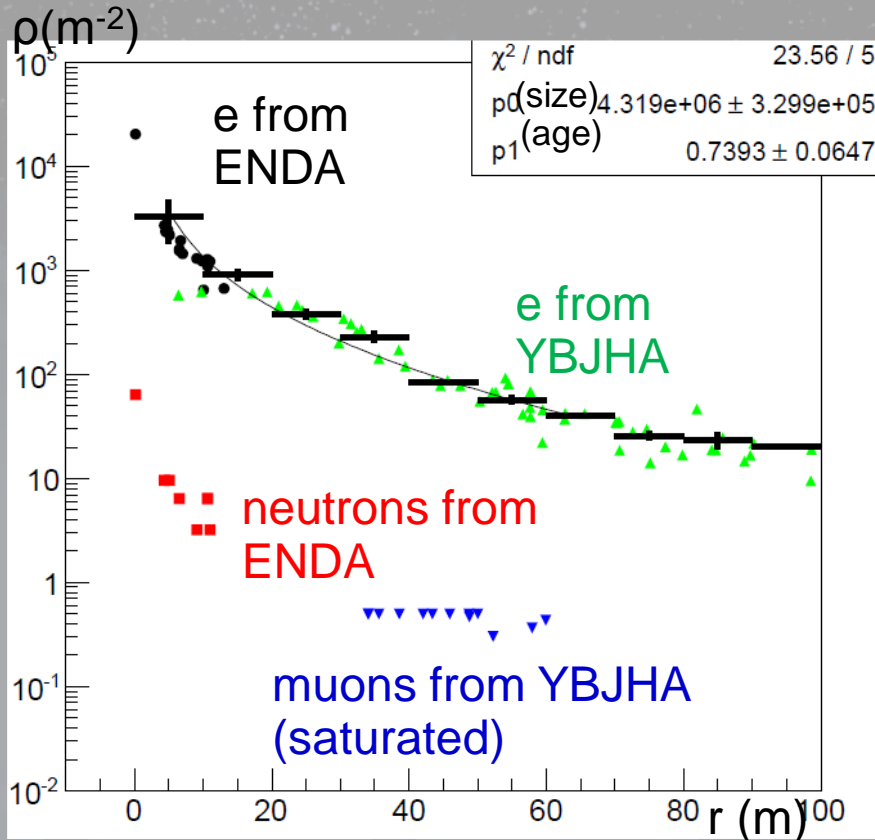
electrons - energy



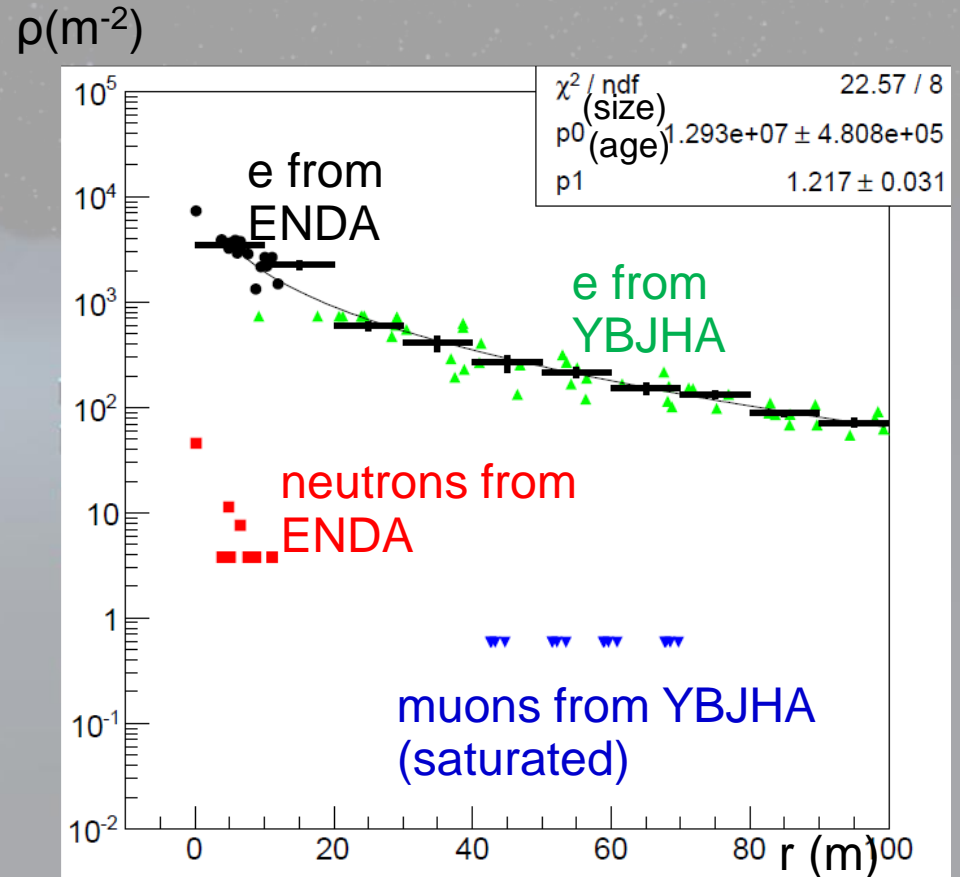
$\Sigma\rho_e$  ENDA ( $\text{m}^{-2}$ )

# hybrid measurement

Event #1



Event #2



#1 probably belongs to p-EAS, while #2 probably belongs to heavy-EAS with wider core and lower  $E_0/\text{nucleon}$  and thus lower number of neutrons



# Заключение

1. Проект PRISMA (PRImary Spectrum Measurements Array) начал реализовываться в виде эксперимента ENDA-LHAASO.
2. В настоящее время идет отладка работы всех систем на трех прототипах: 2 в горах и один в Москве
3. Через 2-3 года мы будем иметь уникальную установку для решения проблемы излома спектра и химического состава к. л. в ПэВной области
4. Совместная работа в рамках коллаборации LHAASO и разработанный нами новый метод изучения ШАЛ создают хорошие предпосылки для успешного решения всех поставленных задач.

Спасибо за внимание!

