# Эксперимент «Памела» и поиски частиц «темной» материи

Ю.И.Стожков (ФИАН) от имени сотрудничества ПАМЕЛА

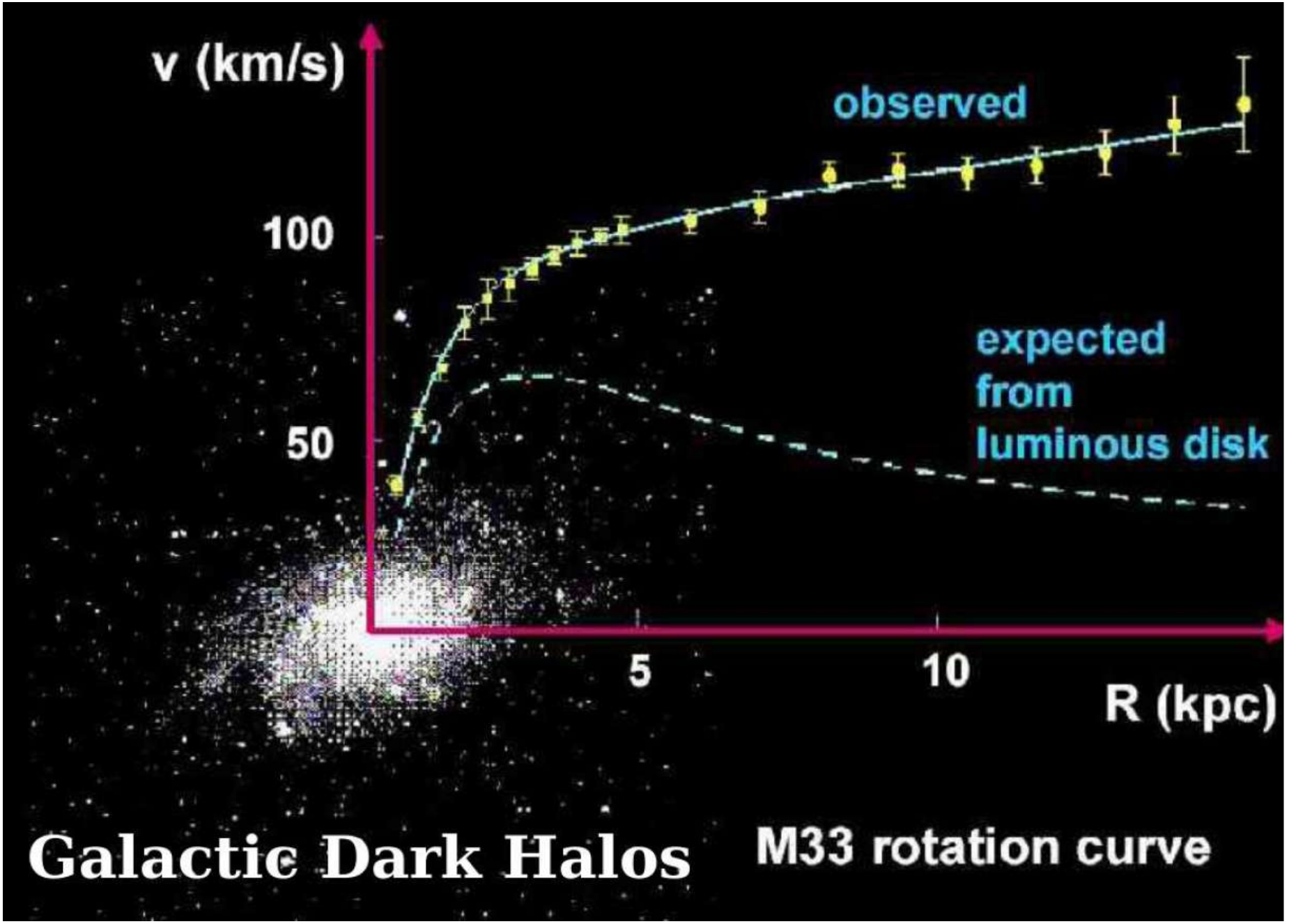
III Черенковские чтения: “Новые методы в экспериментальной ядерной физике и физике частиц”, ФИАН, 6 апреля 2010 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

- Задачи эксперимента
- Спектрометр ПАМЕЛА
- Отношение потоков (Pbar/P)
- Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$
- Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ
- Выводы

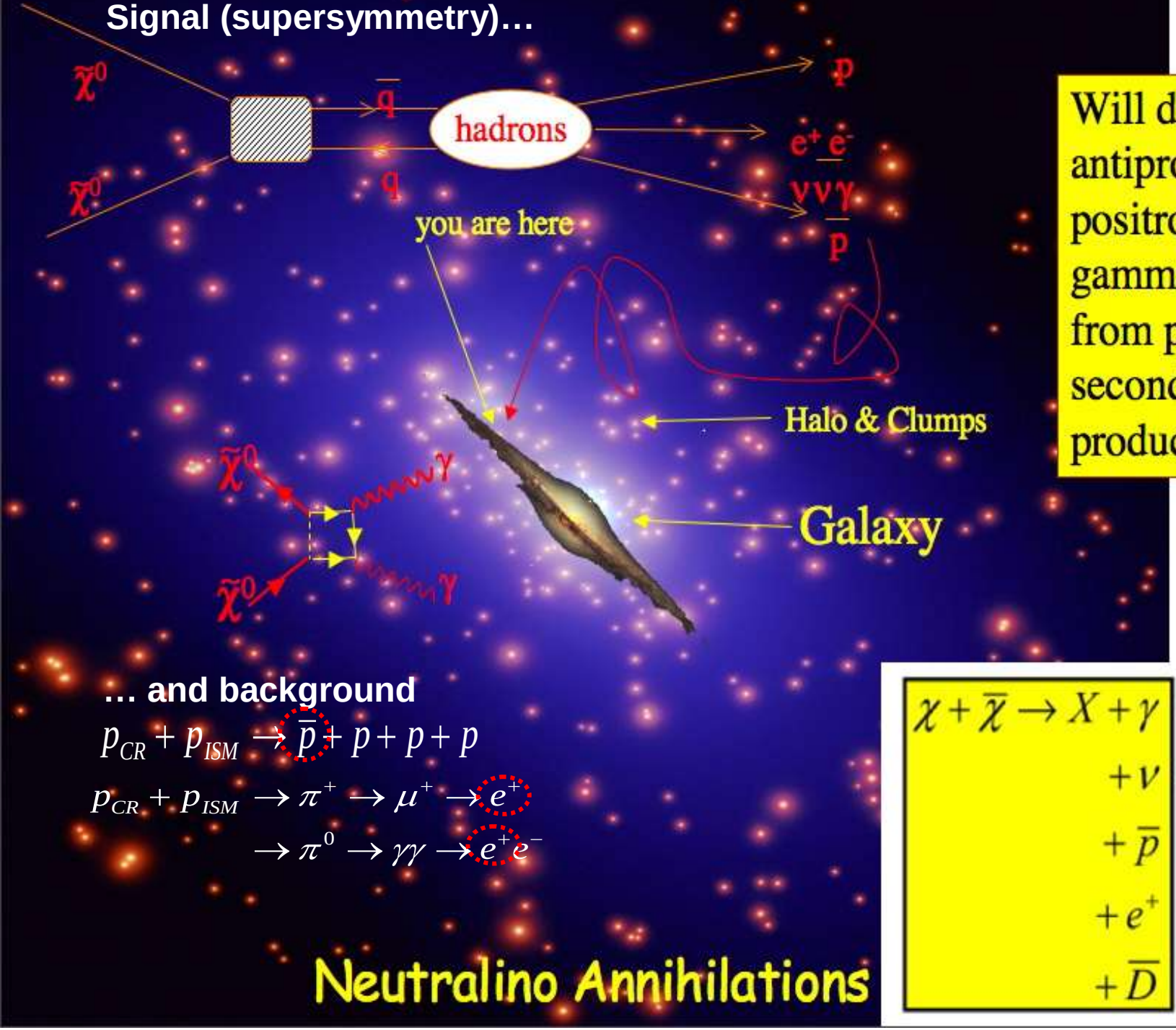
# СОДЕРЖАНИЕ

- **Задачи эксперимента**
- **Спектрометр ПАМЕЛА**
- **Отношение потоков ($\bar{P}/P$)**
- **Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$**
- **Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ**
- **Выводы**




# Galactic Dark Halos

M33 rotation curve




Will distort the antiproton positron and gamma spectra from purely secondary production

$\chi + \bar{\chi} \rightarrow X + \gamma$ (GLAST-FERMI AMS-02)

$+ \nu$ (AMANDA / IceCube)

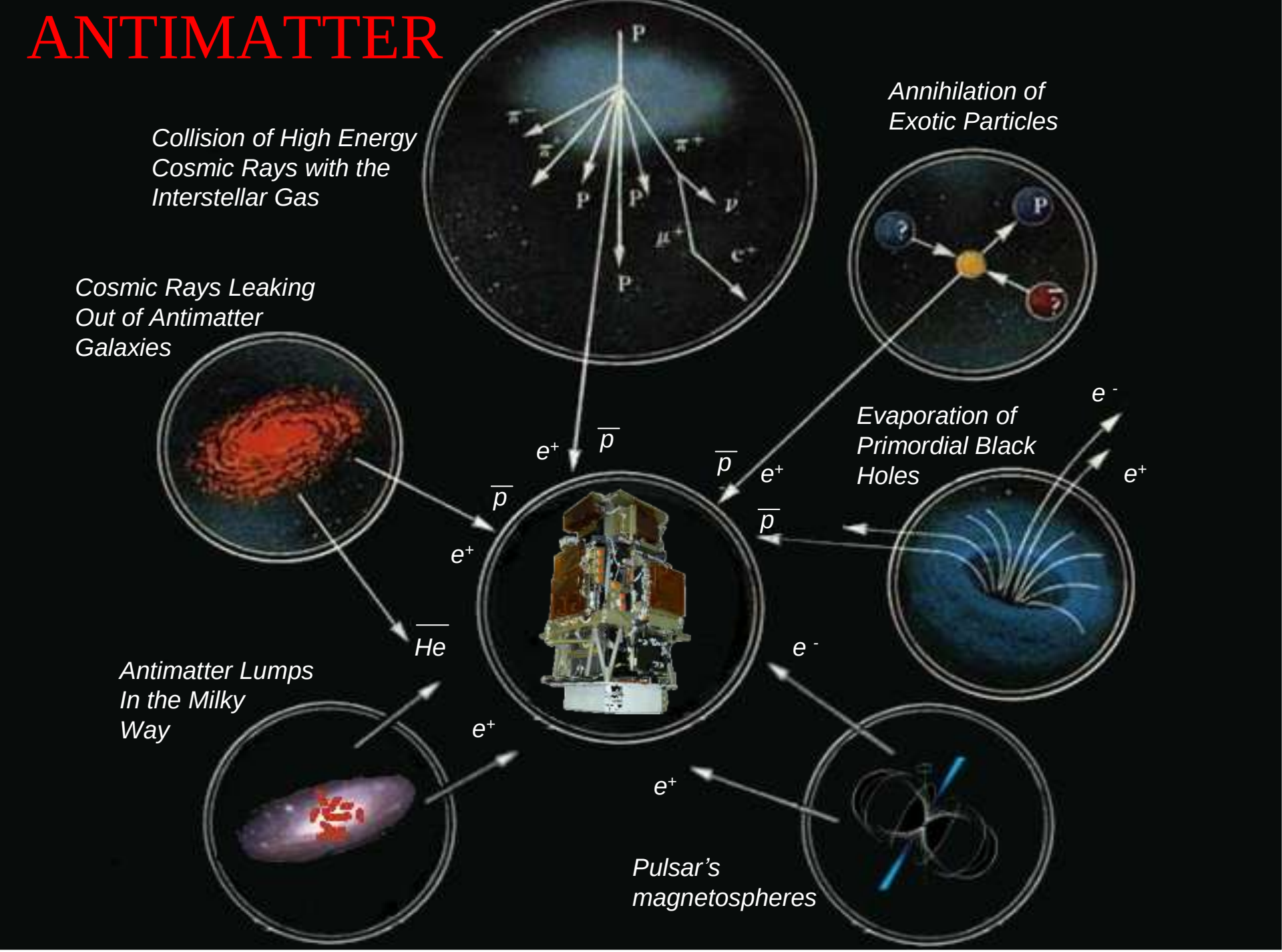
$+ \bar{p}$

$+ e^+$

$+ \bar{D}$

PAMELA (and Bess, HEAT, AMS etc.)

# ANTIMATTER


Collision of High Energy Cosmic Rays with the Interstellar Gas
Annihilation of Exotic Particles
Cosmic Rays Leaking Out of Antimatter Galaxies
Evaporation of Primordial Black Holes
Antimatter Lumps In the Milky Way
Pulsar's magnetospheres
p
e+
e -
He

# СОДЕРЖАНИЕ

- Задачи эксперимента
- **Спектрометр ПАМЕЛА**
- Отношение потоков ($\bar{P}/P$)
- Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$
- Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ
- Выводы

# PAMELA Collaboration

Italy:

Bari, Florence, Frascati, Naples, Rome, Trieste, CNR, Florence

Russia:

Moscow
St. Petersburg

Germany:

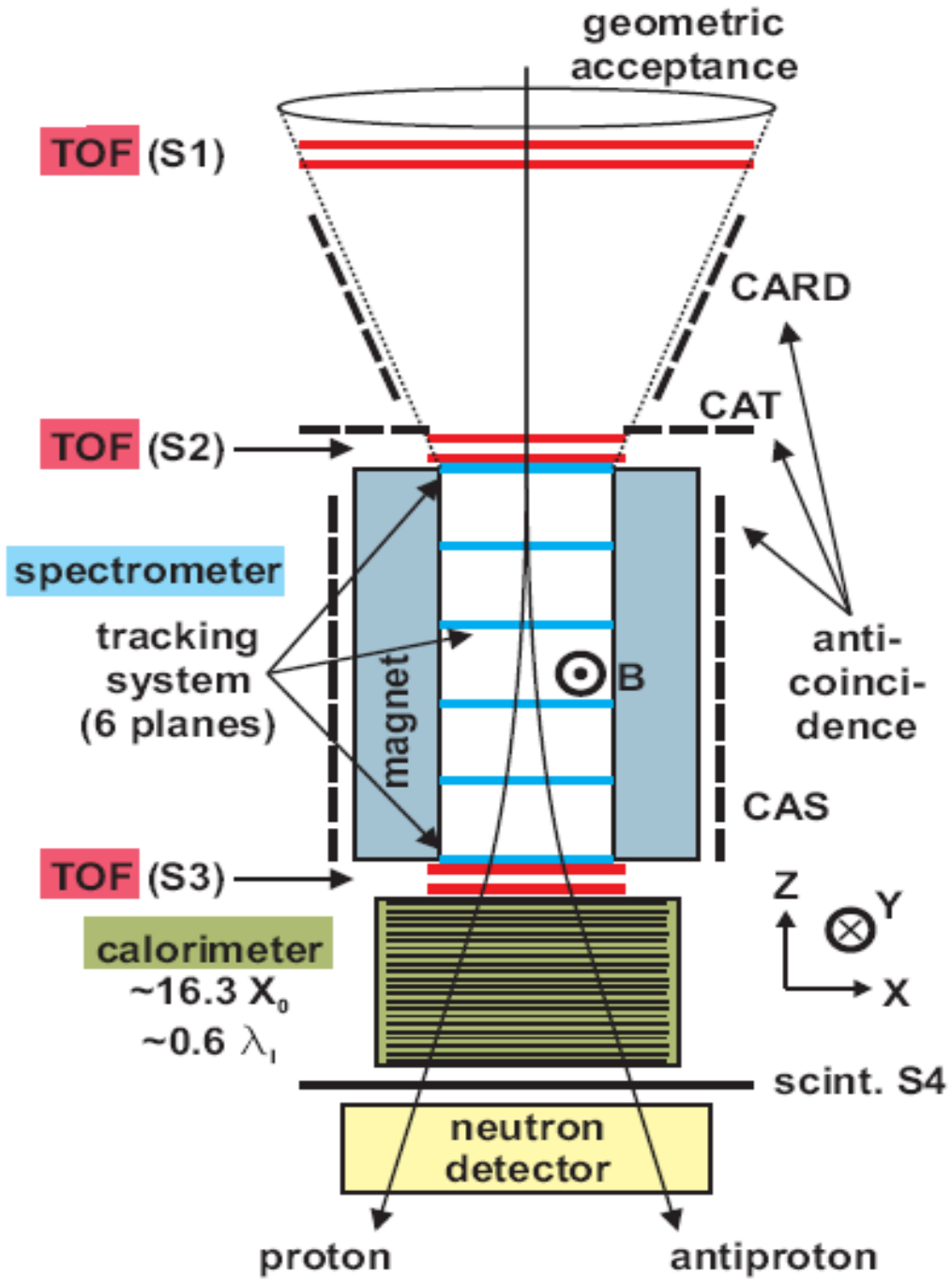
Siegen

Sweden:

KTH, Stockholm

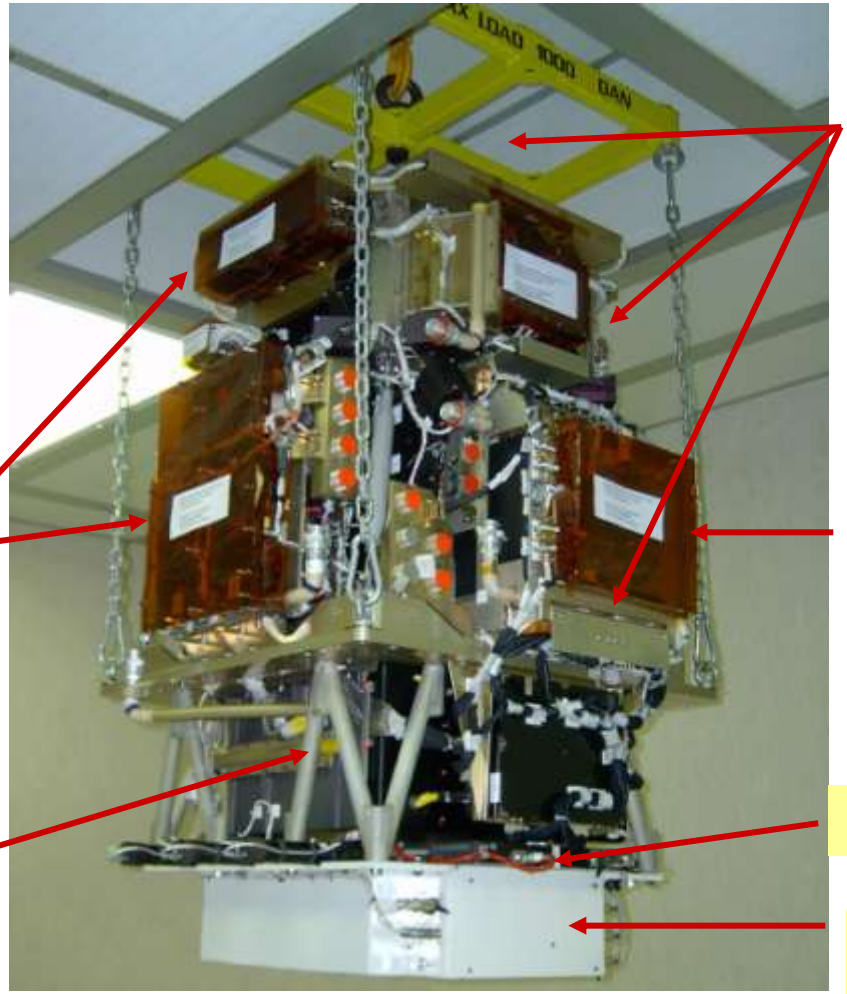
# PAMELA

# Payload for Antimatter - Matter Exploration and Light Nuclei Astrophysics


geometric
acceptance
TOF (S1)
CARD
CAT
TOF (S2)
spectrometer
tracking
system
(6 planes)
magnet
B
anti-
coinci-
dence
CAS
TOF (S3)
calorimeter
~16.3 X0
~0.6 λI
Z
Y
X
scint. S4
neutron
detector
proton
antiproton

# СПЕКТРОМЕТР ПАМЕЛА

**Геометрич. фактор:**
**21.5 см$^2$ ср**
**Вес: 470 кг**
**Размеры:**
**130x70x70 см$^3$**
**Мощность (потреб.) :**
**360 Вт**



**Время-пролетная система (TOF)**

**Определение напр. движения частицы с *P* до 1 ГэВ/с**

**Антисовпадат. защита**

**Магнитн. спектрометр**

***B* = 0.48 T**
**6 плоскостей *Si***
**(2 слоя на каждой)**
**Толщина каждого стрипа 300 μm**
**Разрешение ~3μm**
**MDR ~ 1400 GV/c**

**Калориметр изображения:**

**44 плоскости *Si* с 22 слоями *W* между ними**
**16.3 $X_0$ / 0.6 $L_0$**

***e+/p*** **и** $\bar{p}/e^-$

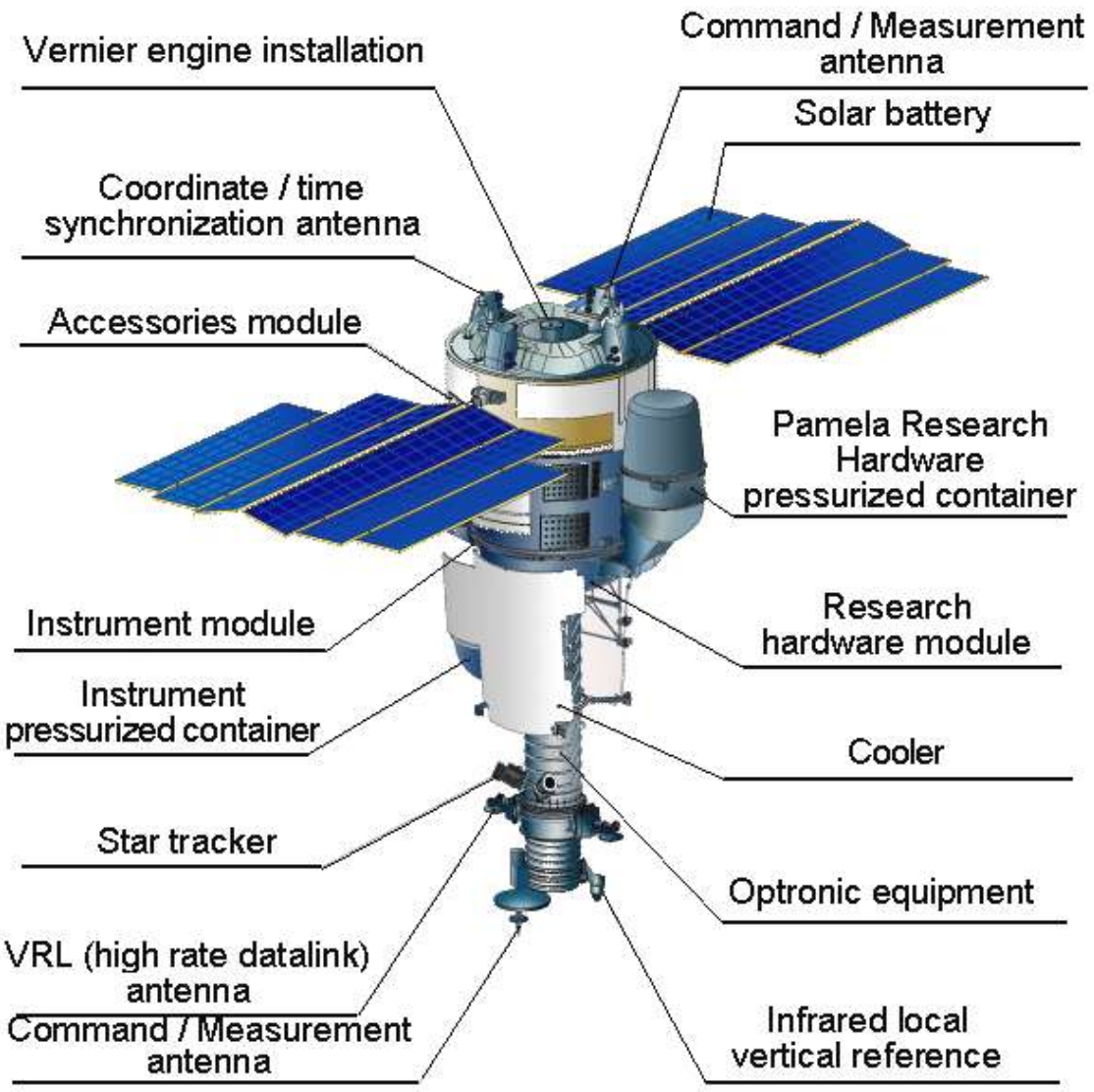
**на уровне $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$**

**Сцинтиллятор C4**

**Нейтронный детектор (ND)**

**36 $^3$He счетчиков полиэтил. замедлит.**

# Ресурс – ДК1




- **Задача: зондирование Земли в широком спектральном диапазоне**
- **Изготовлен ЦСКБ Прогресс в Самаре**
- **Время работы >3 лет**
- **Передача данных по высокоскоростной радиолинии**

- **ПАМЕЛА находится внутри герметичного контейнера**

**Масса: 6.7 т**
**Высота: 7.4 м**
**Солнечные батареи: 36 м$^2$**

# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

- **Космология (антивещество, темная материя, новые частицы)**
- **Физика космических лучей (источники космических лучей, генерация, распространение)**
- **Физика Солнца и гелиосферы (солнечные космические лучи, аномальная компонента, модуляционные процессы)**
- **Частицы в магнитосфере Земли**


ГАГАРИНСКИЙ
СТАРТ

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПАМЕЛА :
## научные задачи и первые результаты

Ю. Стожков (ФИАН) от имени коллаборации ПАМЕЛА

(семинар ОЯФ ИЯИ РАН, 27.04.2007)

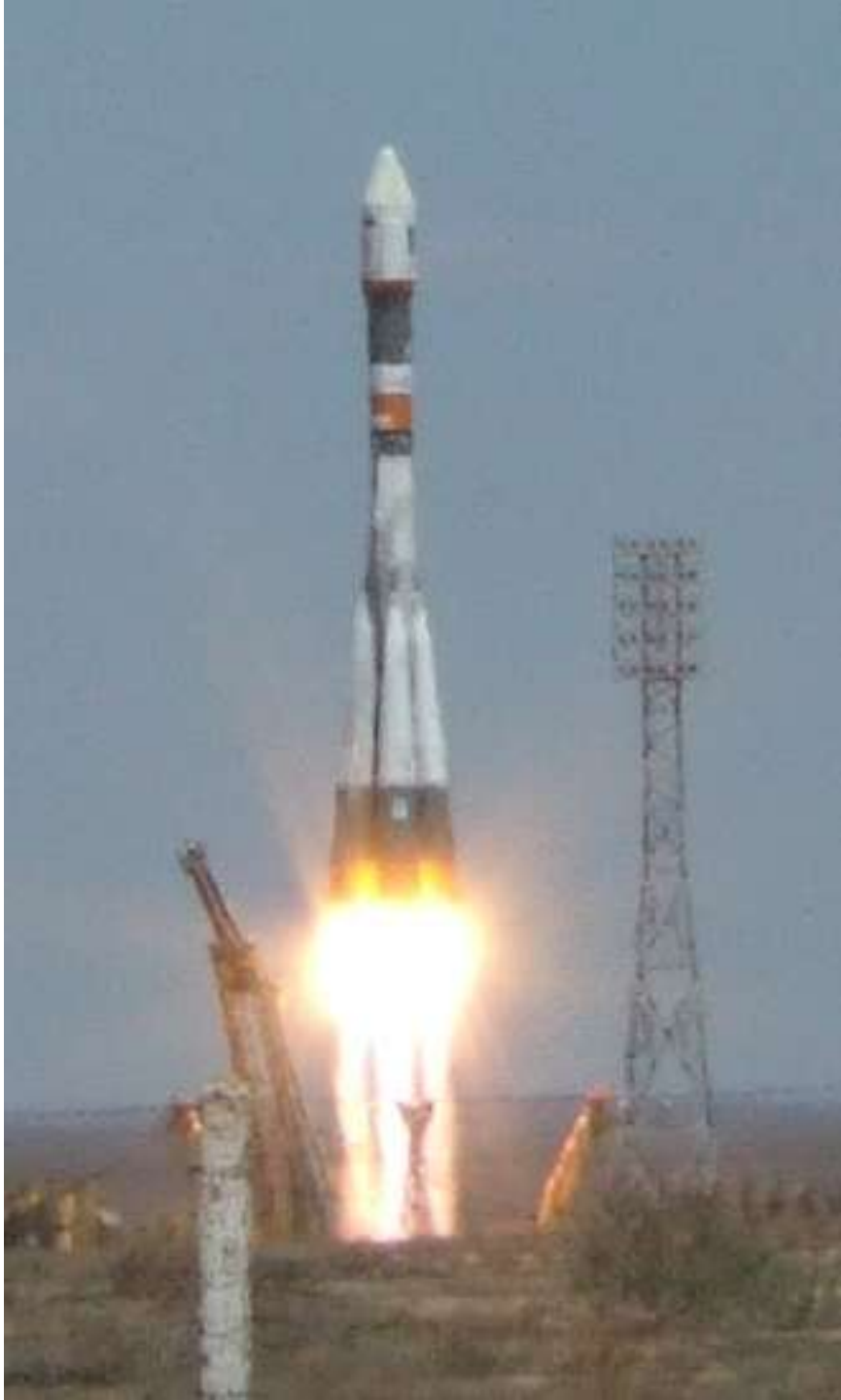
**15 июня 2006 г.**
**с полигона Байконур ракетой СОЮЗ был успешно проведен запуск космического аппарата РЕСУРС - ДК1 со спектрометром ПАМЕЛА на борту**

**С 11 июля по настоящее время научная аппаратура передает информацию на Землю**

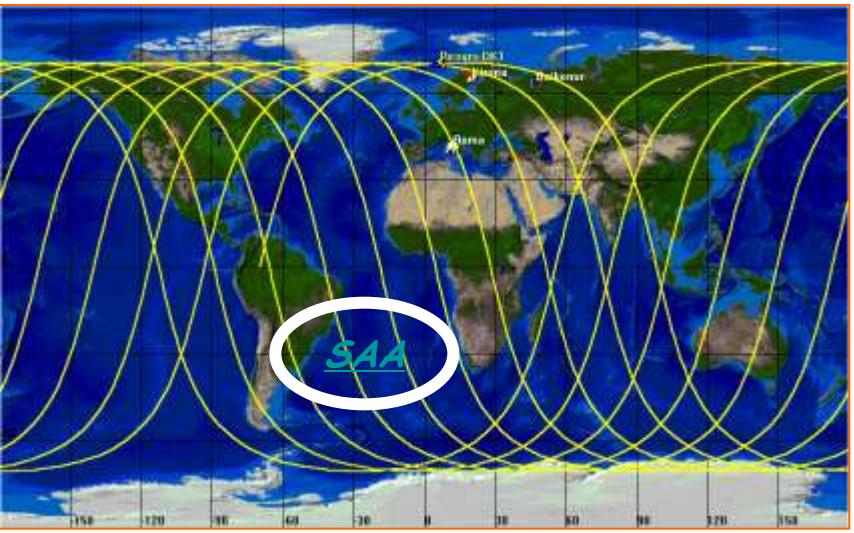
# ПАМЕЛА

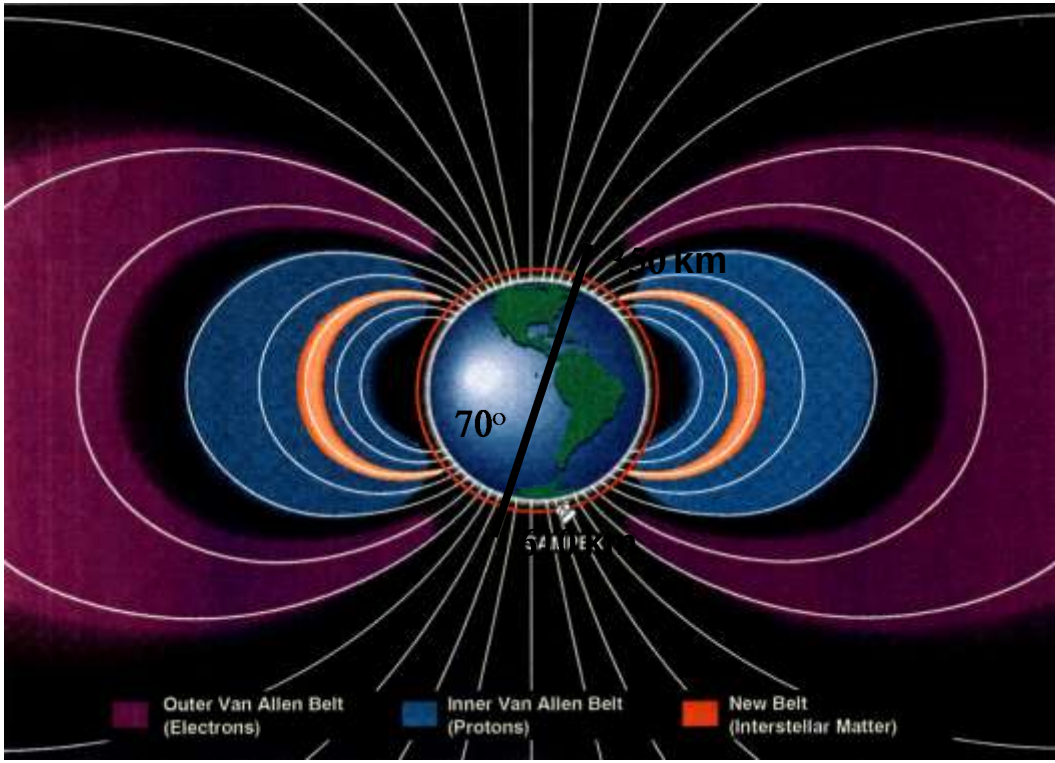
# ЗАПУСК
# 15/06/06

***~15 Гигабайт данных передается на Землю ежедневно в НЦОМЗ, Москва***



# Характеристики орбиты



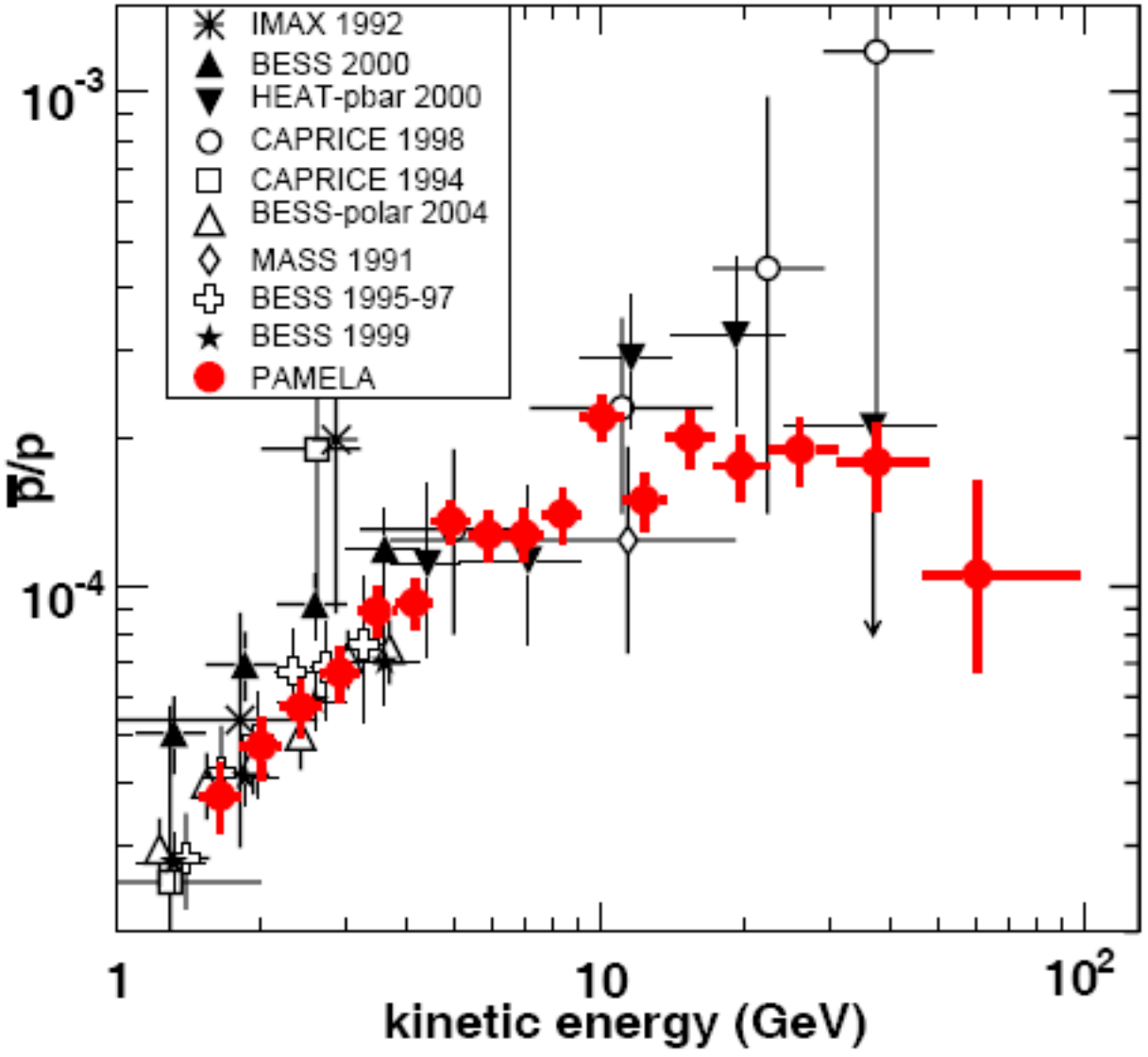

- **300 – 600 км**
- **Квазиполярная орбита (70° наклонение)**
- **Время работы >3 лет**
- **Эллиптическая орбита**

# СОДЕРЖАНИЕ

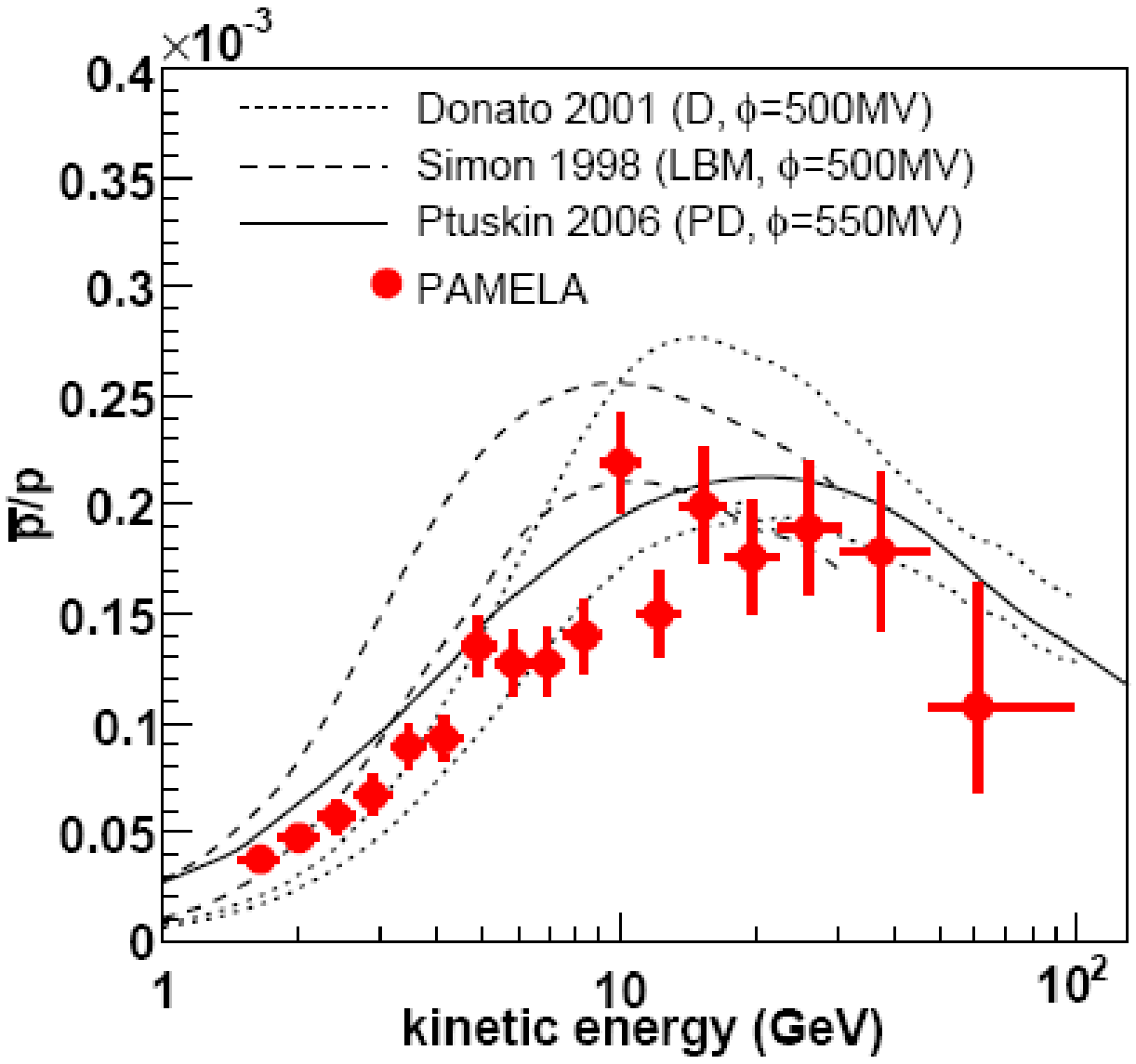
- Задачи эксперимента
- Спектрометр ПАМЕЛА
- **Отношение потоков (Pbar/P)**
- Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$
- Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ
- Выводы

# Antiproton to proton ratio

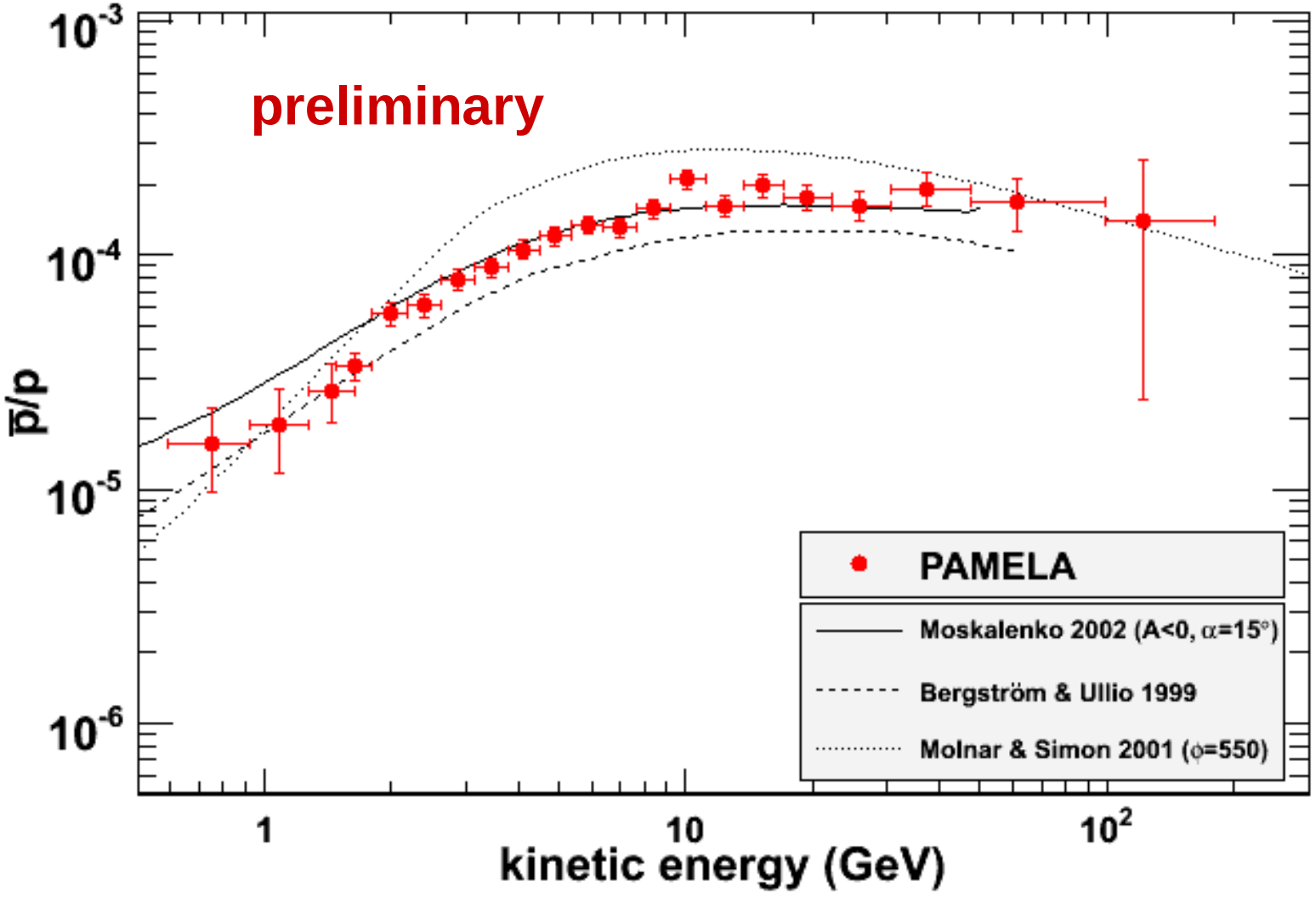
*PRL 102, 051101 (2009)*

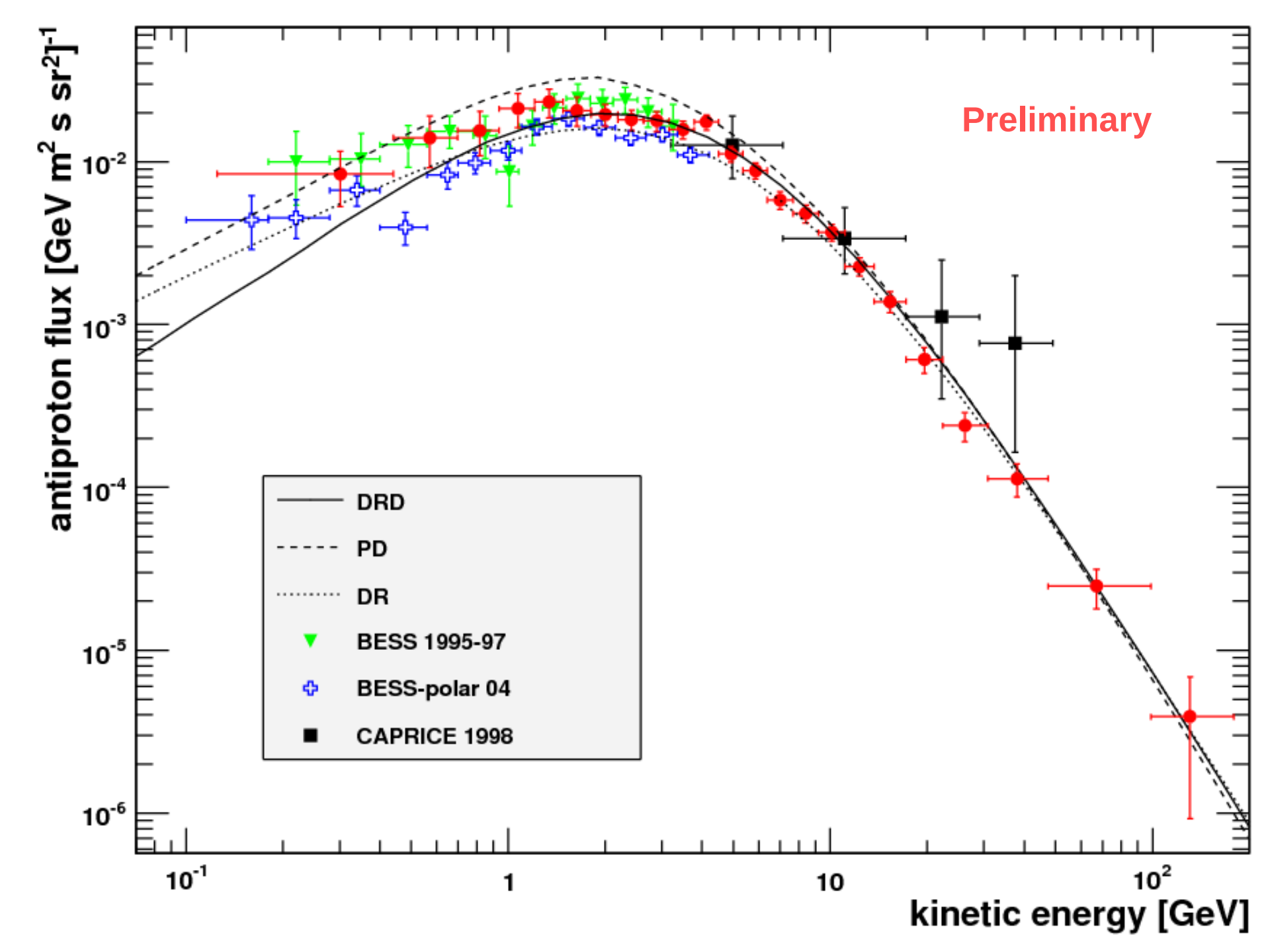


# Антипротон – протон отношение



# Antiproton to proton ratio




Preliminary
antiproton flux [GeV m$^2$ s sr$^2$]$^{-1}$
kinetic energy [GeV]
DRD
PD
DR
BESS 1995-97
BESS-polar 04
CAPRICE 1998
$10^{-2}$
$10^{-3}$
$10^{-4}$
$10^{-5}$
$10^{-6}$
$10^{-1}$
1
10
$10^{2}$

# Вывод

**В Галактике антипротоны образуются в результате взаимодействия протонов космических лучей с ядрами межзвездной среды**

$(p_{гкл} + p_{мс} \rightarrow \bar{p} + p + p + p + \ldots)$.

**Для описания величины потока и энергетического спектра $\bar{p}$ не требуется других источников.**

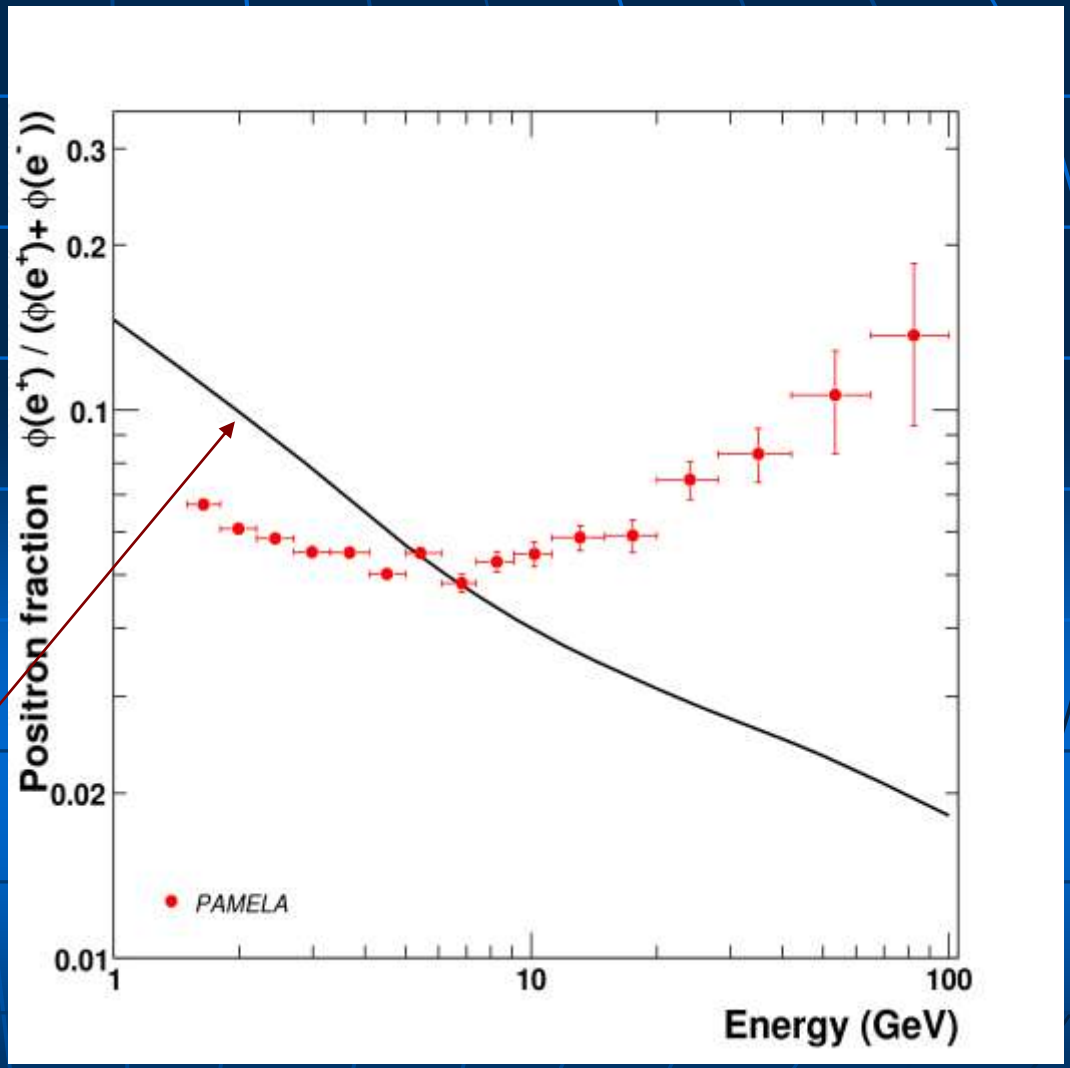
# СОДЕРЖАНИЕ

- Задачи эксперимента
- Спектрометр ПАМЕЛА
- Отношение потоков (Pbar/P)
- **Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$**
- Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ
- Выводы

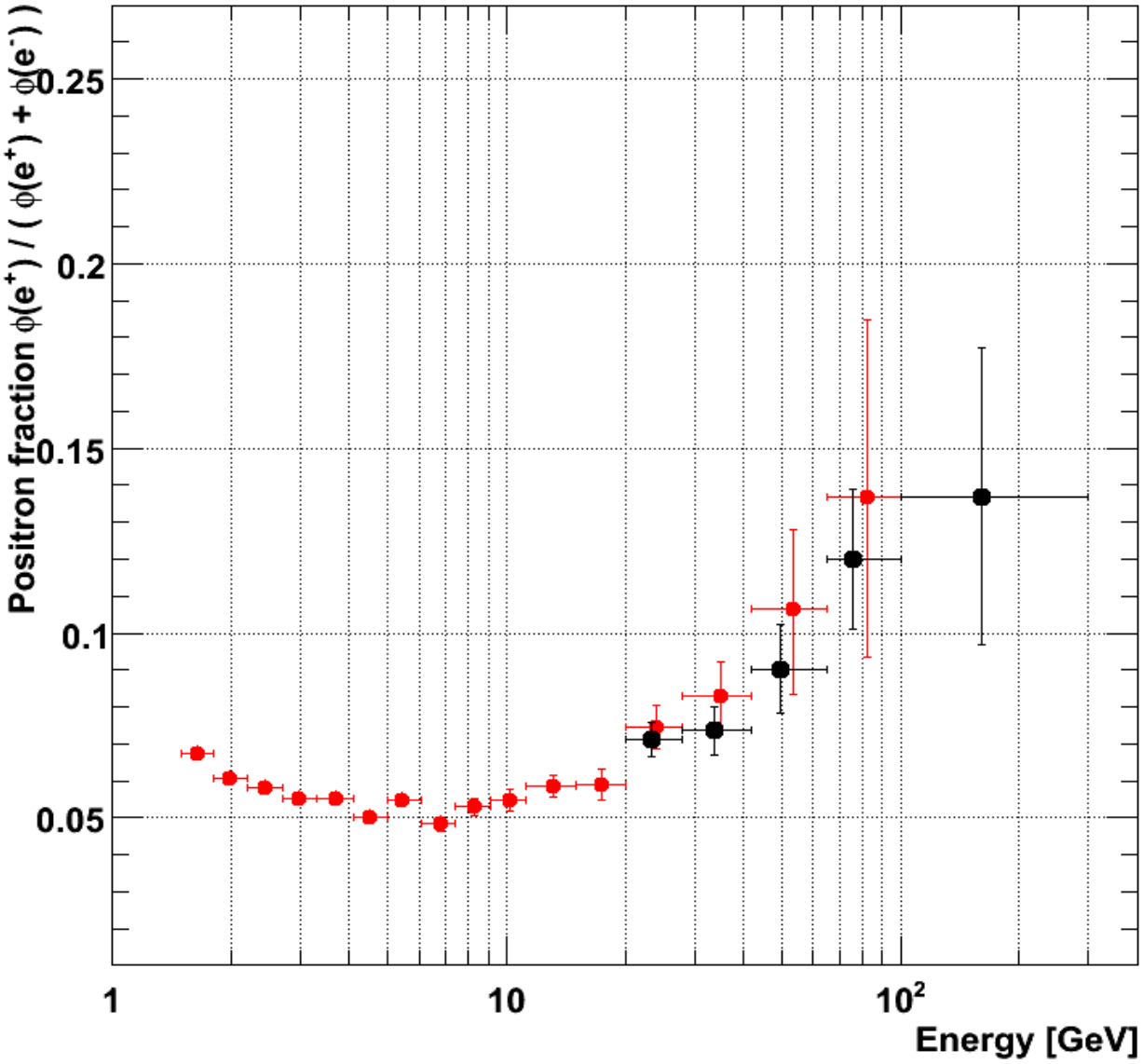
# Positron to all electron ratio

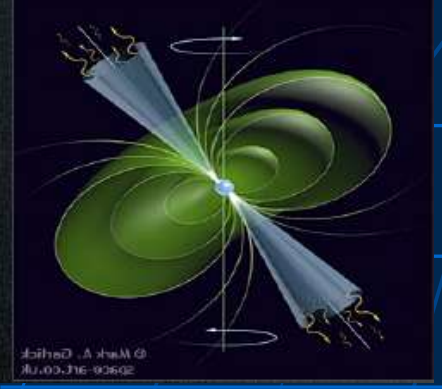
*Nature 458, 697, 2009*

$$R(E) = \frac{\Phi_{e+}}{\Phi_{e+} + \Phi_{e-}}$$




**Secondary production**
**Moskalenko & Strong 98**


Positron fraction $\phi(e^+) / ( \phi(e^+) + \phi(e^-) )$
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
1
10
$10^2$
Energy [GeV]



# Astrophysical Explanation Pulsars

*S. Profumo Astro-ph 0812-4457*

- Mechanism: the spinning **B** of the pulsar strips $e^-$ that accelerated at the polar cap or at the outer gap emit γ that make production of $e^{\pm}$ that are trapped in the cloud, further accelerated and later released at $\tau \sim 10^5$ years.

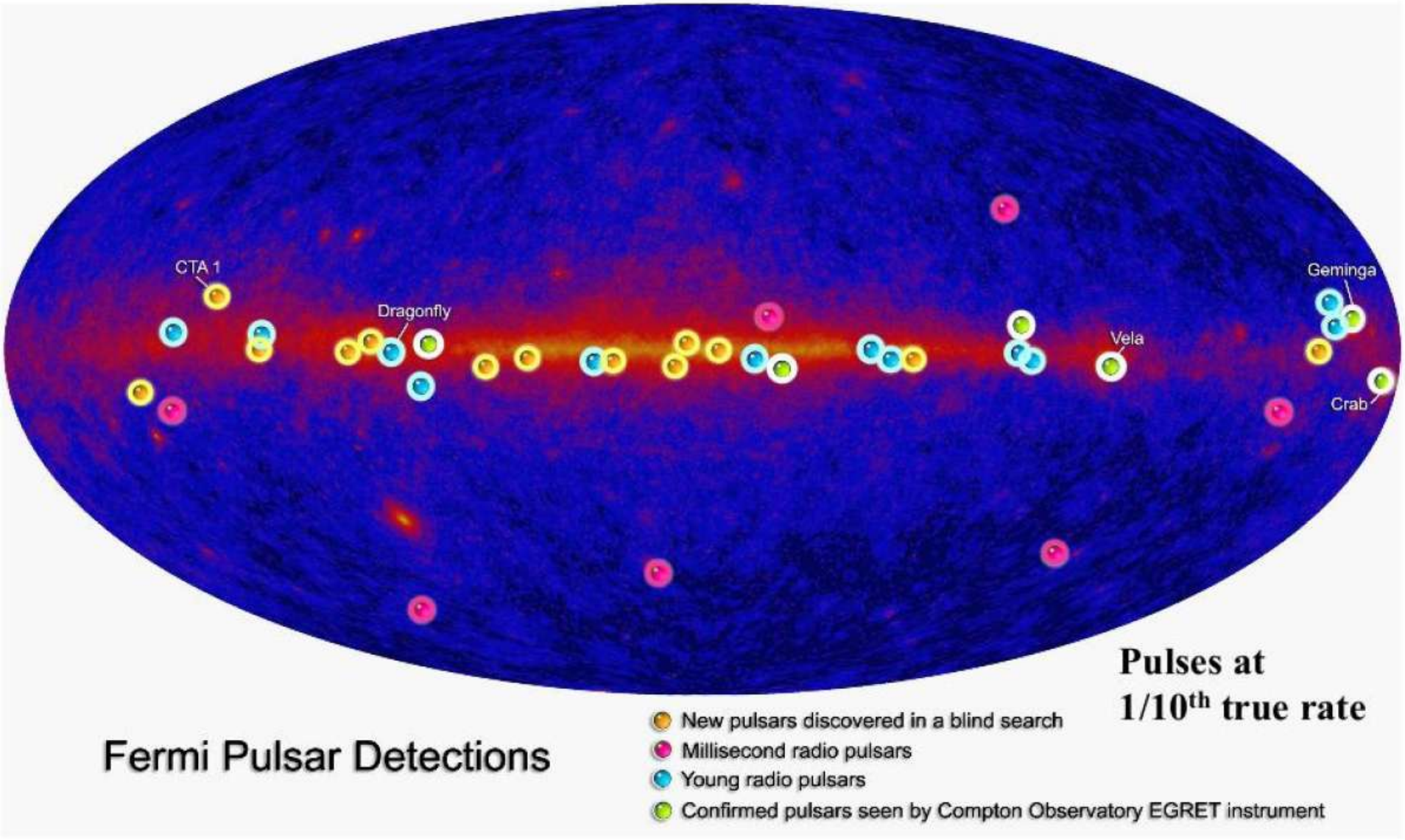
$$E_{tot} \simeq 10^{46}\,\mathrm{erg}$$

- Young (T ~$10^5$ years) and nearby (< 1kpc)
- If not: too much diffusion, low energy, too low flux.

- Geminga: 157 parsecs from Earth and 370,000 years old
- B0656+14: 290 parsecs from Earth and 110,000 years old
- Many others after Fermi/GLAST

- Diffuse mature pulsars

# Fermi Pulsar detection

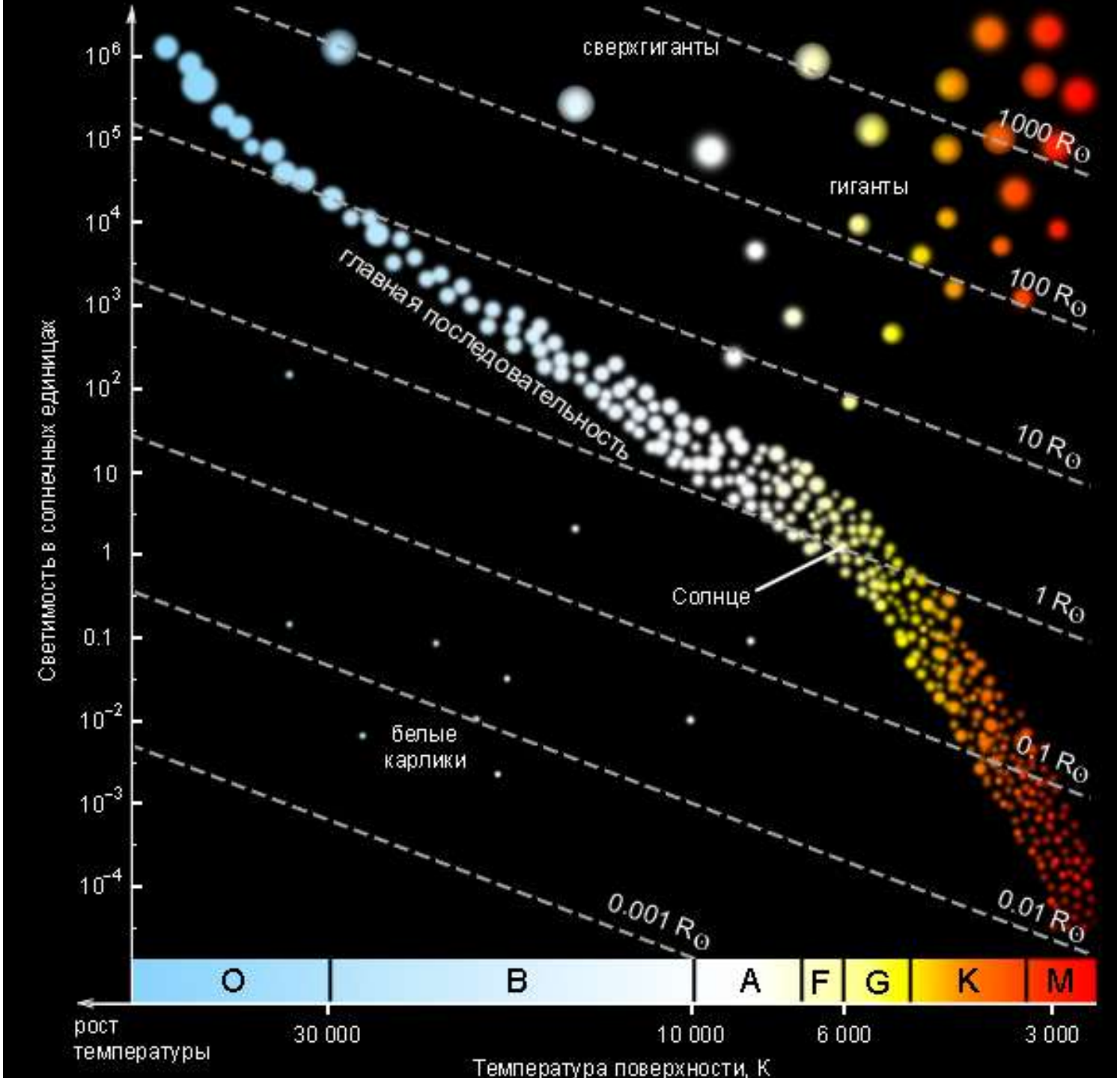


# Interaction of high energy gamma-rays with star-light

F. A. Aharonian and A M Atoyan
J. Phys. G: **Nucl.** Pan. Phys. **17 (1991) 1769-1778.**

A. Eungwanichayapant and F. A. Aharonian
0907.2971v1 [astro-ph.HE]

After discovery of TeV binaries like LS5039 and LSI 61 by HESS/Magic/VERITAS in which the powerful production of high and very high energy gamma-rays is accompanied by their absorption (which leads to the modulation of the gamma-ray signal), it is clear that these objects are also sources of electron-positron pairs.


Светимость в солнечных единицах
$10^6$
$10^5$
$10^4$
$10^3$
$10^2$
10
1
0.1
$10^{-2}$
$10^{-3}$
$10^{-4}$
сверхгиганты
гиганты
главная последовательность
белые карлики
Солнце
1000 R☉
100 R☉
10 R☉
1 R☉
0.1 R☉
0.01 R☉
0.001 R☉
O
B
A
F
G
K
M
рост температуры
30 000
10 000
6 000
3 000
Температура поверхности, K

**Концентрация звезд в Галактике, на которых наблюдаются вспышки, равна ~ 0.056 звезд/пс$^3$.**
**Концентрация всех звезд только в ~2 раза выше этой величины (~ 0.133 звезд/пс$^3$).**

**(Р.Е. Гершберг «Активность солнечного типа звезд главной последовательности», изд-во Астропринт, Одесса, 2002 г., 688 стр.)**

# Карликовые звезды – звезды главной последовательности спектральных классов G – M.

**(красный карлик AU Mic находится на расстоянии r = 10 пс от Солнца, T = $4\times10^7$ К) ----------**

**Температура – (7000 – 2500) К**

**Масса – (1 – 0.06) M**

**Радиус – (1 – 0.1) R**

**Светимость – (2 – 0.0008) L**

**(L = $3.86\times10^{33}$ эрг/с)**

**Во время вспышек на красных карликах оптическая светимость звезды увеличивается в несколько раз. Полная энергия оптического диапазона увеличивается до ~ $10^{35}$ эрг. Длительность звездных вспышек – от долей секунд до десятков часов.**

**Например, вспышка 15 июля 1992 г. на AU Mic длилась ~ 2 часа и энергия, которая выделилась за 2 часа в ультрафиолете (65-190 Å) была равна $3\times10^{34}$ эрг. Через сутки наблюдалась следующая вспышка с полной энергией EUV $2\times10^{33}$ эрг.**

**AU Mic имеет следующие характеристики: r = 9.9 пк, имеются пятна, $(R_{AU}/ R ) \approx 0.39$, $(M_{AU}/M ) \approx 0.52$, $\log L_{AU} \approx 32.38$.**

**Зарегистрировано более 1200 вспыхивающих звезд с числом вспышек более 4000. На UV Get ~ каждый час происходит вспышка.**

**UV Get имеет следующие характеристики: r = 2.7 пс, имеются пятна, $(R_{UV}/ R ) \approx 0.16$, $(M_{UV}/M ) \approx 0.1$, $\log L_{UV} \approx 30.91$.**

**Вспышечная активность Солнца на ~ 4 порядка величины ниже, чем у самых активных карликов. Полная энергия солнечной вспышки 4 августа 1972 г. оценивается равной $2\times10^{32}$ эрг.**

**Полная энергия мощных звездных вспышек может достигать значений до $3\times10^{36}$ эрг.**

В Галактике плотность энергий

$w_Н \approx w_Г \approx w_{КЛ} \approx 0.5$ эВ/см$^3$.

Полная энергия КЛ равна $W_{КЛ} = w_{КЛ} \times V_{Гал} \approx 10^{54}$ эрг,

где $V_{Гал} = 5 \times 10^{66}$ см$^3$ – объем диска Галактики.

$W_{КЛ} = P_{1ист} \times \tau \times n_{КЛ} \approx 10^{54}$ эрг.

Средняя мощность 1 вспышки в КЛ на красном карлике $\approx 10^{35}$ эрг. Пусть вспышки происходят 1 раз в 3.5 дня. Тогда $P_{1ист} \approx 10^{37}$ эрг/год.

Число источников КЛ: $n_{КЛ} = к \times N = 2 \times 10^{10}$, где

$N = 2 \times 10^{11}$ – число звезд в нашей Галактике,

$к = 0.1$ - коэффициент. Время жизни КЛ в Галактике

$\tau \approx 10^7$ лет.

Тогда от вспышек на красных карликах имеем

$W_{КЛ} = P_{1ист} \times \tau \times n_{КЛ} \approx (10^{37}$ эрг/год$) \times (10^7$ лет$) \times (2 \times 10^{10})$

$W_{КЛ} \approx 10^{54}$ эрг.

Спектр КЛ в сверхновых $N(E) = A/E^{\gamma}$,

где $\gamma_{кл} \approx 2.2$, $\gamma_{эл} \approx 2.2$.

В Галактике за время ~ $10^7$ лет $\gamma_{кл} = 2.7$ и

$\Delta \gamma_{кл} \approx 0.5$. Для электронов $\gamma_{эл} \approx 3.2$, т.е.

$\Delta \gamma_{эл} \approx 1$.

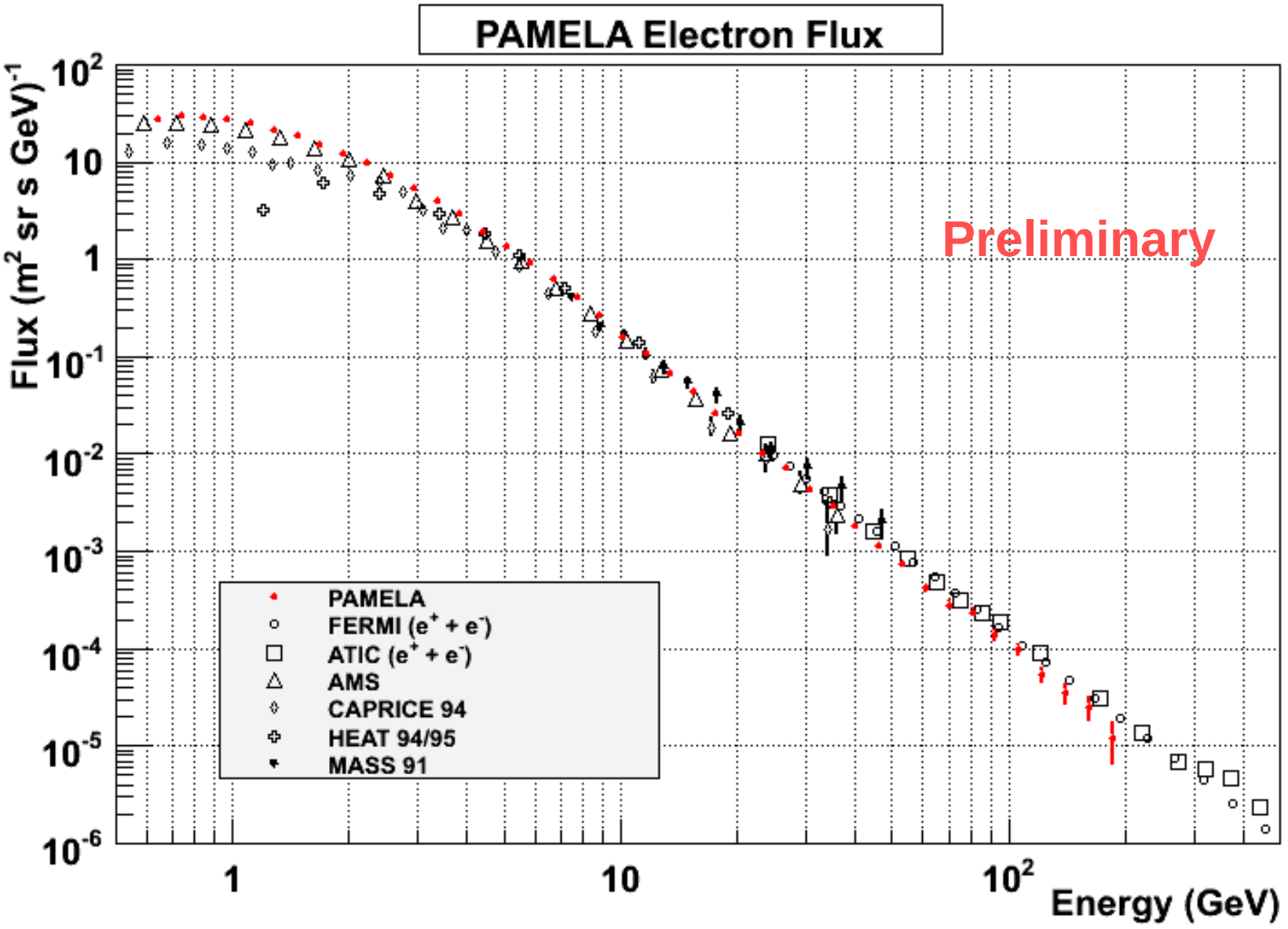
Спектр позитронов и электронов, рождаемых Галактике в результате взаимодействий КЛ с межзвездным газом, имеет $\gamma_e \approx 2.7$. Принимая, что для позитронов $\Delta \gamma_{поз} \approx 1$, спектр позитронов будет иметь $\gamma_{поз} \approx 3.7$. Отношение потока позитронов к потоку электронов будет падать с ростом энергии частиц.

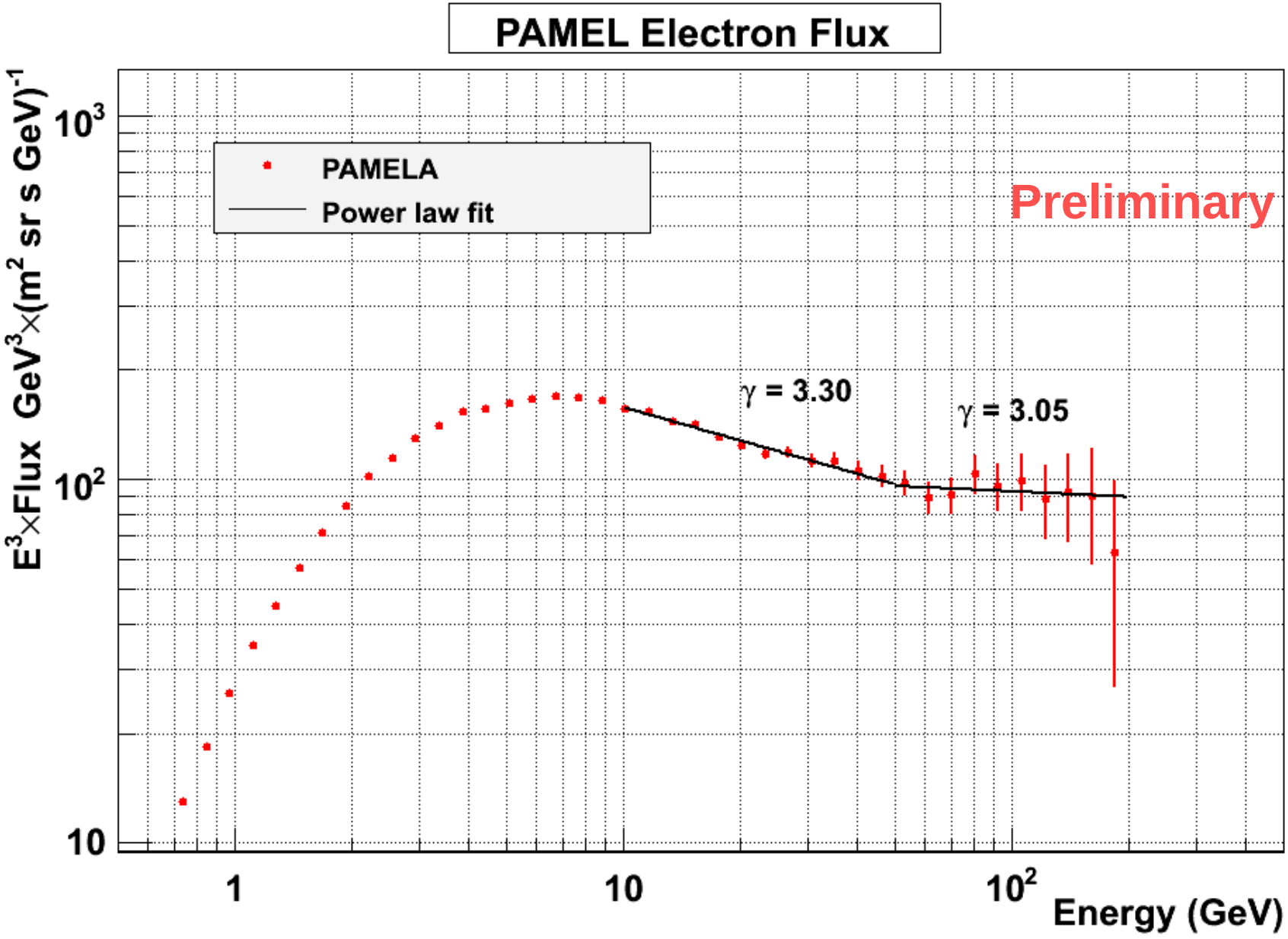
Если спектр частиц, ускоренных во вспышках на красных карликах, имеет вид $N(E) = A/E^{\gamma}$, где $\gamma_{кар} \approx 2.2$, тогда спектр вторичных позитронов будет иметь $\gamma_{поз} \approx 2.2$. При распространении в Галактике

$\Delta \gamma_{поз} \approx 1$ и $\gamma_{поз} \approx 3.2$. Т.е. в Галактике для позитронов от красных карликов отношение потока позитронов к потоку электронов не будет зависеть от энергии частиц.

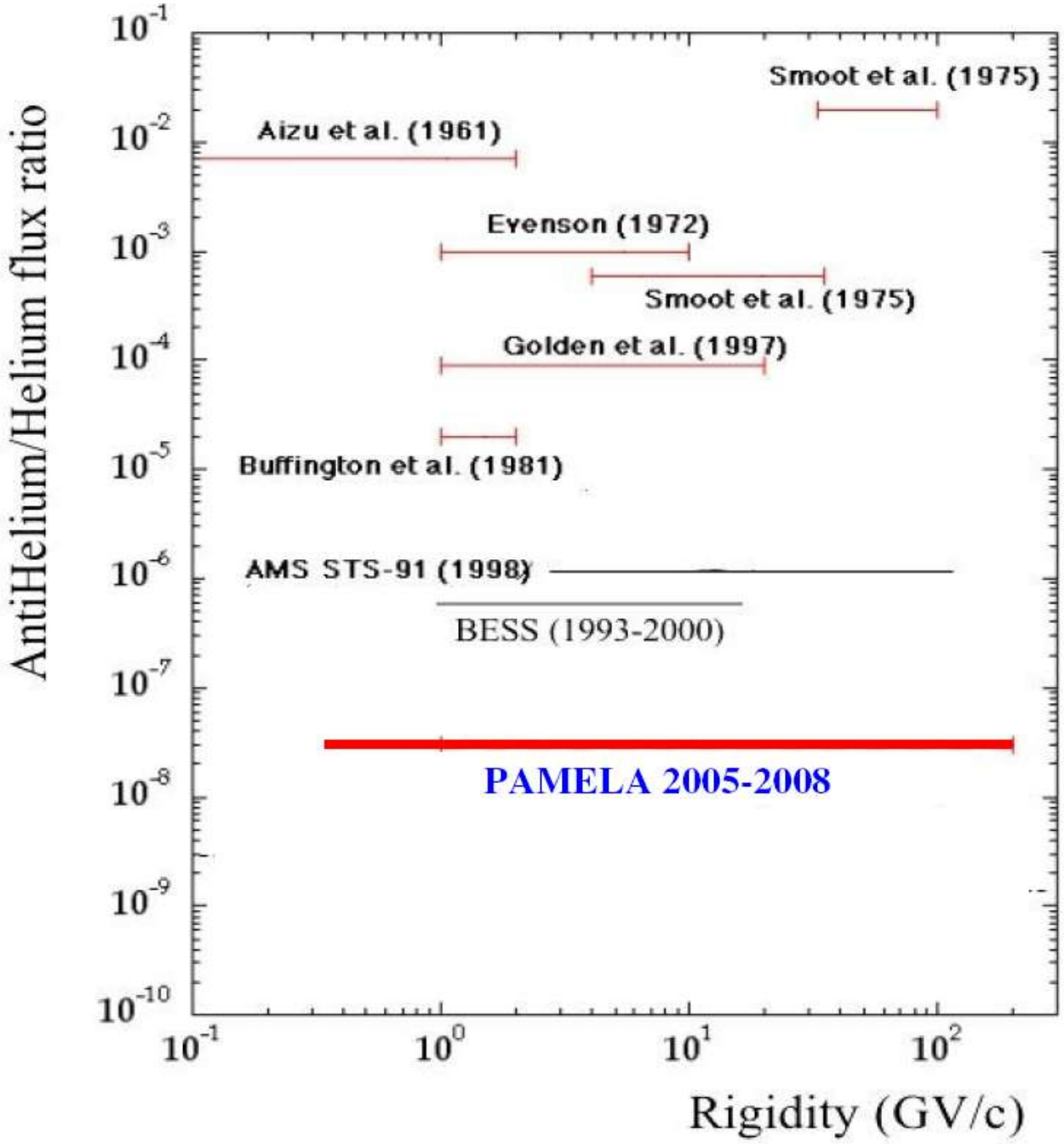
**Рост отношения $e^+/(e^- + e^+)$ при энергиях E > ~ 5 GeV можно объяснить образованием дополнительного потока позитронов в звездных вспышках на красных карликах через процесс взаимодействия с веществом звезды ускоренных во вспышке протонов с образованием $\pi$+ и последующего их распада: $\pi^+\mu^+$ $e^+$.**

**В этом случае отношение of $e^+/(e^- + e^+)$ будет расти с увеличением энергии E и иметь максимум при E ~ (100-300) ГэВ. После этой энергии отношение $e^+/(e^- + e^+)$ будет падать, т.к. масимальная энергия частиц ускоренных во вспышках на красных карликах вряд ли превосходит $10^{13}$ эВ.**


PAMELA Electron Flux
Flux (m$^2$ sr s GeV)$^{-1}$
$10^2$
10
1
$10^{-1}$
$10^{-2}$
$10^{-3}$
$10^{-4}$
$10^{-5}$
$10^{-6}$
1
10
$10^2$
Energy (GeV)
Preliminary
PAMELA
FERMI ($e^+ + e^-$)
ATIC ($e^+ + e^-$)
AMS
CAPRICE 94
HEAT 94/95
MASS 91


PAMEL Electron Flux
PAMELA
Power law fit
Preliminary
γ = 3.30
γ = 3.05
E³×Flux GeV³×(m² sr s GeV)⁻¹
10³
10²
10
1
10
10²
Energy (GeV)

# Антиматерия



# СОДЕРЖАНИЕ

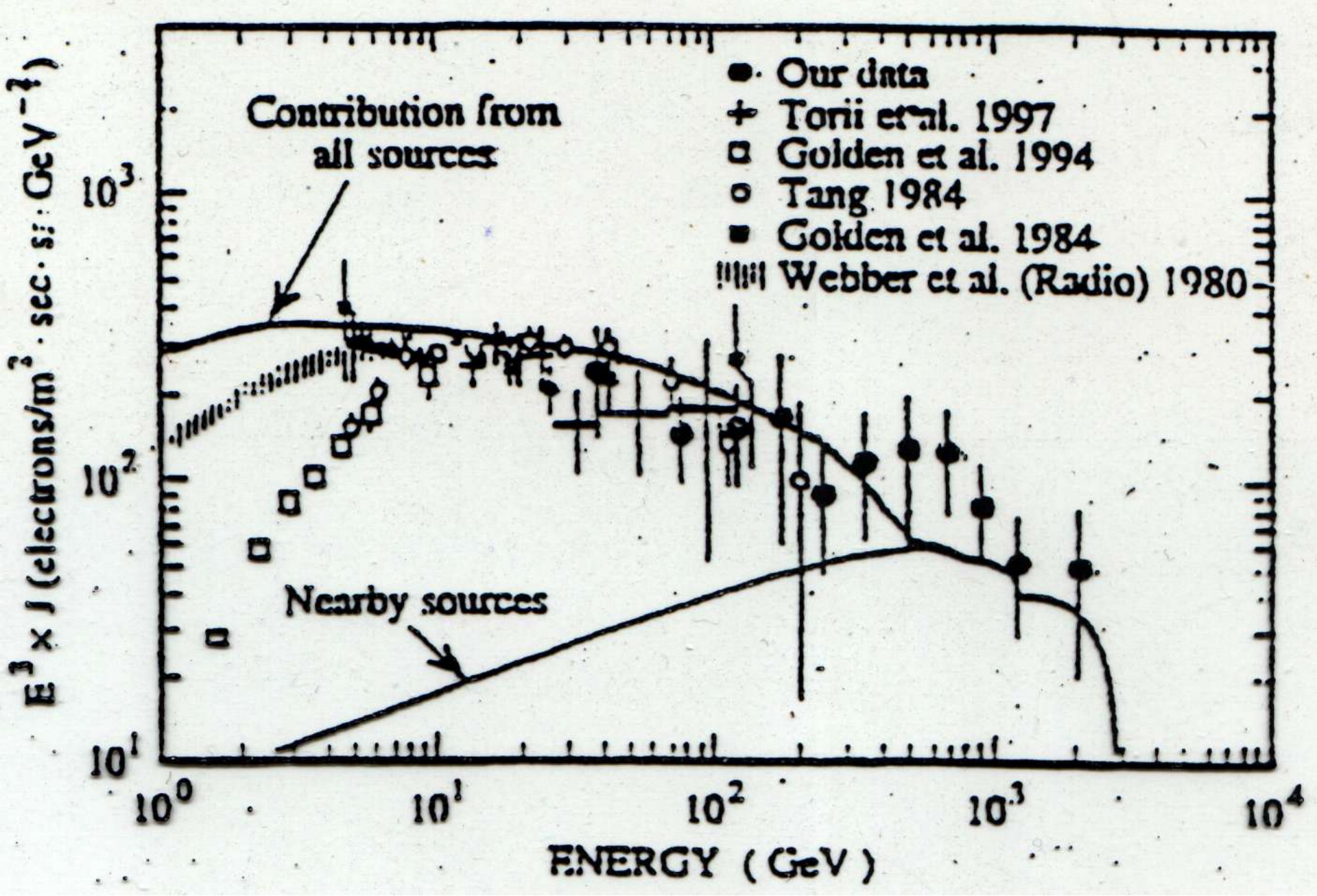
- Задачи эксперимента
- Спектрометр ПАМЕЛА
- Отношение потоков (Pbar/P)
- Отношение потоков $e^+/(e^+ + e^-)$
- **Спектр галактических электронов с энергией более 100 ГэВ**
- Выводы

# ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ

- Высокоэнергичные электроны дают информацию о близких источниках космических лучей, находящихся на расстояниях менее нескольких сотен парсек.

- Электроны с энергией больше $10^{12}$ эВ быстро теряют ее из-за синхротронных потерь и обратного комптоновского рассеяния.

- Обнаружение первичных электронов с энергией больше $10^{12}$ эВ будет свидетельствовать о существовании источника (источников) космических лучей в ближней межзвездной среде ($r \leq 400$ пс)


Our data
Torii et al. 1997
Golden et al. 1994
Tang 1984
Golden et al. 1984
Webber et al. (Radio) 1980
Contribution from all sources
Nearby sources
$E^3 \times J$ (electrons/m$^2$ · sec · sr · GeV$^{-2}$)
$10^3$
$10^2$
$10^1$
$10^0$
$10^1$
$10^2$
$10^3$
$10^4$
ENERGY ( GeV )

# Электроны с энергией $E \geq 10^{12}$ эВ

- $-(dE_e/dx) \sim (w_{ph} + w_H)\cdot E_e^{\,2}$

  $w_{ph} = 0.75$ эВ  $H = 6.7\cdot10^{-6}$ Гс

- $t(E_e/2) = (2.3\cdot10^5)/E_e$,

  где [t] = годы, [$E_e$] = ТэВ

- $r = [2D(E_e)\cdot t]^{0.5}$

  $D(E_e) = 10^{28}\cdot E_e^{\,\delta}$ см$^2$/с

  $\delta = (0.3 - 0.7)$  [$E_e$] = ГэВ

# Электроны с энергией E ≥ 1 ТэВ

| $E_e$, ТэВ | 1 | 10 | 100 |
|---|---|---|---|
| T, годы | $2.3 \cdot 10^5$ | $2.3 \cdot 10^4$ | $2.3 \cdot 10^3$ |
| D, $см^2/с$ | $8 \cdot 10^{28}$ | $1.5 \cdot 10^{29}$ | $3.1 \cdot 10^{29}$ |
| r, пс | 400 | 200 | 100 |

## В эксперименте ПАМЕЛА

- **Для отбора электронов используются данные трекера (ТРК, траектория и заряд частицы), калориметра (КАЛО, каскадная кривая, энергия частицы) и нейтронного детектора (НД, разделение электромагнитных и ядерных каскадов).**

- **Имеется 2 ряда данных :**

  **1. ТРК + КАЛО + НД (электроны с $E \geq 100$ ГэВ)**

  **2. КАЛО + НД (электроны с $E \geq 300$ ГэВ)**

**При взаимодействии протона с $E_p$ = 300 ГэВ с ядром вольфрама образуются сильно ионизующие частицы $\langle n_h \rangle = 12.9 \pm 1.2$, ливневые частицы $\langle n_s \rangle = 18.6 \pm 1.5$ и средний угол образовавшихся ливневых частиц $\langle \tan(\theta/2) \rangle = 2.83 \pm 0.06$, где $\theta$ - угол в лабораторной системе координат**

**(эксперимент в лаборатории Ферми. J.R. Floricen et al. Interaction of 300 GeV protons with tungsten and chromium. Phys. Rev. D13, 1976, 558-565, Issues February 1976).**

- **W:** Z = 74 A = 183.84 $\rho = 19.3$ г/см$^3$

  $\Lambda_I = 189.7$ г/см$^2$

  $X_o = 6.76$ г/см$^2$ = 0.35 см

  ---

- **Pb:** Z = 78 A = 207.2 $\rho = 11.35$ г/см$^3$

  $\Lambda_I = 194$ г/см$^2$

  $X_o = 6.37$ г/см$^2$ = 0.56 см

  ---

- **Калориметр:** Вес 110 кГ 24*24*5.72 см$^3$

  22 W пластины (0.26 см or 5.018 г/см$^2$; 0.74 $X_o$ or 0.027 $\Lambda_I$ )

  Всего: 16.3 $X_o$ или 0.6 $\Lambda_I$

  1 $\Lambda_I$ = 37.8 пластины

**Спектр галактических протонов:**

$J_p(E) = kE^{\gamma}$ 1/(м$^2$ с ср ГэВ)

[E] - ГэВ; K = 14900 +/- 600; $\gamma$ = 2.74 +/- 0.01

Для E $\geq$ 20 ГэВ $J_p(E) = 1.49*10^4/E^{2,74}$

(T.K. Gaisser, M. Honda, R. Lipari, and T. Stanev. Primary spectrum to 1 TeV and beyond. Proc. 27-th of ICRC, 2001).

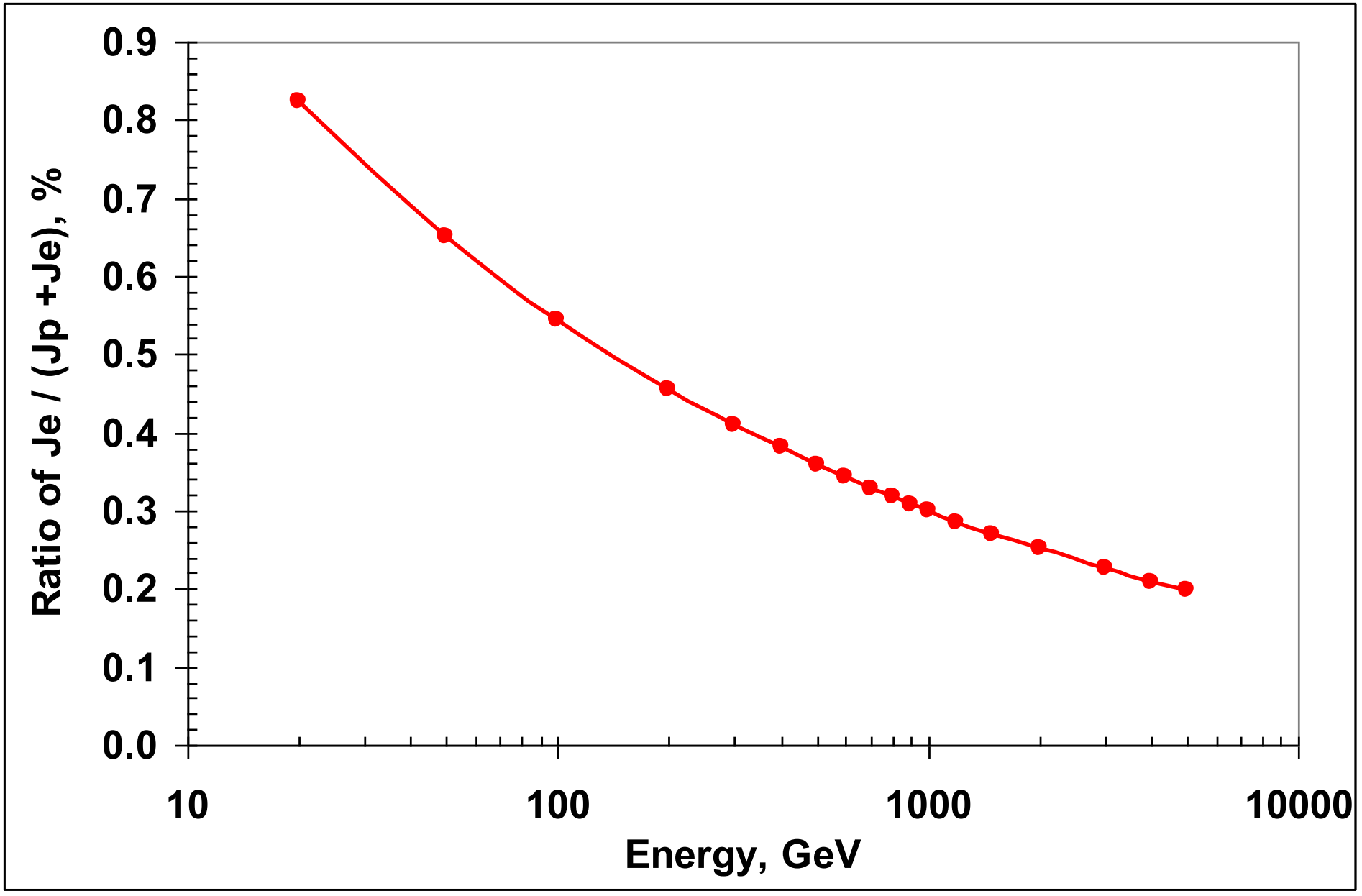
**Спектр галактических электронов:**

$J_e(E) = kE^{\gamma}$ 1/(м$^2$ с ср ГэВ)

[E] - ГэВ; K = 270; $\gamma$ = 3

Для E $\geq$ 20 ГэВ $J_e(E) = 2.7*10^2/E^3$

(Лучи космические галактические (энергетические спектры), ГОСТ 25645.122-85 - ГОСТ 25645.125-85, Госкомитет по стандартам, СССР, Москва.1986).


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Ratio of Je / (Jp +Je), %
10
100
1000
10000
Energy, GeV

# Основная трудность – разделение электронов и протонов.

Для выделения электронов из полного потока частиц мы использовали следующие критерии отбора электронов:

1. Взаимодействие в (1-3) слоях W;

2. Число нейтронов *n* в каскаде КАЛО должно удовлетворять соотношению $n \leq 3\ 10^{-5}\ Q_t + 2$, где $Q_t$ – энергия, выделенная в КАЛО;

3. Для электронов отношение $A = (S_1/S_2) \geq 0.5$, где $S_1$ и $S_2$ есть площади под каскадной кривой от ее начала до максимума ($S_1$) и от максимума до ее конца в калориметре ($S_2$);

4. Каскадная кривая должна быть гладкой и иметь один максимум.

# Фит каскадной кривой в КАЛО

$$N(x) = N_m \exp[- 2(x - x_m)^2/(d(x + kx_m))],$$

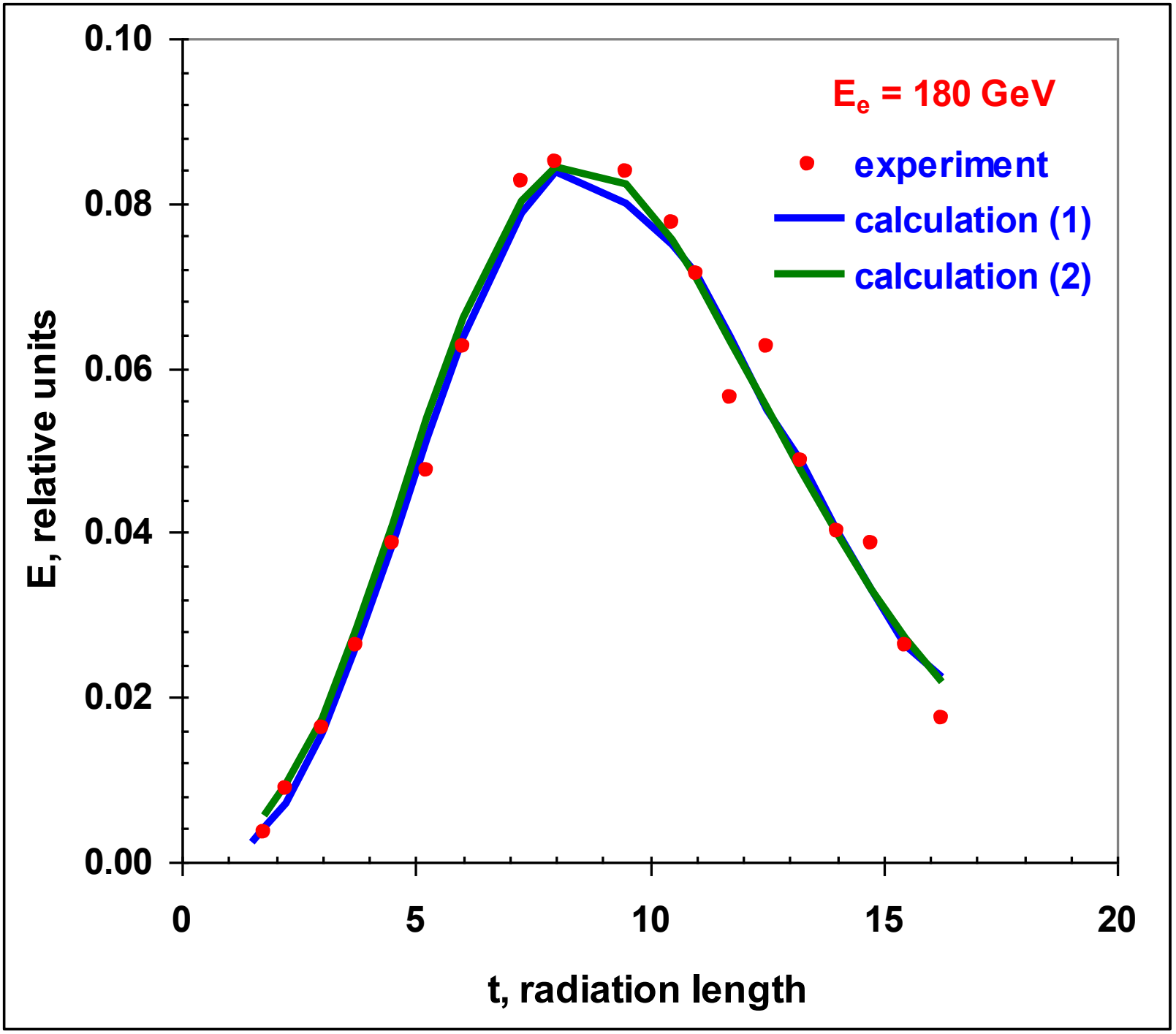
где $N_m$ и $x_m$ – максимум числа частиц каскадной кривой ($N_m$) и положение этого максимума ($x_m$), d и k являются вычисляемыми параметрами.

(C. Song for HIREs collaboration. Study of the longitudinal development of air shower with CORSICA. Proc. of ICRC, 2001, Hamburg, Germany, HE, 490-494).

$$(dE/dt) = E_0 b[(bt)^{a-1}]*\exp(-bt)/\Gamma(a),$$

где **t** – число радиационных единиц, $E_0$ – полная энергия каскада, **b** и **a** – параметры, определяемые из выражений $[(a-1)/b] = \ln (E_o/E_k) + C$, $E_k$ – критическая энергия, равная, **C** = - 0.5 для электронных каскадов и **C** = 0.5 для каскадов, образуемых гамма-квантами, **Г(a)** – гамма-функция.

(The European Physical Journal C15, 1-878 (2000); Review of Particle Physics).


0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00
E, relative units
0
5
10
15
20
t, radiation length
E_e = 180 GeV
experiment
calculation (1)
calculation (2)

k = 0.83

d = 2 g/cm2

# Определение энергии частицы

## Электроны

**Из полной площади каскадной кривой $(Q_{tot}/2)_{fit}$:**

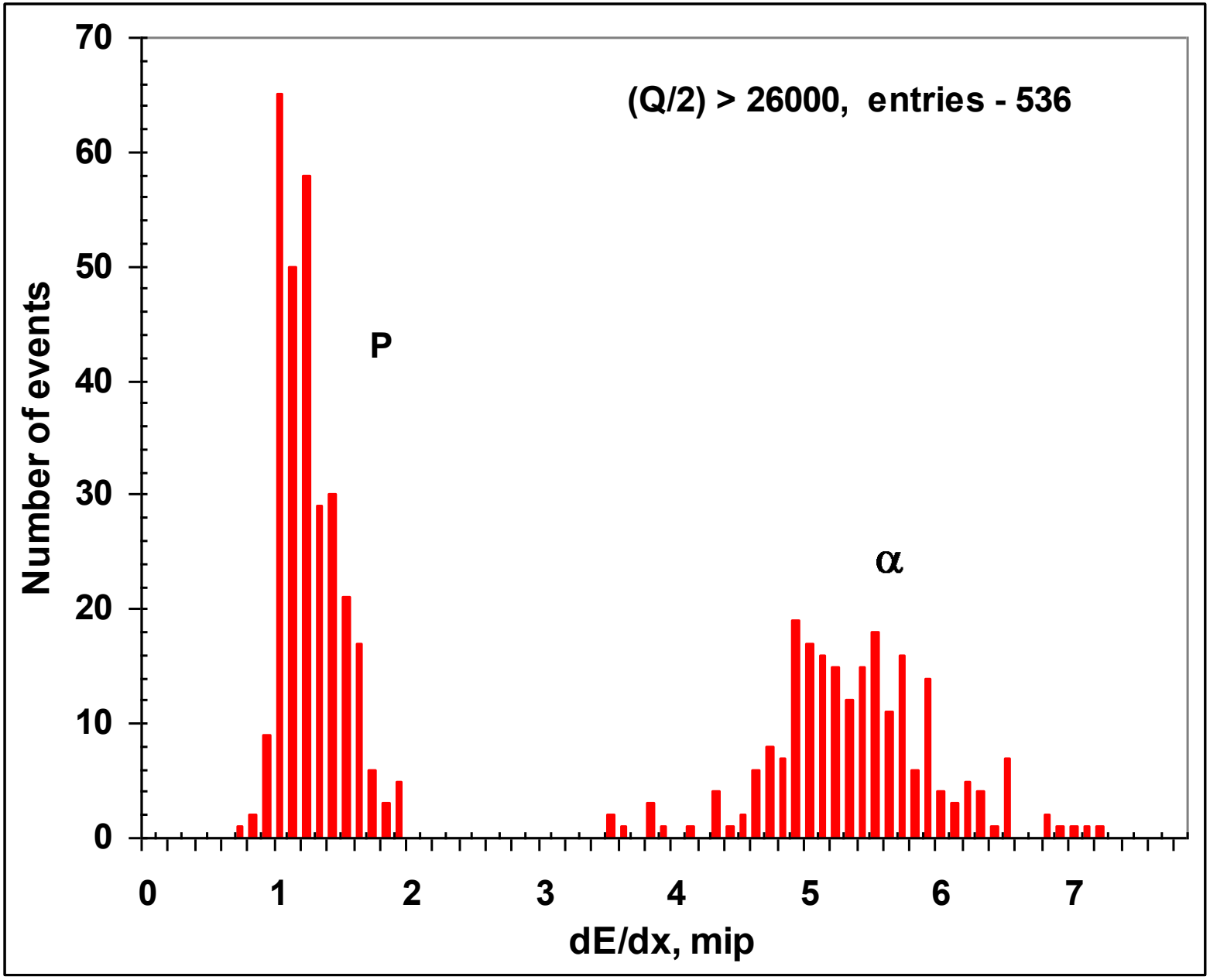
**1 ГэВ = 138.1 ± 13.8 mip**

**Из числа частиц в максимуме каскадной кривой $(N_{max})$:** **1 ГэВ = 11.14 mip**

## Протоны

**Из полной площади каскадной кривой $(Q_{tot}/2)_{fit}$**

**1 ГэВ ≈ 48 mip**


(Q/2) > 26000, entries - 536
P
α
Number of events
dE/dx, mip
0
10
20
30
40
50
60
70
0
1
2
3
4
5
6
7

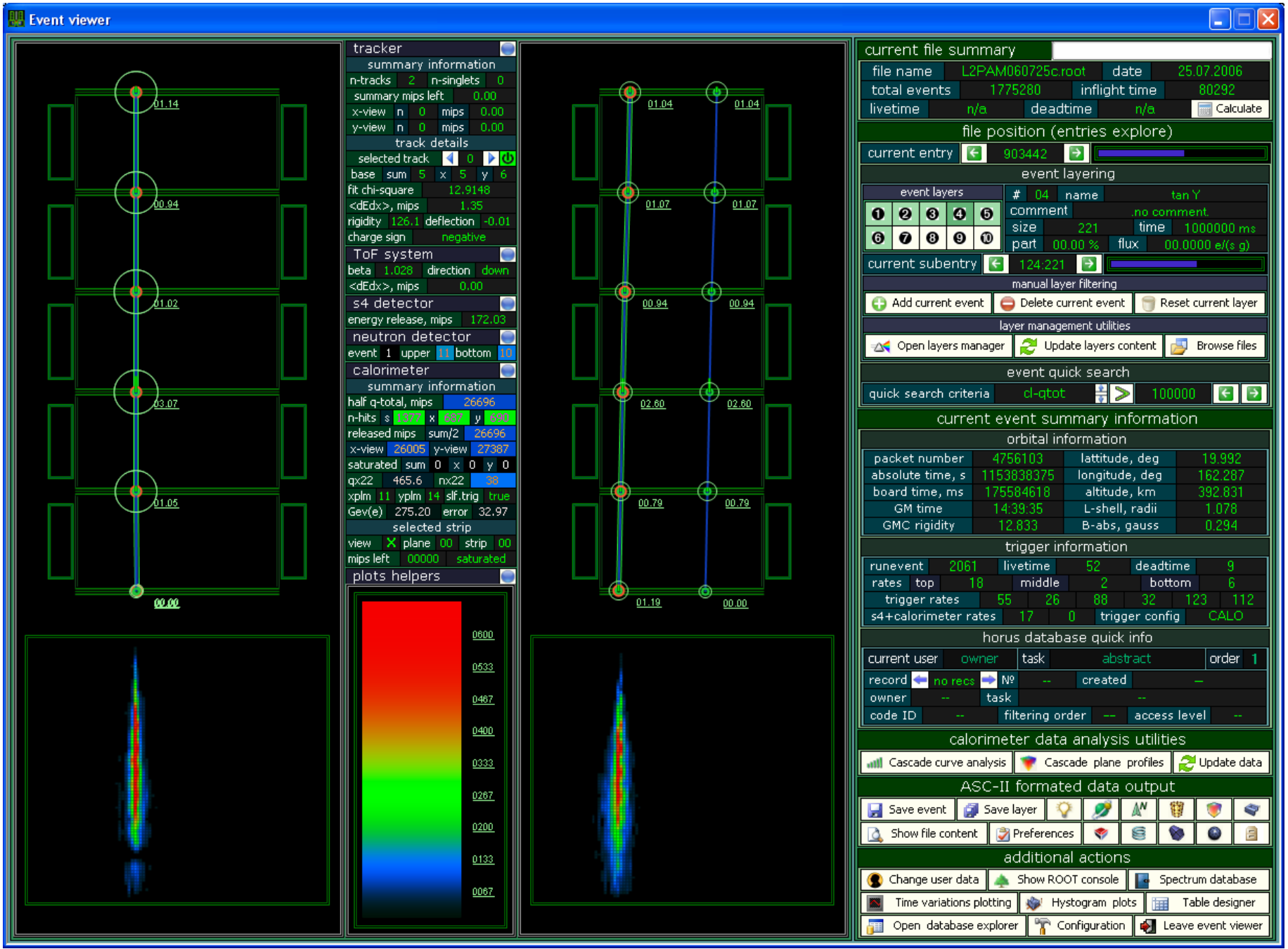
# Events selection

## (example: L2PAM060727c, 2074940 events)

1. Calorimeter ($Q_t/2$ >13 000 mip) – 5171
2. Tracker (> 0) – 947
3. Tan x (-0.5;+0.5) – 492
4. Tan y (-0.4;+0.4) – 223
5. Neutron number (< 20) – 110
6. Charge Z = 1 (dE/dx < 3) - 74

**The visual inspection and analysis is made for selected 74 events**

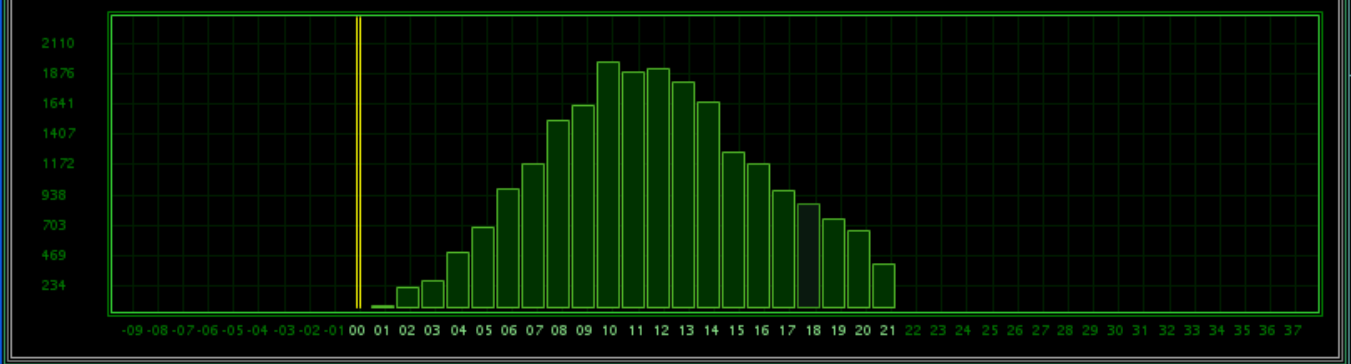
# Flight date: 25.07.2006  Entry number: 903442



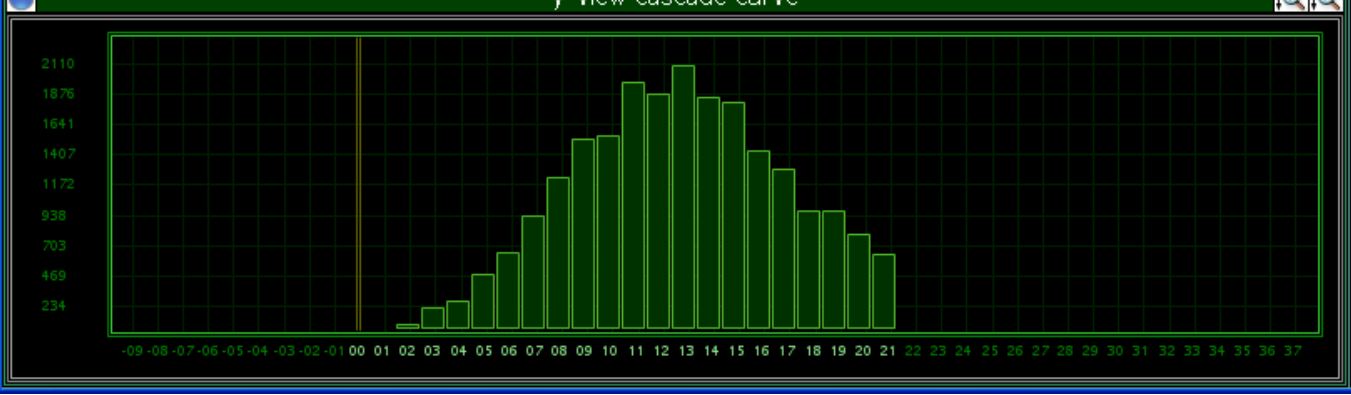
Cascade curve approximation

summary cascade curve


x-view cascade curve




y-view cascade curve




planes treatment tools

summary curve cursor

| plane | 00 | source mips | 17.59 | fit mips | 00000.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| x-mips | 34.28 | y-mips | 0.89 | [x/y] ratio | 3833.4 |

Include plane | Exclude plane | Reset

x-view curve cursor

| plane | 00 | mips | 34.28 | hits | 0 | confidence | – |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) | – | | | | | passes done | – |

| q.core | -- | w.core | -- | q.pvm | -- | w.pvm | -- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

slice profile

Middle average | Another view | Reset

cascade curve approximation

primary cascade parameters

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 11.53 | Δ | 0.250 | 🔒 | 1st impact | 1 | 🔒 |
| q-max | 2344.45 | Δ | 95.850 | 🔒 | passes to do | 10 | |
| K | 0.9602 | Δ | 0.00010 | 🔒 | passes done | 3840 | |
| D | 4.5782 | Δ | 0.01000 | 🔒 | ... chi^2 | 58.51524 | |

secondary cascade parameters | actions

Include plane | Exclude plane | Initial values

| x.s | 00.00 | q.s | 00.00 | w.s | 00.000 | Approximate |
|---|---|---|---|---|---|---|

resulting data (level.3)

| l2 summary mips | 26696 | | | half-qtot mips | 26696 |
|---|---|---|---|---|---|
| profiled mips | 27212 | x | 27037 | y | 27387 | ratio | 98.7 |
| integral mips | 29153 | | | restoration increment | 109.20 |
| attack | 11811.777 | decay | n/a | sustain | n/a |
| release | 17341.599 | cascade assymmetry | | | 0.681 |

approximation logger

chi^2 course

Recall pass

selected pass 00

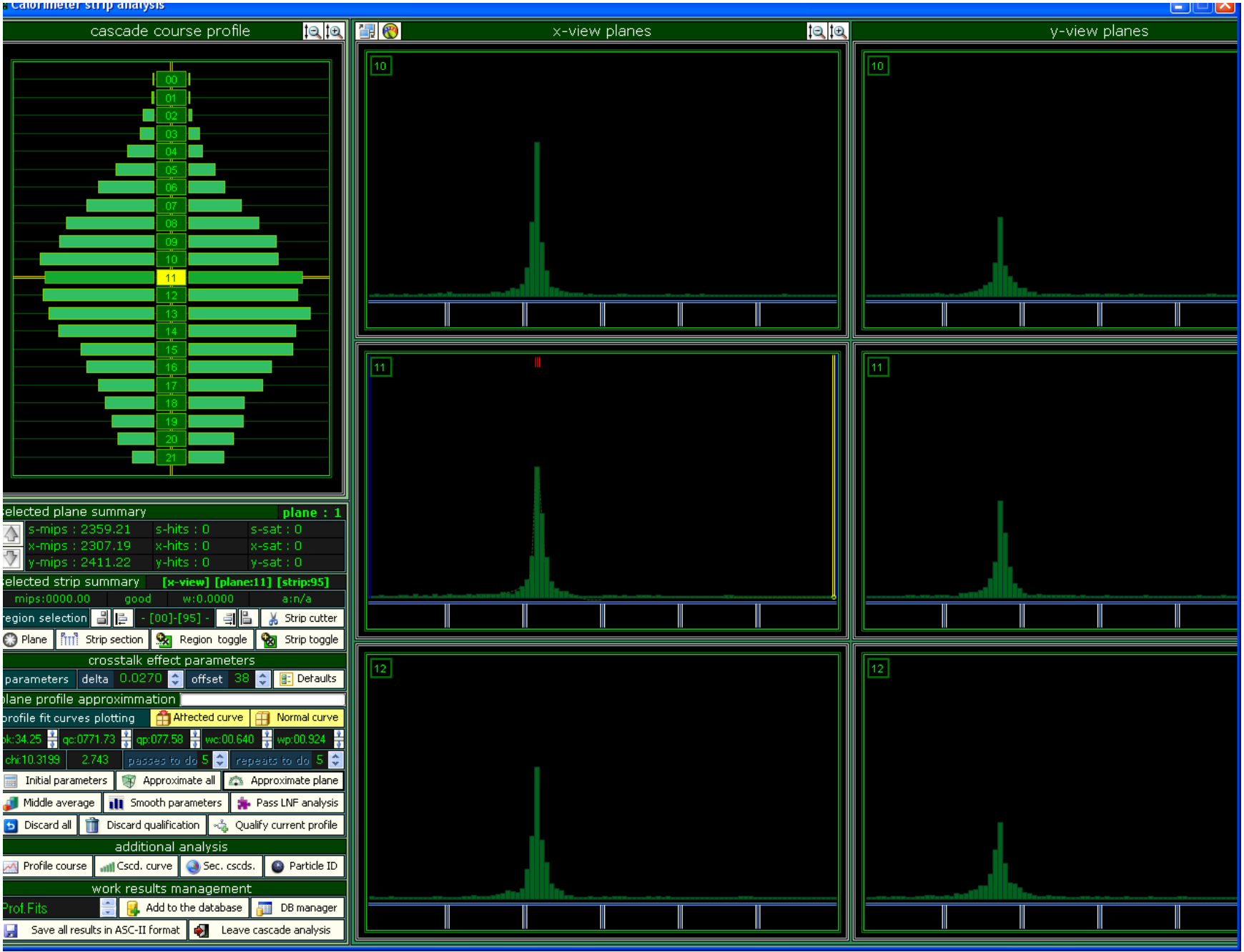
chi^2 value 00.000000

additional actions

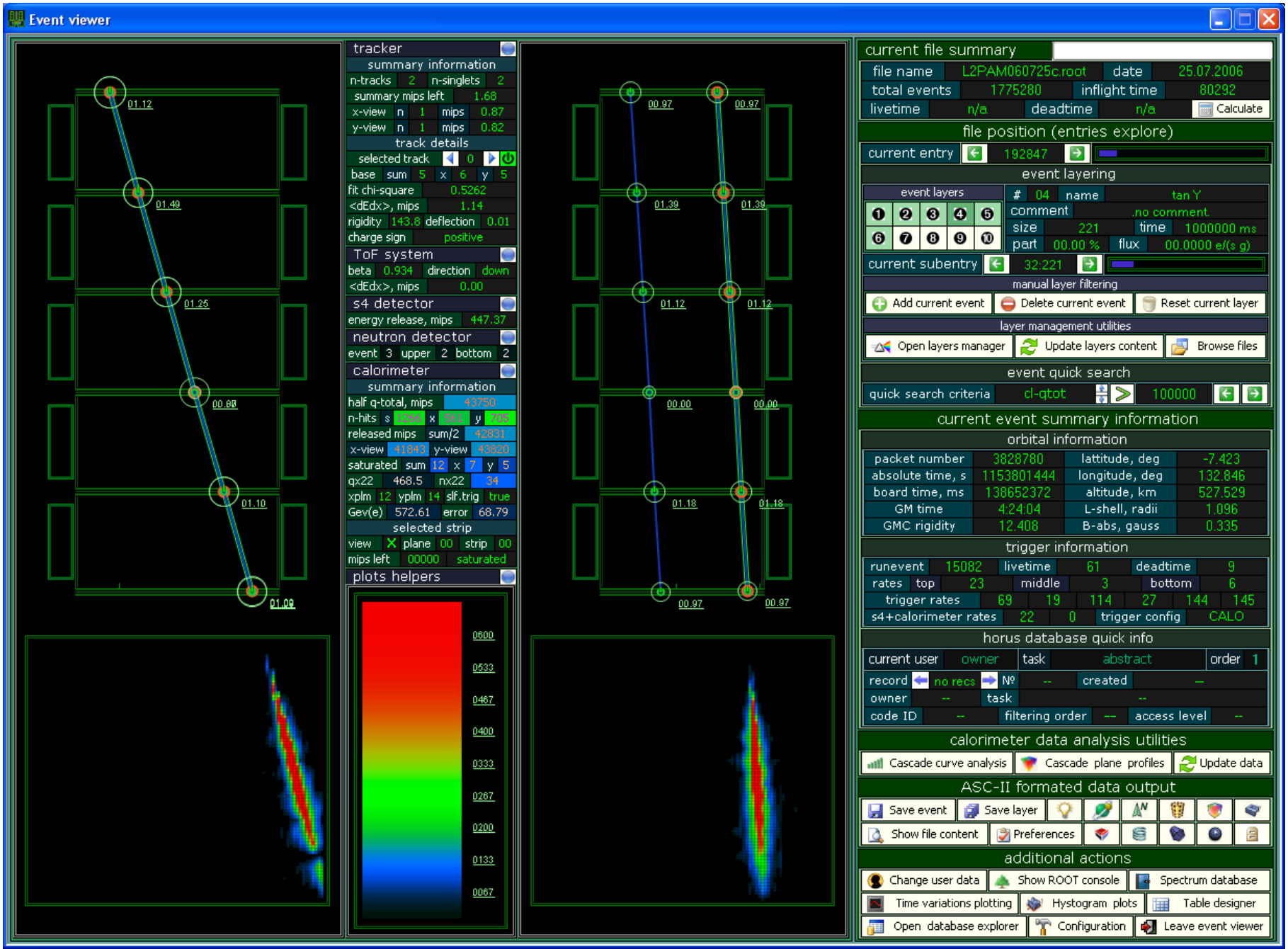
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

# Electron: neutrons - 1 C = 2.74 A = 0.63 E ≈ 210 GeV



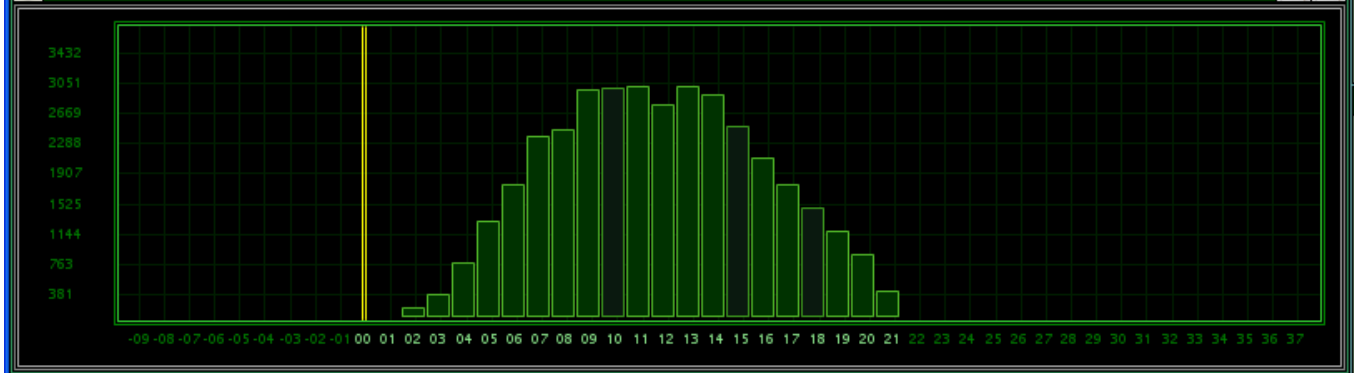
# Flight date: 25.07.2006  Entry number: 192647



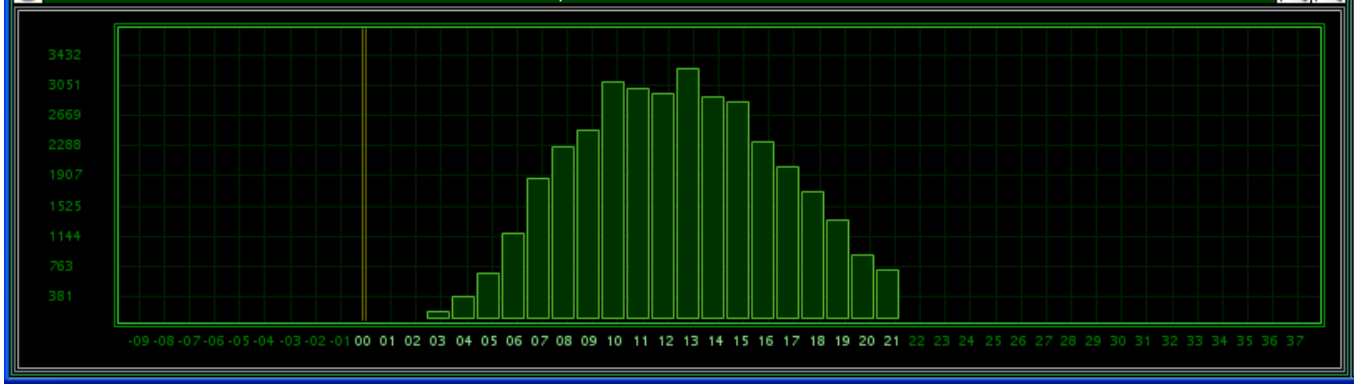
Cascade curve approximation

summary cascade curve


x-view cascade curve




y-view cascade curve




planes treatment tools

summary curve cursor

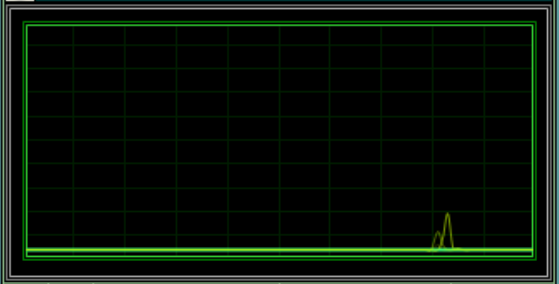
| plane 00 | source mips 5.56 | fit mips 00000.00 |
|---|---|---|
| x-mips 6.84 | y-mips 4.28 | [x/y] ratio 159.61 |

Include plane | Exclude plane | Reset

x-view curve cursor

| plane 00 | mips 6.84 | hits 0 | confidence – |
|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) – | | | passes done – |
| q.core -- | w.core -- | q.pvm -- | w.pvm -- |

slice profile



Middle average | Another view | Reset

cascade curve approximation

primary cascade parameters

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 11.08 | Δ 0.250 | 1stimpact | 2 | |
| q-max | 3813.21 | Δ 153.143 | passes to do | 10 | |
| K | 0.8898 | Δ 0.00010 | passes done | 3200 | |
| D | 5.6362 | Δ 0.01000 | ... chi^2 | 123.4955 51 | |

secondary cascade parameters | actions

Include plane | Exclude plane | Initial values

x.s 00.00 | q.s 00.00 | w.s 00.000 | Approximate

resulting data (level.3)

| l2 summary mips 42831 | half-qtot mips 43750 | | |
|---|---|---|---|
| profiled mips 44466 | x 45112 | y 43820 | ratio 102.9 |
| integral mips 48418 | restoration increment 110.67 | | |
| attack 20428.733 | decay n/a | sustain n/a | |
| release 27989.559 | cascade assymmetry 0.730 | | |

approximation logger

chi^2 course

Recall pass

selected pass 00

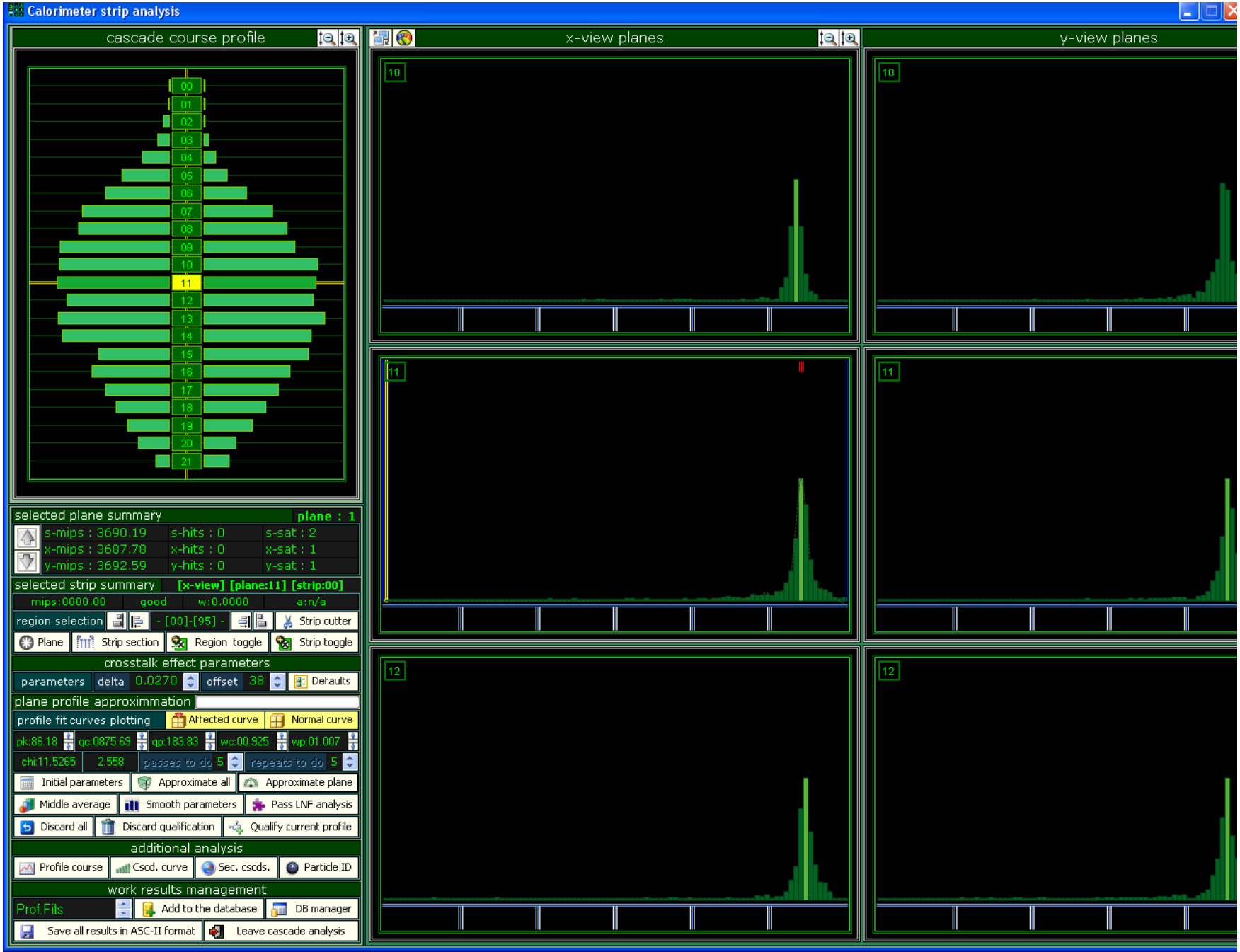
chi^2 value 00.000000

additional actions

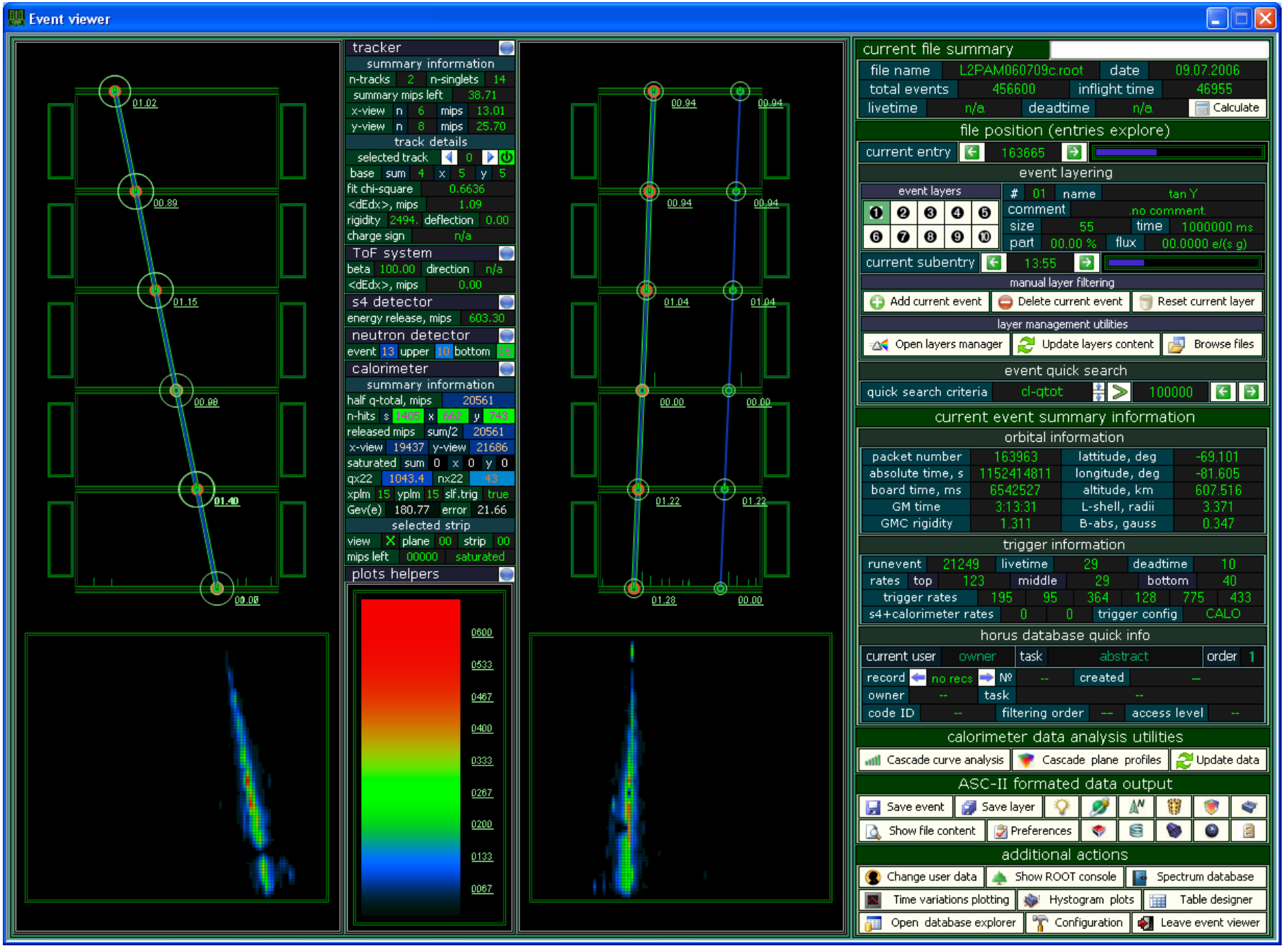
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

# Electron: neutrons - 3 C = 2.56 A = 0.73 E ≈ 340 GeV

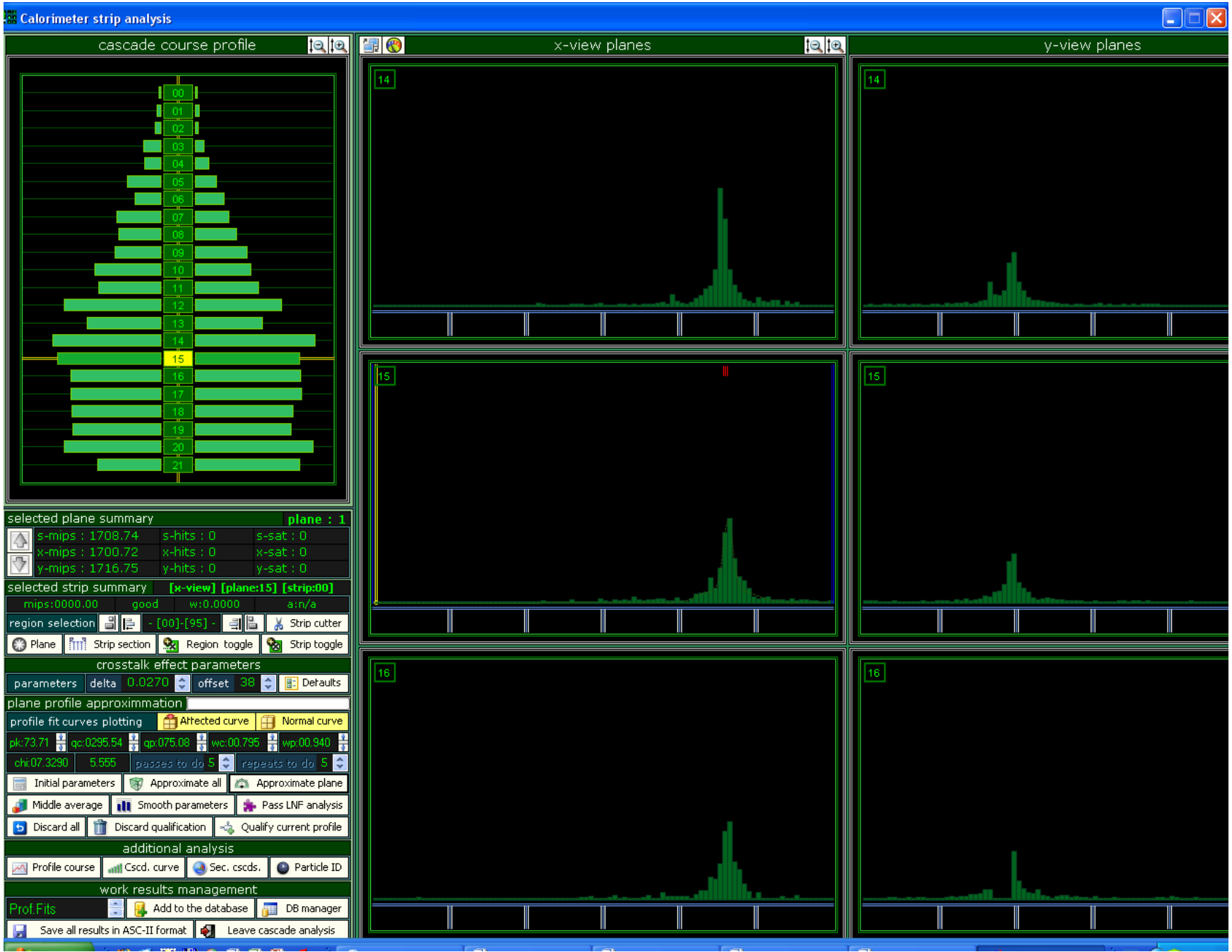


# Flight date: 09.07.2006  Entry number: 163665

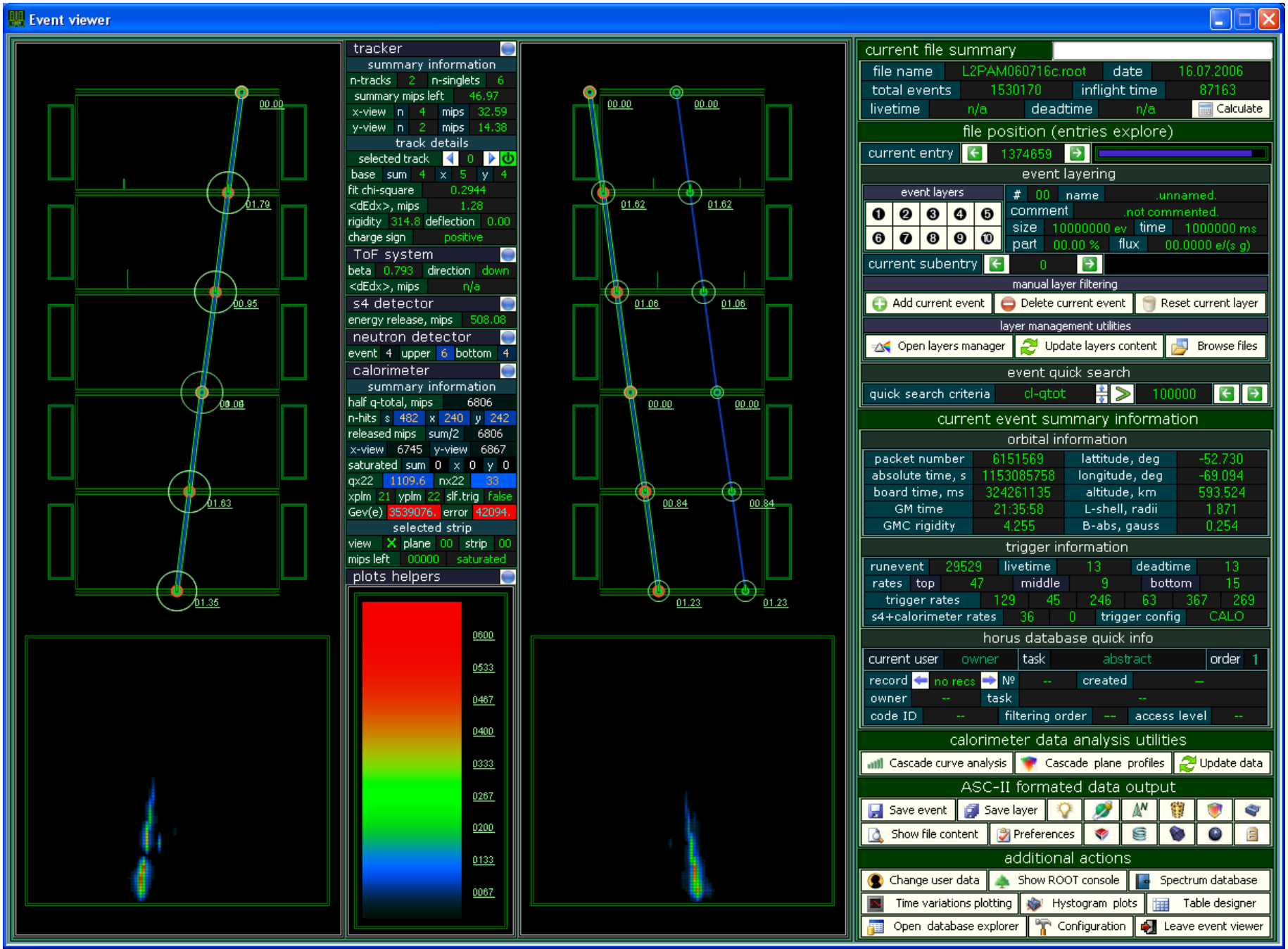



Cascade curve approximation
summary cascade curve
x-view cascade curve
y-view cascade curve
1443
1282
1122
962
802
641
481
321
160
-09 -08 -07 -06 -05 -04 -03 -02 -01 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37
planes treatment tools
summary curve cursor
plane 00
source mips 40.80
fit mips 00000.00
x-mips 40.80
y-mips 40.80
[x/y] ratio 100.00
Include plane
Exclude plane
Reset
y-view curve cursor
plane 00
mips 40.80
hits 0
confidence –
parametric quality (chi2) –
passes done –
q.core --
w.core --
q.pvm --
w.pvm --
slice profile
Middle average
Another view
Reset
cascade curve approximation
primary cascade parameters
x-max 16.73
Δ 0.250
1st impact 0
q-max 1603.02
Δ 75.117
passes to do 10
K 1.7853
Δ 0.00211
passes done 1920
D 5.0931
Δ 0.01000
... chi^2 86.81930
secondary cascade parameters
actions
Include plane
Exclude plane
Initial values
x.s 00.00
q.s 00.00
w.s 00.000
Approximate
resulting data (level.3)
l2 summary mips 20561
half-qtot mips 20561
profiled mips 21452
x 20908
y 21997
ratio 95.0
integral mips 31219
restoration increment 151.83
attack 13183.525
decay n/a
sustain n/a
release 18035.813
cascade assymmetry 0.731
approximation logger
chi^2 course
Recall pass
selected pass 00
chi^2 value 00.000000
additional actions
Reset all fits
Smooth curve
Pass LNF analysis
Save ASC-II
Add to DB
DB manager
Exit

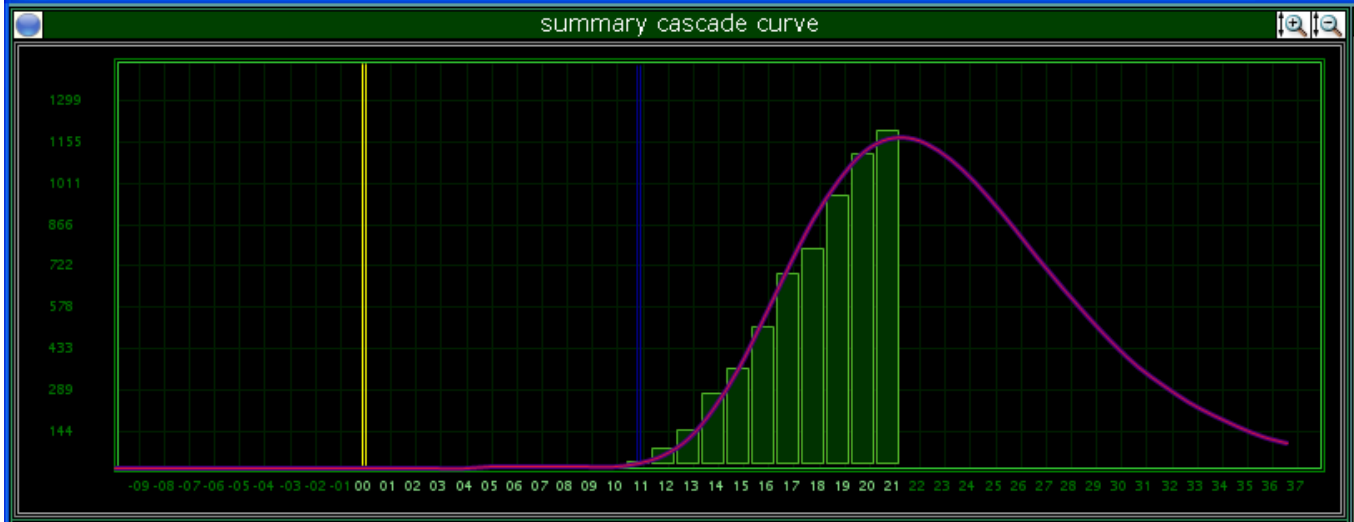
# Proton: neutrons - 13 C=5.55 A = 0.73 E ≈ 650 GeV

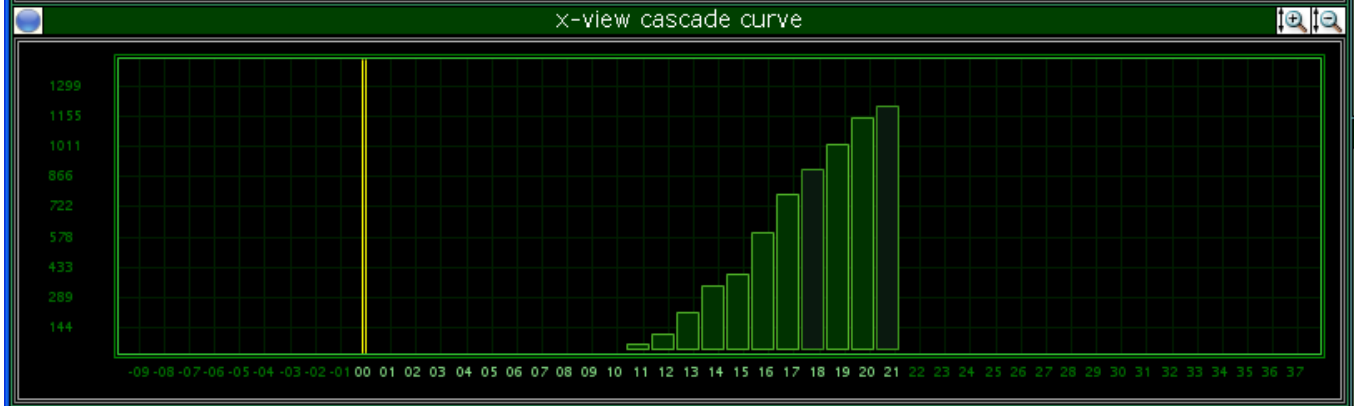


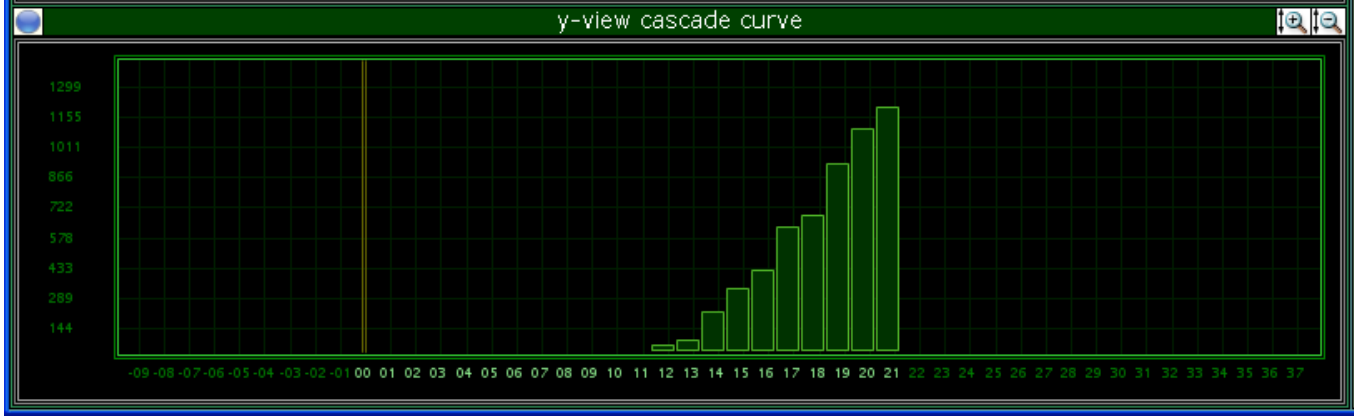
# Flight date: 16.07.2006  Entry number: 1374659



Cascade curve approximation




planes treatment tools

summary curve cursor

| plane 00 | source mips 1.32 | fit mips 00000.00 |
|---|---|---|
| x-mips 1.73 | y-mips 0.91 | [x/y] ratio 191.00 |

Include plane | Exclude plane | Reset

x-view curve cursor

| plane 00 | mips 1.73 | hits 0 | confidence – |
|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) – | | | passes done – |
| q.core -- | w.core -- | q.pvm -- | w.pvm -- |

slice profile

Middle average | Another view | Reset

cascade curve approximation

primary cascade parameters

| x-max 21.50 | Δ 0.000 | 1stimpact 11 |
|---|---|---|
| q-max 1443.78 | Δ 0.000 | passes to do 10 |
| K 0.9165 | Δ 0.00500 | passes done 20480 |
| D 5.1635 | Δ 0.01000 | ... chi^2 21.76971 1 |

secondary cascade parameters | actions

Include plane | Exclude plane | Initial values

x.s 00.00 | q.s 00.00 | w.s 00.000 | Approximate

resulting data (level.3)

| l2 summary mips 6806 | | half-qtot mips 6806 | |
|---|---|---|---|
| profiled mips 7534 | x 8202 | y 6867 | ratio 119.4 |
| integral mips 18880 | | restoration increment 277.39 | |
| attack 7577.329 | decay n/a | sustain n/a | |
| release 11302.205 | cascade assymmetry 0.670 | | |

approximation logger

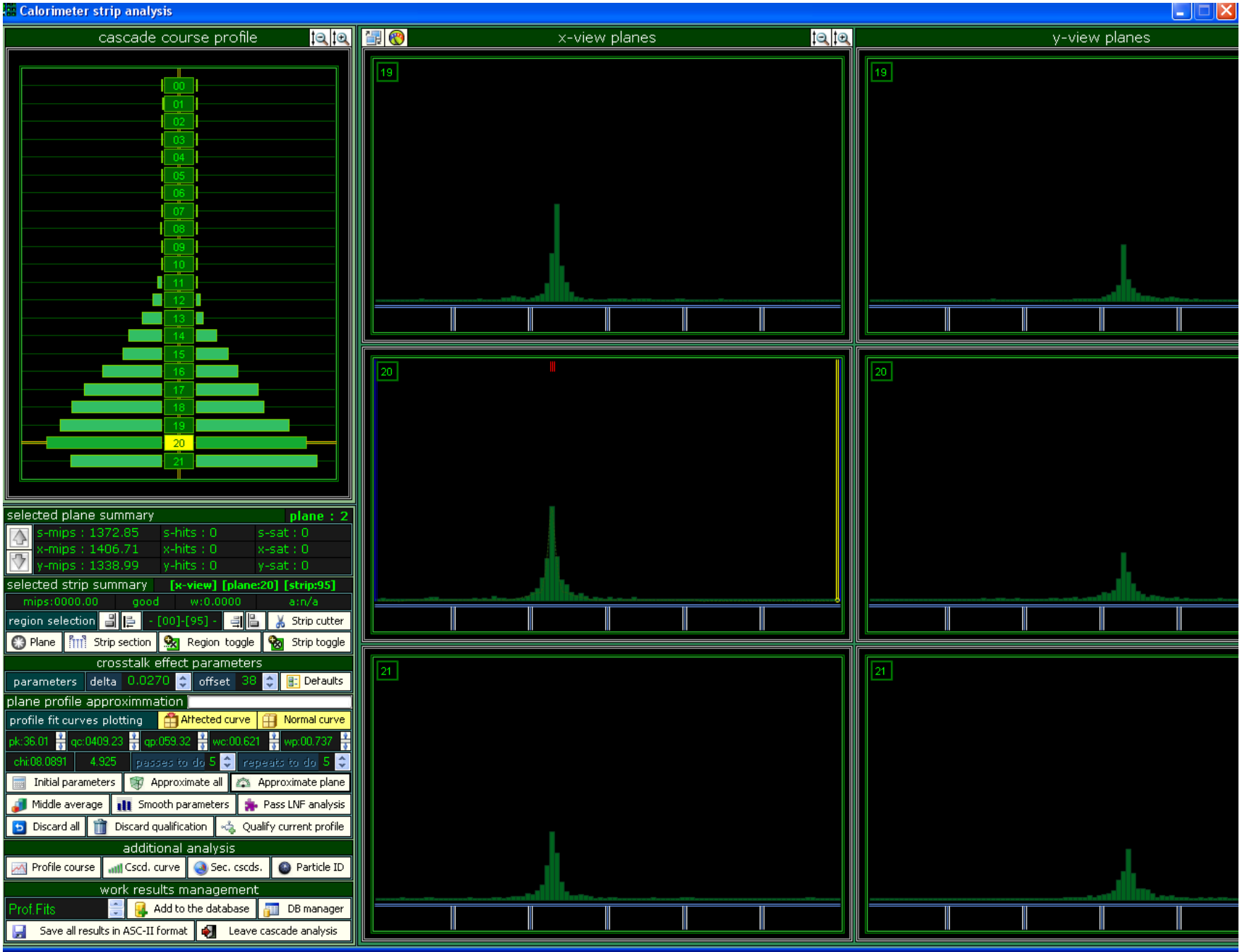
chi^2 course | Recall pass | selected pass 00 | chi^2 value 00.000000

additional actions

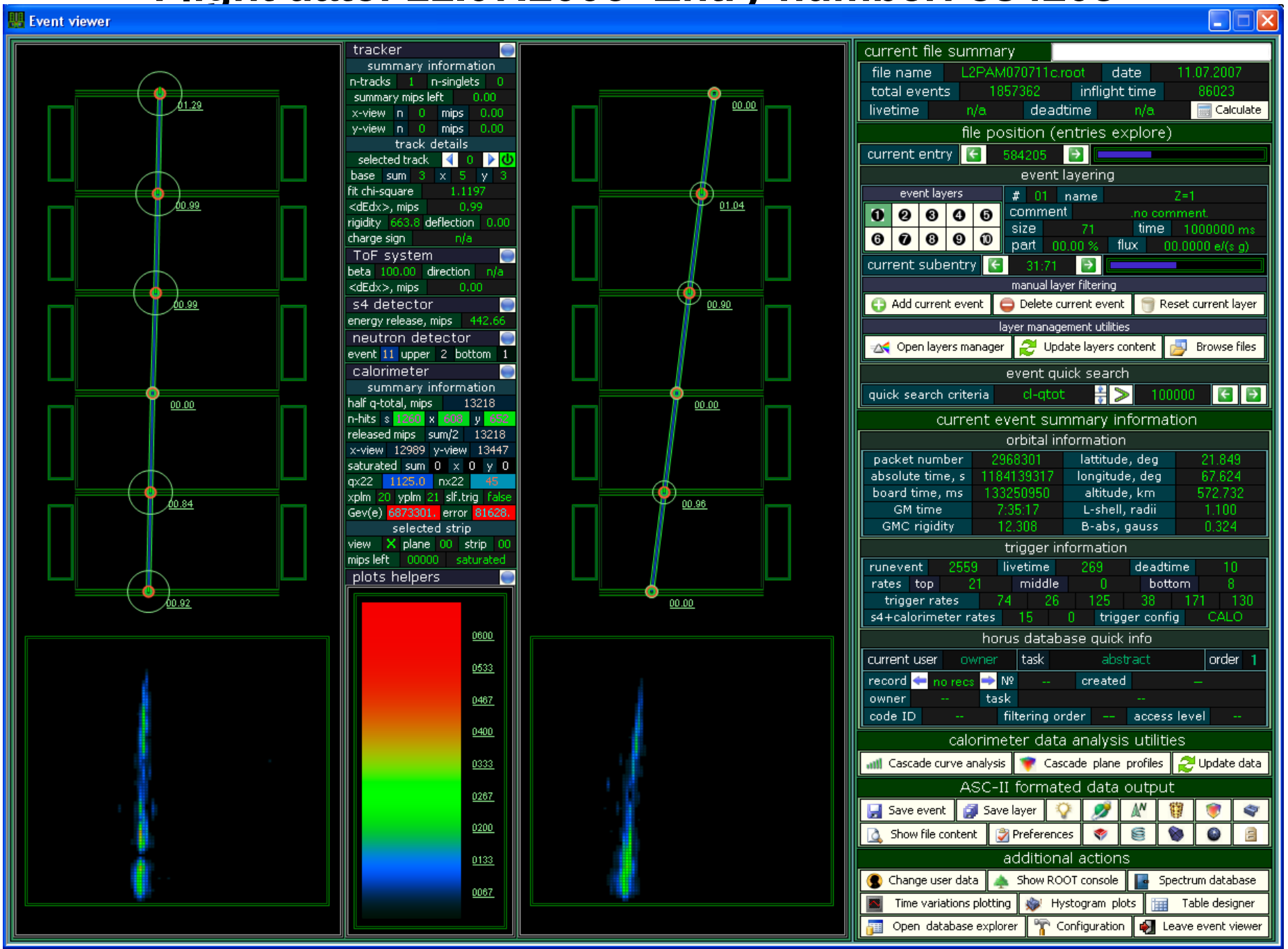
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

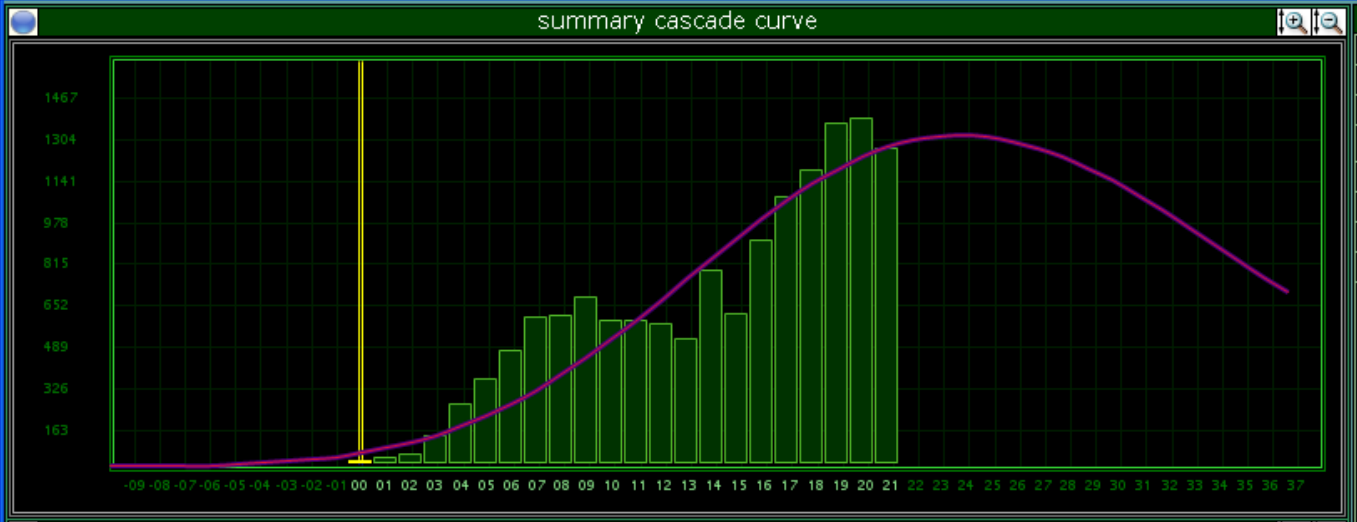
# Proton: neutrons - 13 C= 4.92 A = 0.67 E ≈ 380 GeV

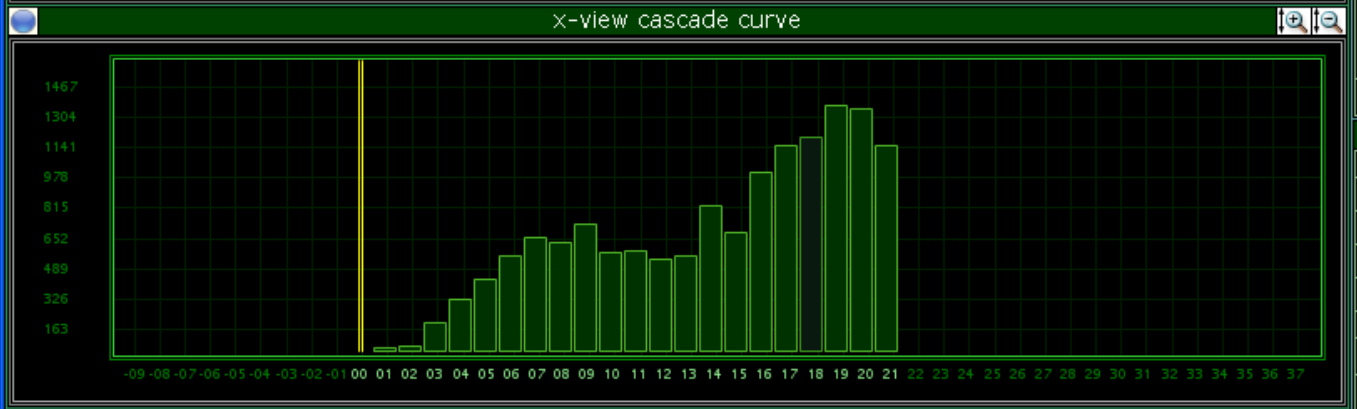


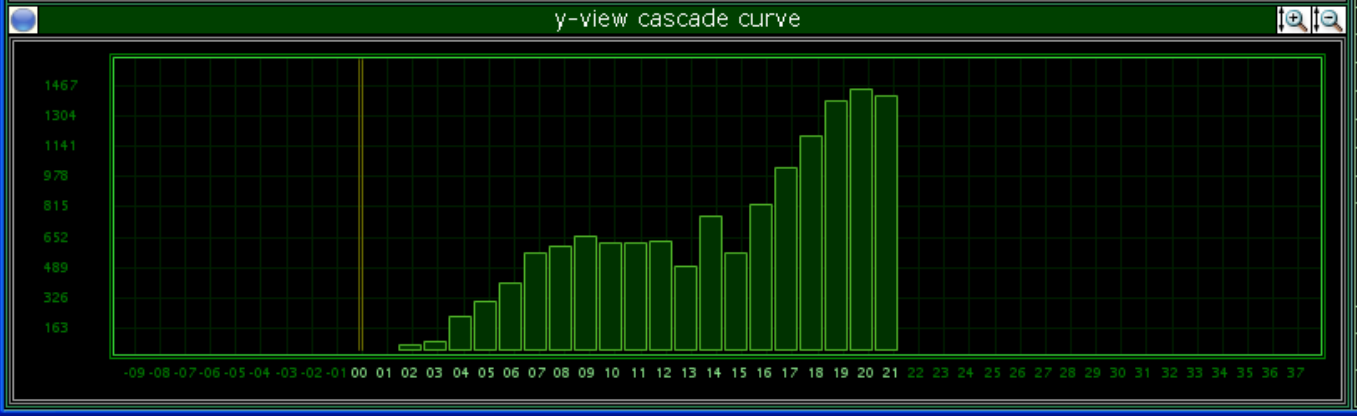
# Flight date: 11.07.2006  Entry number: 584205



# Cascade curve approximation




## planes treatment tools

### summary curve cursor

| plane | 00 | source mips | 21.60 | fit mips | 00000.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| x-mips | 26.12 | y-mips | 17.08 | [x/y] ratio | 152.85 |

Include plane | Exclude plane | Reset

### x-view curve cursor

| plane | 00 | mips | 26.12 | hits | 0 | confidence | – |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) | – | | | | | passes done | – |
| q.core | -- | w.core | -- | q.pvm | -- | w.pvm | -- |

### slice profile

Middle average | Another view | Reset

### cascade curve approximation

#### primary cascade parameters

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 23.94 | Δ | 0.250 | imp.pl | 0 | Find | |
| q-max | 1303.73 | Δ | 54.676 | passes to do | 10 | | |
| K | 3.2998 | Δ | 0.00500 | passes done | 1280 | | |
| D | 4.5574 | Δ | 0.01000 | chi^2 | 137.499440 | | |

#### secondary cascade parameters | actions

Include plane | Exclude plane | Initial values

x.s 00.00 | q.s 00.00 | w.s 00.000 | Approximate

#### resulting data (level.3)

| l2 summary mips | 13218 | half-qtot mips | 13218 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| profiled mips | 13218 | x | 12989 | y | 13447 | ratio | 96.6 |
| integral mips | 35414 | restoration increment | 267.92 | | |
| attack | 15582.296 | decay | n/a | sustain | n/a |
| release | 19831.431 | cascade assymmetry | 0.786 | | |

#### approximation logger

chi^2 course | Recall pass

selected pass 00

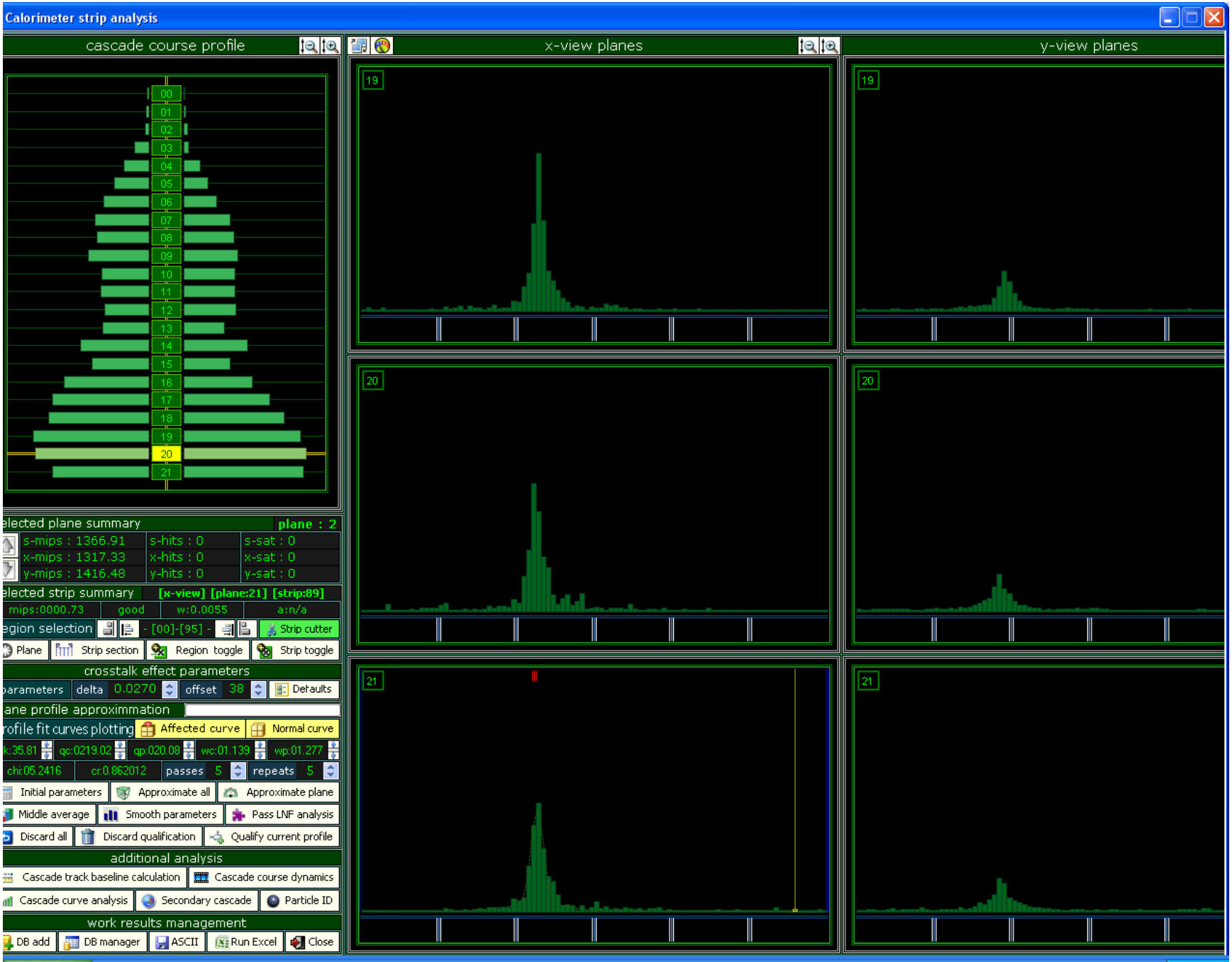
chi^2 value 00.000000

#### additional actions

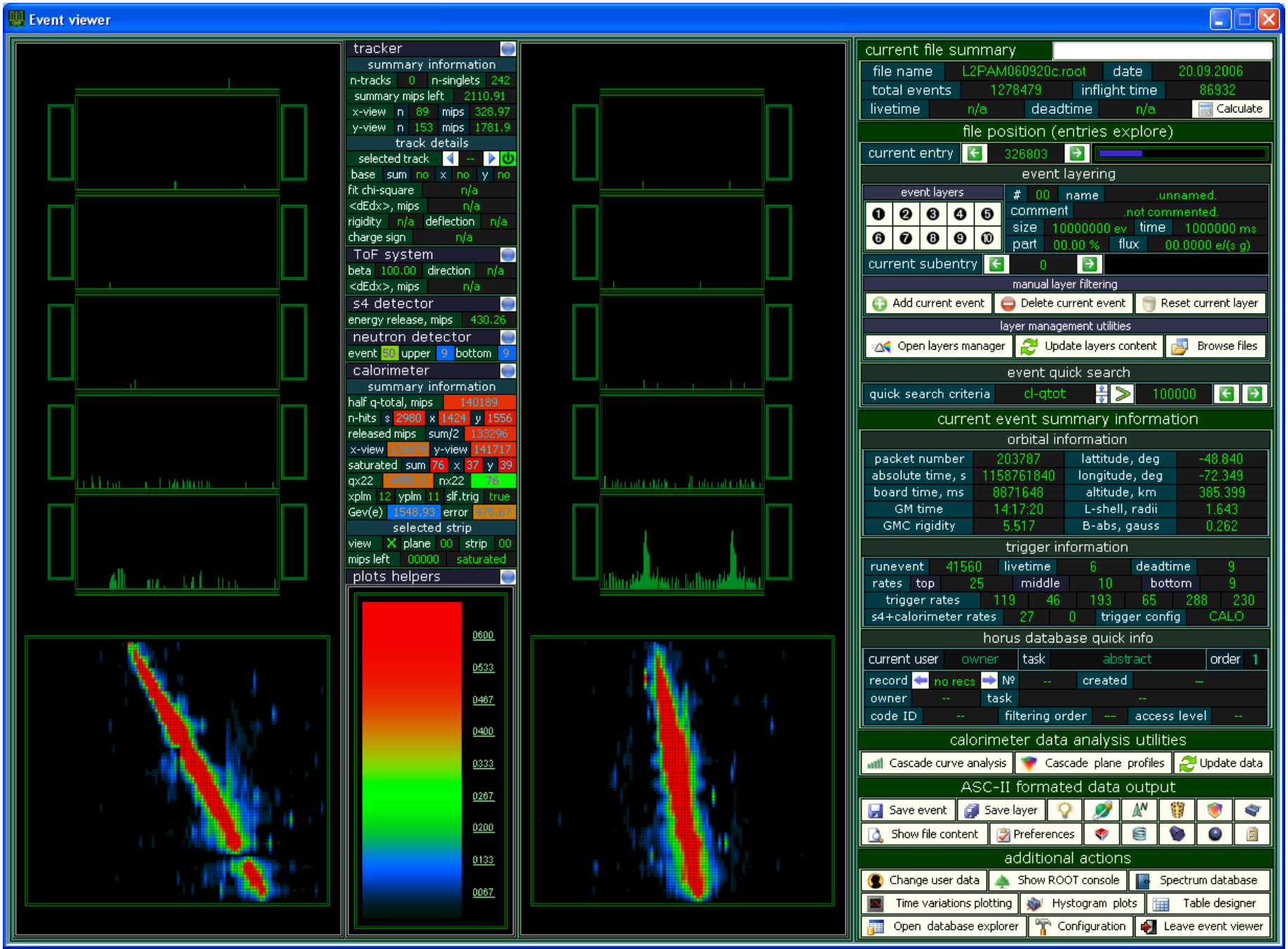
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

ASCII | Excel | DB add | DB manager | Exit

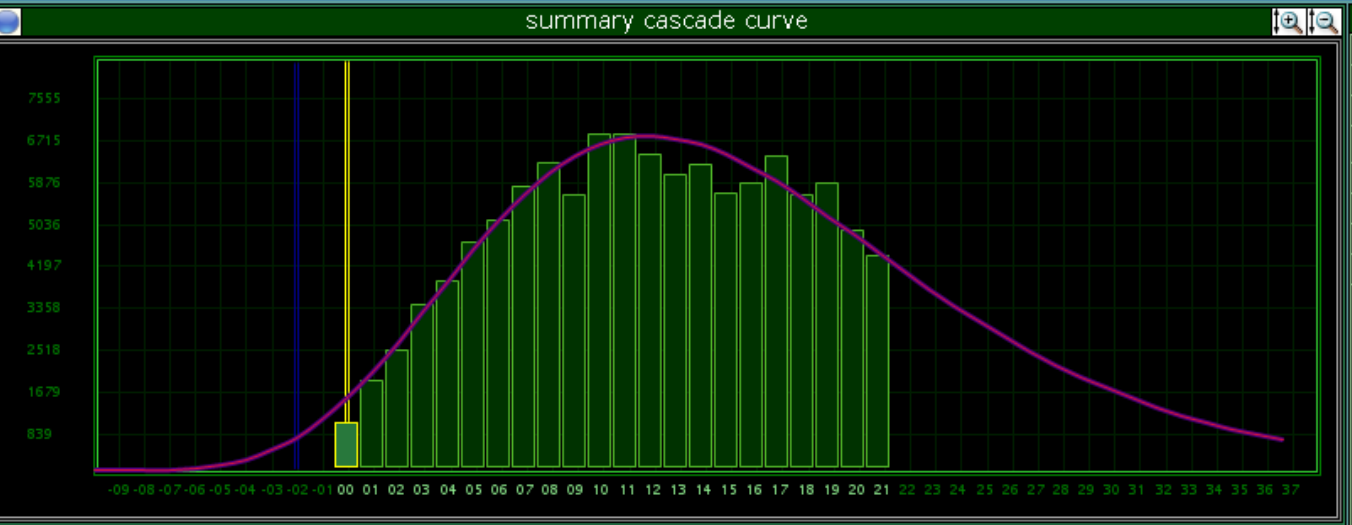
# Proton: neutrons - 6 C= 0.86 A = 0.79 E ≈ 400 GeV

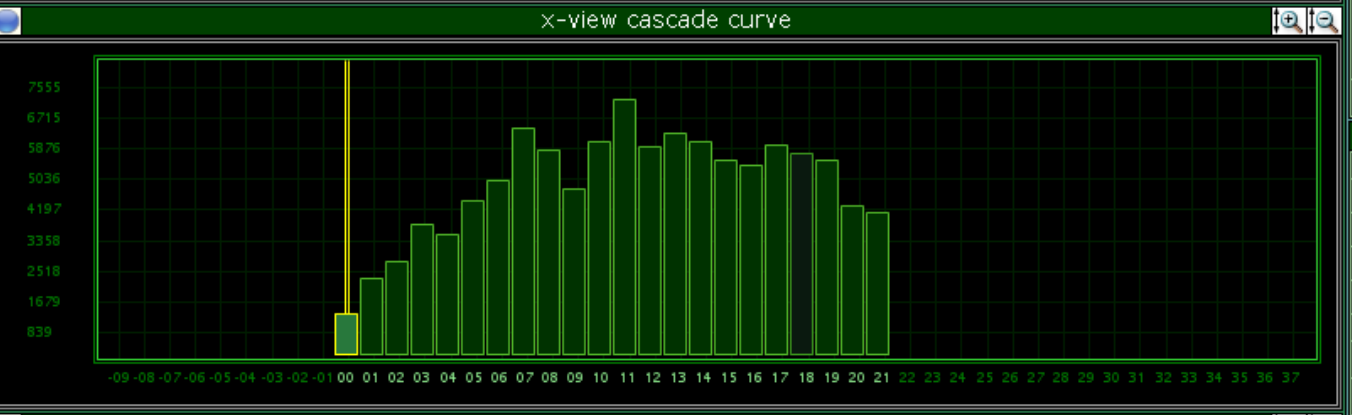


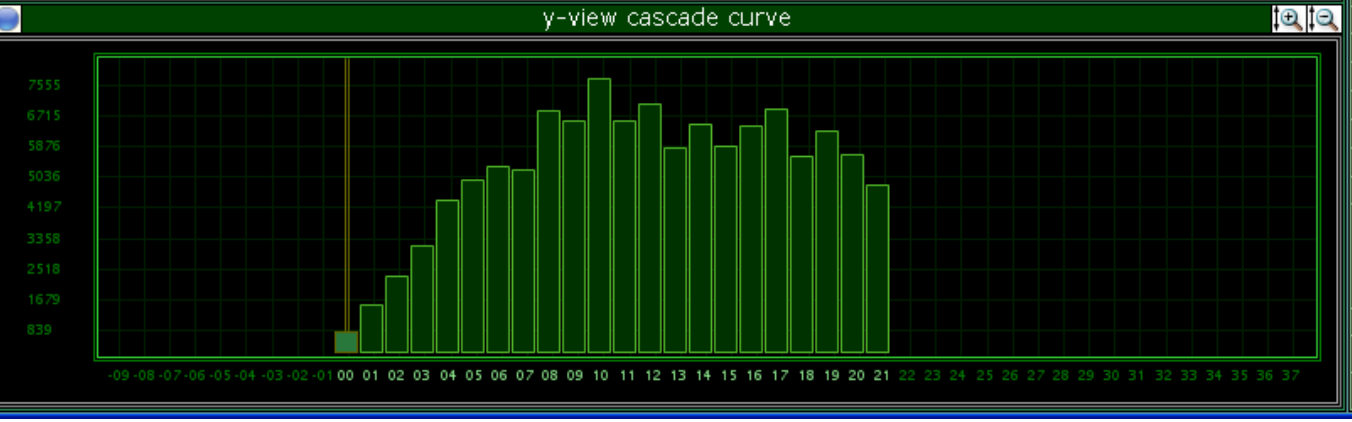
# Flight date: 20.09.2006  Entry number: 326803



# Cascade curve approximation




## planes treatment tools

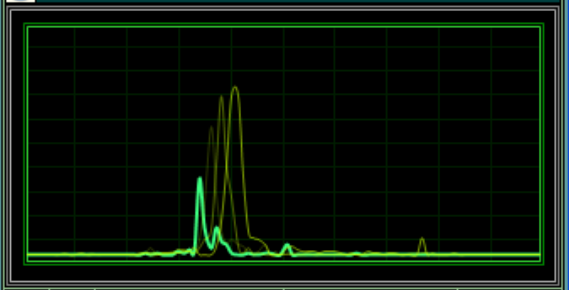
### summary curve cursor

plane 00 | source mips 1185.85 | fit mips 00000.00
x-mips 1550.50 | y-mips 821.20 | [x/y] ratio 188.81
Include plane | Exclude plane | Reset

### x-view curve cursor

plane 00 | mips 1550.50 | hits 0 | confidence –
parametric quality (chi2) – | passes done –
q.core -- | w.core -- | q.pvm -- | w.pvm --

### slice profile



Middle average | Another view | Reset

### cascade curve approximation

#### primary cascade parameters

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 11.95 | Δ 0.250 | | 1st impact | -2 |
| q-max | 8393.91 | Δ 337.888 | | passes to do | 10 |
| K | 1.3052 | Δ 0.00500 | | passes done | 3200 |
| D | 9.2770 | Δ 0.01000 | | ... chi^2 | 374.5666 07 |

#### secondary cascade parameters

Include plane | Exclude plane

x.s 00.00 | q.s 00.00 | w.s 00.000

#### actions

Initial values | Approximate

#### resulting data (level.3)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| I2 summary mips | 133296 | | | half-qtot mips | 140189 |
| profiled mips | 136808 | x | 131900 | y 141717 | ratio 93.1 |
| integral mips | 183385 | | | restoration increment | 130.81 |
| attack | 66848.609 | decay | n/a | sustain | n/a |
| release | 116536.37 | cascade assymmetry | | 0.574 | |

#### approximation logger

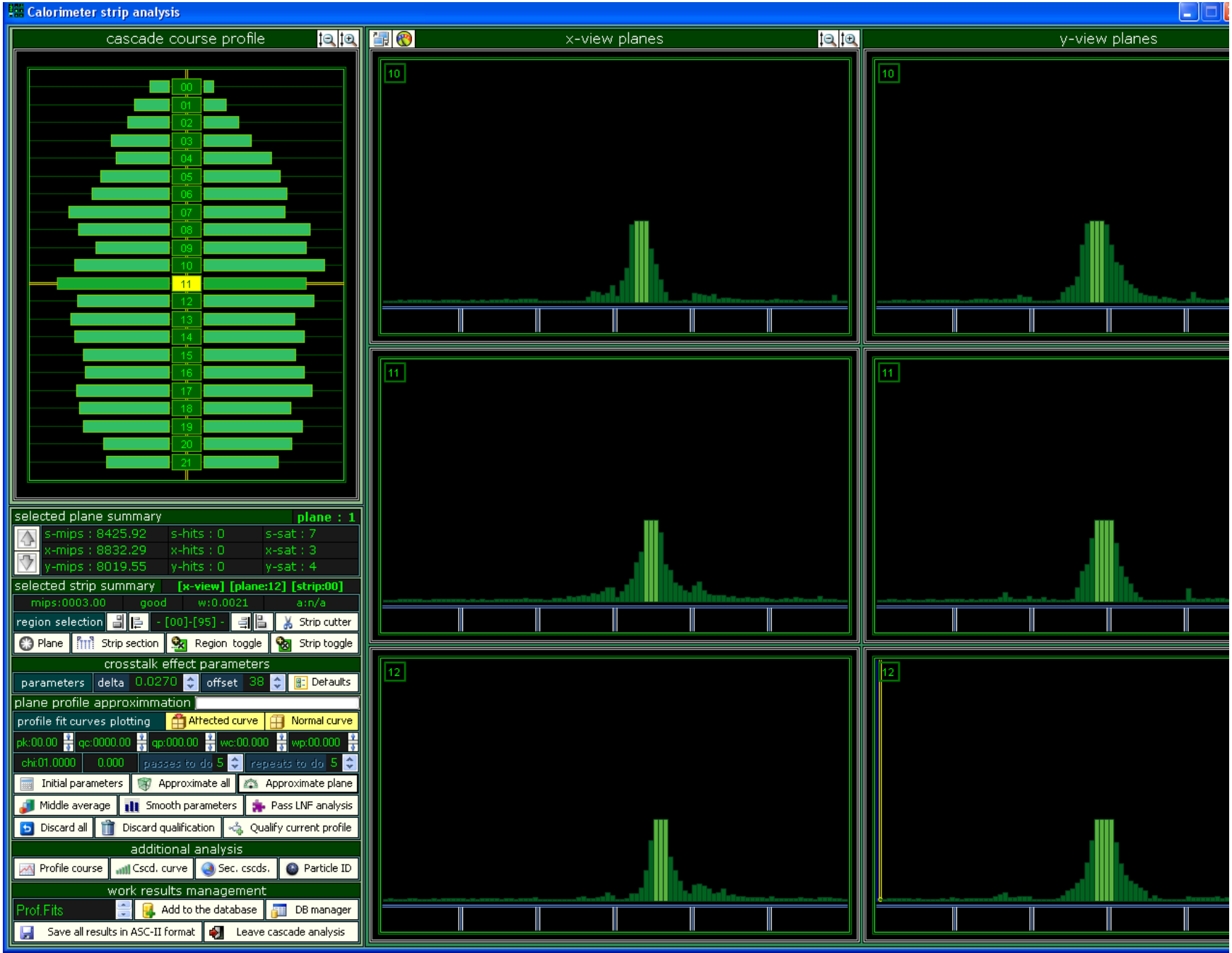
chi^2 course

Recall pass
selected pass 00
chi^2 value 00.000000

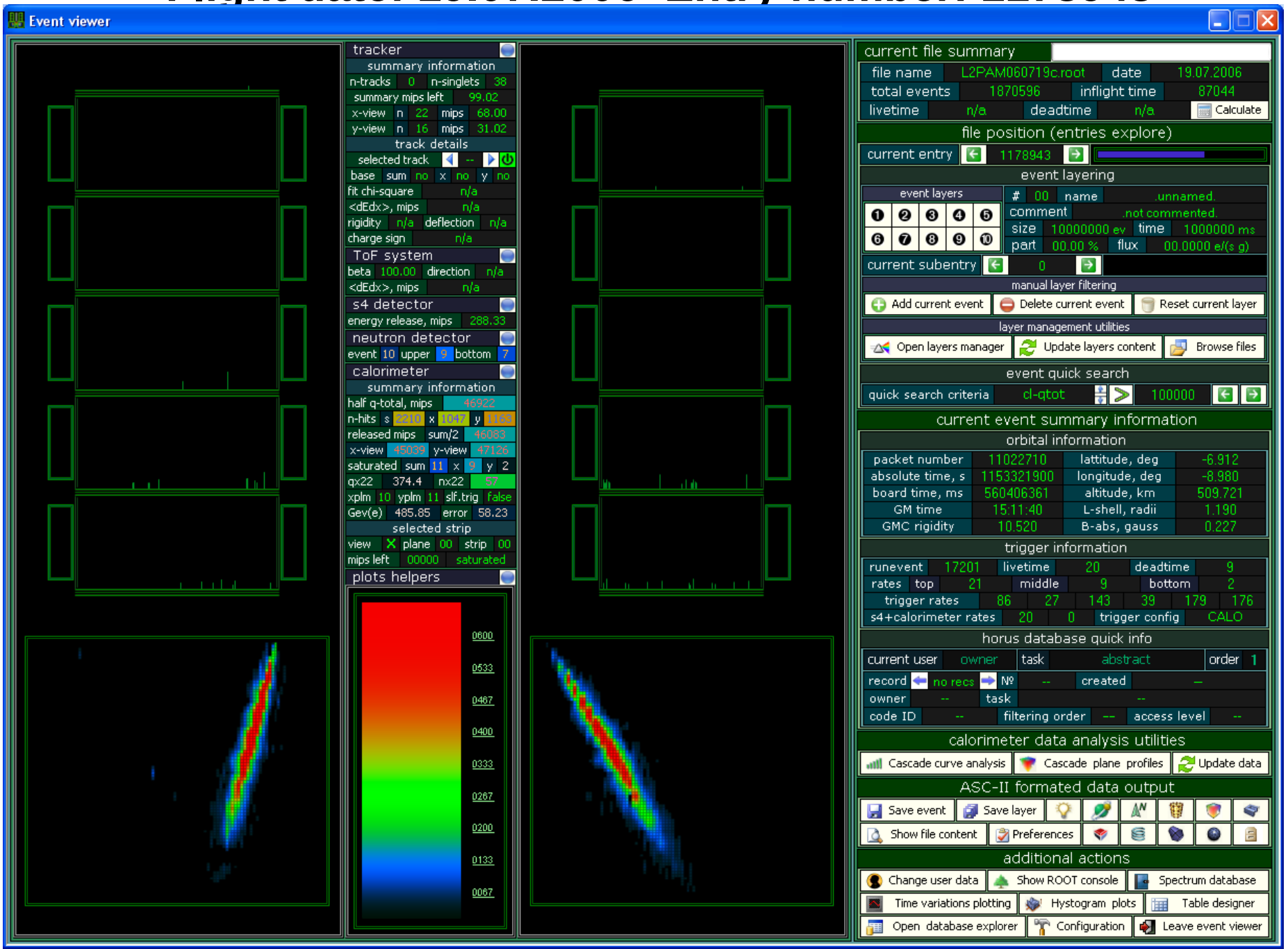
#### additional actions

Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis
Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

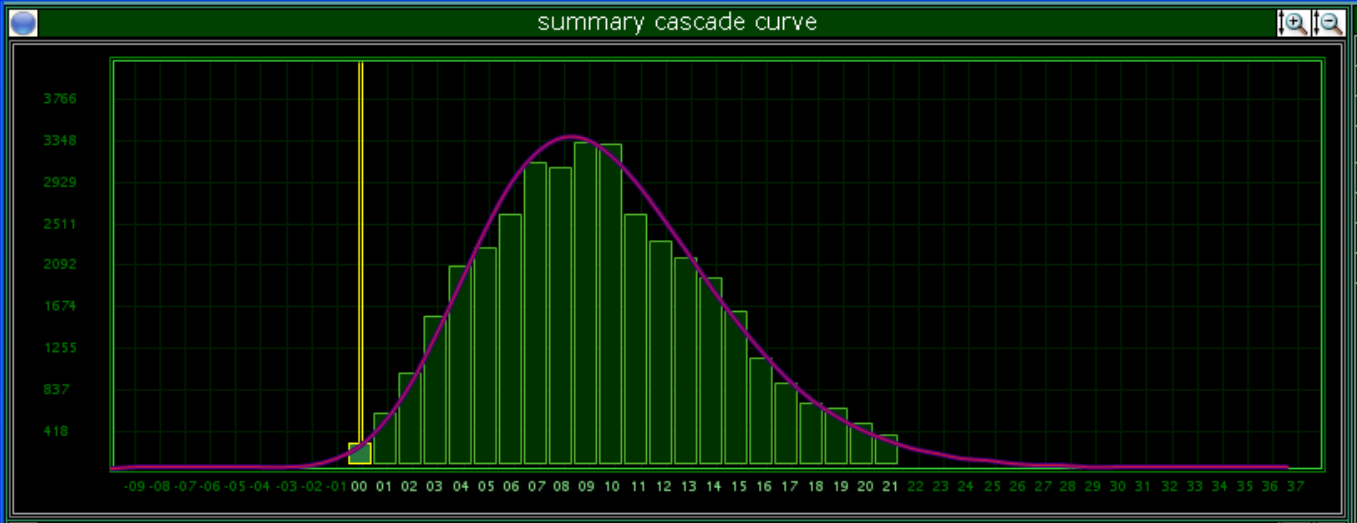
# Proton: neutrons - 50 A = 0.57 E ≈ 3600 GeV

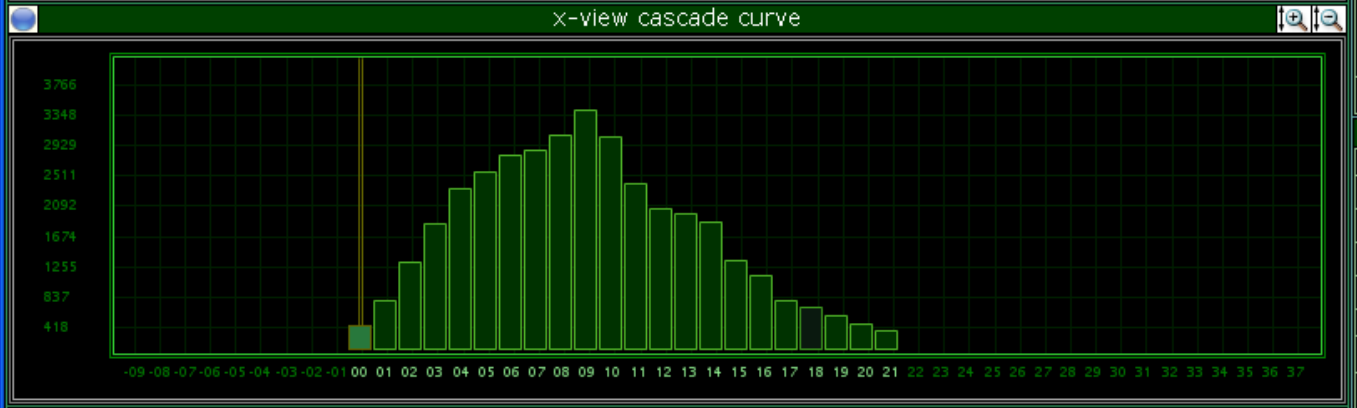


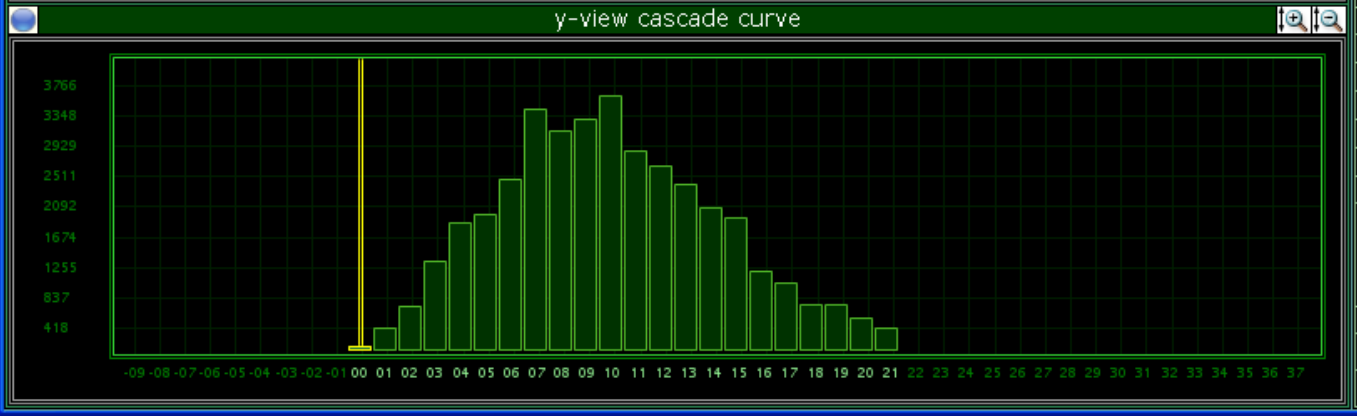
# Flight date: 19.07.2006  Entry number: 1178943



# Cascade curve approximation




## planes treatment tools

### summary curve cursor

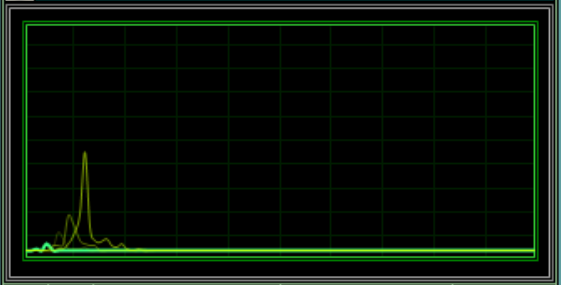
| plane | 00 | source mips | 302.18 | fit mips | 00000.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| x-mips | 463.92 | y-mips | 140.44 | [x/y] ratio | 330.34 |

Include plane | Exclude plane | Reset

### y-view curve cursor

| plane | 00 | mips | 140.44 | hits | 0 | confidence | – |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) | – | | | passes done | – | | |
| q.core | -- | w.core | -- | q.pvm | -- | w.pvm | -- |

### slice profile



Middle average | Another view | Reset

### cascade curve approximation

#### primary cascade parameters

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 8.38 | Δ | 0.250 | 🔒 | 1st impact | 0 | 🔒 |
| q-max | 4184.83 | Δ | 164.399 | 🔒 | passes to do | 10 | |
| K | 1.7315 | Δ | 0.00500 | 🔒 | passes done | 3200 | |
| D | 3.6106 | Δ | 0.01000 | 🔒 | ... chi^2 | 157.2833 06 | |

#### secondary cascade parameters

Include plane | Exclude plane

#### actions

Initial values | Approximate

x.s 00.00 | q.s 00.00 | w.s 00.000

#### resulting data (level.3)

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| l2 summary mips | 46083 | half-qtot mips | 46922 | | |
| profiled mips | 46474 | x | 45821 | y | 47126 | ratio | 97.2 |
| integral mips | 48216 | restoration increment | 102.75 | | |
| attack | 20305.390 | decay | n/a | sustain | n/a |
| release | 27182.997 | cascade assymmetry | 0.747 | | |

#### approximation logger

chi^2 course

Recall pass

selected pass 00

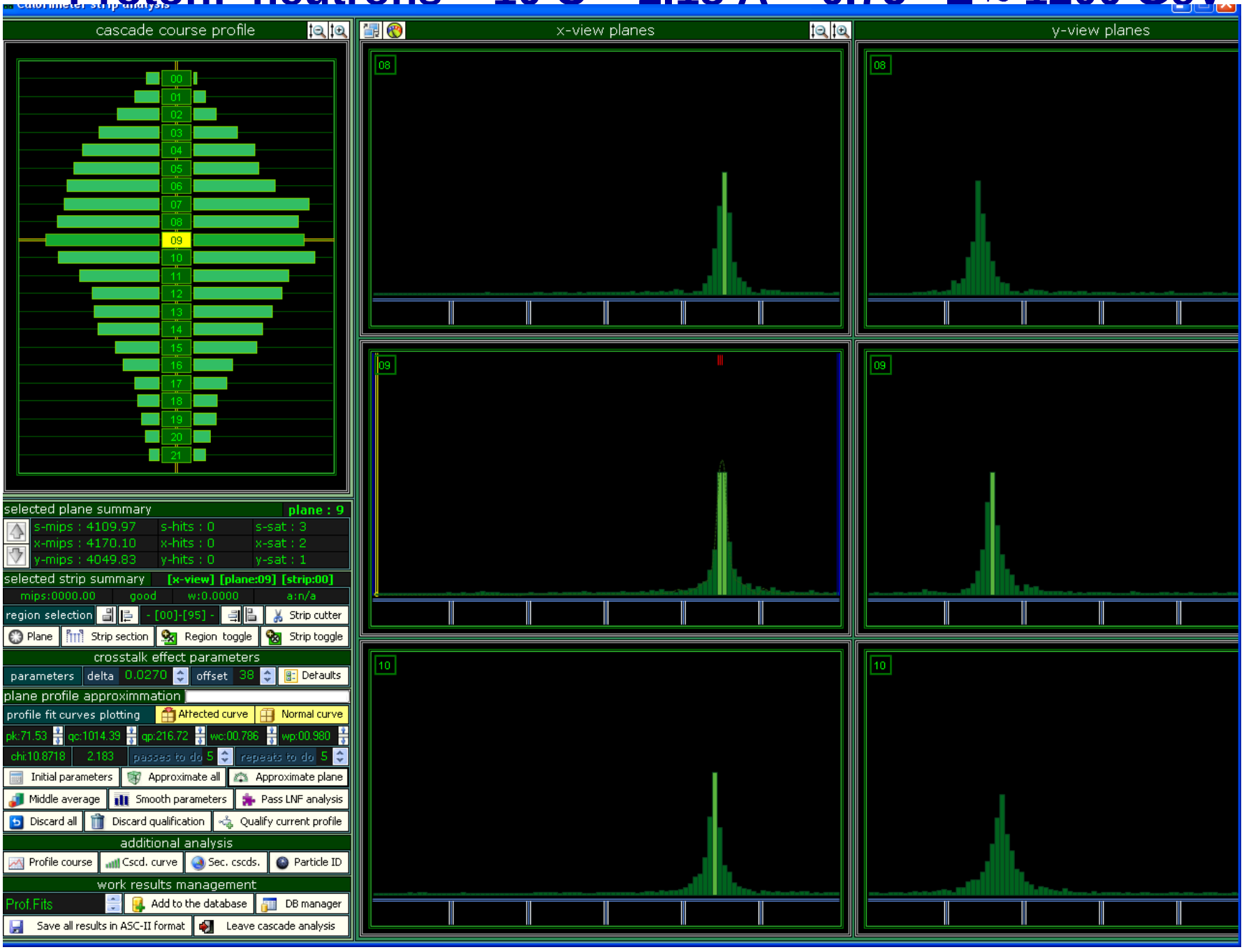
chi^2 value 00.000000

#### additional actions

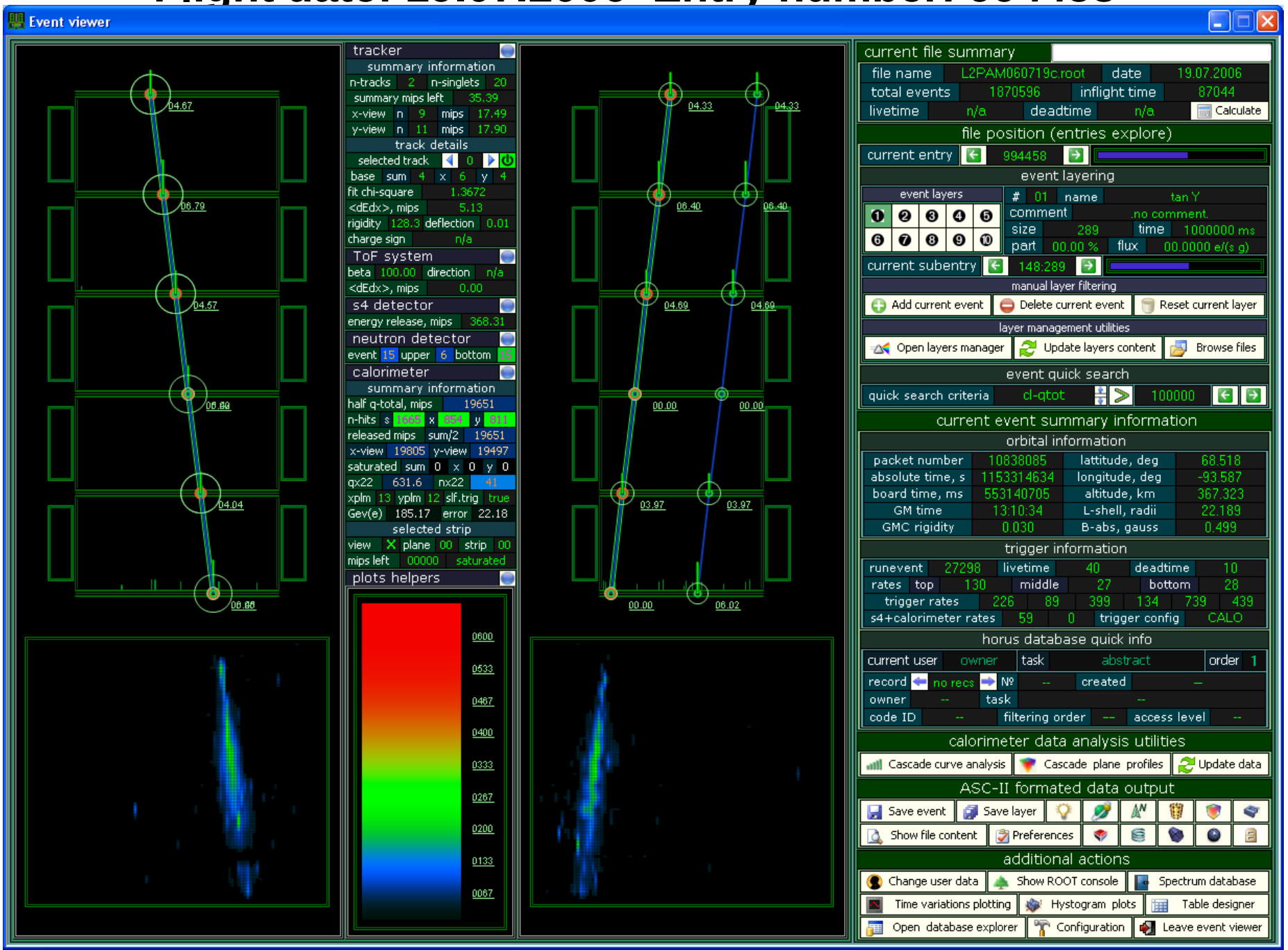
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

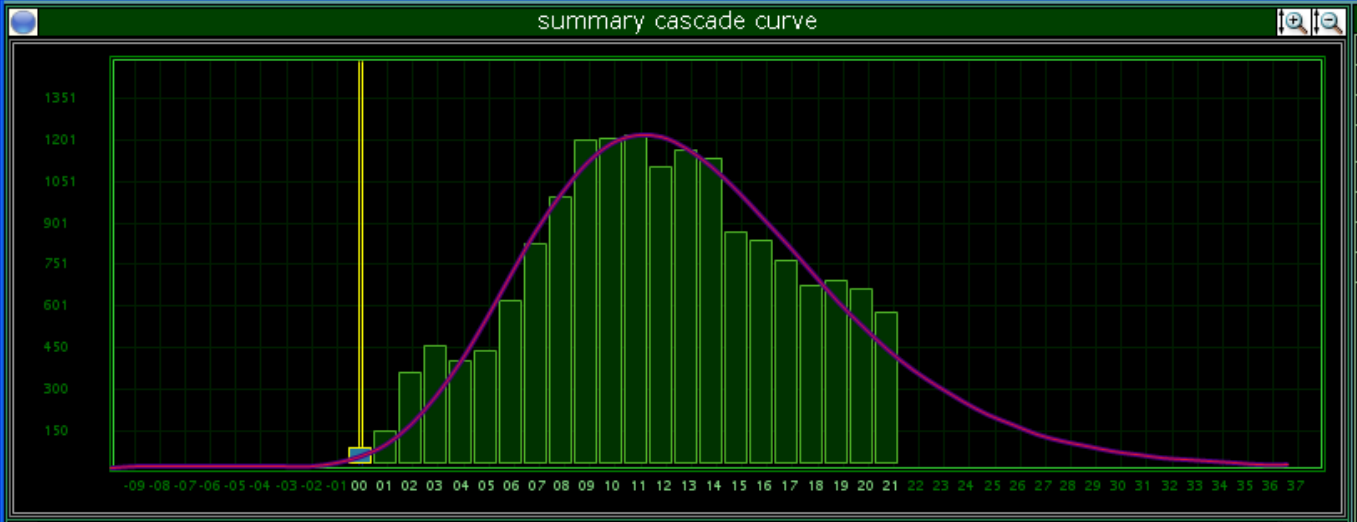
# Proton: neutrons – 10 C = 2.18 A = 0.75 E ≈ 1200 GeV

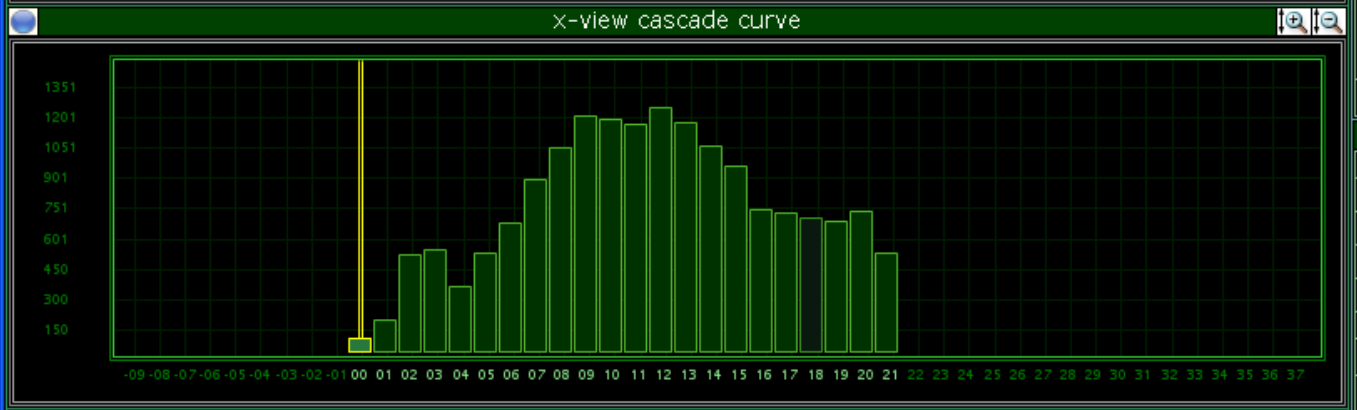


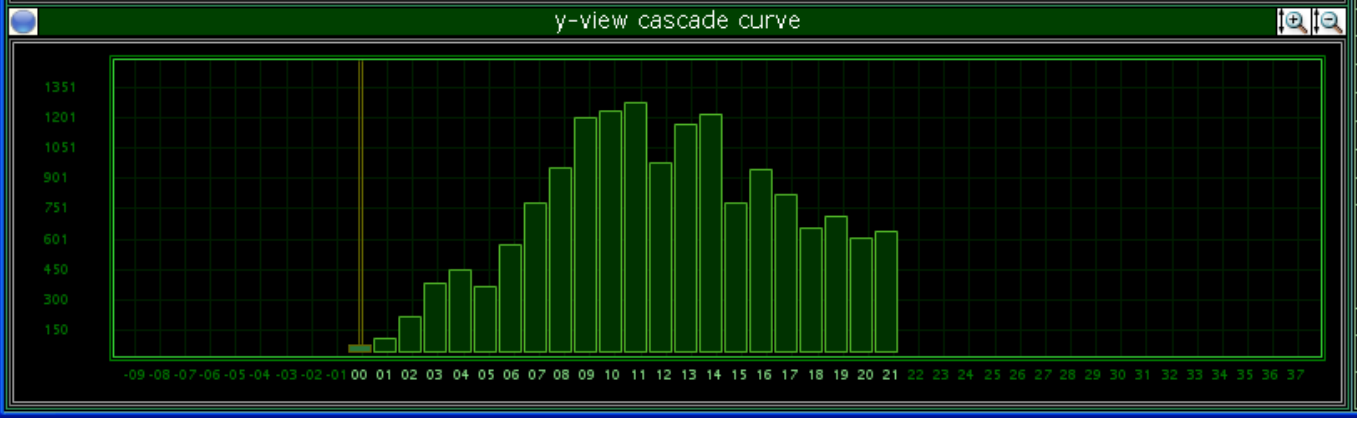
# Flight date: 19.07.2006  Entry number: 994458



# Cascade curve approximation




## planes treatment tools

### summary curve cursor

| plane | 00 | source mips | 83.70 | fit mips | 00000.00 |
|---|---|---|---|---|---|
| x-mips | 103.91 | y-mips | 63.49 | [x/y] ratio | 163.67 |

Include plane | Exclude plane | Reset

### x-view curve cursor

| plane | 00 | mips | 103.91 | hits | 0 | confidence | – |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parametric quality (chi2) | – | | | | | passes done | – |

| q.core | -- | w.core | -- | q.pvm | -- | w.pvm | -- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

### slice profile

Middle average | Another view | Reset

### cascade curve approximation

#### primary cascade parameters

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x-max | 11.32 | Δ | 0.250 | 🔒 | 1st impact | 0 | 🔒 |
| q-max | 1501.61 | Δ | 59.996 | 🔒 | passes to do | 10 | |
| K | 1.2517 | Δ | 0.00100 | 🔒 | passes done | 1920 | |
| D | 5.1901 | Δ | 0.01000 | 🔒 | ... chi^2 | 96.51333 | |

#### secondary cascade parameters

Include plane | Exclude plane

#### actions

Initial values | Approximate

| x.s | 00.00 | q.s | 00.00 | w.s | 00.000 |
|---|---|---|---|---|---|

#### resulting data (level.3)

| l2 summary mips | 19651 | half-qtot mips | 19651 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| profiled mips | 20078 | x | 20658 | y | 19497 | ratio | 106.0 |
| integral mips | 22024 | restoration increment | 112.07 | | |
| attack | 9329.230 | decay | n/a | sustain | n/a |
| release | 12694.965 | cascade assymmetry | 0.735 | | |

#### approximation logger

chi^2 course

Recall pass

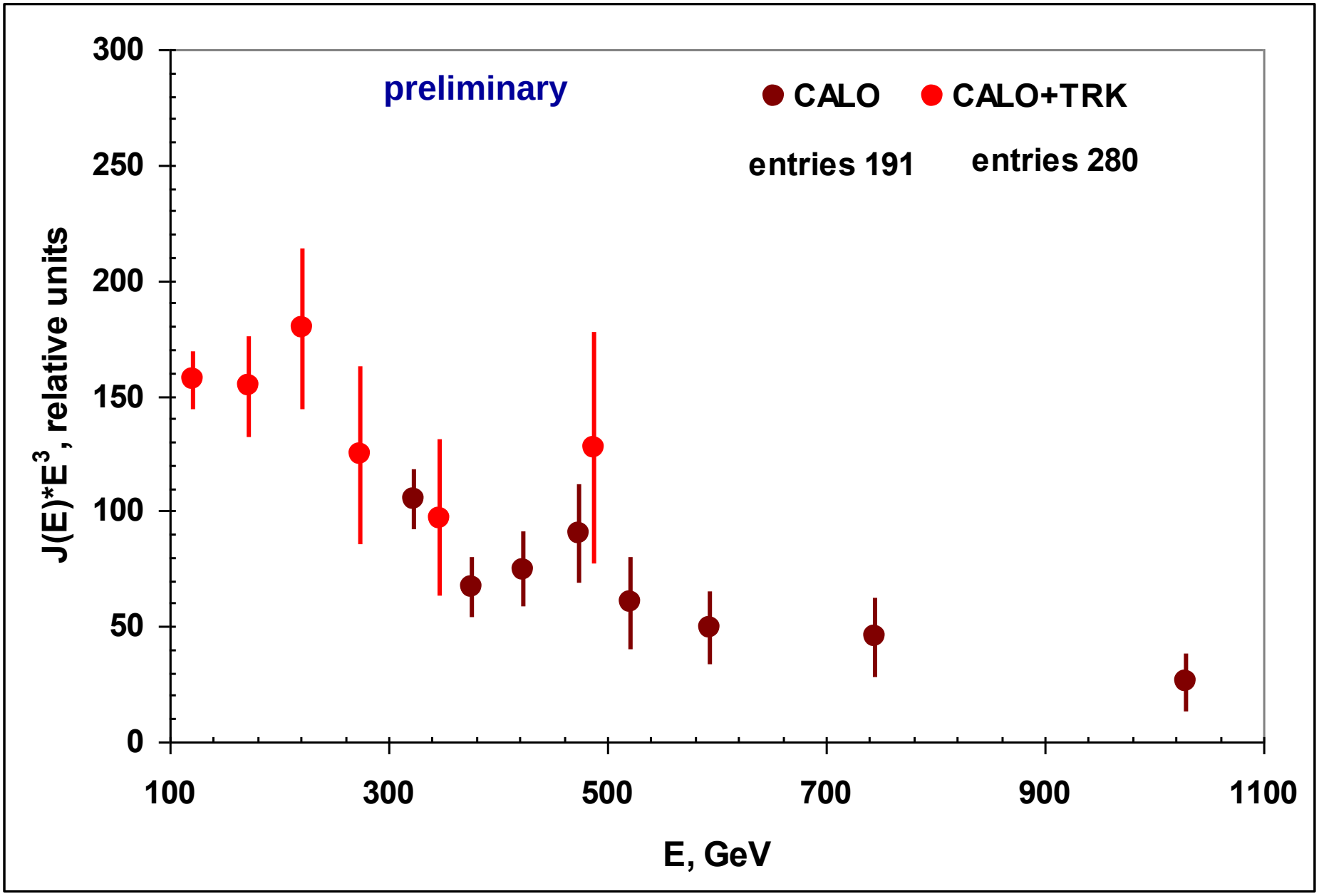
| selected pass | 00 |
|---|---|
| chi^2 value | 00.000000 |

#### additional actions

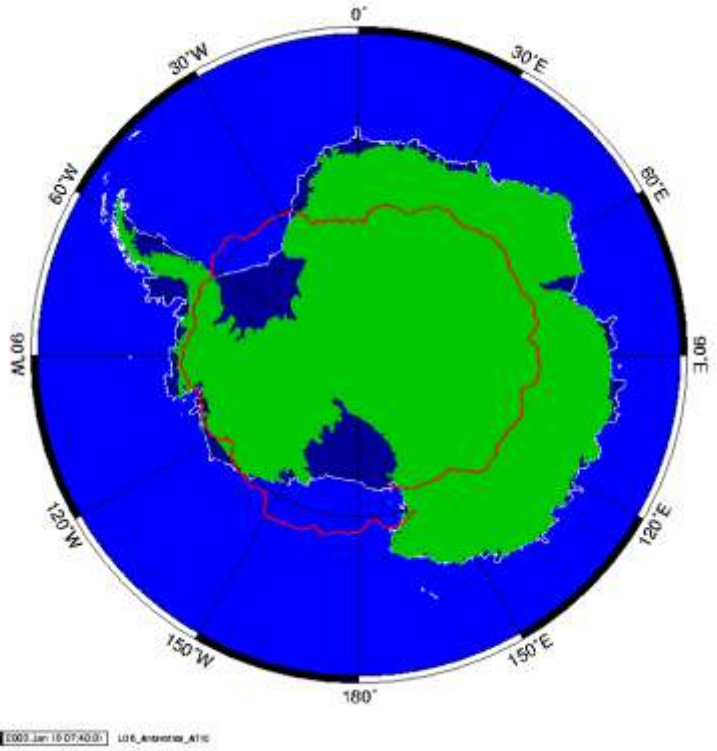
Reset all fits | Smooth curve | Pass LNF analysis

Save ASC-II | Add to DB | DB manager | Exit

# Z =2 neutrons – 15 C = 9.11 A = 0.73

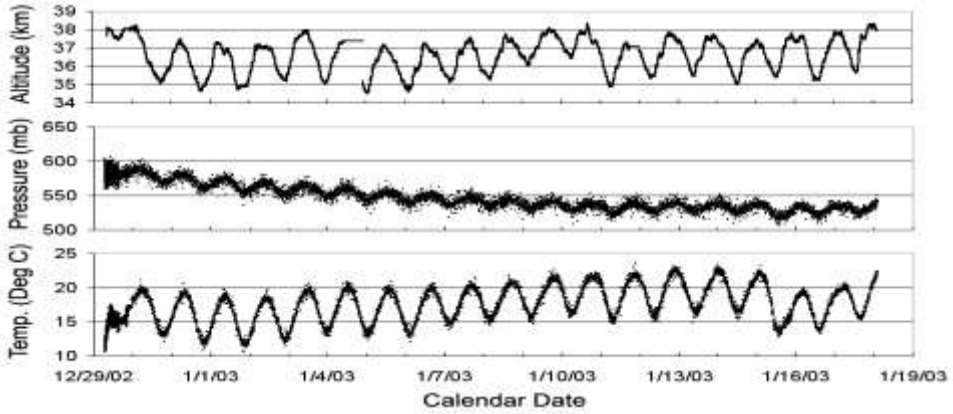

preliminary
CALO
CALO+TRK
entries 191
entries 280
J(E)*E^3, relative units
E, GeV
300
250
200
150
100
50
0
100
300
500
700
900
1100

# ATIC-2 Science Flight from McMurdo - 2002




- 65 Gbytes Recorded Data
- 16,900,000 Cosmic Ray events
- High Energy Trigger > 75 GeV for protons
- >96% Live-time
- Internal pressure (~8 psi) decreased slightly (~0.7 psi) for 1st 10 days then held constant
- Internal Temperature: 12 – 22 C
- Altitude: 36.5 ± 1.5 km

- Launch: 12/29/02 04:59 UTC
- Begin Science: 12/30/02 05:40 UTC
- End Science: 01/18/03 01:32 UTC
- Termination: 01/18/03 02:01 UTC
- Recovery: 01/28/03; 01/30/03




Joachim Isbert PAMELA 2009

# Recovery expeditions to the plateau



The good ATIC-1 landing (left) and the not so good landings of ATIC-2 (middle) and ATIC-4 (right)

ATIC is designed to be disassembled in the field and recovered with Twin Otters. Two recovery flights are necessary to return all the ATIC components. Pictures show recovery flight of ATIC-4

nature Vol 456|20 November 2008|doi:10.1038/nature07477

LETTERS

# An excess of cosmic ray electrons at energies of 300–800 GeV

J. Chang[1,2], J. H. Adams Jr[3], H. S. Ahn[4], G. L. Bashindzhagyan[5], M. Christl[3], O. Ganel[4], T. G. Guzik[6], J. Isbert[6], K. C. Kim[4], E. N. Kuznetsov[5], M. I. Panasyuk[5], A. D. Panov[5], W. K. H. Schmidt[2], E. S. Seo[4], N. V. Sokolskaya[5], J. W. Watts[3], J. P. Wefel[6], J. Wu[4] & V. I. Zatsepin[5]

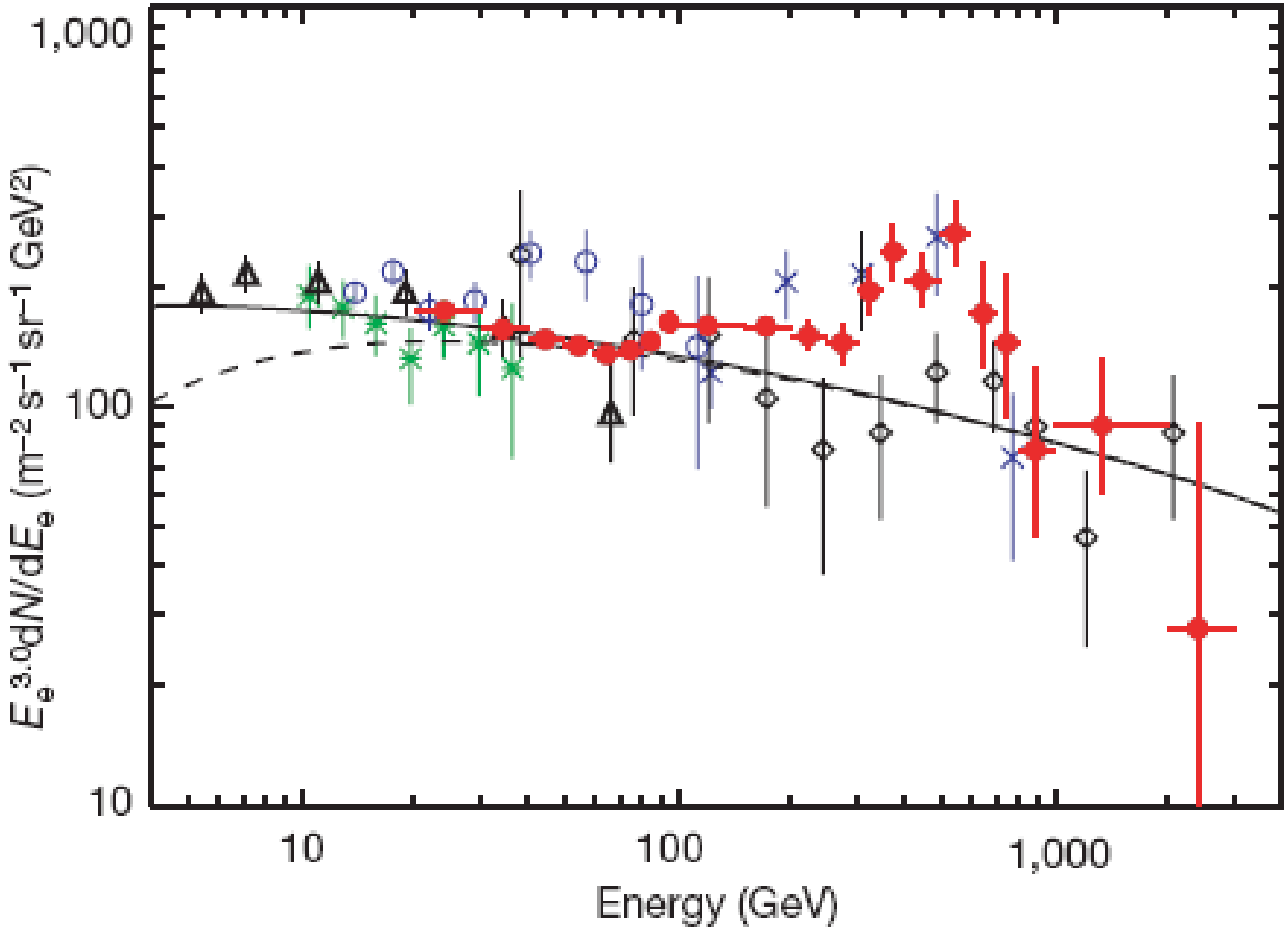



**Figure 3 | ATIC results showing agreement with previous data at lower energy and with the imaging calorimeter PPB-BETS at higher energy.** The


Fermi
Gamma-ray
Space Telescope
11th june 2008


# FIRST RESULTS ON THE HIGH ENERGY COSMIC RAY ELECTRON SPECTRUM FROM FERMI LAT

***Alexander Moiseev***

***CRESST/NASA GSFC and University of Maryland***

***for the Fermi LAT Collaboration***

# Fermi Gamma-ray Observatory

## Two instruments onboard Fermi:

- ✓ **Large Area Telescope LAT**
  - **main instrument, gamma-ray telescope, 20 MeV - >300 GeV energy range**
  - **scanning (main) mode - 20% of the sky all the time; all parts of sky for ~30 min. every 3 hours**
  - **~ 2.4 sr field of view, 8000 $cm^2$ effective area above 1 GeV**
  - **high energy (5-10%) and spatial (~$3^0$ at 100 MeV and <$0.1^0$ at 1 GeV) resolution**
  - **1 μs timing, <30 μs dead time**
- ✓ **GLAST Burst Monitor GBM**

**5-year mission (10-year goal), 565 km circular orbit, $25.6^0$ inclination**

# The LAT Instrument Overview

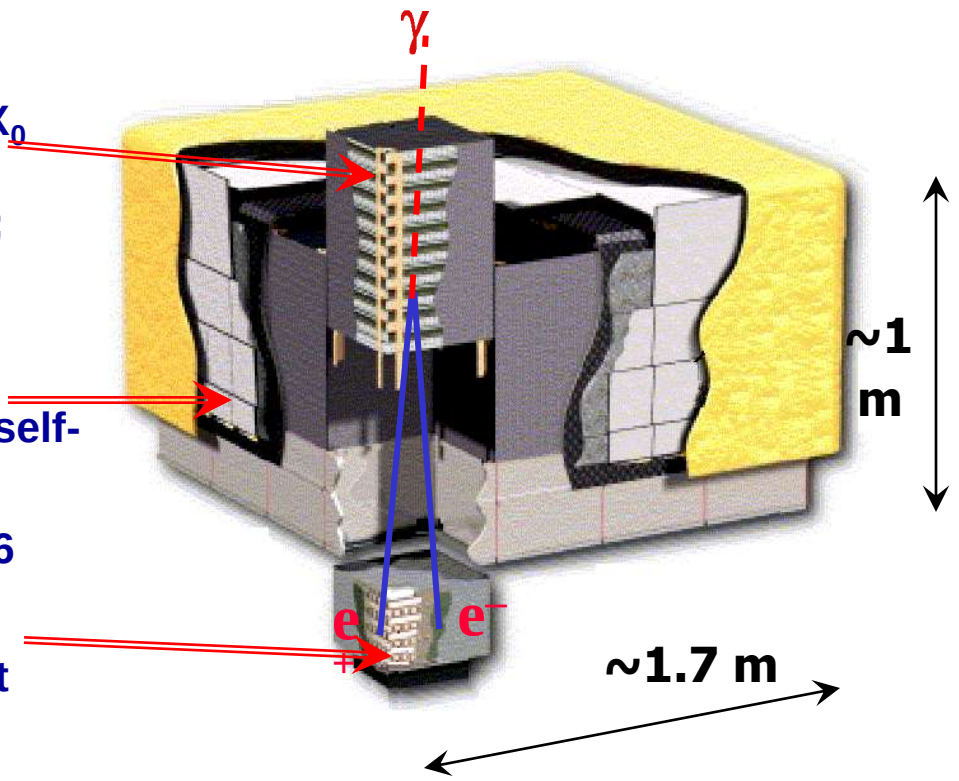
**Pair-conversion gamma-ray telescope:** 16 identical "towers" providing conversion of γ into $e^+e^-$ pair and determination of its arrival direction (Tracker) and energy (Calorimeter). Covered by segmented AntiCoincidence Detector which rejects the charged particles background

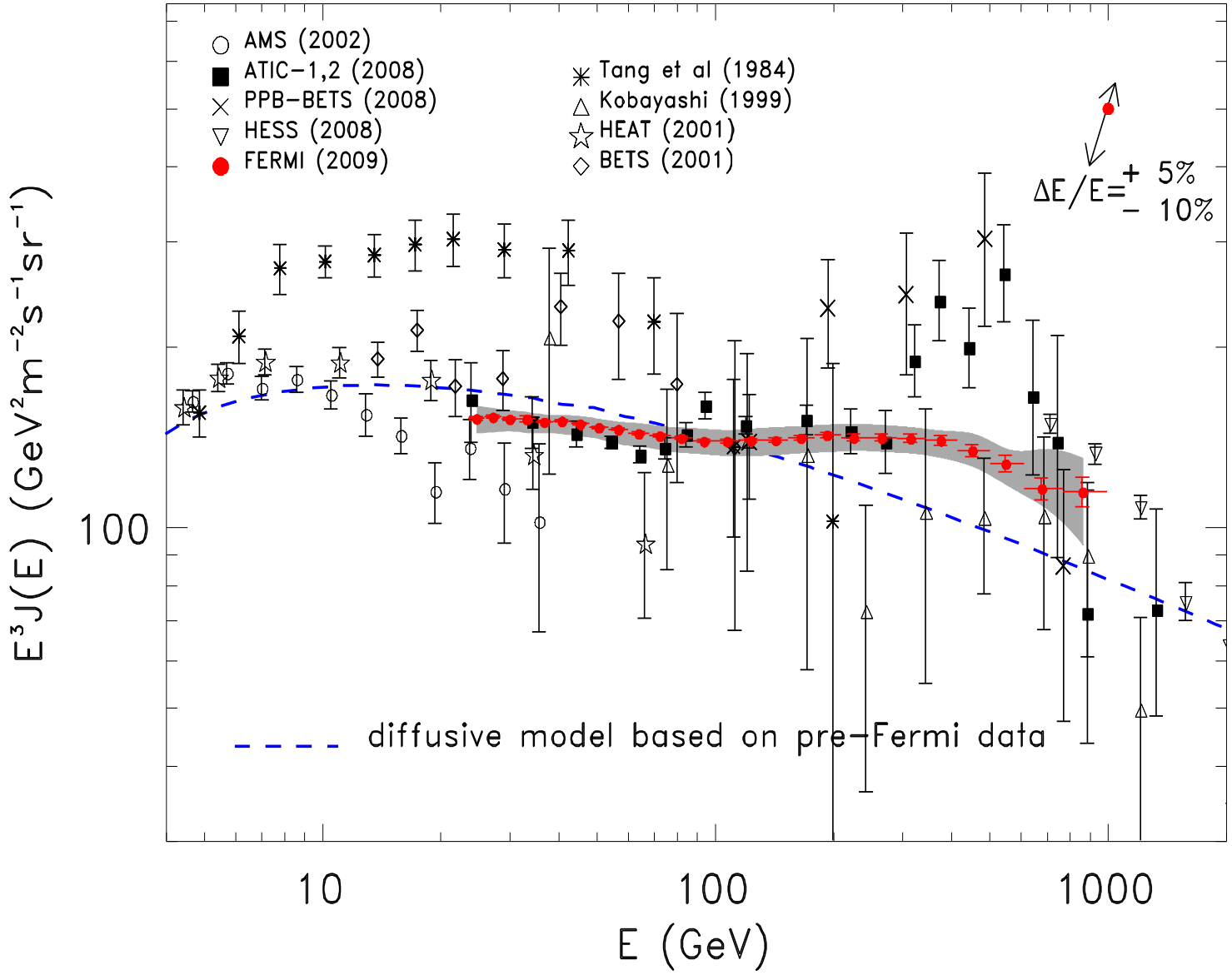
**Silicon-stripped tracker:** 18 double-plane single-side (x and y) interleaved with 3.5% $X_0$ thick (first 12) and 18% $X_0$ thick (next 4) tungsten converters. Strips pitch is 228 μm; total 8.8 $10^5$ readout channels

**Segmented Anticoincidence Detector:** 89 plastic scintillator tiles and 8 flexible scintillator ribbons. Segmentation reduces self-veto effect at high energy.

**Hodoscopic CsI Calorimeter** Array of 1536 CsI(Tl) crystals in 8 layers.

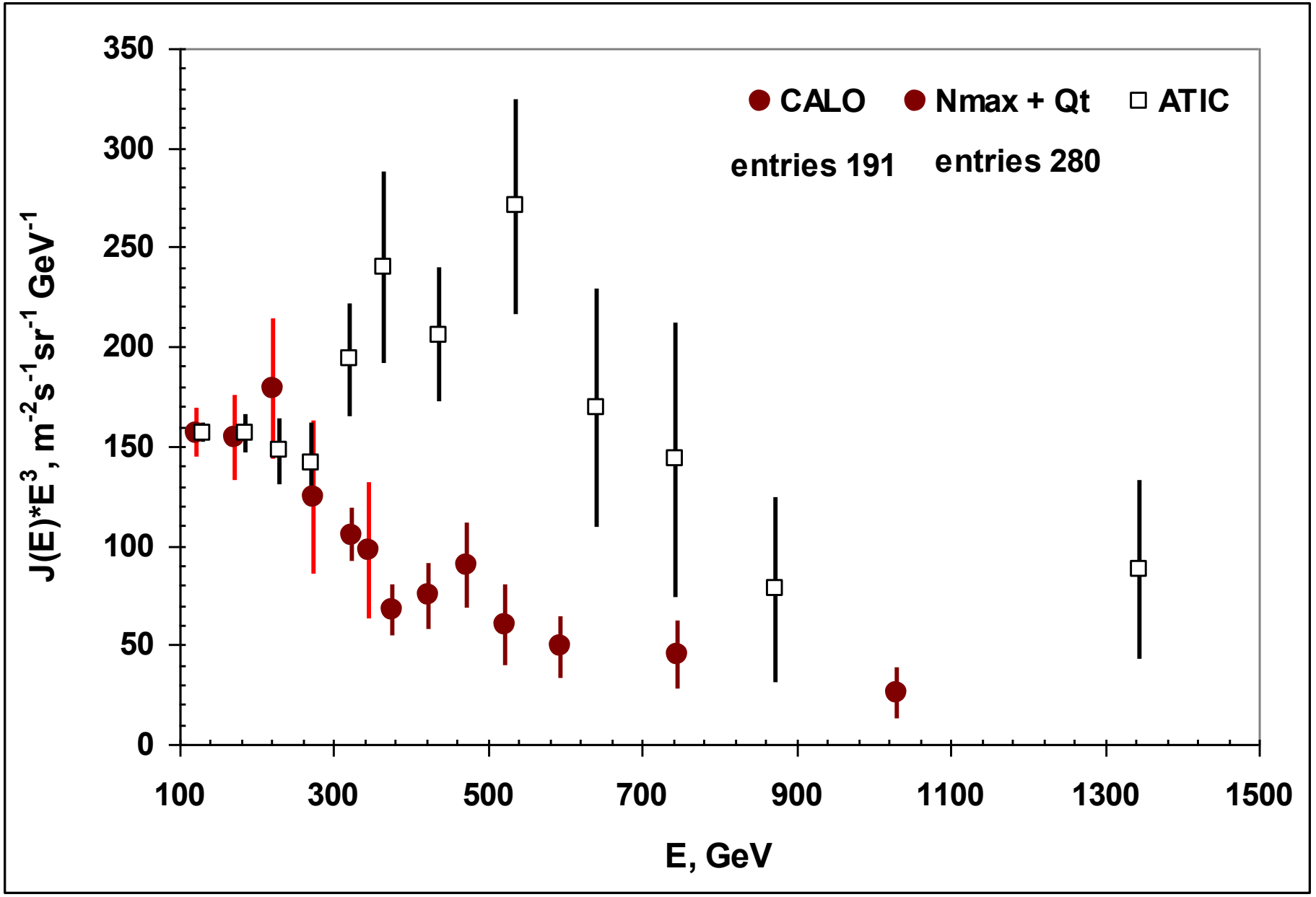
**Electronics System** Includes flexible, robust hardware trigger and software filters.

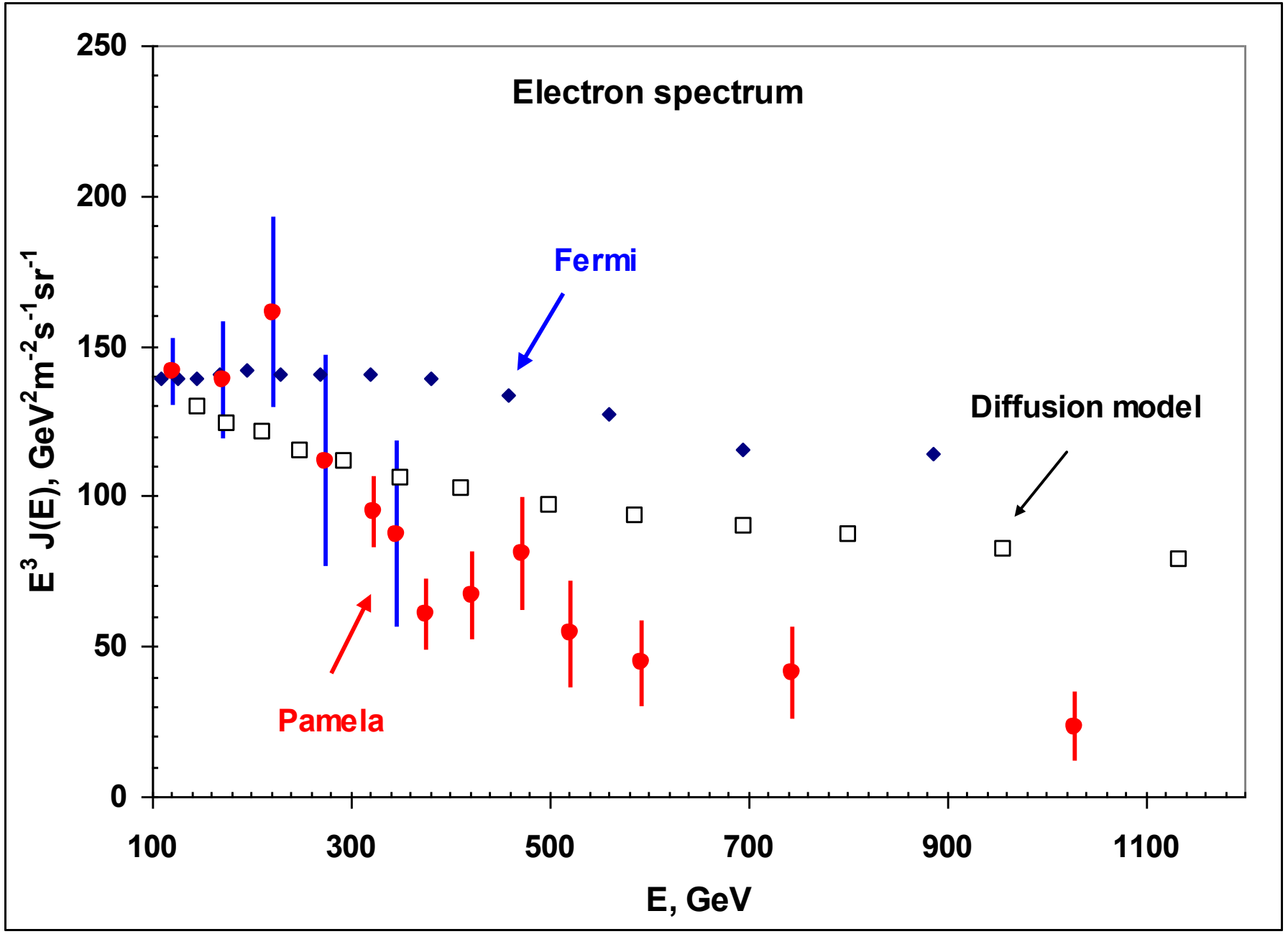



AMS (2002)
ATIC−1,2 (2008)
PPB−BETS (2008)
HESS (2008)
FERMI (2009)
Tang et al (1984)
Kobayashi (1999)
HEAT (2001)
BETS (2001)
ΔE/E=+ 5% − 10%
diffusive model based on pre−Fermi data
E³J(E) (GeV²m⁻²s⁻¹sr⁻¹)
100
10
100
1000
E (GeV)

# Characteristics of ATIK, FERMI and PAMELA instruments

| Experiment | ATIC | FERMI | PAMELA |
|---|---|---|---|
| Number of planes in SiM | 2 | 32 | 12 |
| CALO, radiation units | 18.4 | 8 | 16.3 |
| Number of planes in CALO | 8 | 8 | 20 |
| Resolution of plane in CALO, mm | ~ 25 | ~ 1 | 2.4 |
| Magnet | no | no | yes |
| ND | no | no | yes |
| G, $cm^2sr$ | ~ 2400 | Very large | 20 or 400 |


CALO
Nmax + Qt
ATIC
entries 191
entries 280
J(E)*E^3, m^-2 s^-1 sr^-1 GeV^-1
E, GeV
350
300
250
200
150
100
50
0
100
300
500
700
900
1100
1300
1500


Electron spectrum
Fermi
Diffusion model
Pamela
$E^3 J(E)$, $GeV^2 m^{-2} s^{-1} sr^{-1}$
E, GeV
250
200
150
100
50
0
100
300
500
700
900
1100

# Выводы

**Спектр высокоэнергичных электронов, полученный в эксперименте ПАМЕЛА, имеет $\gamma \approx 3.1$ в области энергий $E \geq 100$ ГэВ (предварительный результат).**

**Эти данные не согласуются с данными экспериментов ATIC и FERMI.**

# Спасибо за внимание