

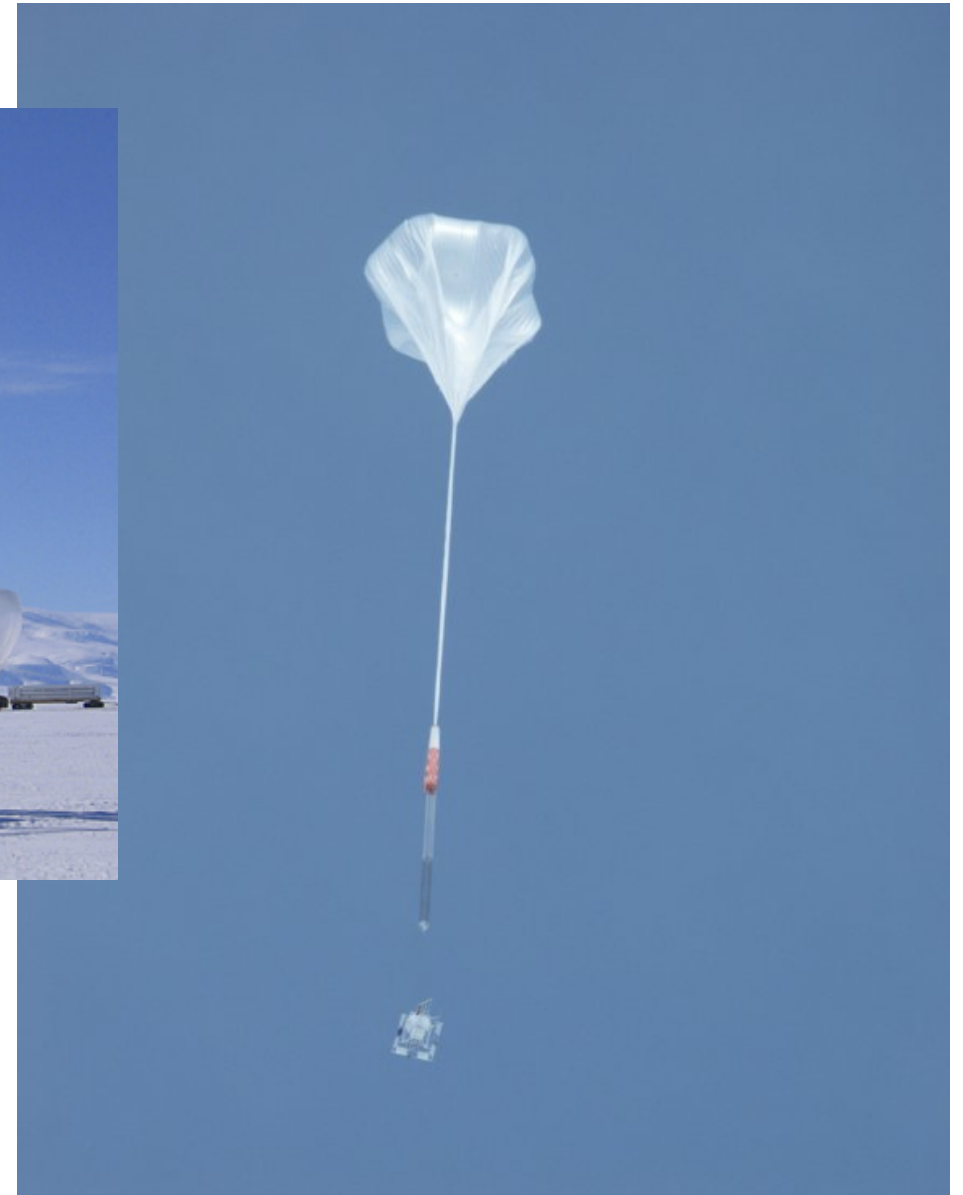
Тонкая структура спектра электронов космических лучей по результатам экспериментов АТІС-2 и АТІС-4

А.Д. Панов, В.И.Зацепин, Е.Б. Постников,
Н.В. Сокольская —
от имени коллаборации АТІС.

Спектрометр АТІС



На старте



В полете

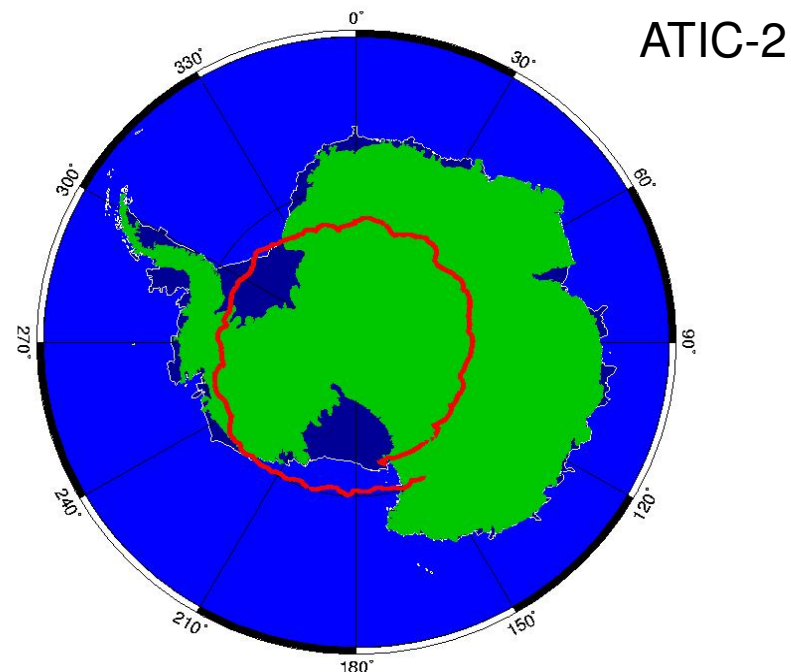
Полеты АТІС

АТІС-1 28.12.2000–13.01.2001
Тестовый полет, 0.6 м² стер дней

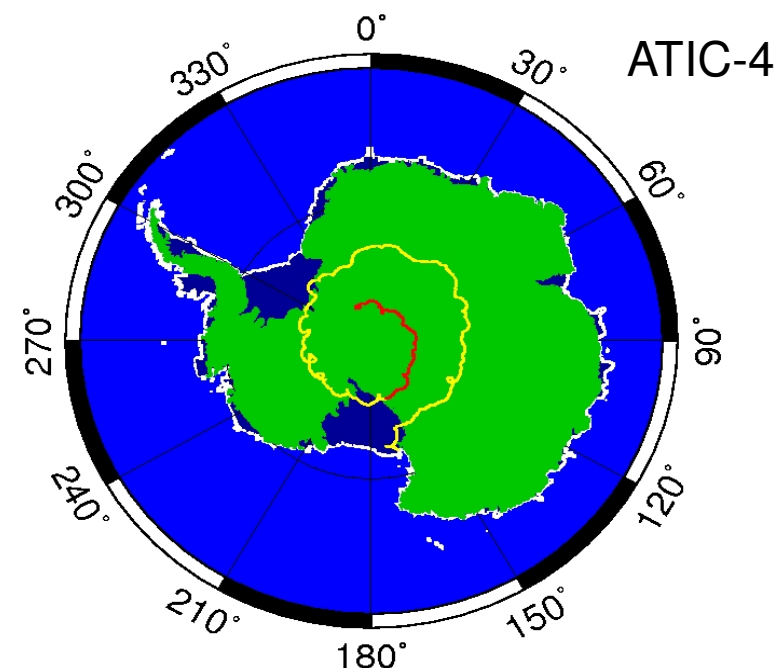
АТІС-2 29.12.2002–18.01.2003
Первый научный полет, 2.5 м² стер дней

АТІС-3 2005
Авария на старте

АТІС-4 26.12.2007–15.01.2008
Второй научный полет, 2.2 м² стер дней

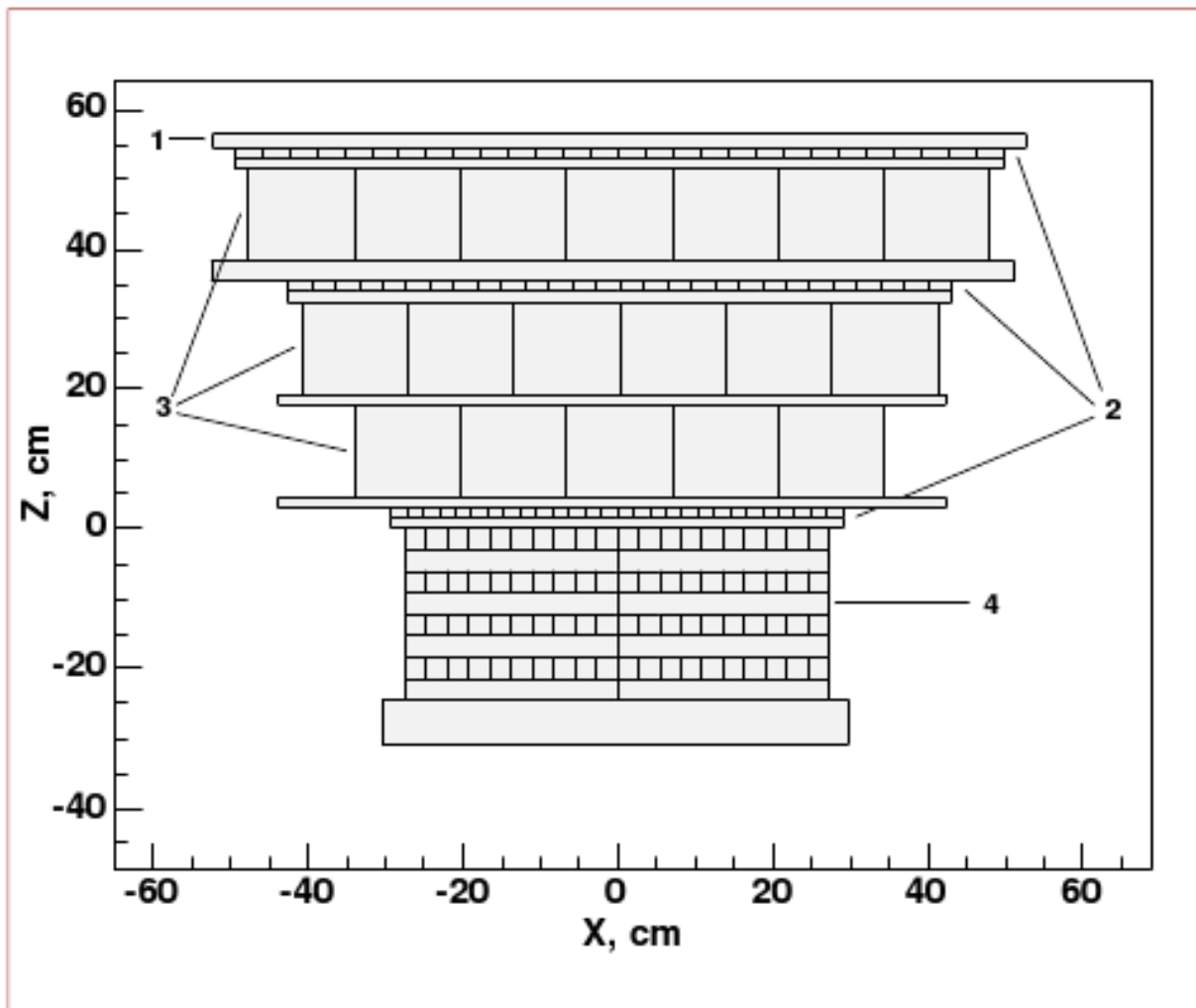


GMT Jan14 19:30 LDB_Antarctes_ATIC



GMT 2008 Jan 16 19:45:00 LDB_Antarctica_2007-2008_ATIC

ATIC (Advanced Thin Ionization Calorimeter)



1 — Кремниевая матрица
80 × 56 pixels, 1.5 × 2 cm

2 — Сцинтилляционные
калориметры

3 — Графит ($1.5 X_0$)

4 — BGO-калориметр

Площадь 50 × 50 cm

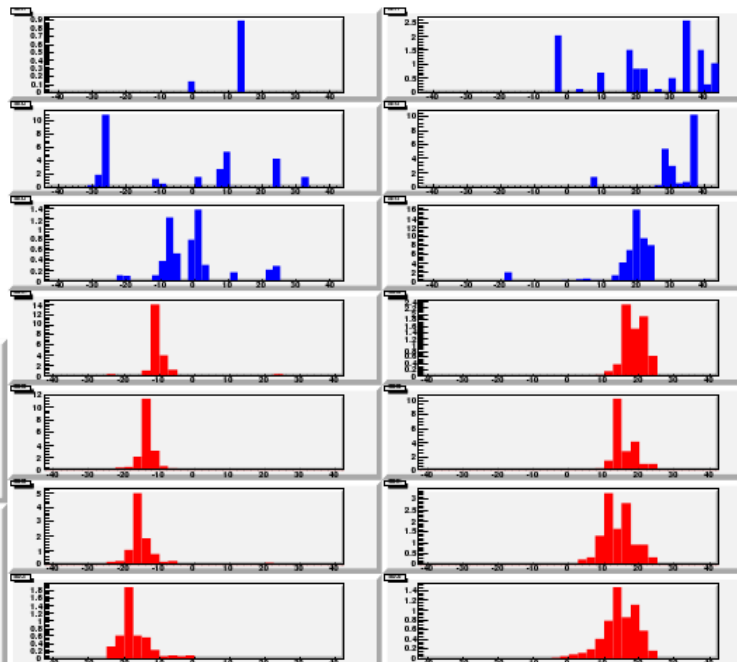
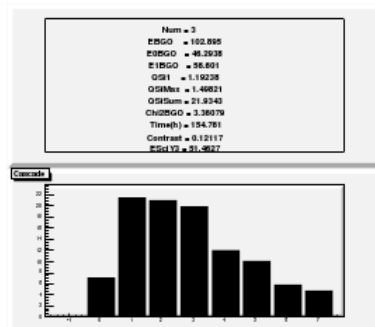
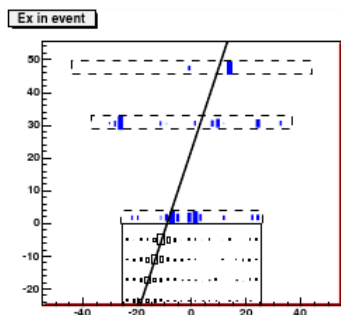
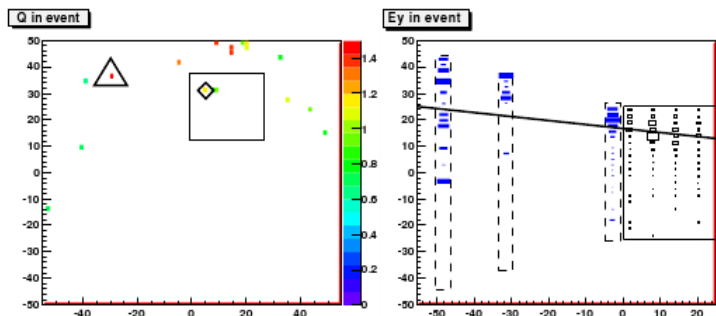
кристалл BGO:

2.5 × 2.5 × 25 cm

8 слоев в ATIC-2 ($18 X_0$)

10 слоев в ATIC-4 ($22 X_0$)

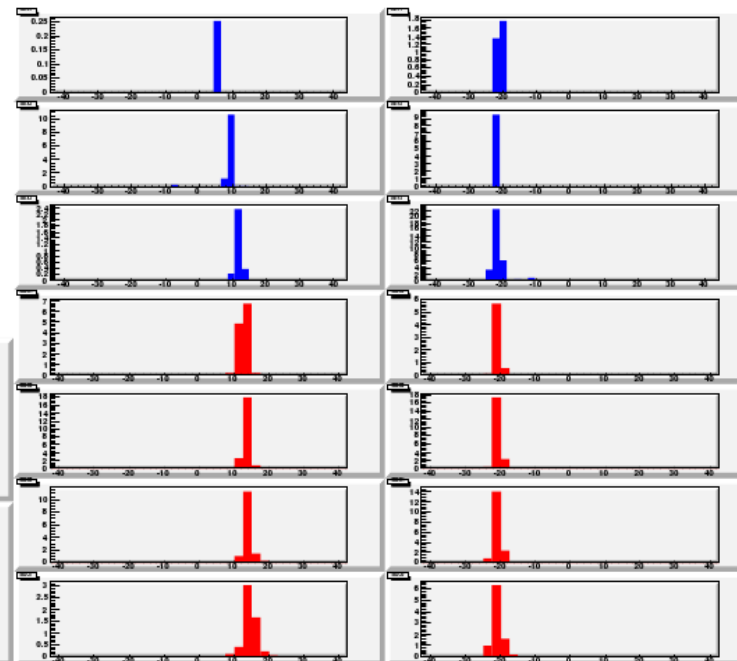
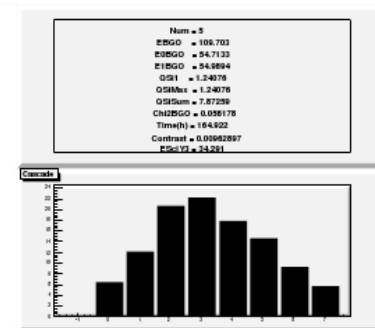
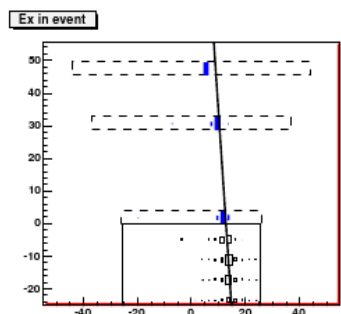
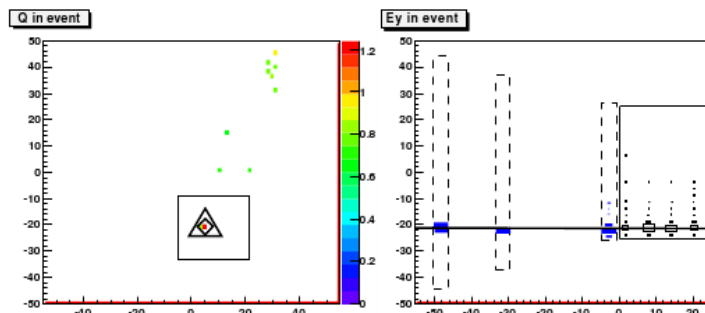
Протонное событие



Hodoscopes
energy
deposits

Calorimeter
energy
deposits

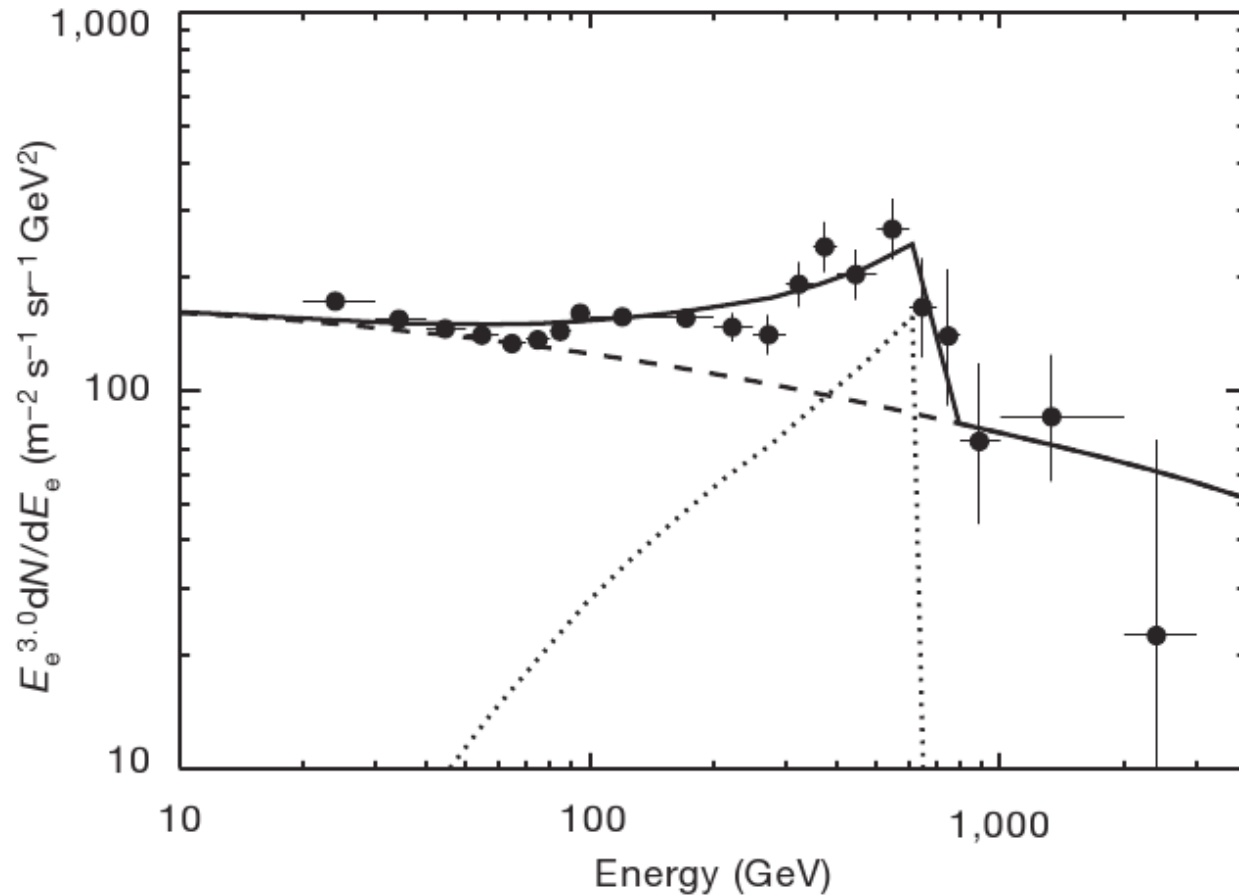
Электронное или позитронное событие



Hodoscopes
energy
deposits

Calorimeter
energy
deposits

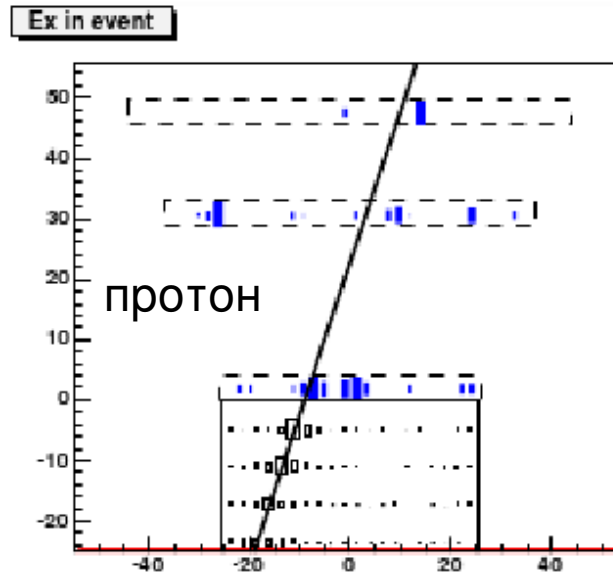
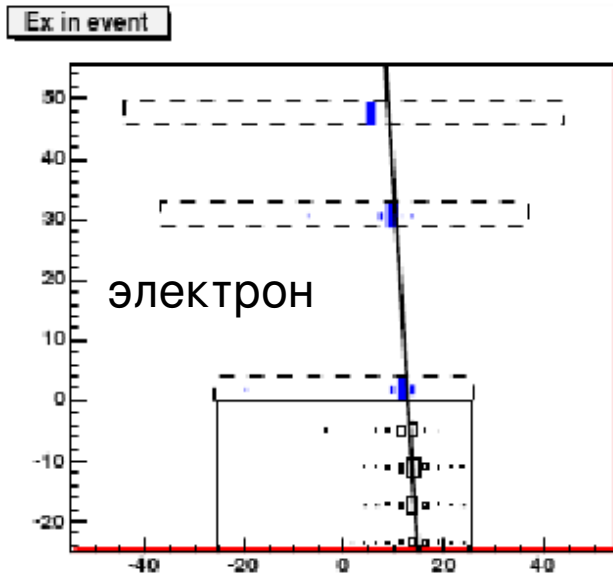
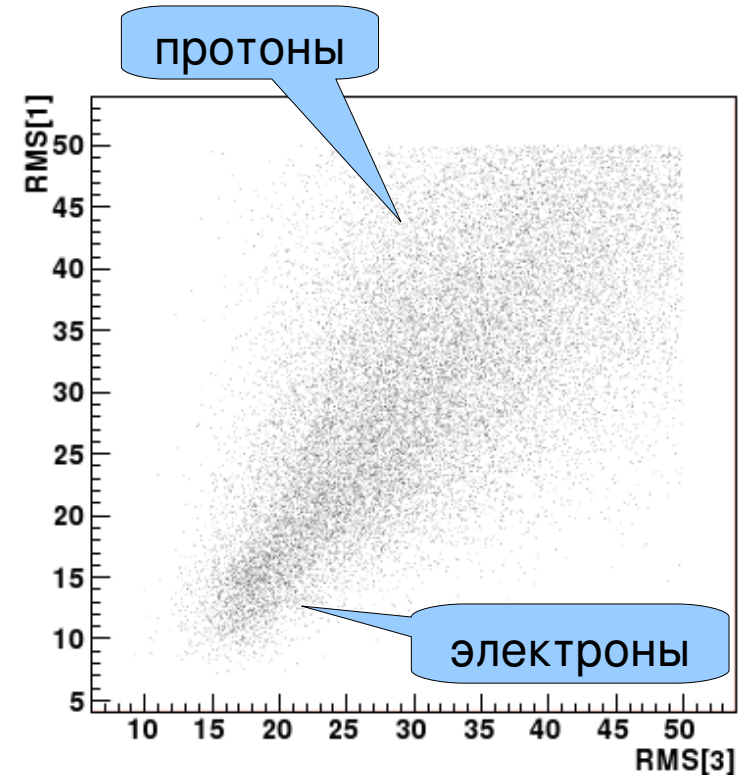
J. Chang et al. An excess of cosmic ray electrons at energies of 300–800 GeV. Nature, 456(2008)362



Темная материя,
частицы Калуцы-Клнейна
 $M = 620 \text{ GeV}$,
плотность = 0.43 GeV cm^{-3} ,
cross section rate $1 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$
(boost factor ~ 200)

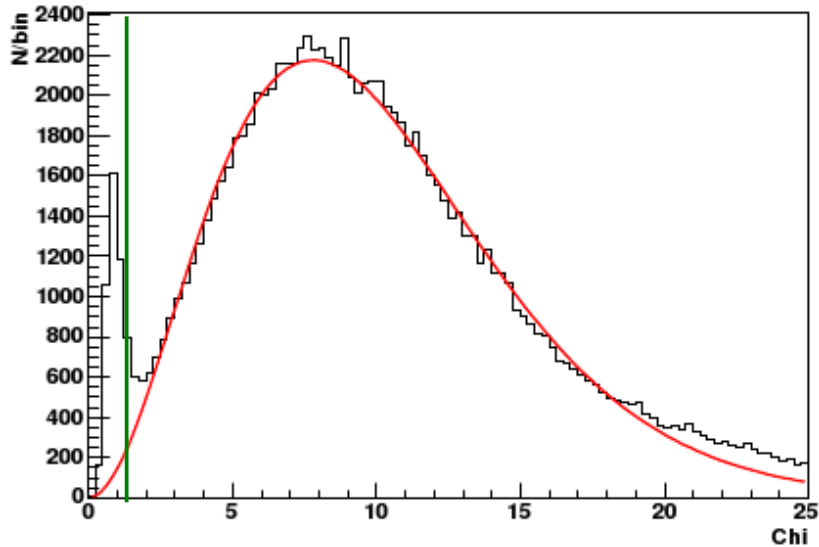
Фильтры

1. **Chi** — Евклидово расстояние до центра распределения, RMS
2. **LogP** — Амплитуда распределения
3. **CCF** — Евклидово расстояние до центра распределения, концентрации энерговыведения в слоях
4. **DA** — Методы дискриминантного анализа, расстояние Махаланобиса
5. **ConSci** — Концентрация энерговыведения в годоскопах (обратные токи)

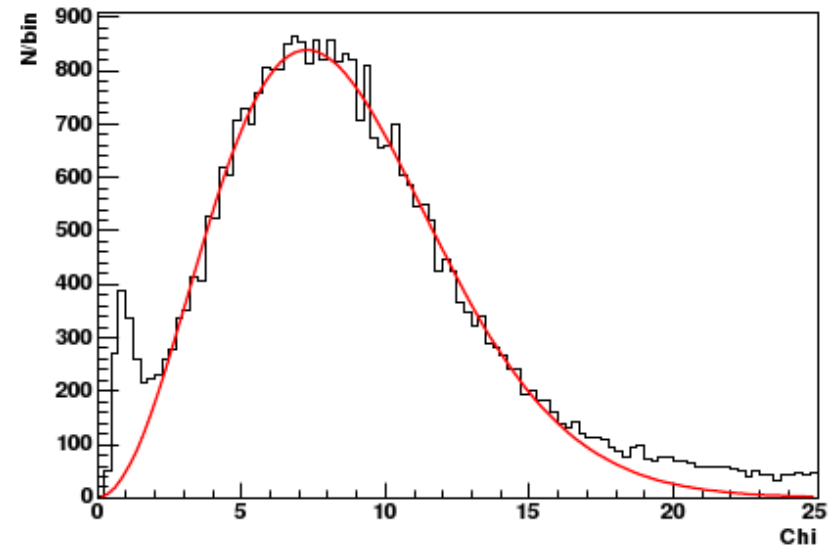


Распределения фильтра Chi — разные энергии

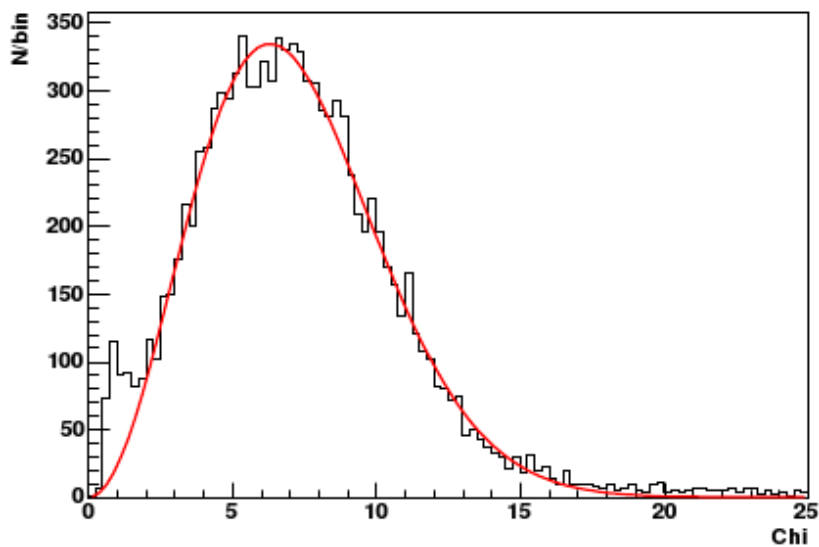
ATIC-2, 50–100GeV, Gauss, $p=2.00$, $\chi^2 = 2.18283$



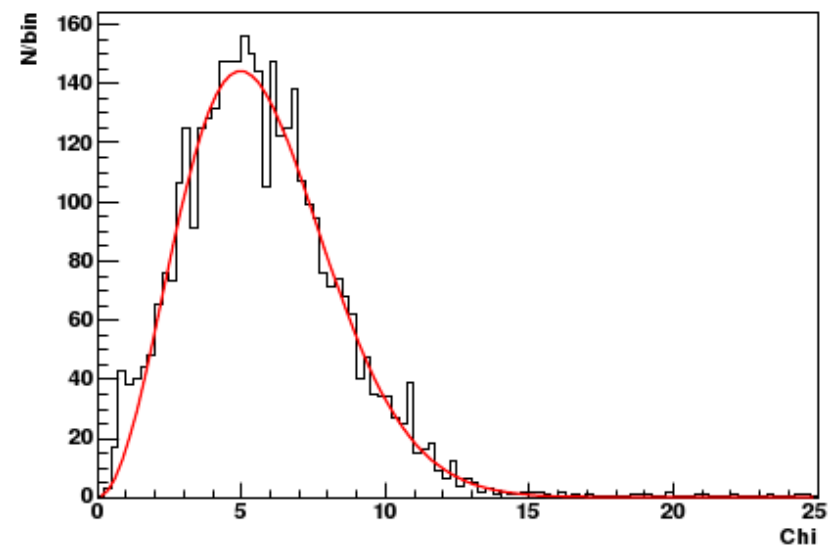
ATIC-2, 100–200GeV, Gauss, $p=2.00$, $\chi^2 = 1.45285$



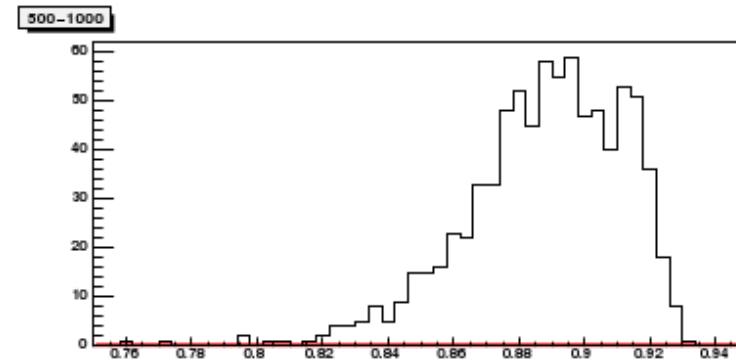
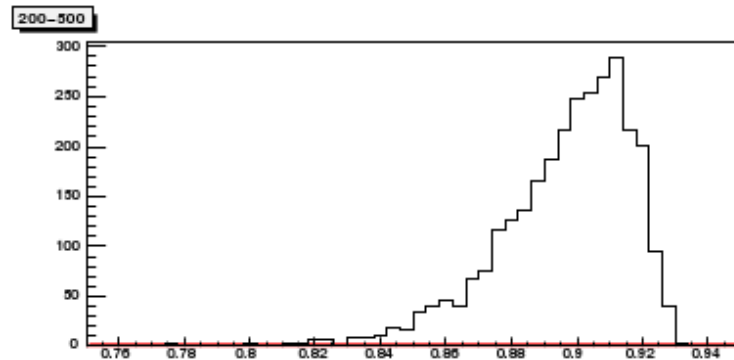
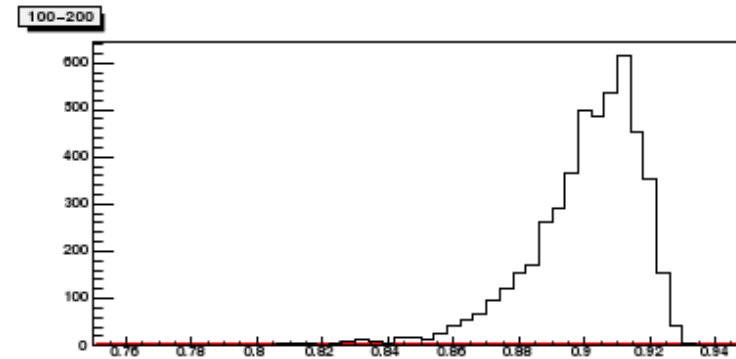
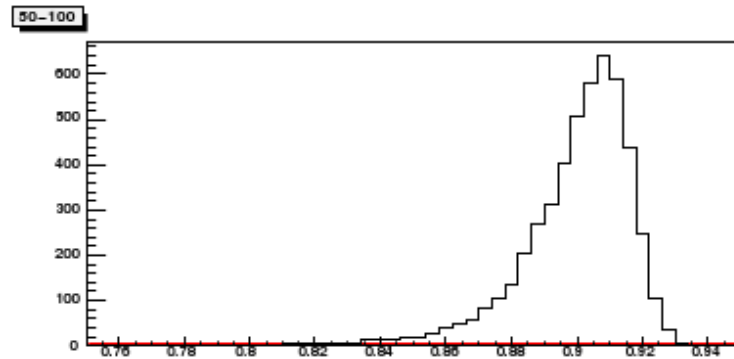
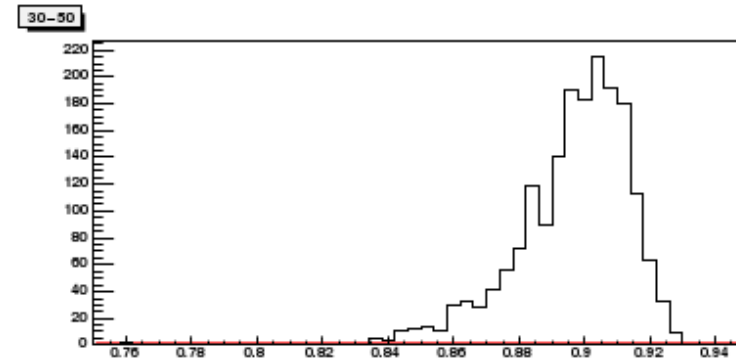
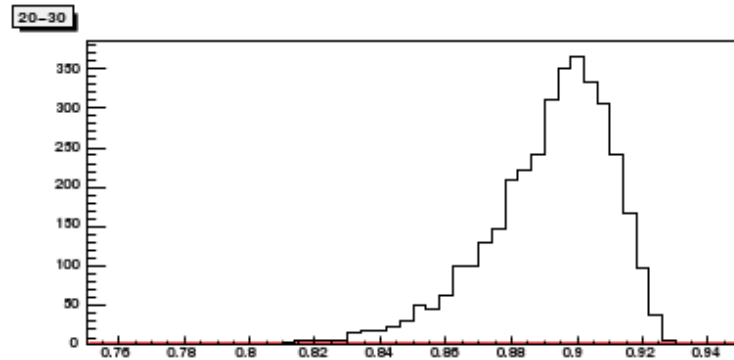
ATIC-2, 200–400GeV, Gauss, $p=2.00$, $\chi^2 = 1.0729$



ATIC-2, 400–900GeV, Gauss, $p=2.00$, $\chi^2 = 1.19597$

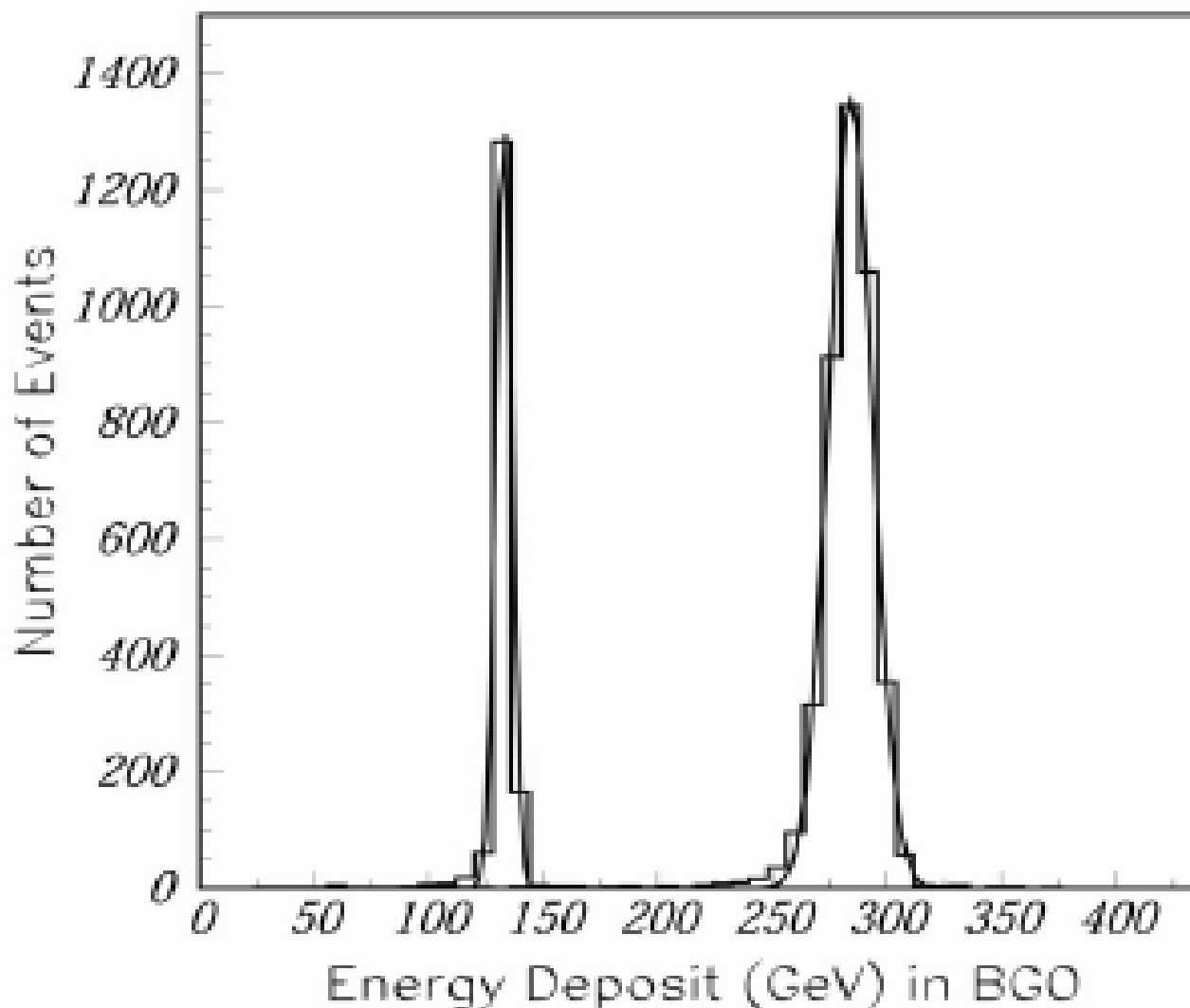


Энергетическое разрешение АТЭС - симуляция



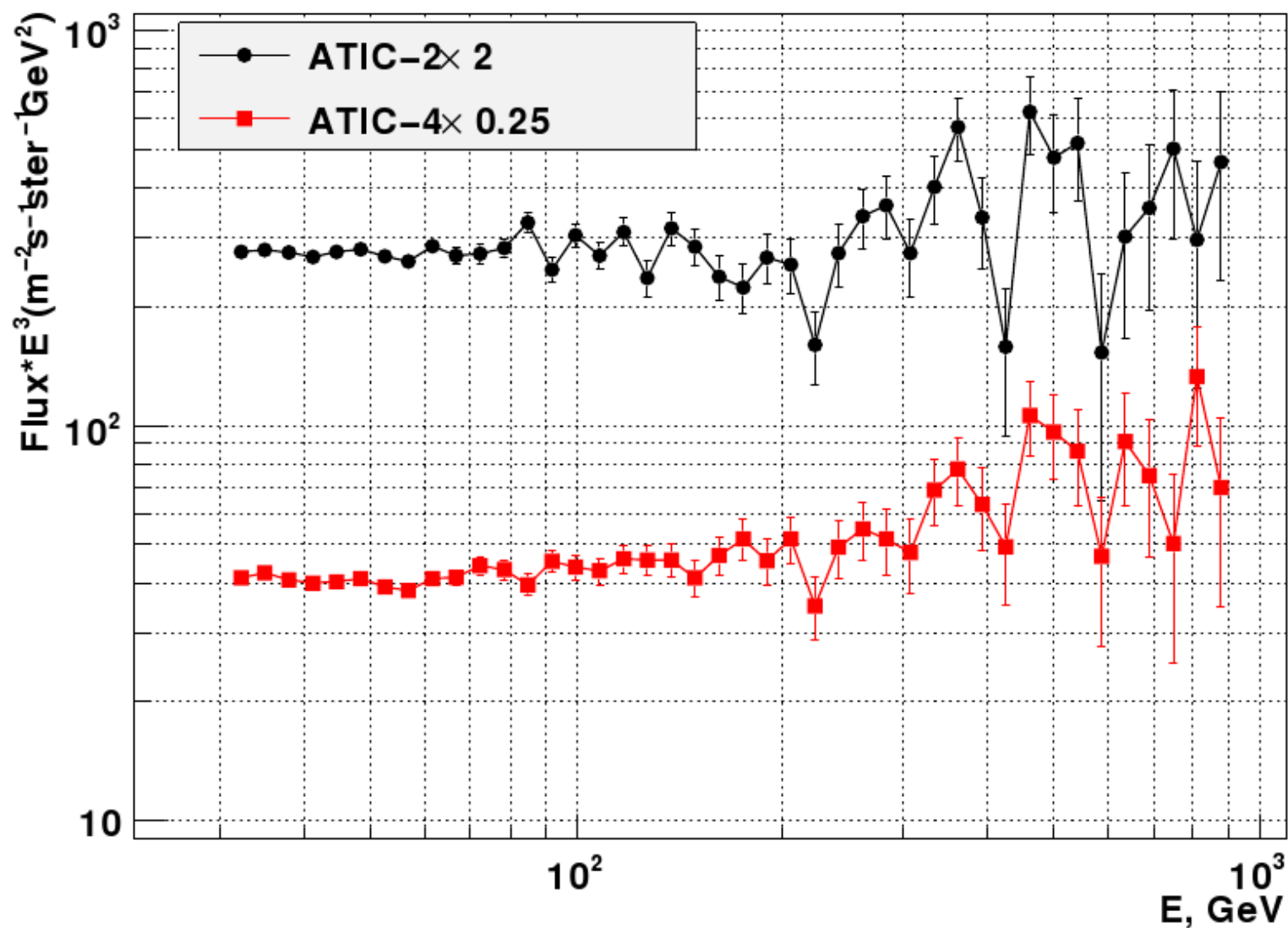
Симуляция: не хуже **3%** (половина ширины на половине высоты),
зависимость от энергии не сильная

Энергетическое разрешение АТЭС - эксперимент



Тест на пучке в ЦЕРН: разрешение $\sim 3\%$

Тонкая структура спектра электронов — ATIC-2 и ATIC-4

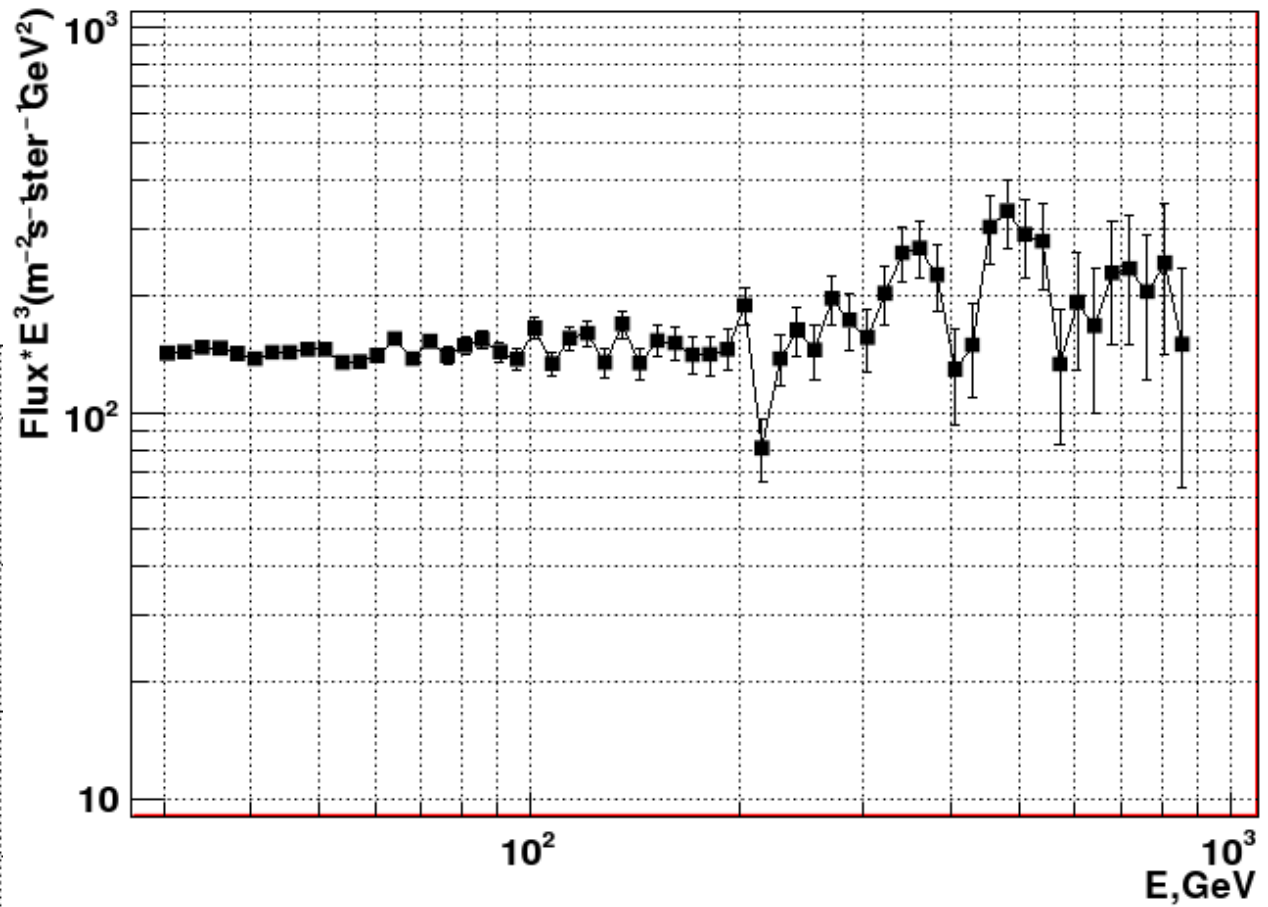
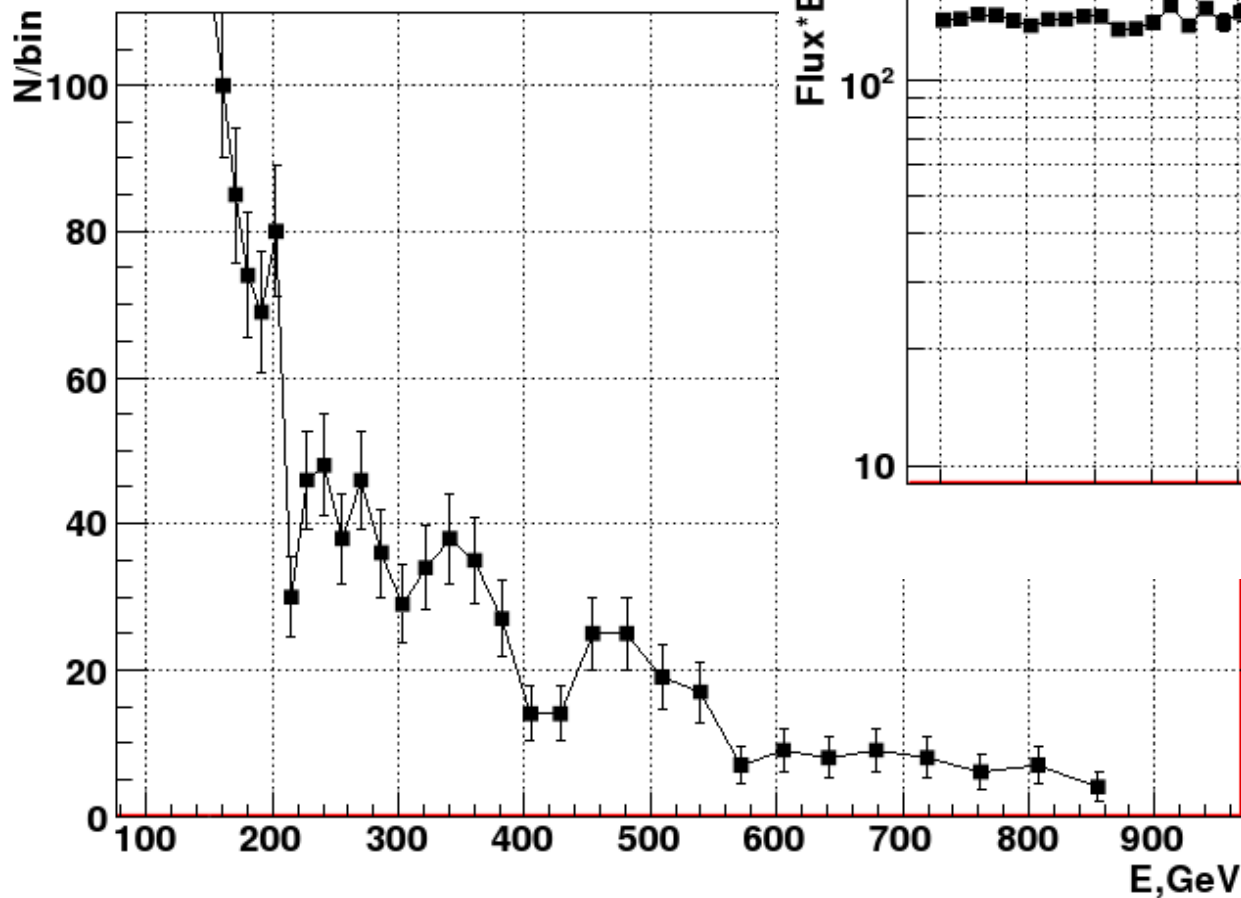


Шаг спектра 0.035 декады энергии

Точной абсолютной нормировки нет!

Тонкая структура спектра электронов — суммарная статистика АТЭС-2 и АТЭС-4

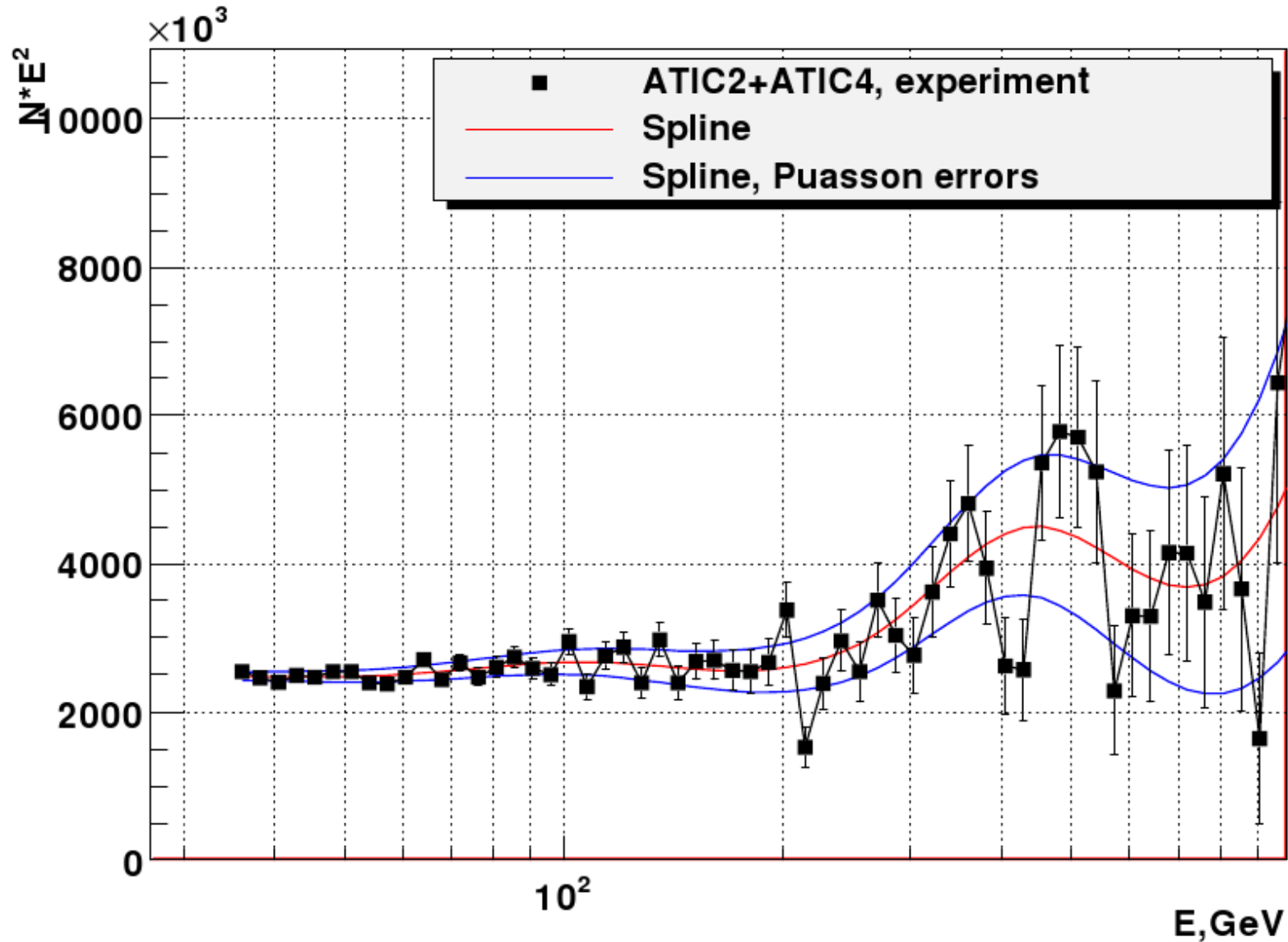
Шаг спектра 0.025
декады энергии



Статистическая значимость тонкой структуры

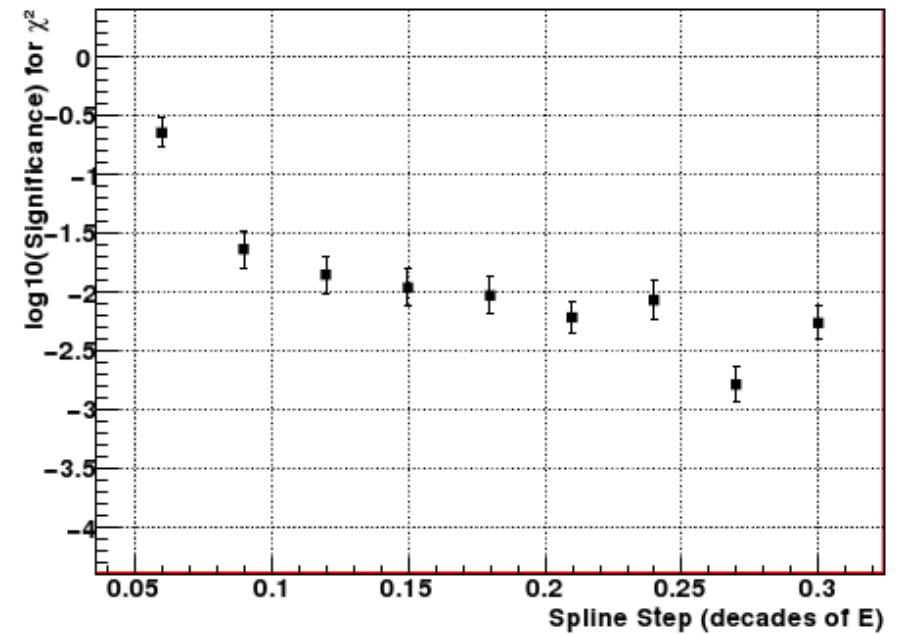
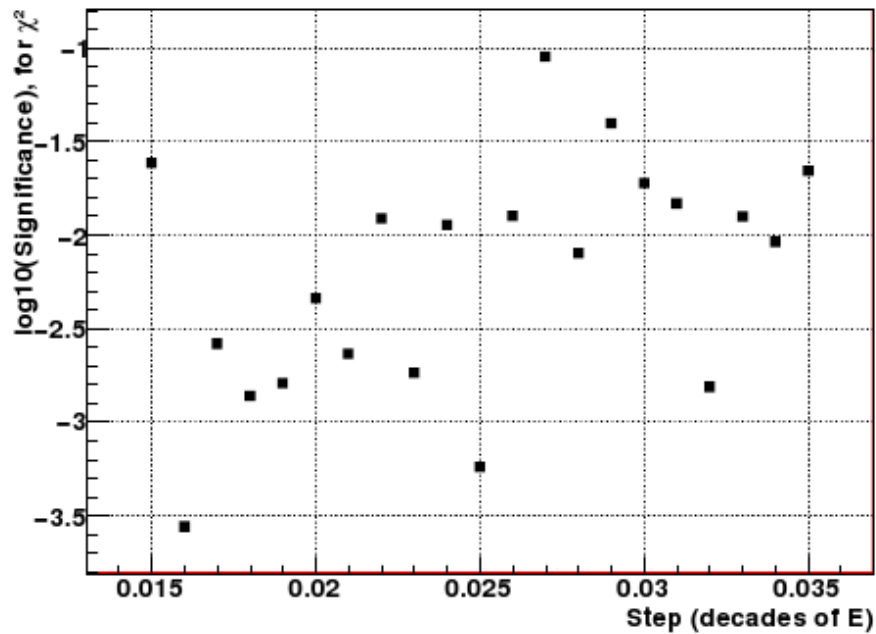
Статистическая значимость тонкой структуры, χ^2 .

Сглаживание сплайном



Статистическая значимость тонкой структуры, χ^2 .

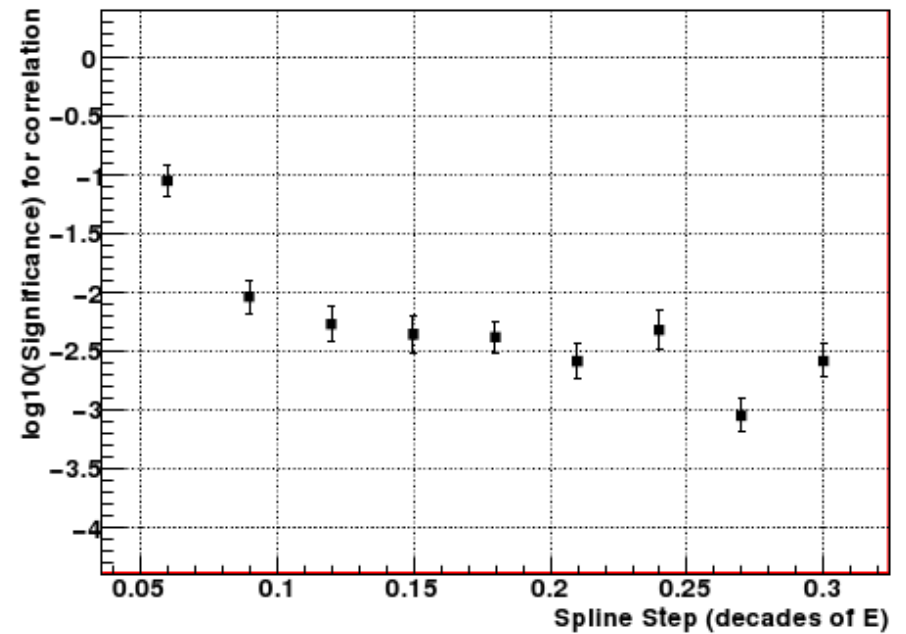
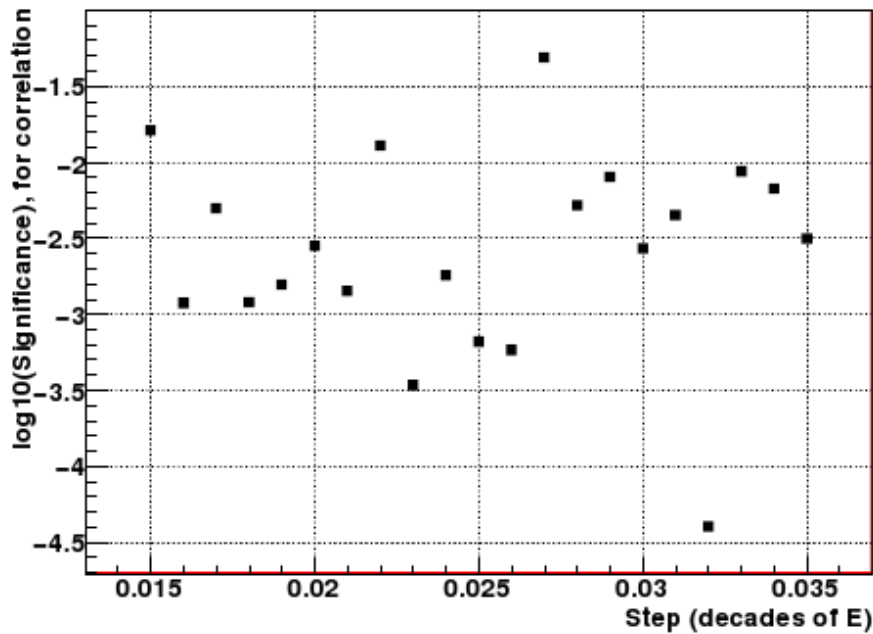
Проблемы и результат.



$$P_{\chi^2} = 0.0093^{+0.0034}_{-0.0025} \quad (\approx 99.1\%)$$

Статистическая значимость тонкой структуры, корреляция спектров АТЭС-2 и АТЭС-4

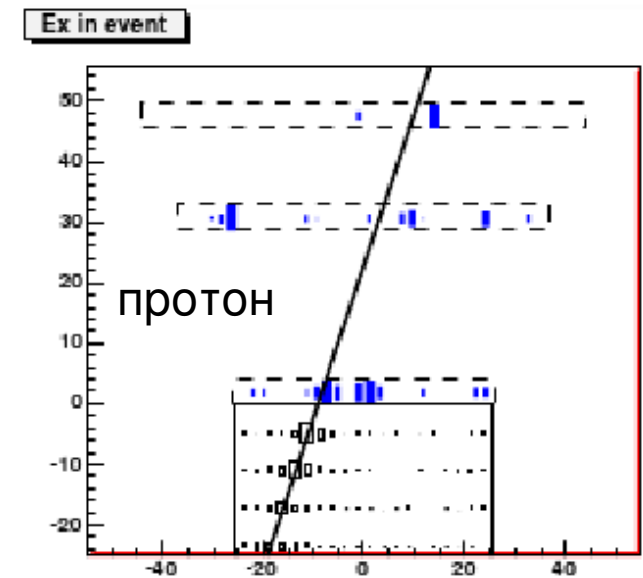
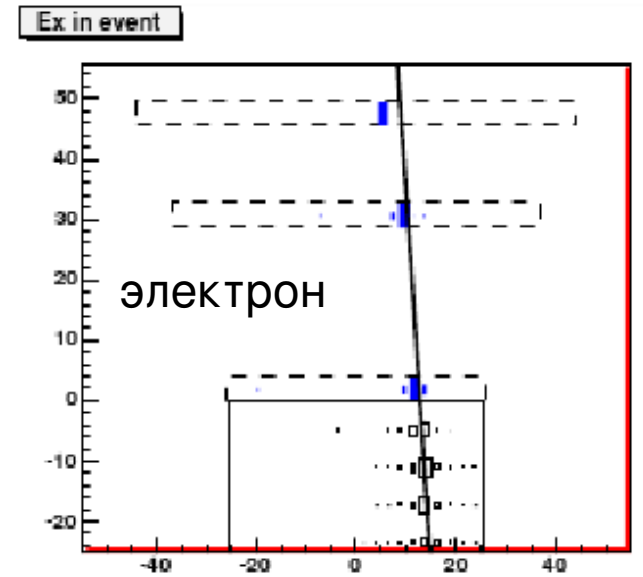
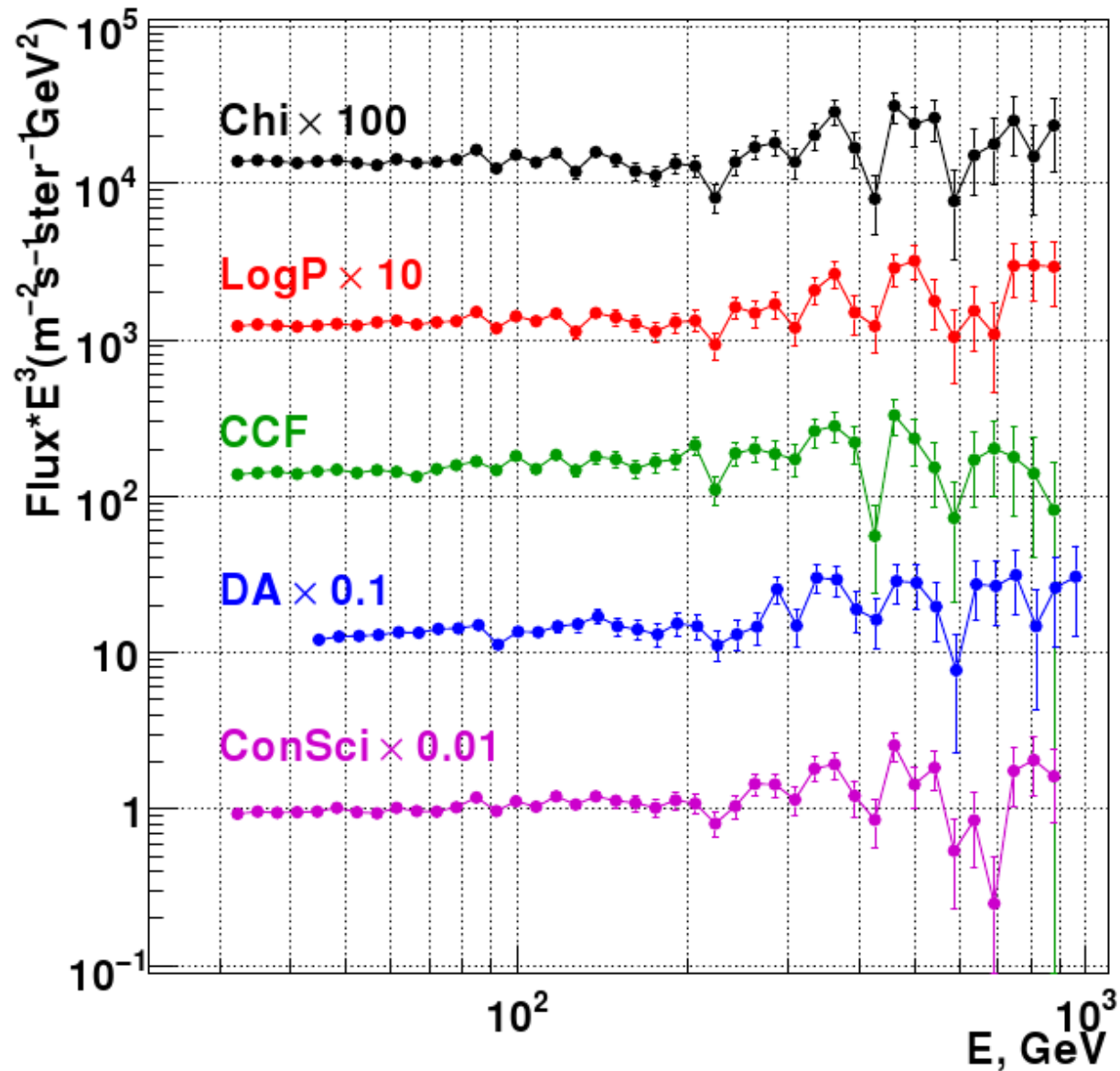
$$C_{\chi^2} = \frac{1}{N} \sum_i \frac{(x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sigma_{\bar{x}_i} \sigma_{\bar{y}_i}}$$



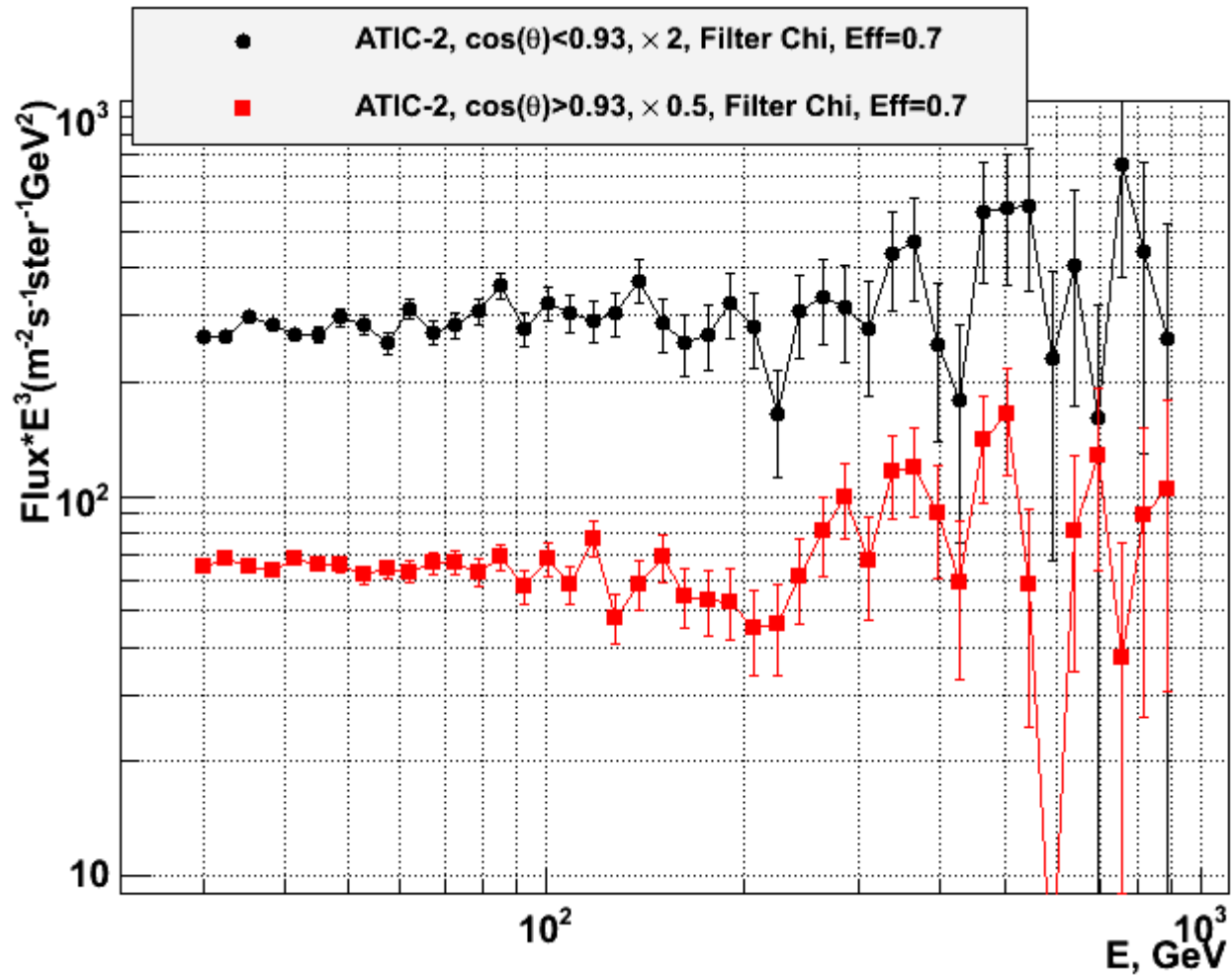
$$P_{C_{\chi^2}} = 0.0041^{+0.0013}_{-0.0010} \quad (\approx 99.6\%)$$

Возможные методические эффекты

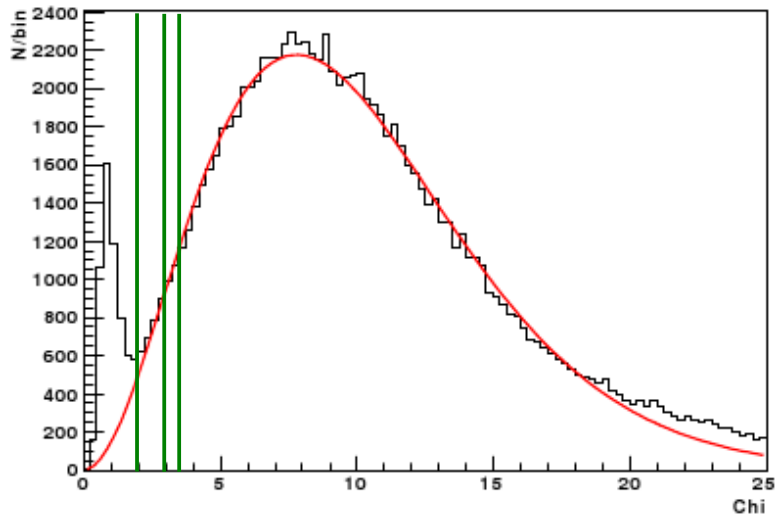
1. Спектры разных фильтров



2. Разные зенитные углы



3. Поиск корреляций в протонном фоне



2.0<Chi<3.0:

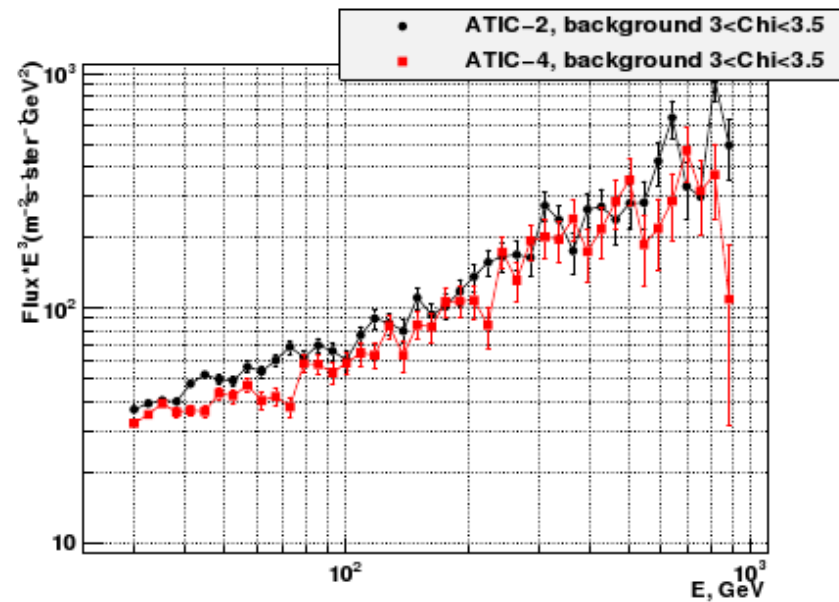
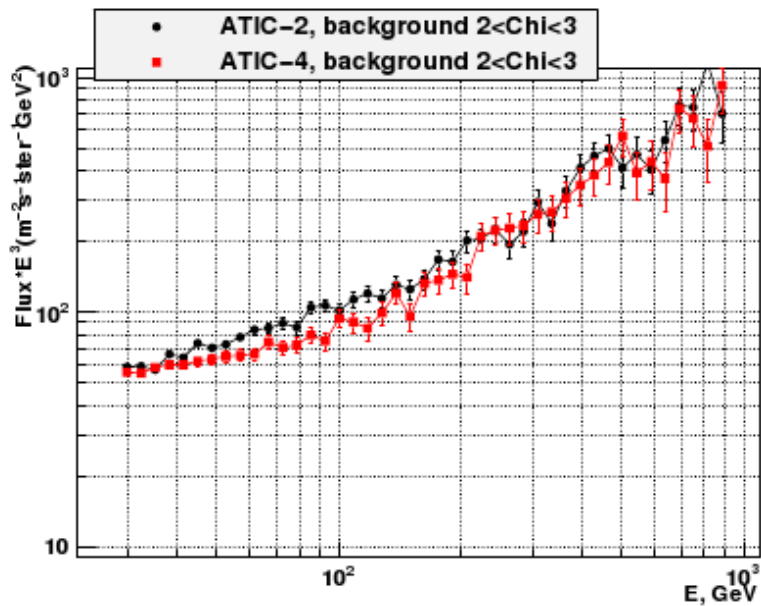
$$\text{MeanCorrelation} = 0.0879806 \pm 0.0994531$$

$$P = 0.305625 \text{ } -0.131823 \text{ } +0.231806$$

3.0<Chi<3.5:

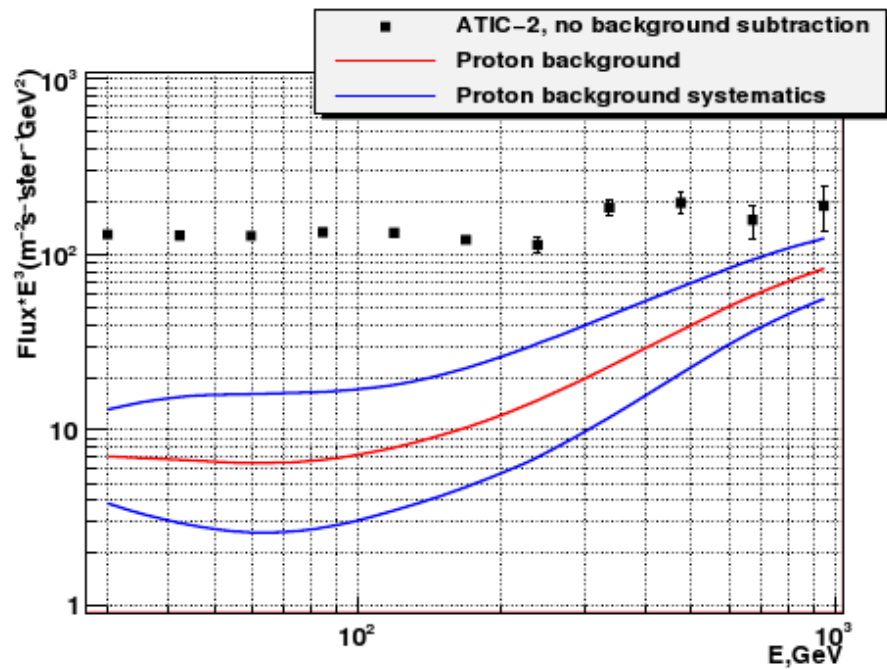
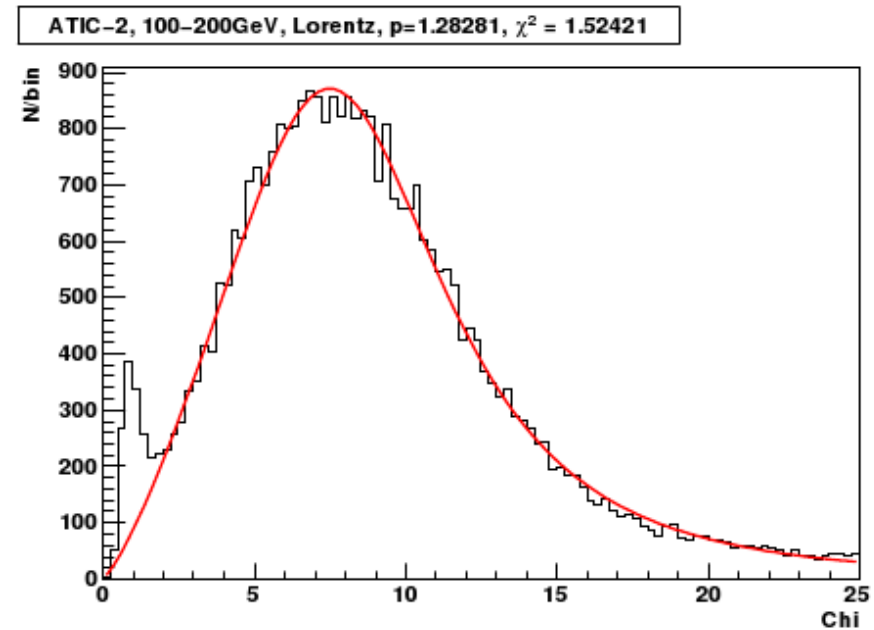
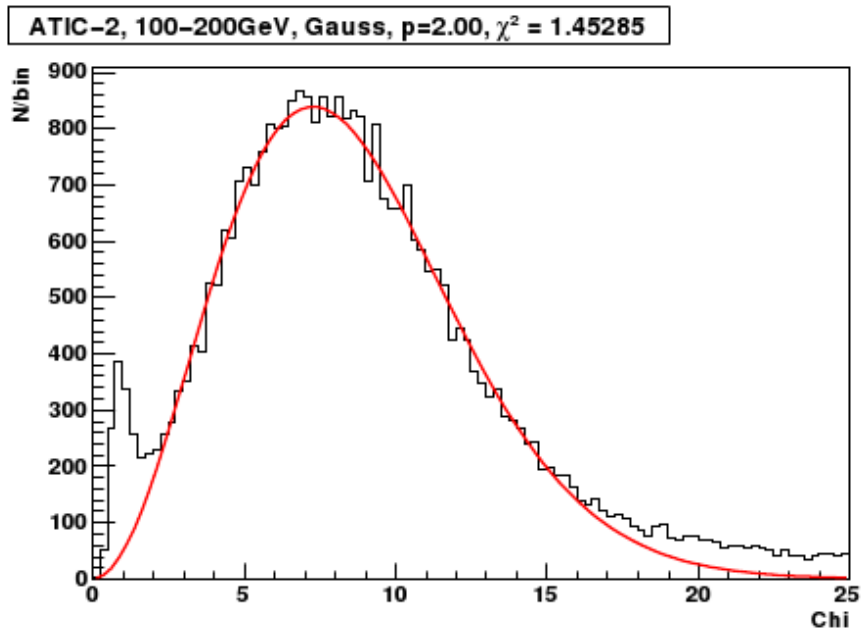
$$\text{MeanCorrelation} = -0.0994491 \pm 0.118485$$

$$P = 0.620532 \text{ } -0.206369 \text{ } +0.309198$$



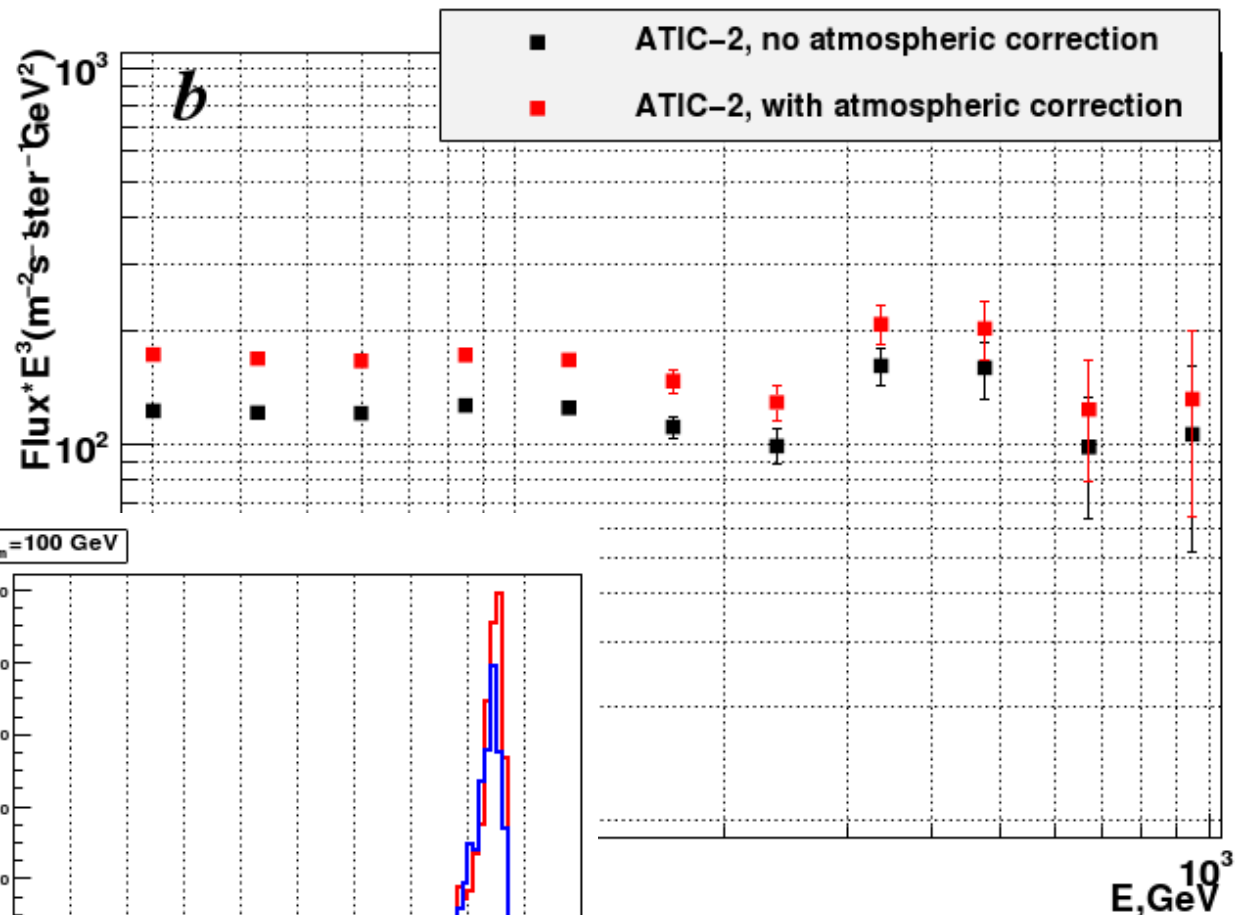
Абсолютный спектр электронов

Вычитание протонного фона

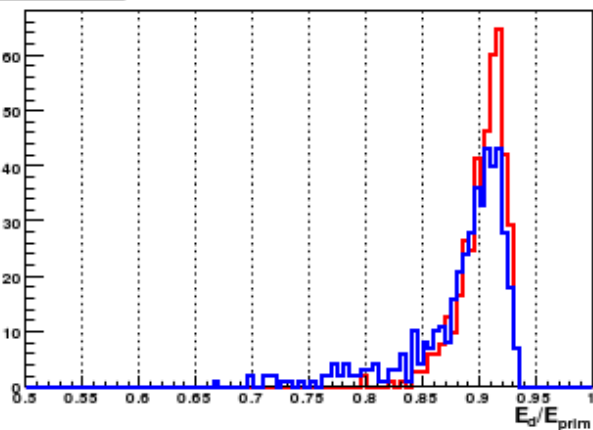


Шаг спектра большой:
0.15 декады энергии

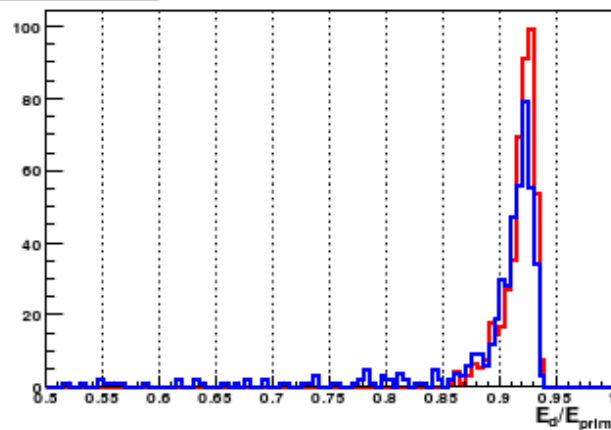
Коррекция рассеяния в атмосфере



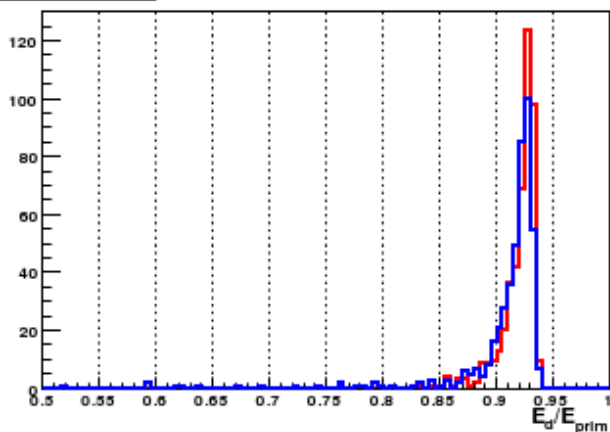
$E_{\text{prim}} = 30 \text{ GeV}$



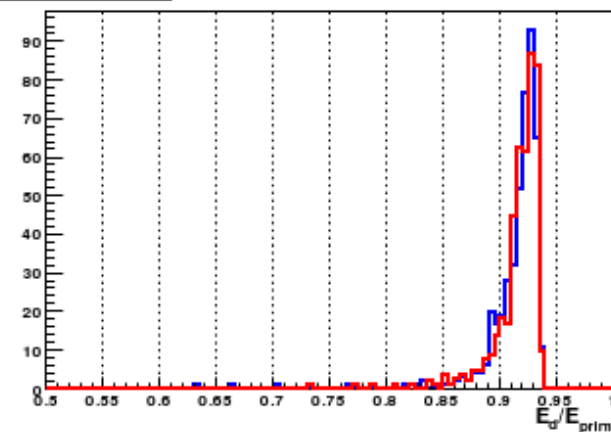
$E_{\text{prim}} = 100 \text{ GeV}$



$E_{\text{prim}} = 300 \text{ GeV}$

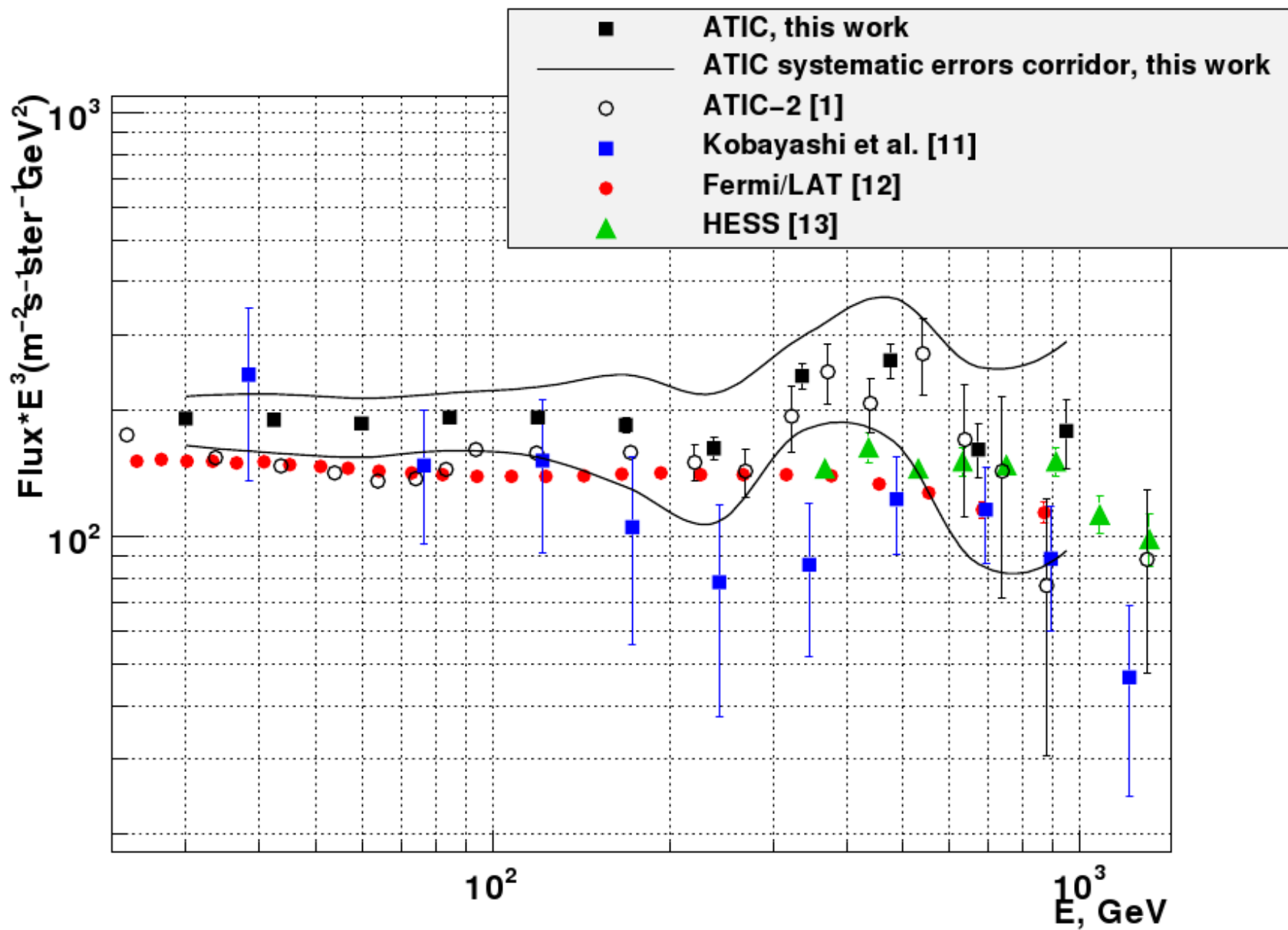


$E_{\text{prim}} = 1000 \text{ GeV}$



— без атмосферы
— с атмосферой

ATIC и другие эксперименты

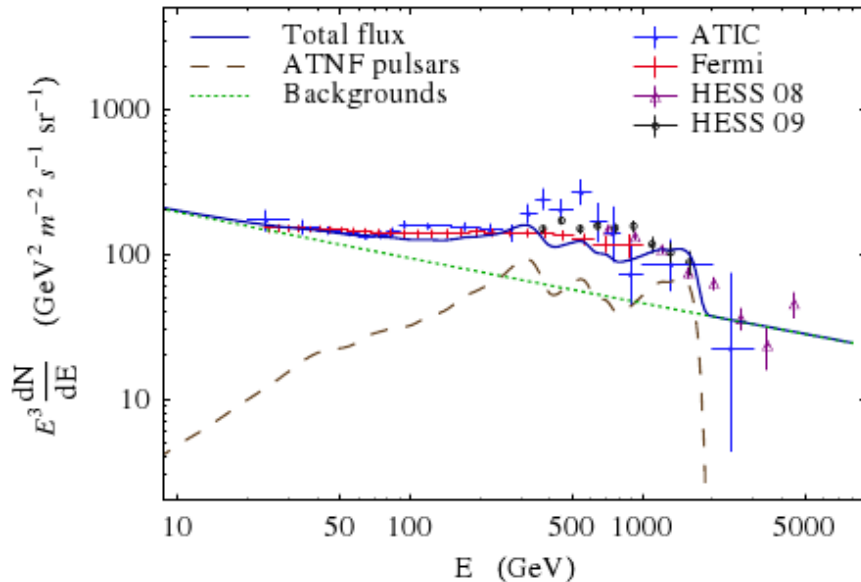
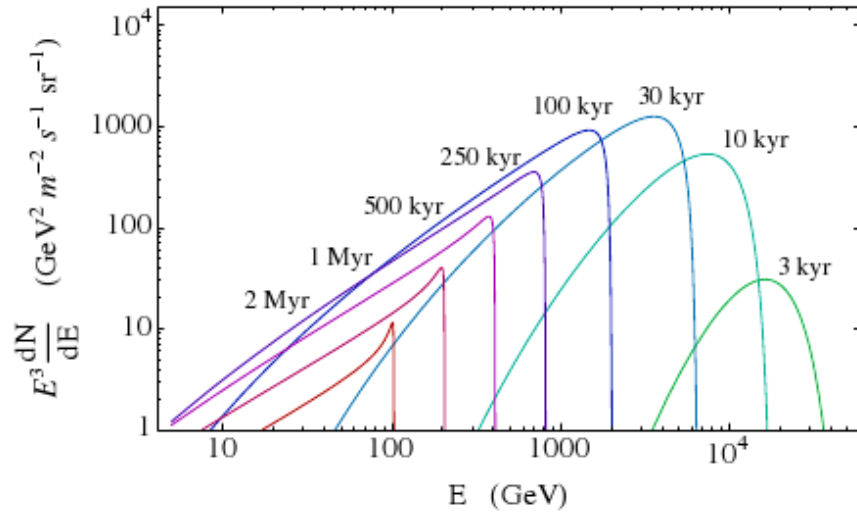


Пульсары, охлаждение электронов, и тонкая структура

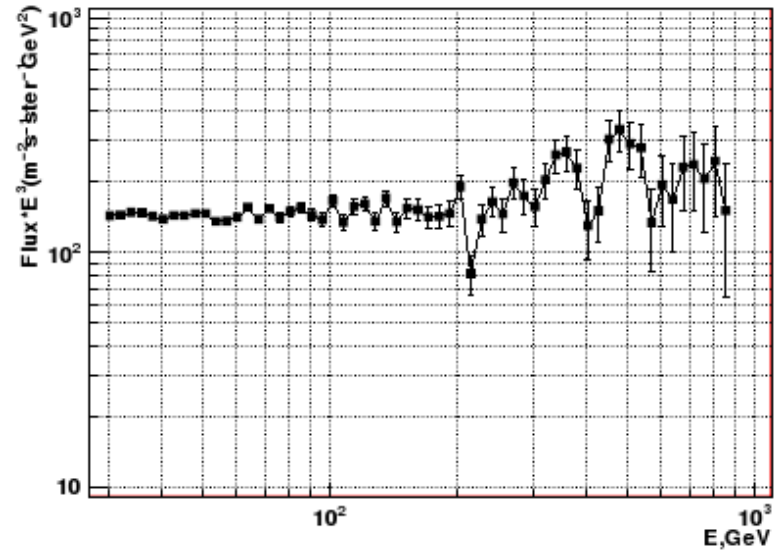
D. Malyshev, I. Cholis, J. Gelfand.

Pulsars versus dark matter interpretation of ATIC/PAMELA. Phys. Rev. D 80, 063005 (2009)

Охлаждение: «Эффект бульдозера»

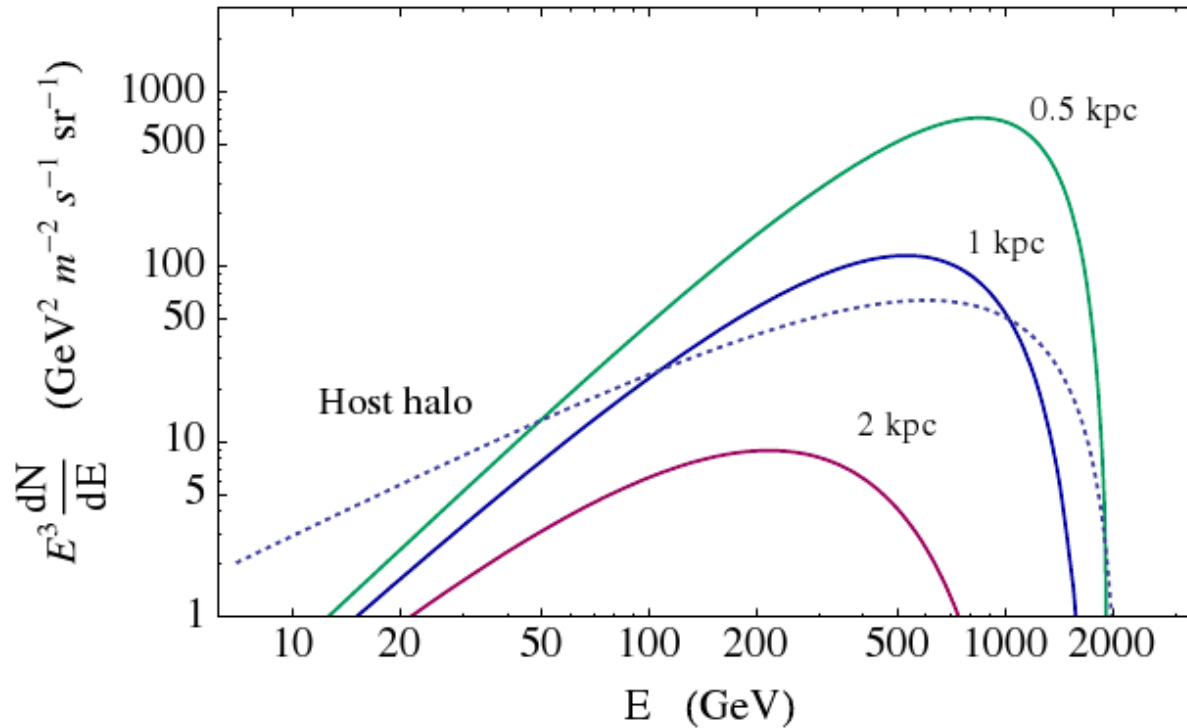


Источник точно-подобен в пространстве и мгновенен во времени
Охлаждение «сгребает» жесткие электроны в сторону низких энергий.



Локальные клампы темной материи не могут привести к возникновению тонкой структуры

M. Kuhlen, D. Malyshev. ATIC, PAMELA, HESS, and Fermi data and nearby dark matter subhalos. Phys. Rev. D 79, 123517 (2009)



Галактическое гало темной материи и любой локальный кламп являются постоянными источниками электронов. В спектре присутствуют электроны всех возрастов, острые пики размазываются.