

# **ОЦЕНКА СПЕКТРА ЛЕГКОЙ КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ 200 -10000 ТЭВ ГИБРИДНЫМ МЕТОДОМ.**

**Свешникова Л.Г.**

---

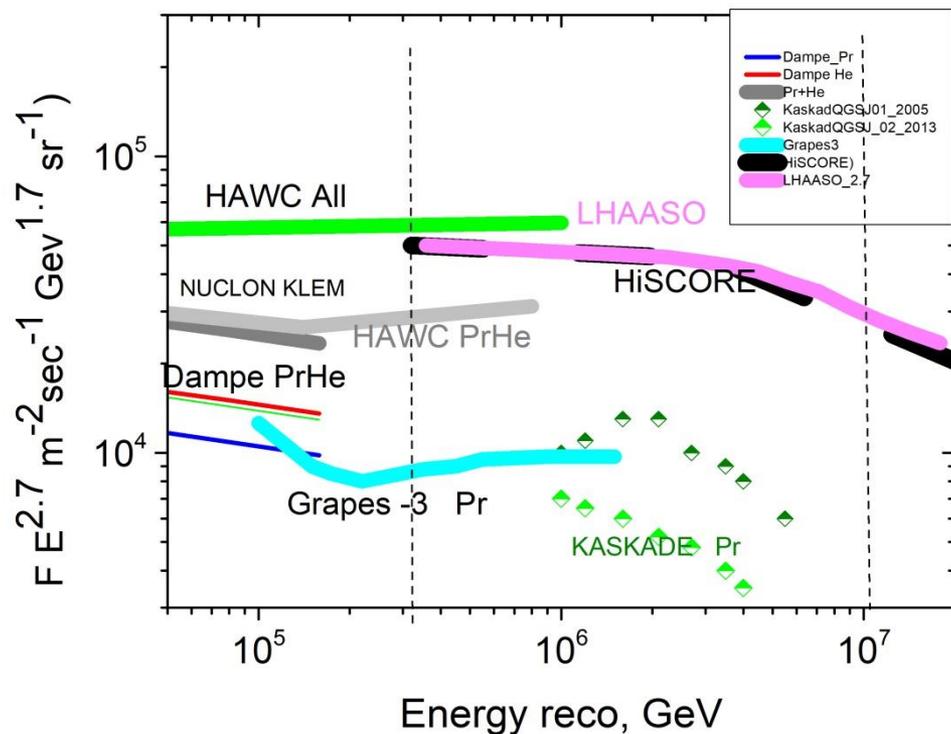
**от эксперимента TAIGA**

# ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 'ЭКСПЕРИМЕНТА TAIGA'

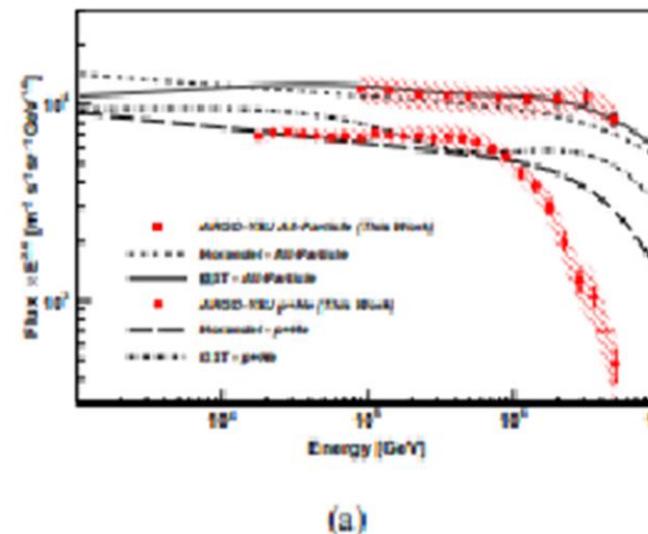
---

- - ✘ Исследование космических лучей в области десятки ТэВ – 300 ПэВ, структура и состав спектров КЛ
  - ✘ Гамма-астрономия высоких энергий  $> 6$  ТэВ, исследование высокоэнергичной части спектров источников, поиск ПэВатронов

# СПЕКТР КЛ ЛУЧЕЙ В ОБЛАСТИ КОЛЕНА

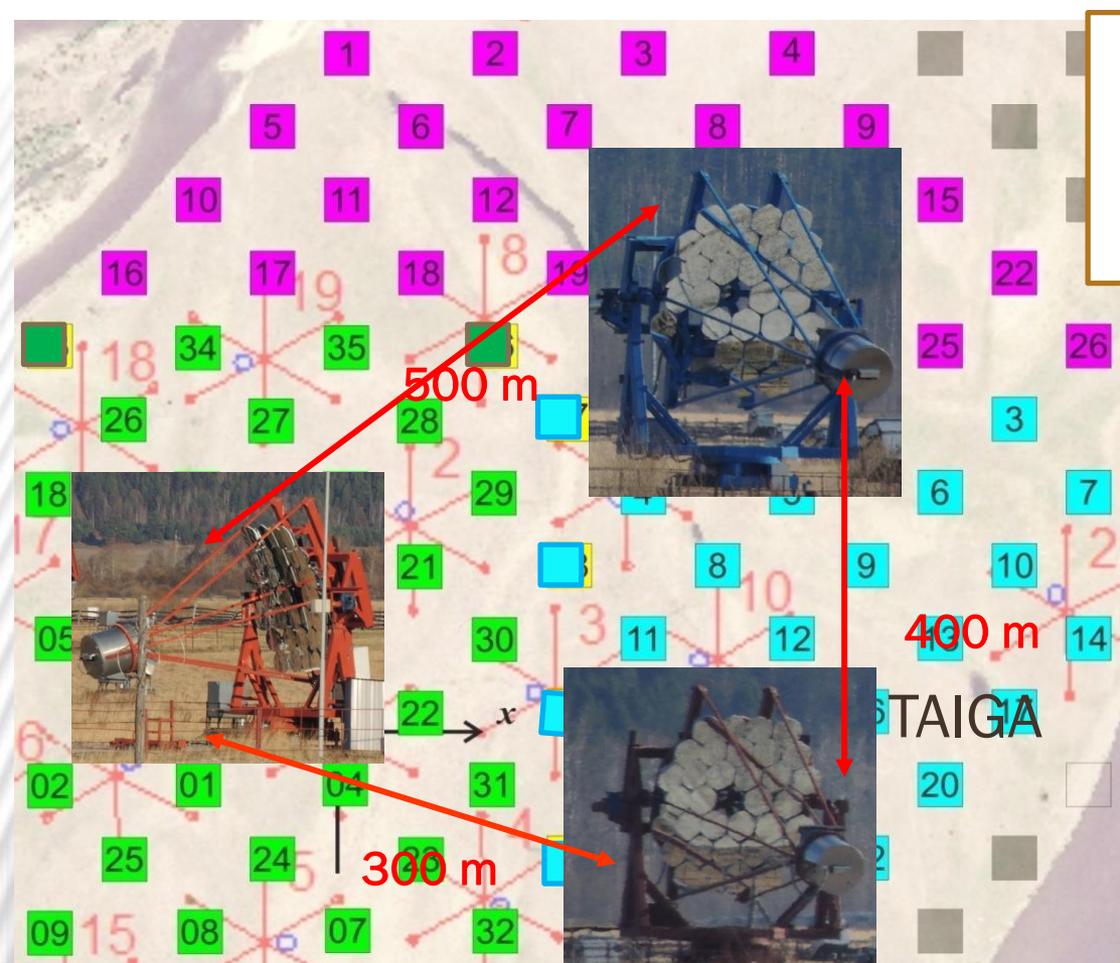


ARGO 2020

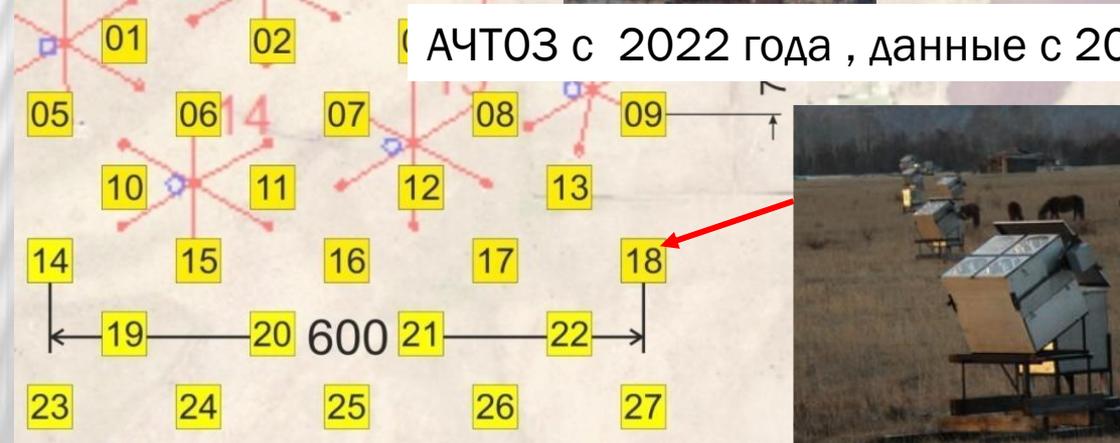


- ✘ Именно в этой области энергий возможно и предлагается использование новых данных эксперимента TAIGA по гибридным событиям для выделения легкой компоненты КЛ

# Гибридный метод – HiSCORE + IACT (3-5)



ИЧТОЗ с 2022 года , данные с 2021



# ГИБРИДНЫЕ СОБЫТИЯ – HiSCORE + IACT

22-23 сезон – Boomerang IACT + HiSCORE (0-30°)

HiSCORE + IACT01,  $S_{full}=1\text{km}^2$ , 38 часов

HiSCORE + IACT02,  $S_{full}=1\text{km}^2$ , 45 часов

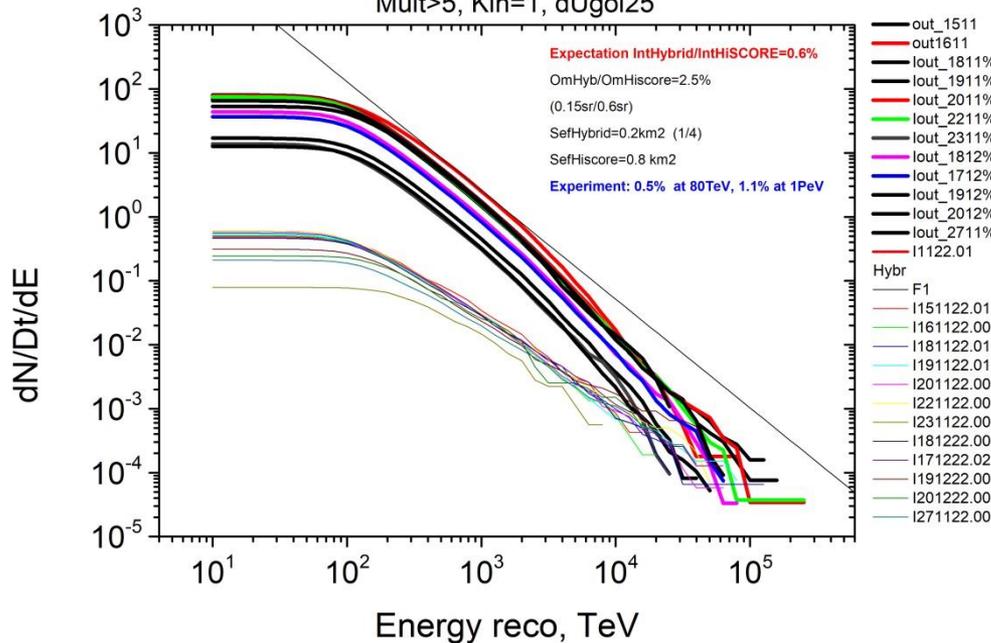
HiSCORE + IACT03  $S_{full}=1\text{km}^2$ , 55 часов

Вся имеющаяся  
Статистика в 50 раз больше

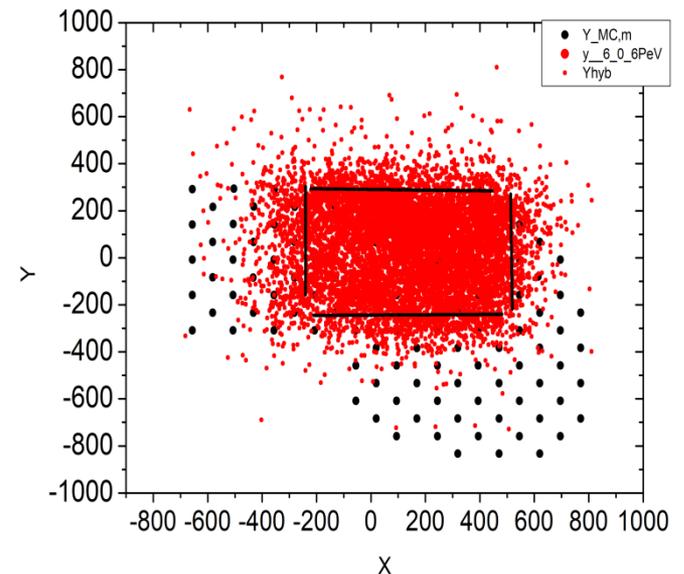
HiSCORE:: энергия, направление  
прихода, положение оси ливня

IACT - Сорт частицы

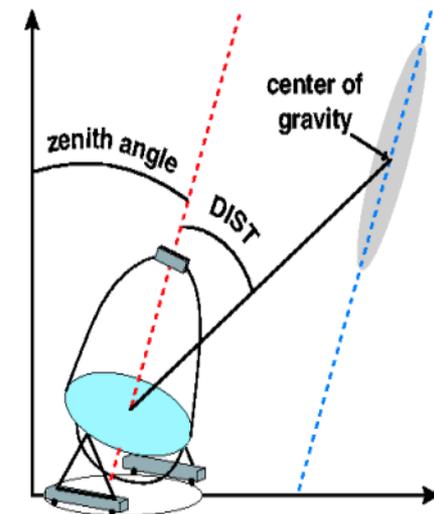
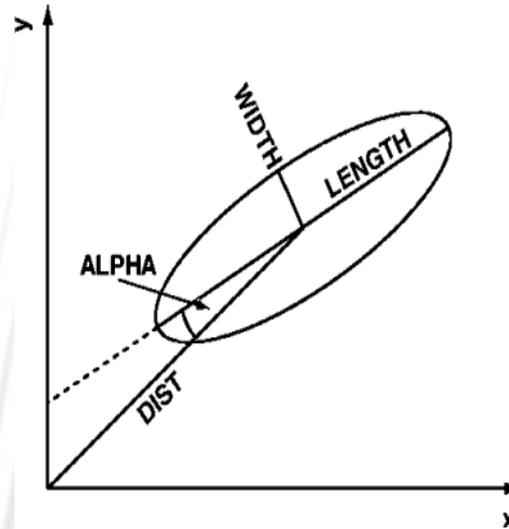
All hybrid and Hiscore events events 4 clacters  
Mult>5, Kin=1, dUgol25



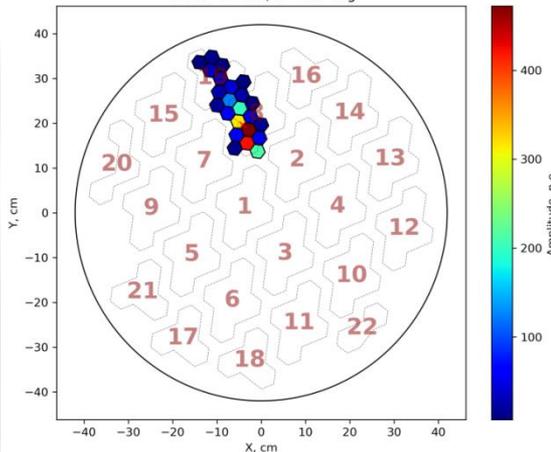
$S=1.2\text{km}^2$ ,  $\text{delt}=30$ ,  $S=1.0\text{km}^2$   $\text{Seff Tel1} \sim 0.4\text{km}^2$



# TAIGA IACT (AЧT)



Event #3461815  
 Ncl = 0, Npix = 23  
 Size = 2230 p.e.  
 Width=1.2 cm,  $\alpha=13.7$  deg



Area of mirrors - 9.6 m<sup>2</sup> ( 34mirrors )  
 Focus length 4.75 m

**FoV** 9.6°

pixel FoV 0.36°

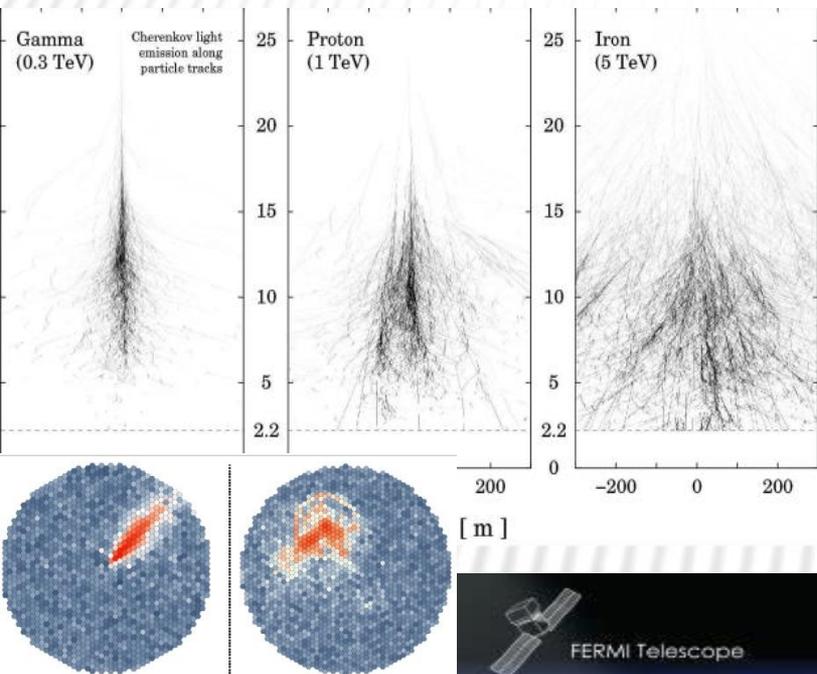
600 pixels( pmt XP1911 Ø 19 MM)

PSF ~0.1°

CCD for checking telescope pointing direction.

Основные параметры  
 Width  
 Length  
 Dist  
 Alfa  
 tet

# КАК РАЗДЕЛЯЮТСЯ ЛИВНИ ОТ ГАММА-КВАНТОВ И АДРОНОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ



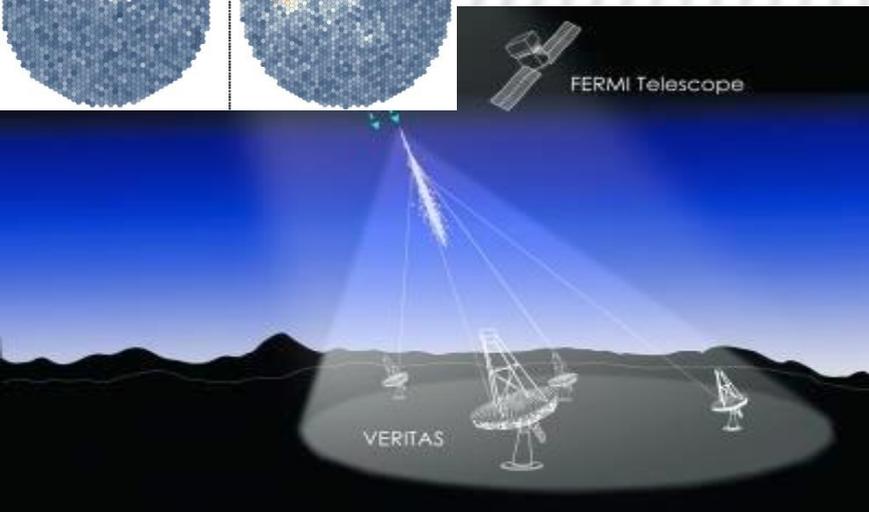
## Три подхода

1. По угловому распределению Черенковского света, образованного ШАЛ с помощью атмосферных Черенковских телескопов АЧТ, **IACT HESS, MAGIC, СТА, VERITAS** и тд

2. По функции пространственного Распределения заряженных частиц **HAWC , Tibet Asgam**

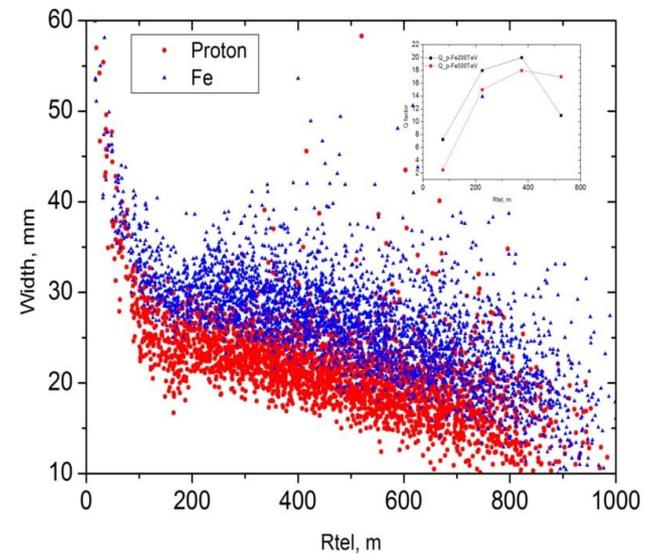
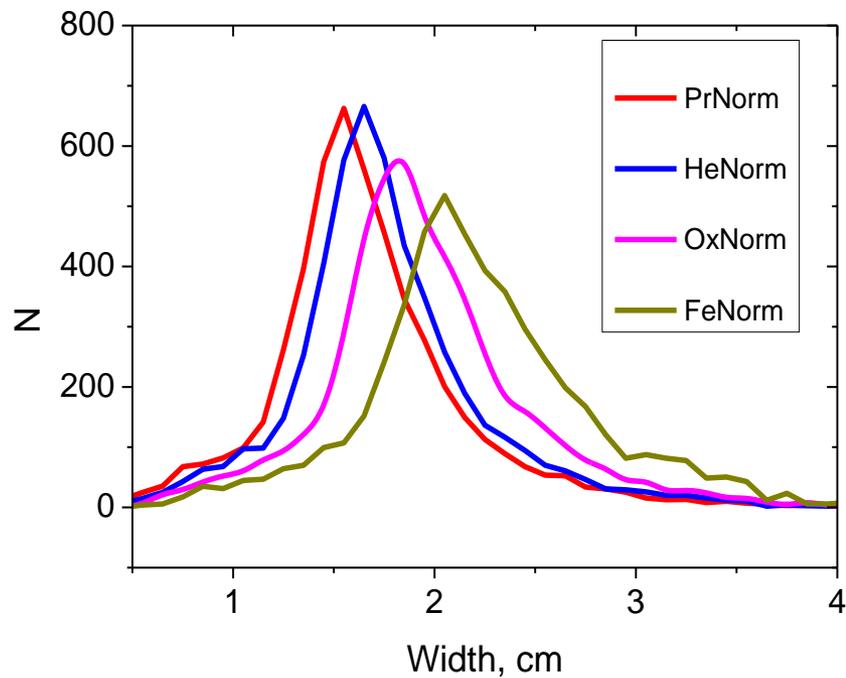
3. По числу мюонов в ШАЛ ( $E > 100$  ТэВ)

**LHAASO**



# ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ВЫДЕЛЕНИЯ

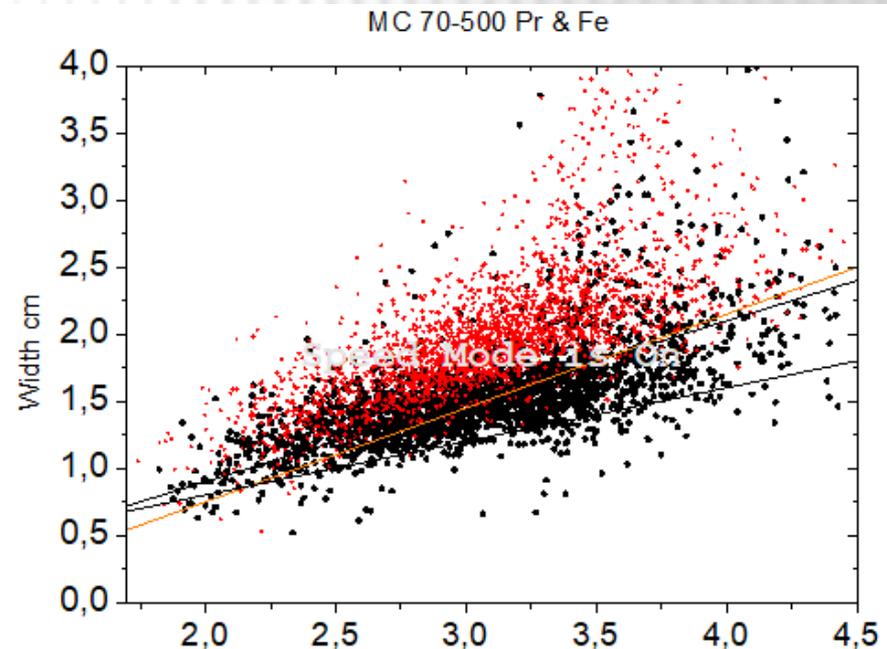
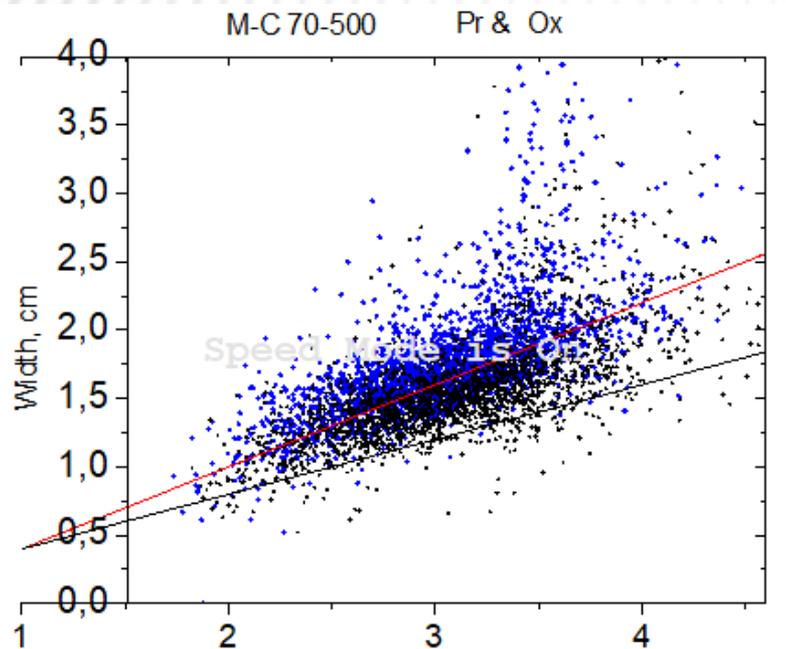
## 1) WIDTH - RTEL 2018



# НЕОБХОДИМО - М-К ДО ЭНЕРГИИ $10^{16}$

Pr, He, Oх, Si, Fe 70- 500 TeV

Pr, 878 файл 200-2000 TeV



# M-K 200-2000 TEV PR GAM=-1

# M-K 200-4000 TEV FE 4 CLUSTERS

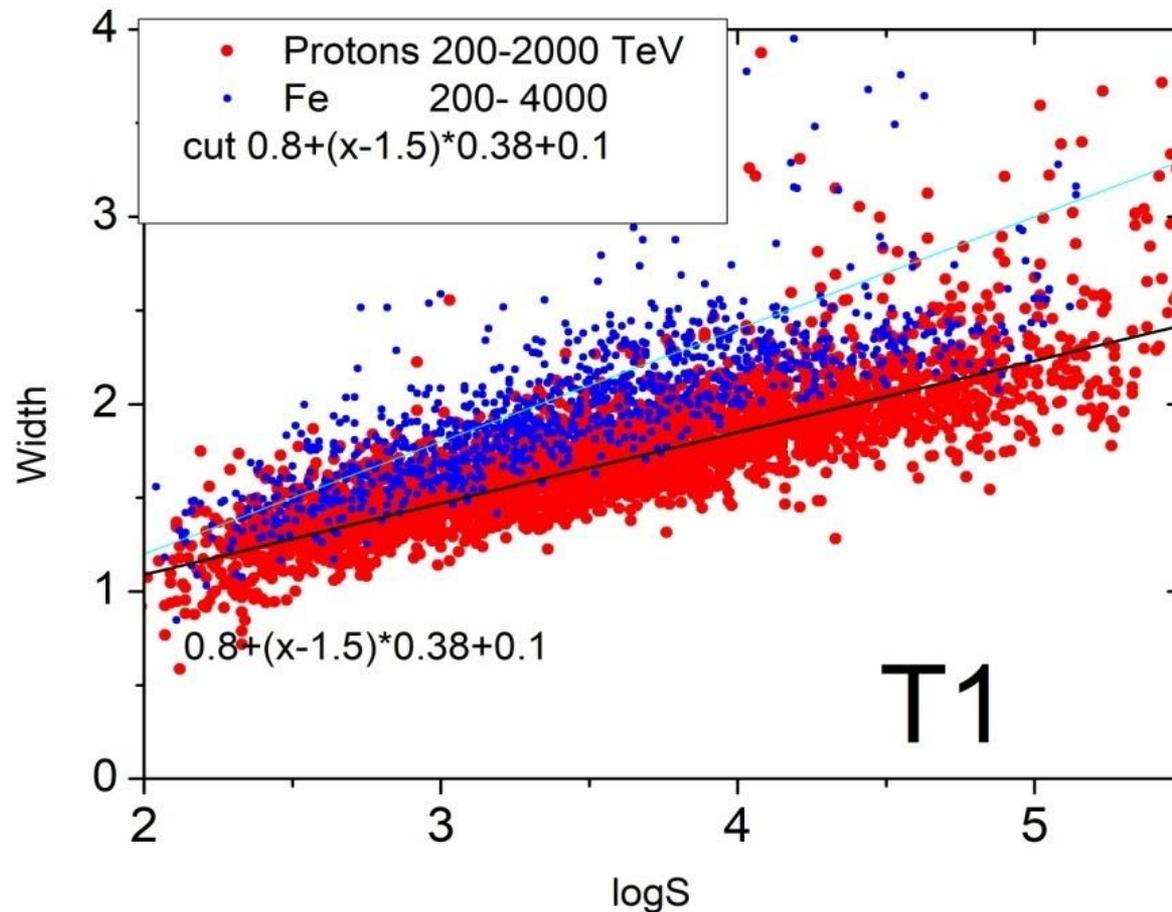
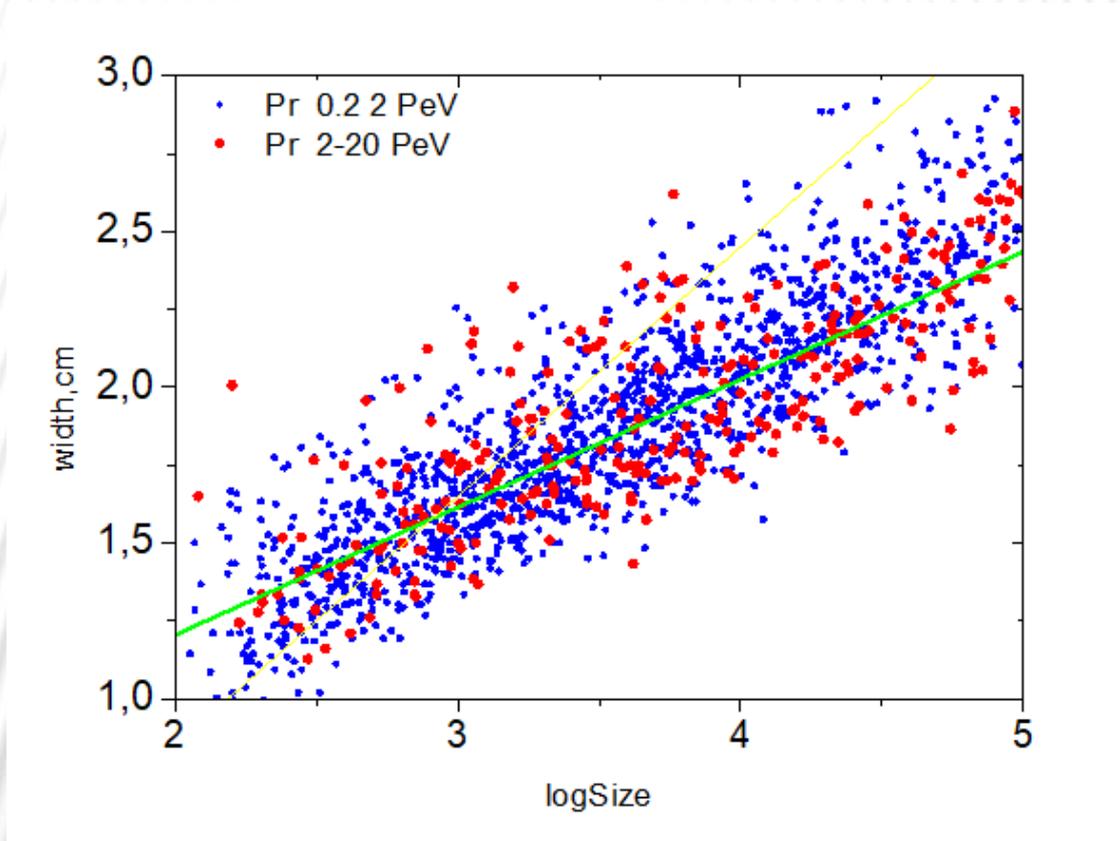


Рис. 2. Зависимость  $\text{width}(\text{Size})$  и  $\text{kurtosis}(\text{Size})$  для ядер Pr+He (красные точки) и от ядер железа (синие точки).

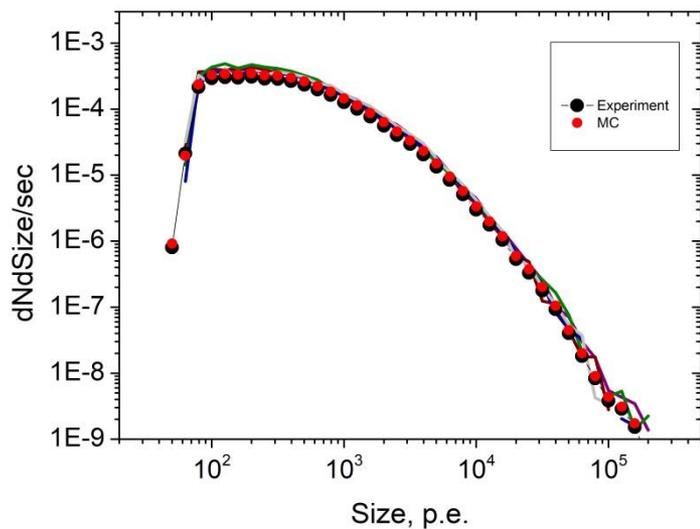
# M-K: PR 0.2-2 PeV & PR 0.2-20 PeV



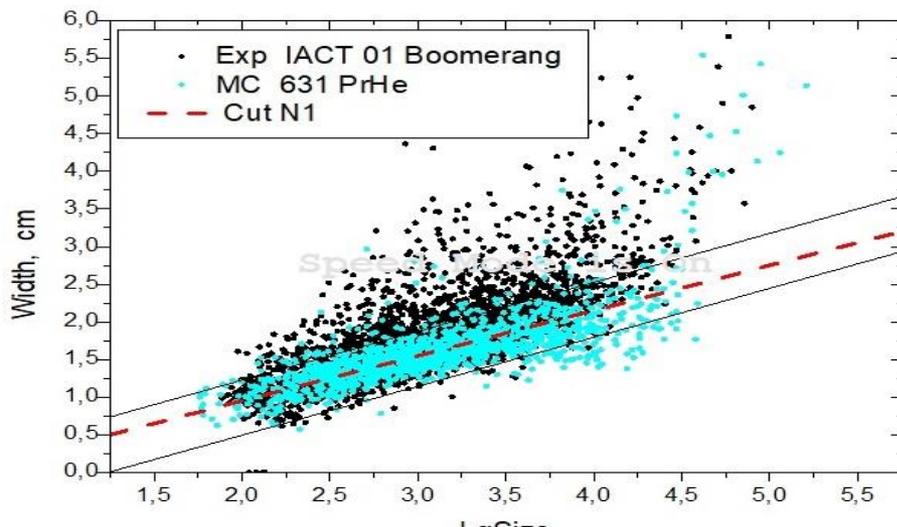
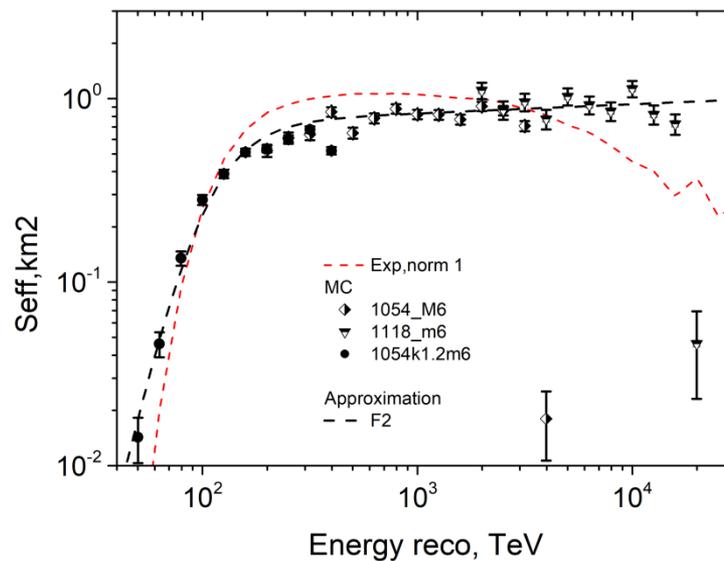
Очень важно, что тип зависимости  $Width(LgSize)$  не изменяется до 20 PeV

# СПАВНЕНИЕ М-К С ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Exper. 19 days 48 hours IACT01-black points, M-C red points



9 june All HiSCORE Monte-Carlo rig



# ПРОЦЕДУРА ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕГКОЙ КОМПОНЕНТЫ

Мы использовали алгоритм, хорошо зарекомендовавший себя в гамма-астрономии для восстановления спектра гамма-квантов:

**1 этап:** по данным Монте-Карло проводится настройка критериев отбора PrHe Width (Size)max ( в данной работе);

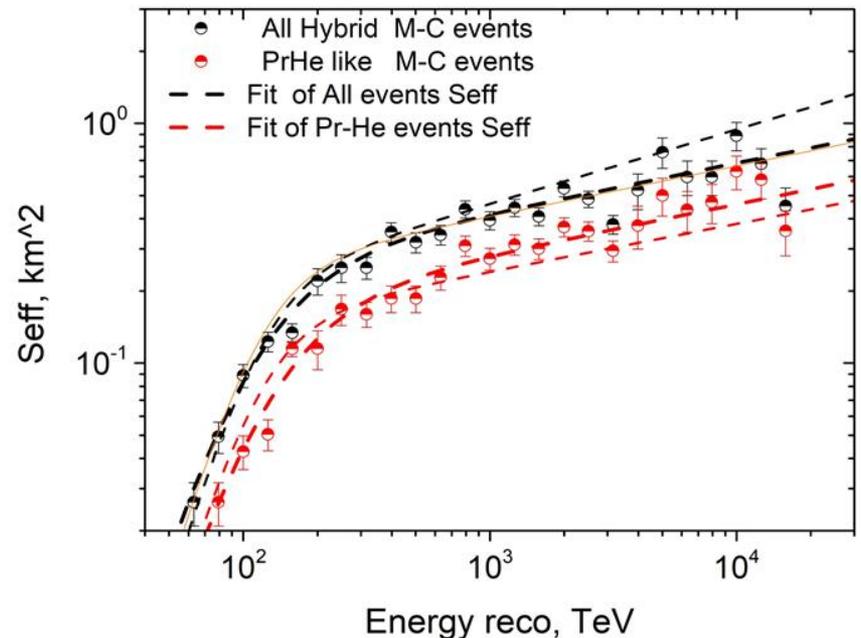
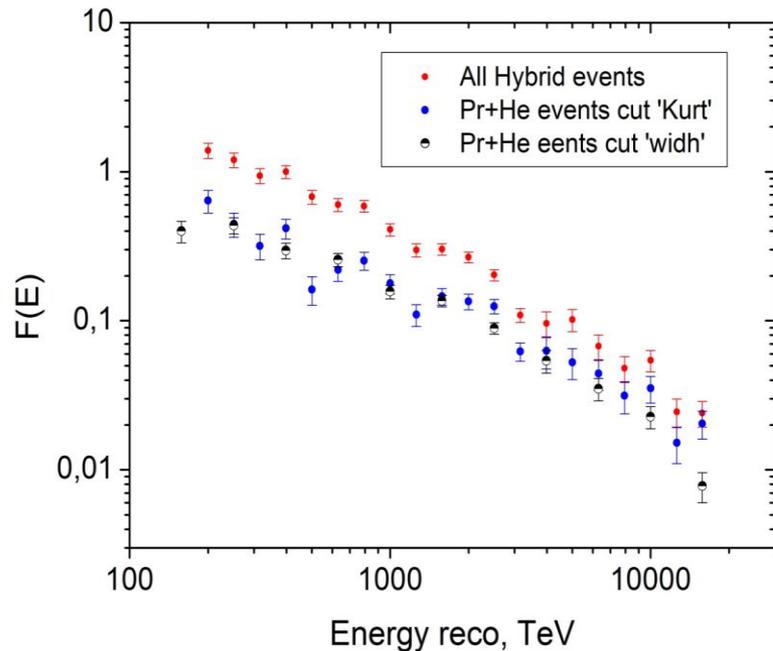
**2 этап:** по данным Монте-Карло рассчитывается  $S_{\text{ef}}$  всех гибридных событий  $S_{\text{Hyb}}$  и событий, отобранных по критериям легкой компоненты  $S_{\text{PrHe}}$

$$S_{\text{Hyb}}(E) = N_{\text{Hyb}}(E) / N_{\text{primary}}(E) * S_{\text{M-K}} ; \quad S_{\text{PrHe}}(E) = N_{\text{PrHe}}(E) / N_{\text{primary}}(E) * S_{\text{M-K}} \quad (1)$$

**3 этап:** -  $F_{\text{all}}(E) = F_{\text{Hyb}}(E) / dT / d\Omega / S_{\text{eff}}$  ,  $F_{\text{Pr+He}}(E) = F_{\text{HybPrHe}} / dT / d\Omega / S_{\text{effPrHe}}$   
интенсивность полного первичного потока всех частиц и легкой компоненты

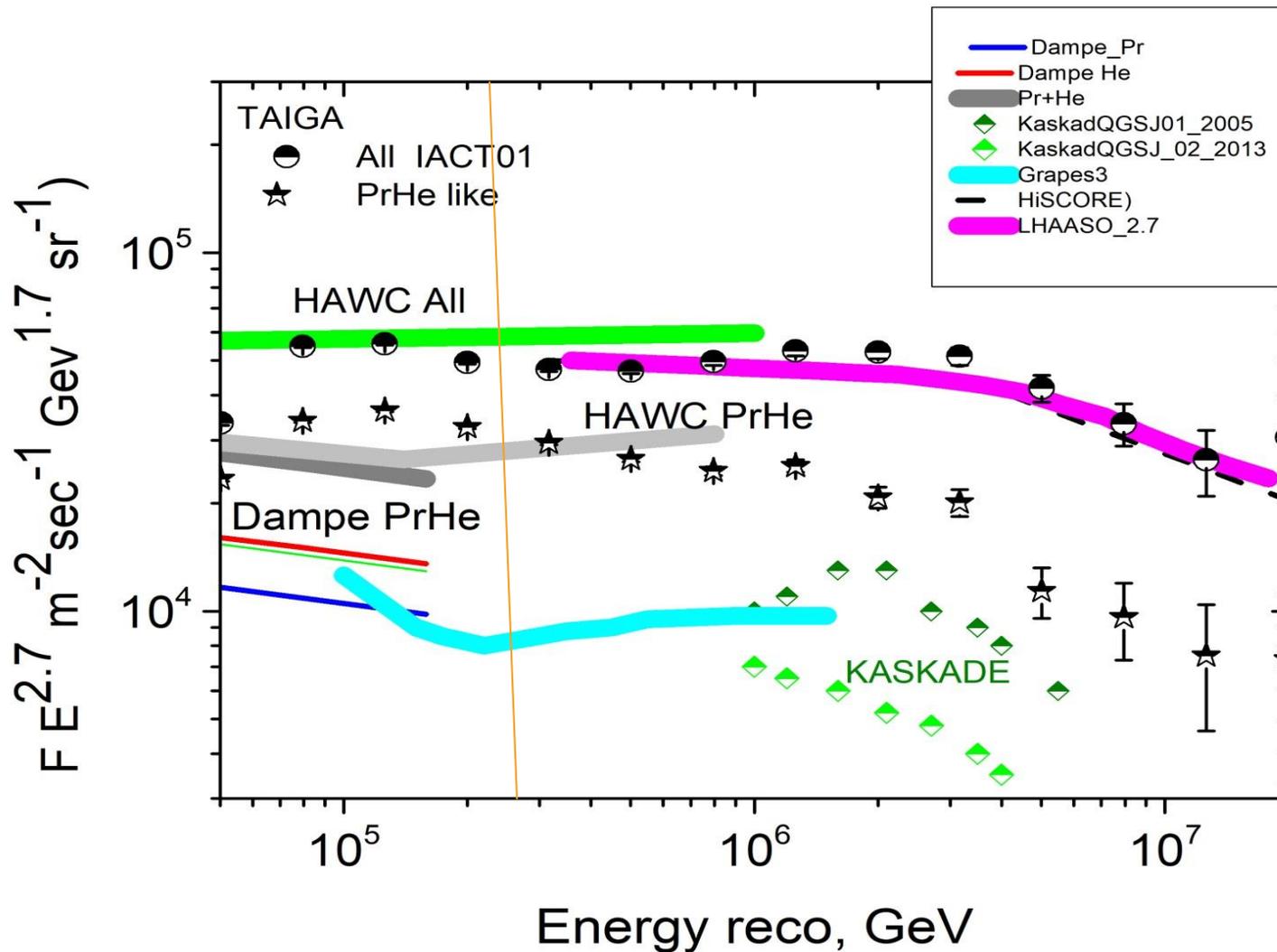
Переход от потока гибридных событий к спектру всех частиц – носит методический характер для проверки правильности процедуры.

# M-C СПЕКТРЫ И ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ ВСЕХ ГИБРИДНЫХ СОБЫТИЙ И PR-HE КОМПОНЕНТЫ В ИНТЕРВАЛЕ 0.2-20 PEV

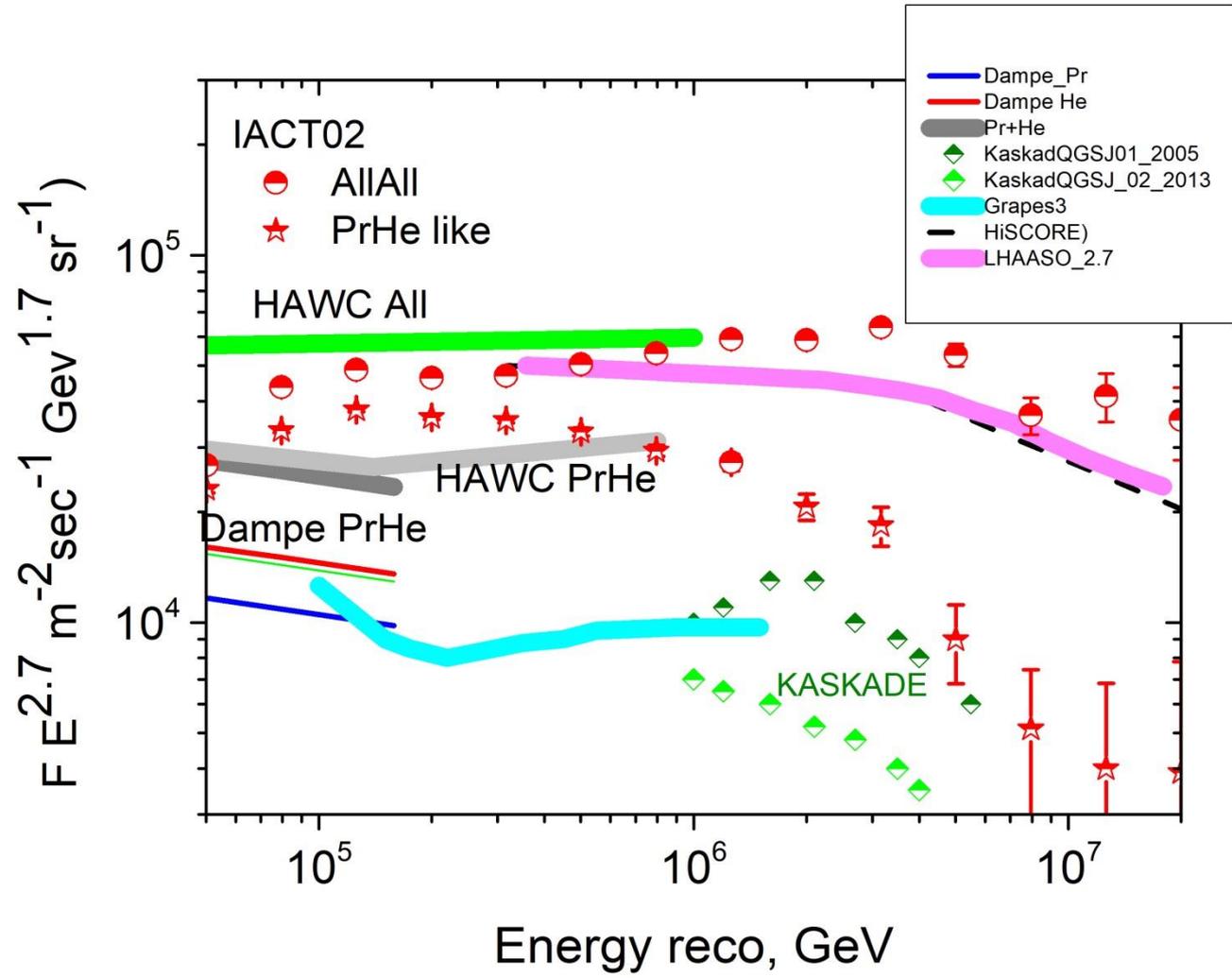


Очень важно, что тип зависимости  $F(E)$  остается степенным вплоть до 20 PeV

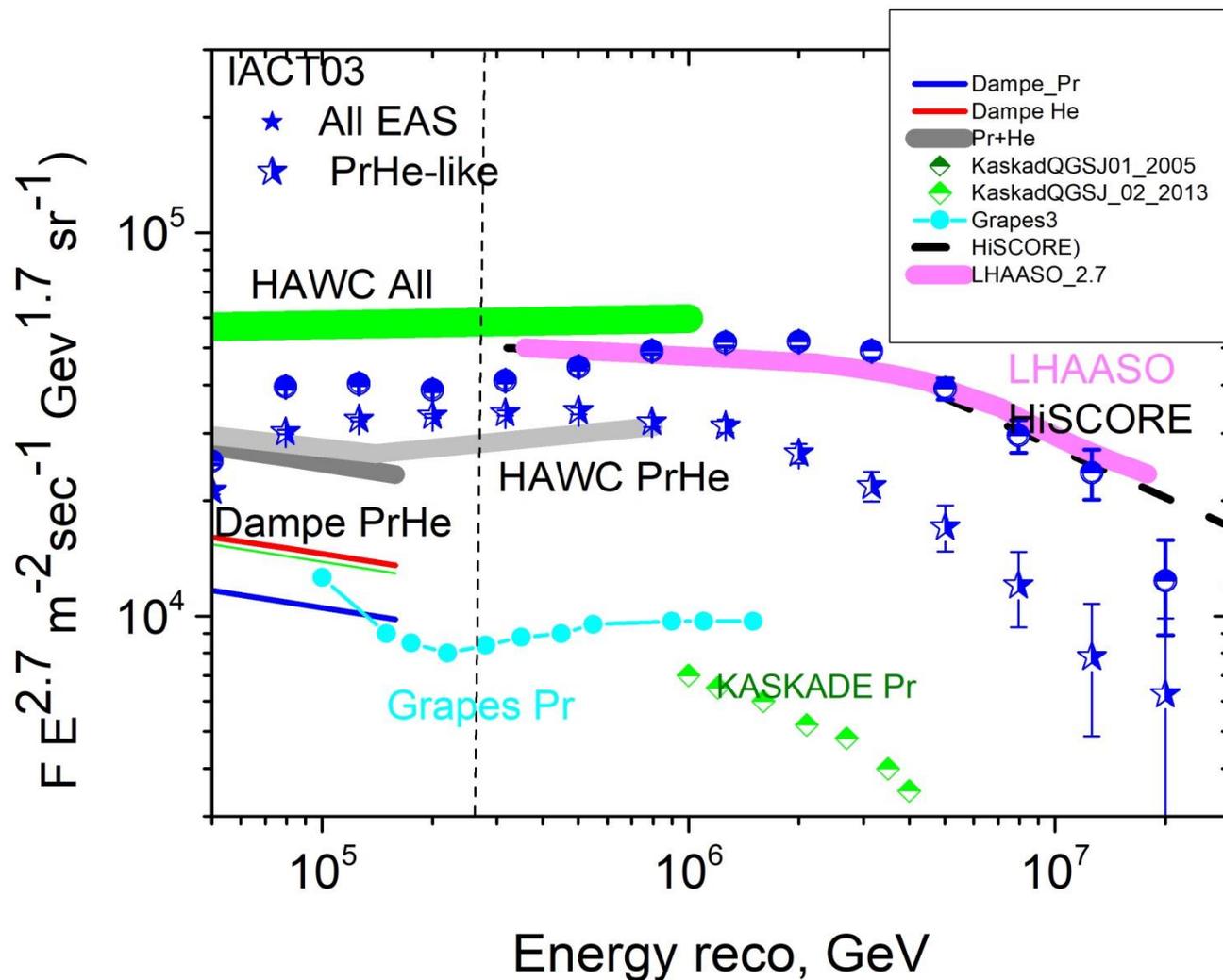
# ВОССТАНОВЛЕННЫЕ СПЕКТРЫ ВСЕХ ЧАСТИЦ И PR\_He КОМПОНЕНТЫ IACT01



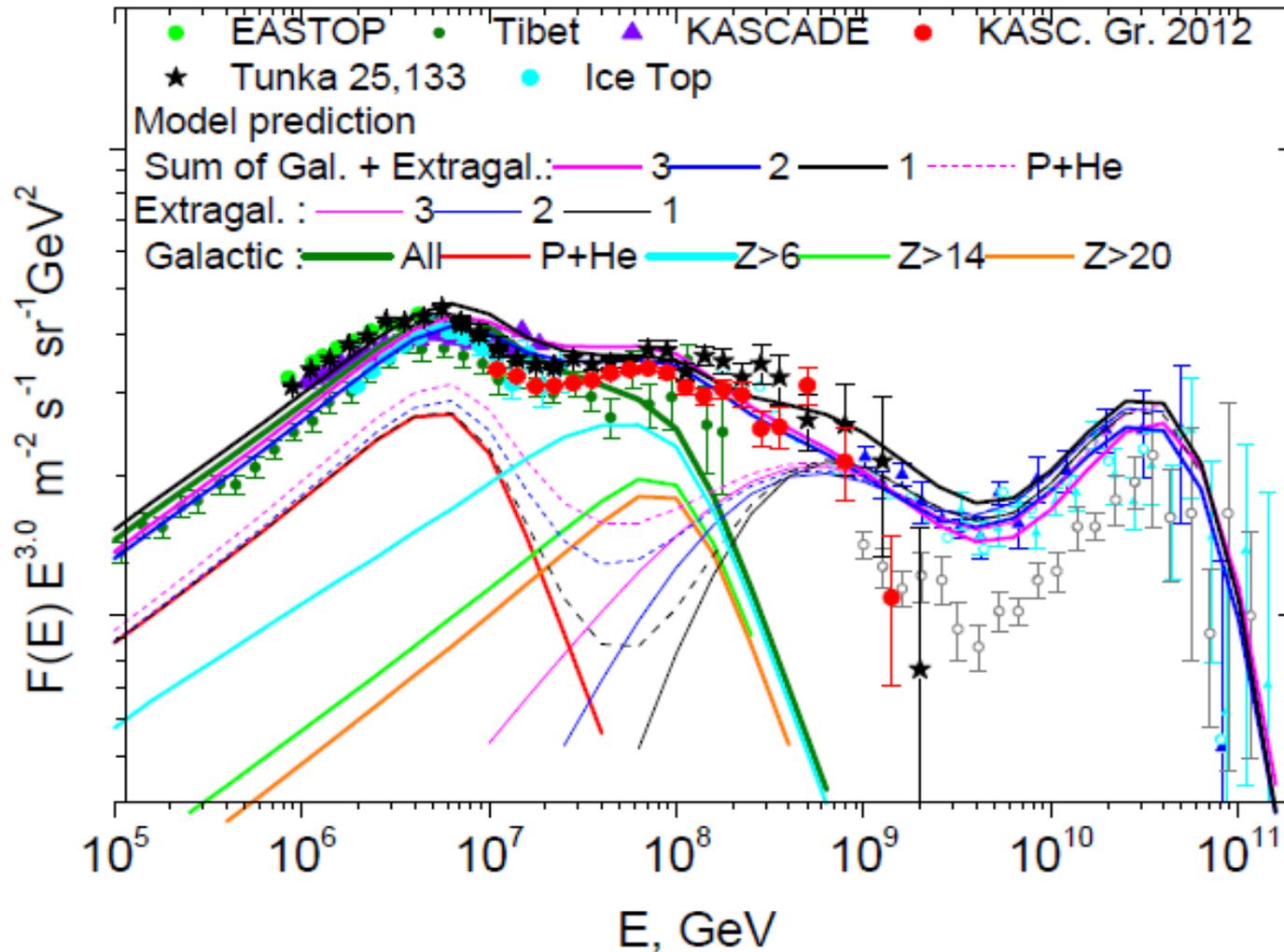
# ВОССТАНОВЛЕННЫЕ СПЕКТРЫ ВСЕХ ЧАСТИЦ И PR\_HE КОМПОНЕНТЫ IACT02



# ВОССТАНОВЛЕННЫЕ СПЕКТРЫ ВСЕХ ЧАСТИЦ И Pr\_He КОМПОНЕНТЫ IACT03

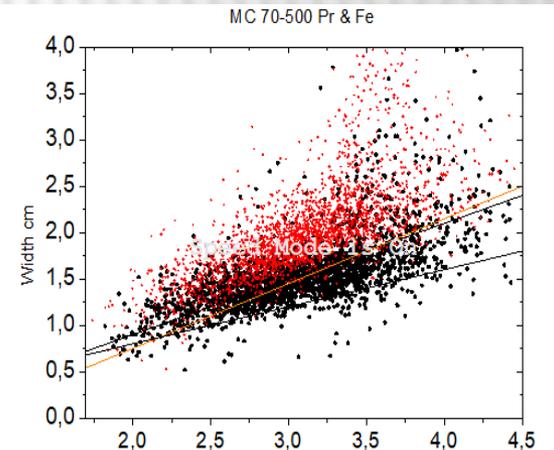
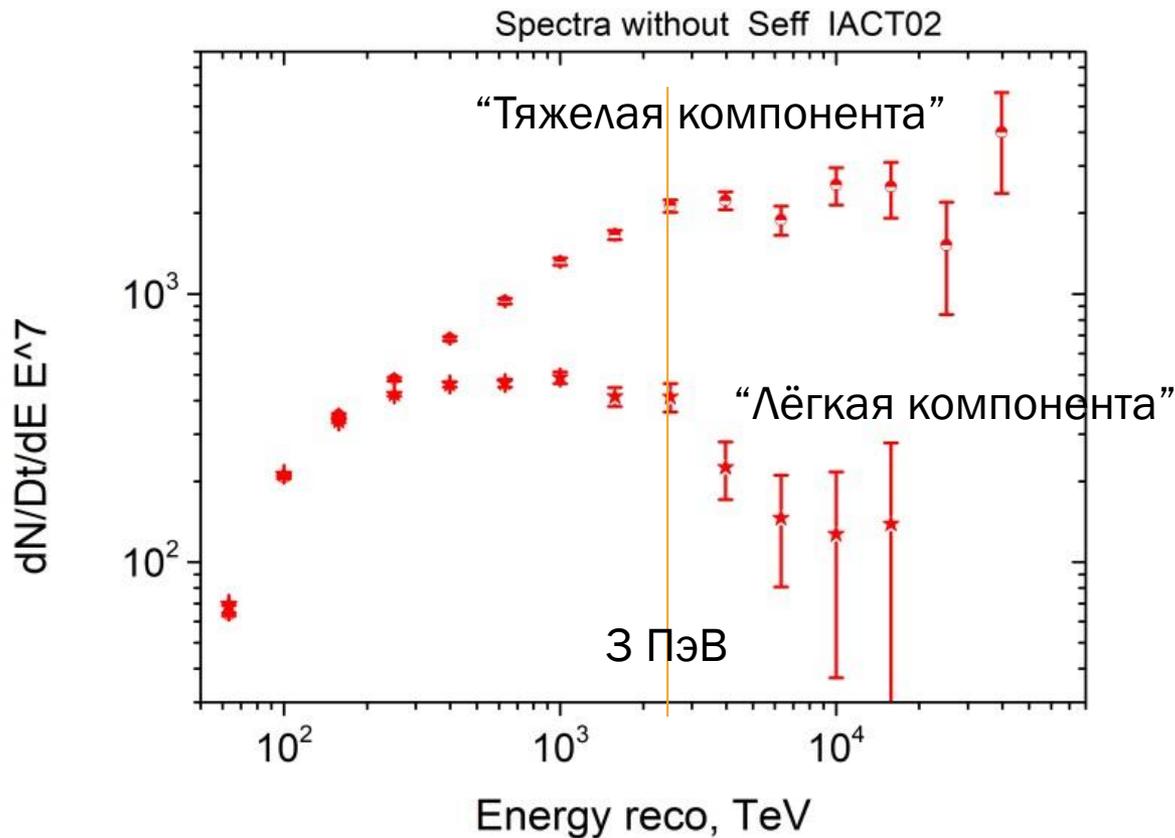


# Спектр космических лучей



composition at 1PeV: H 17%, He 46%, CNO 8%, Fe 16%

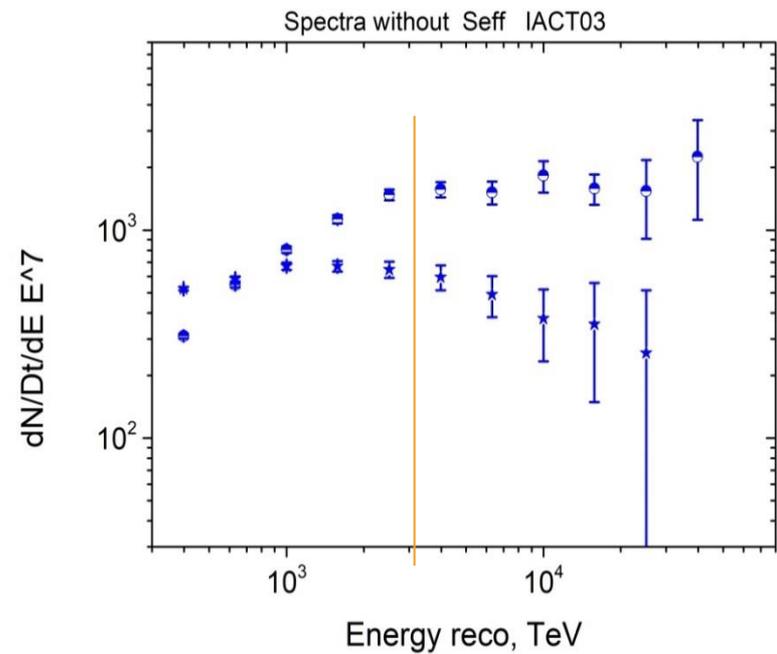
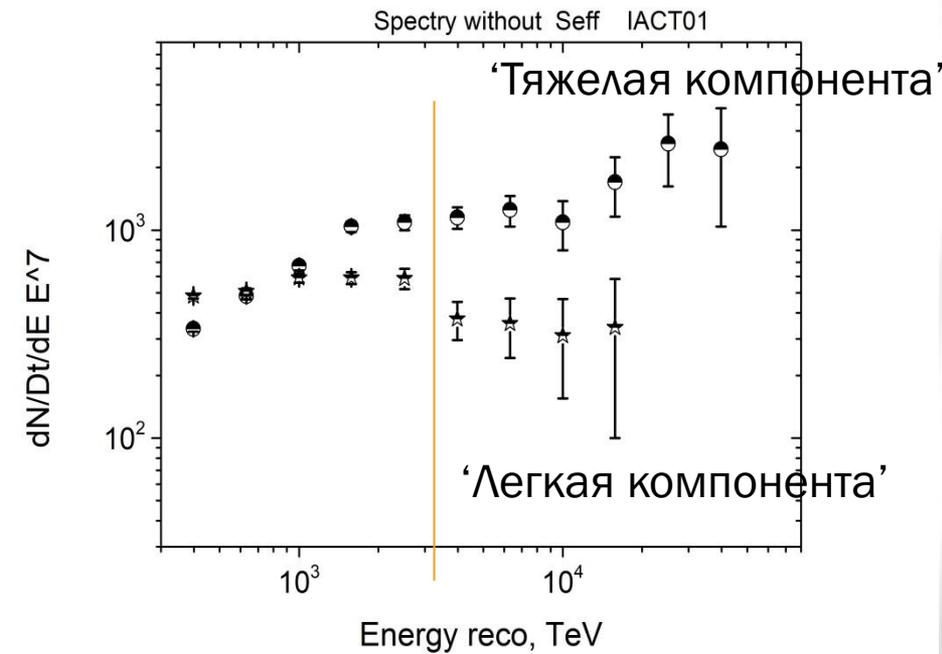
# РАЗНИЦА В СПЕКТРАХ ЛЕГКОЙ И ТЯЖЕЛОЙ КОМПОНЕНТ



Получено без деления на Seff !!!

# РАЗНИЦА В СПЕКТРАХ ЛЕГКОЙ И ТЯЖЕЛОЙ КОМПОНЕНТ

(получено без деления на  $k_{\text{Seff}}$ ) !!!!



Излома в спектре “тяжелой компоненты” не наблюдается

# ВЫВОДЫ И ПЕРЕСПЕКТИВЫ

- ✗ В спектрах  $\text{Pr}+\text{Ne}$  наблюдается ярко выраженный излом при  $\sim 2\text{-}3$  ПэВ, т.е. основной излом определяется изломом в легкой компоненте.
- ✗ При выделении ‘тяжелой компоненты’ в области после излома излома не наблюдается.
- ✗ Метод выделения легкой компоненты по данным атмосферных телескопов IAST работает.
- ✗ Статистика, имеющаяся по гибридным событиям на порядок превышает представленную здесь, что позволит уточнить результаты.
- ✗ Возможно включение в анализ других параметров имиджей
- ✗ Необходимо увеличение М-К симуляций, особенно для средних ядер для уточнения результатов

---

**✘ СПАСИБО за ВНИМАНИЕ !**

# BOOMERANG 22-23 IACT 01

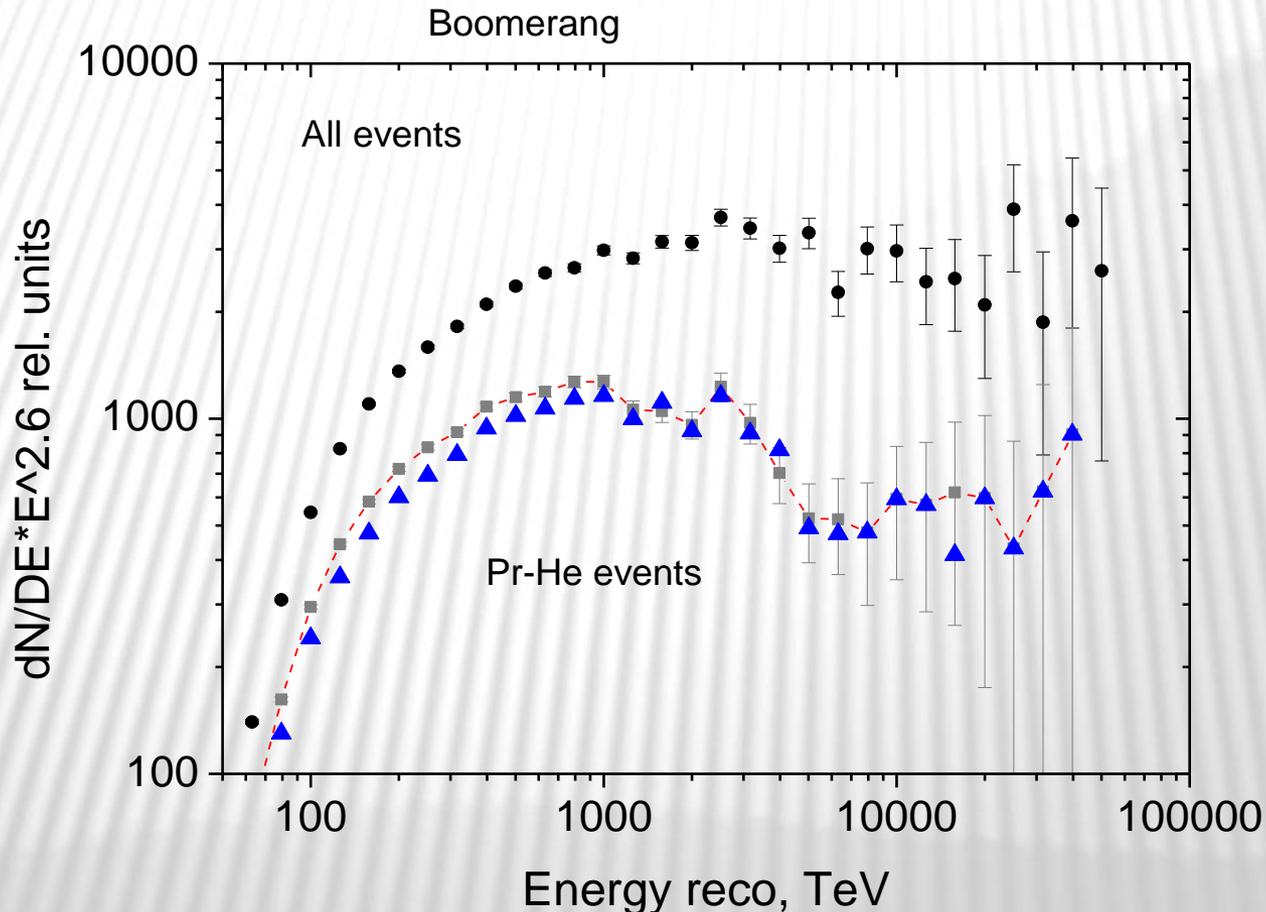


Figure D:Crab22-23/HybridForCrab/Out\_T1SpecEnHybCrab/SpecBoomerang

File D:\Boomer22-23\Out\_T1SpecEnHyb/Dif\_5d\_g2i7Hyb0-30KurtT01