

Калибровка сцинтилляционных счетчиков  
модернизированного калориметра установки  
<<Нейтринный Детектор ИФВЭ-ОИЯИ>>  
для идентификации частиц по времени пролета

С.А. Бунятов, А.В. Красноперов, Ю.А. Нефедов,  
Б.А. Попов, В.В. Терещенко (ОИЯИ)

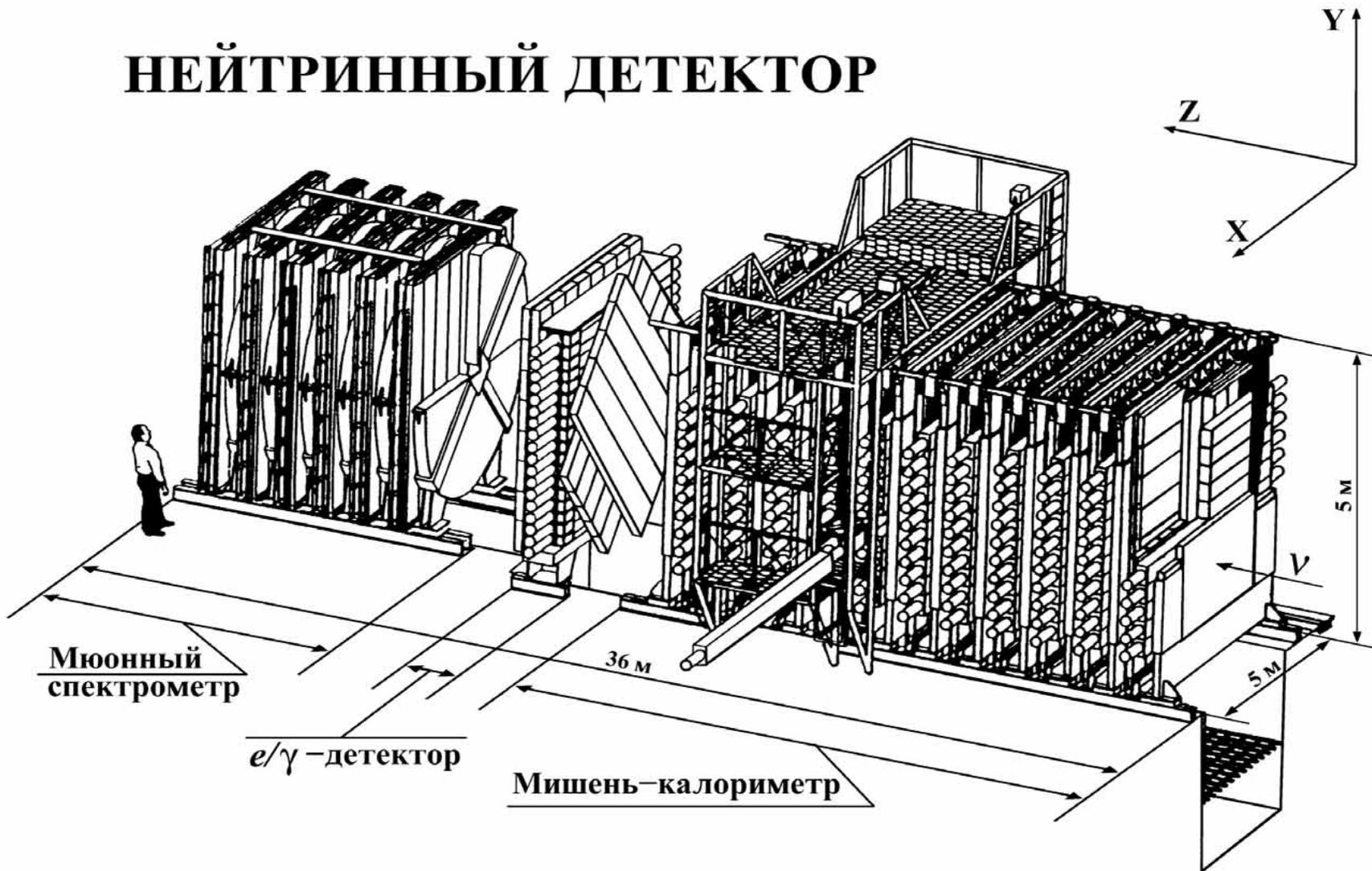
Н.И. Божко, А.С. Вовенко, В.Н. Горячев, Ю.И. Саломатин,  
В.А. Сенько, А.В. Сидоров (ИФВЭ)

22 июня 2006 г ЛЯП ОИЯИ

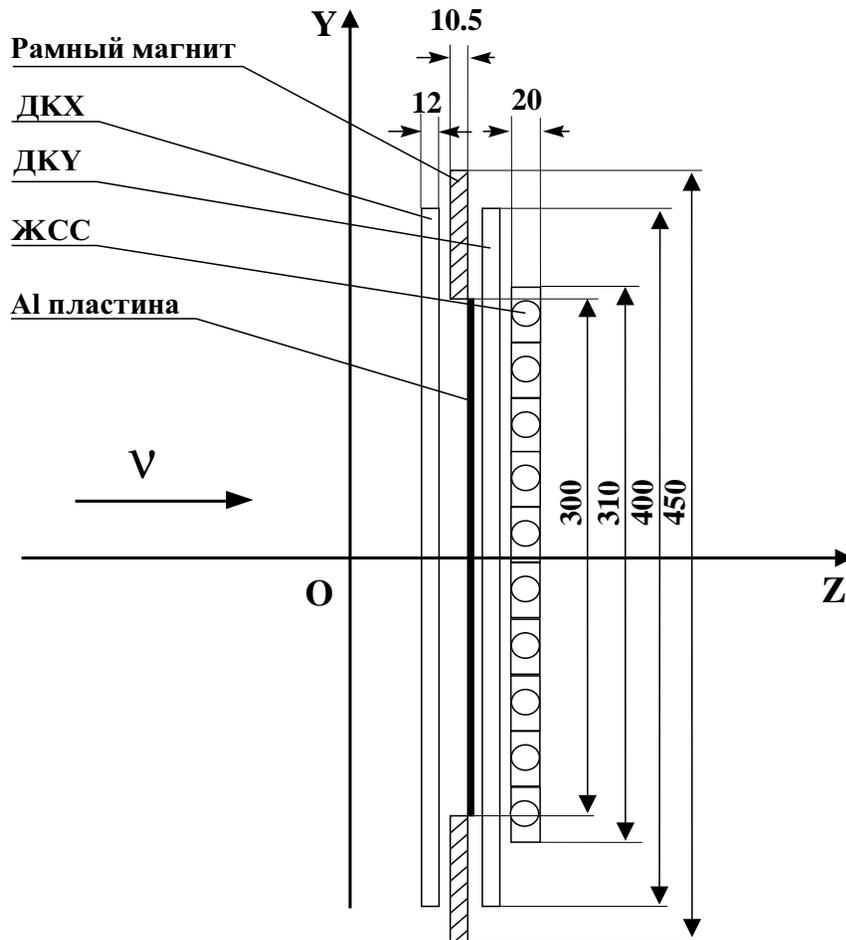
# План

- Установка <<Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ>>
- Конструкция мишени-калориметра и жидко-сцинтилляционных счетчиков (ЖСС)
- Модернизация установки
- Регистрирующая аппаратура калориметра
- Реконструкция срабатываний ЖСС
- Определение калибровочных параметров ЖСС
- Координатное разрешение ЖСС
- Временное разрешение ЖСС
- Заключение

# НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР

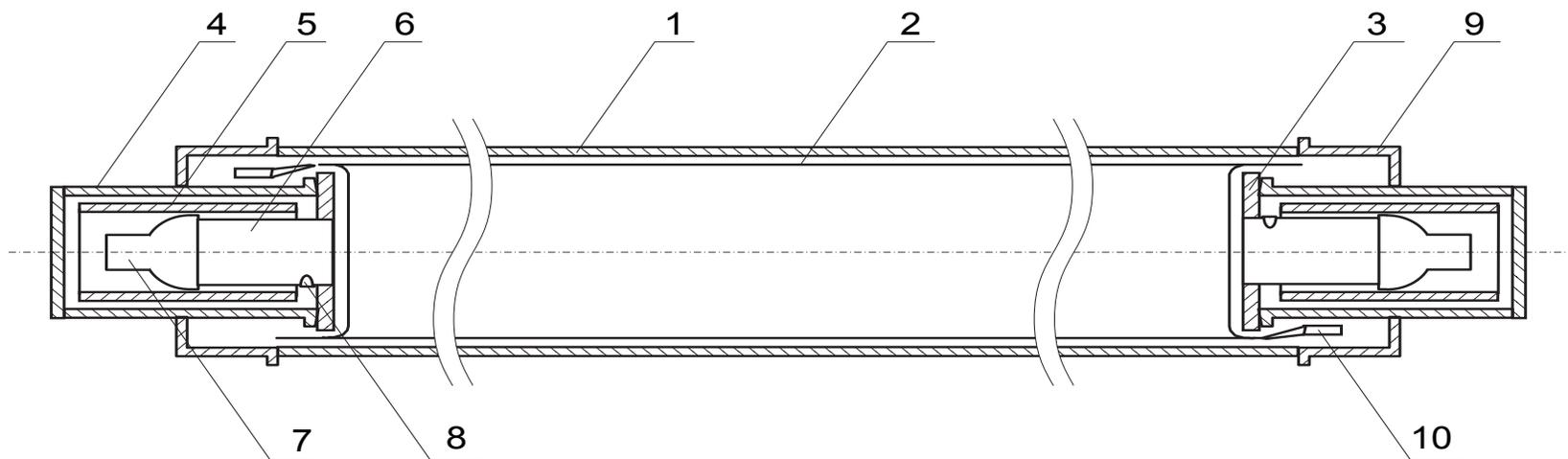


# Мишень-калориметер



- 36 модулей
- Рамный магнит
- 2 ДК – X и Y
- Al-пластина
- Плоскость ЖСС -  
10 счетчиков -  
3.1x5 м<sup>2</sup> - 3x3 м<sup>2</sup>

# Жидко-сцинтилляционный счетчик



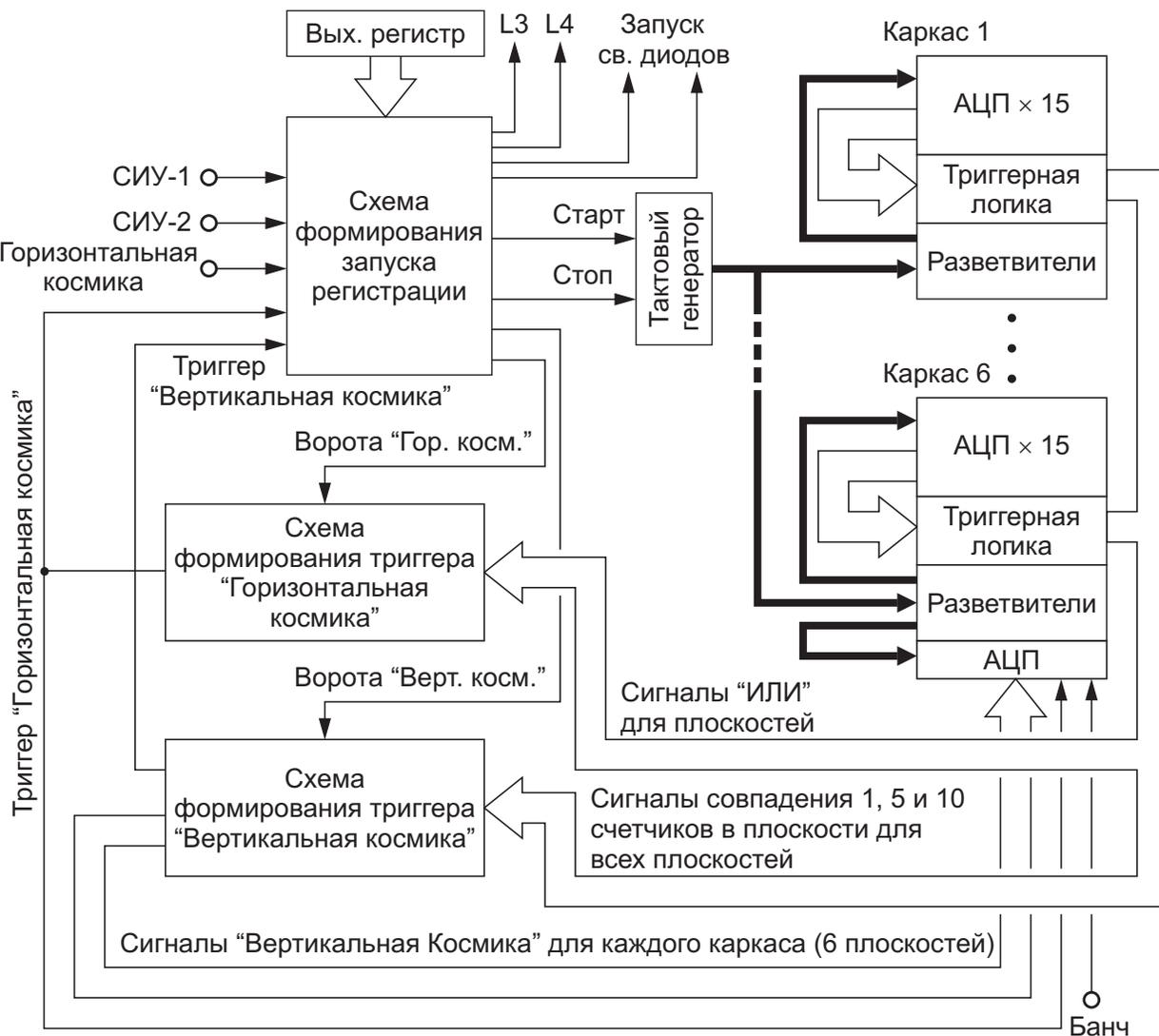
- $0.3 \times 0.2 \times 5 \text{ м}^3$  - толщина сцинтиллятора 19.4 см
- $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  ( $n = <10>$ , плотность –  $0.78 \text{ г/см}^3$ )
- ФЭУ-49 – диаметр фотокатода 15 см

# Модернизация установки

## Изучение малочастичных упругих и квазиупругих процессов взаимодействия нейтрино

- канал формирования нейтринного пучка -  $\langle E \rangle = 1.3$  ГэВ
- извлечение Al-пластин
- замена регистрирующей аппаратуры ЖСС калориметра для сепарации  $\pi/p$
- новая система сбора данных

# Регистрирующая аппаратура калориметра



- 720 каналов
- Flash ADC
- 8 каналов
- 50 МГц

## Режимы

- <<Контрольный генератор>>
- <<Рабочая информация>>
- <<Горизонтальная космика>>
- <<Вертикальная космика>>

# Реконструкция срабатываний ЖСС

- Оценка продольной координаты

$$X_T = -\frac{v}{2} \times (T_1 - T_2 - T_d)$$

- Оценка продольной координаты

$$A(x) = A \times \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

$$X_A = \frac{\lambda}{2} \times \left(\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right) - \ln\left(\frac{K_1}{K_2}\right)\right) = \frac{\lambda}{2} \times \left(\ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right) - S\right)$$

- Оценка времени срабатывания

$$T = \frac{(T_1 + T_2)}{2} - T_s$$

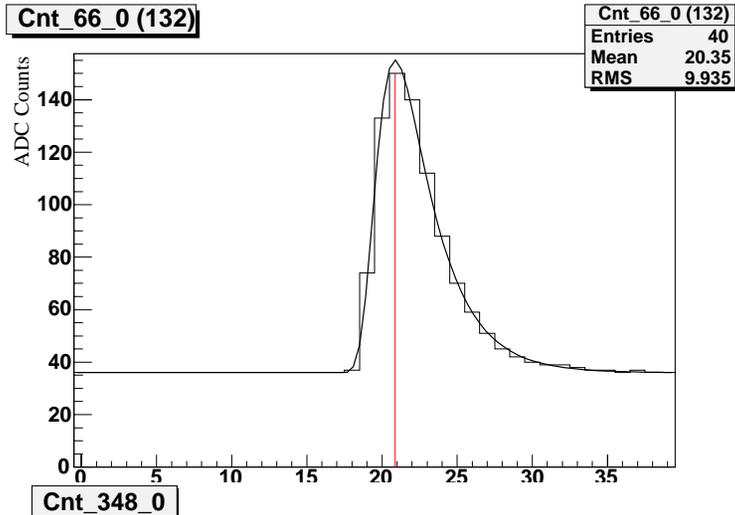
- Оценка энерговыделения

$$A = K \sqrt{A_1 \cdot A_2}$$

Калибровочные параметры

$$v, \lambda, T_d, T_s, S, K$$

# Восстановление отсчетов ФЭУ



$$A(t)|_{C,T_0,\sigma_1,\sigma_2,P} = \mathcal{F}(t)|_{C,T_0,\sigma_1,\sigma_2} + P$$

$$\mathcal{F}(t)|_{C,T_0,\sigma_1,\sigma_2} = C \times \exp\left(\frac{T_0-t}{\sigma_1} - \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \times \exp\left(\frac{T_0-t}{\sigma_2}\right)\right)$$

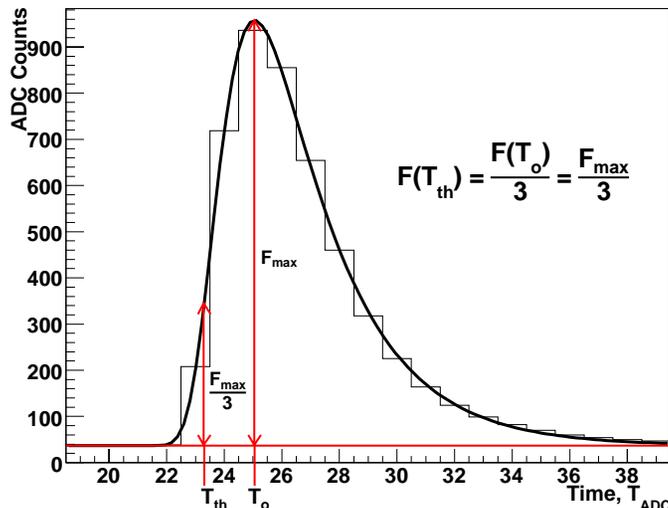
$$\chi^2(C, T_0, \sigma_1, \sigma_2, P) = \sum_{i=i_s}^{40} \frac{(A(t_i)|_{C,T_0,\sigma_1,\sigma_2,P} - A_i)^2}{e_i^2}$$

- Оценка времени срабатывания

$$\mathcal{F}(T_{th}) - \frac{1}{3} \cdot \mathcal{F}_{max} = 0$$

- Оценка интегрального отклика

$$A = \int \mathcal{F}(t) dt$$



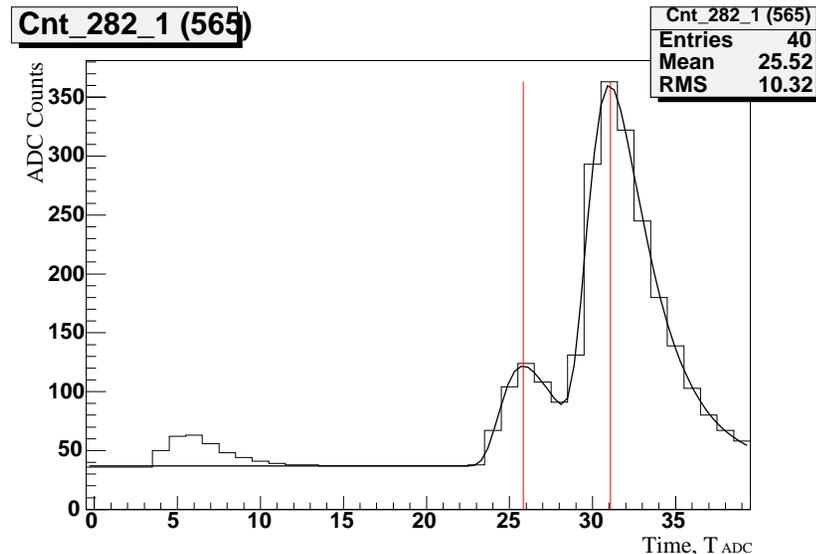
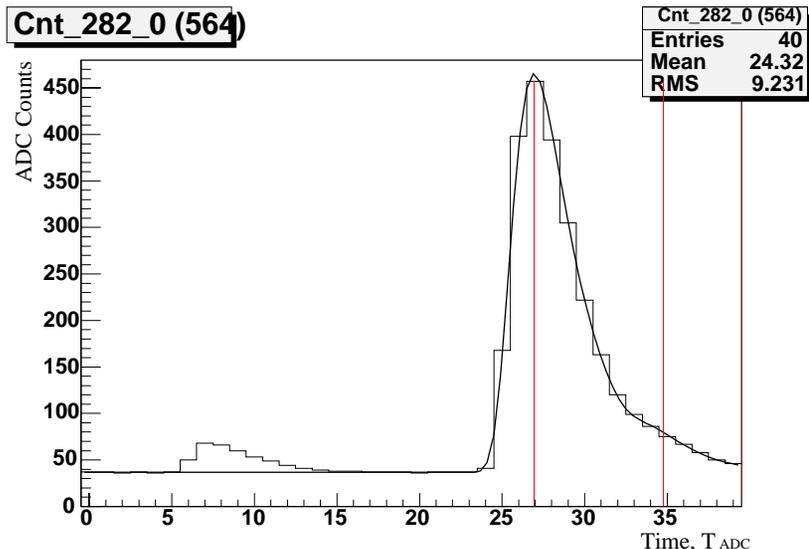
# Восстановление перекрывающихся срабатываний ФЭУ

- «Рабочая информация» - банчевая структура пучка

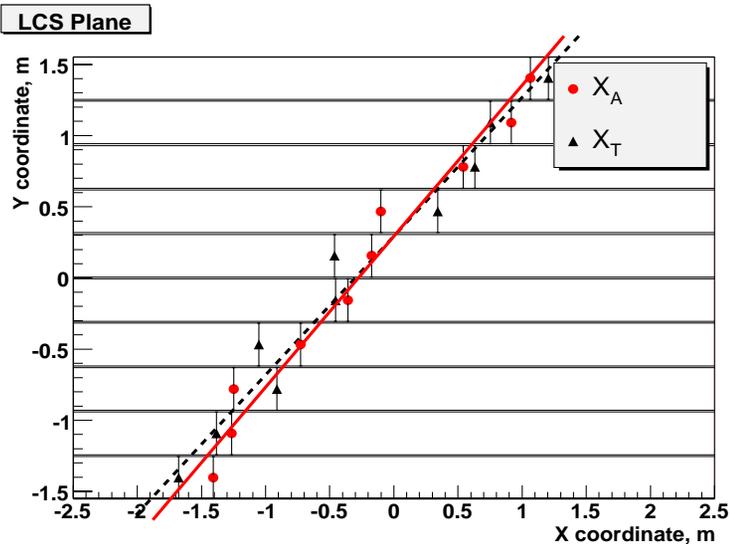
$$A_d(t)|_{C^1, T_0^1, C^2, T_0^2, \bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, P} = \mathcal{F}(t)|_{C^1, T_0^1, \bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2} + \mathcal{F}(t)|_{C^2, T_0^2, \bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2} + P$$

$$\chi_d^2(C^1, T_0^1, C^2, T_0^2, P) = \sum_{i=18}^{40} \frac{(A(t_i)|_{C^1, T_0^1, C^2, T_0^2, P} - A_i)^2}{e_i^2}$$

PMT	$\chi^2$	$\chi_d^2$	$T$	$T_0^1$	$T_0^2$	$T + T_0^1$	$T + T_0^2$
left	33.43	3.24	548	26.93	34.75	574.93	582.75
right	297.88	1.35	550	25.82	31.07	575.82	581.07



# Определение калибровочных параметров ЖСС



- <<вертикальная космика>>

- 10 срабатываний ЖСС

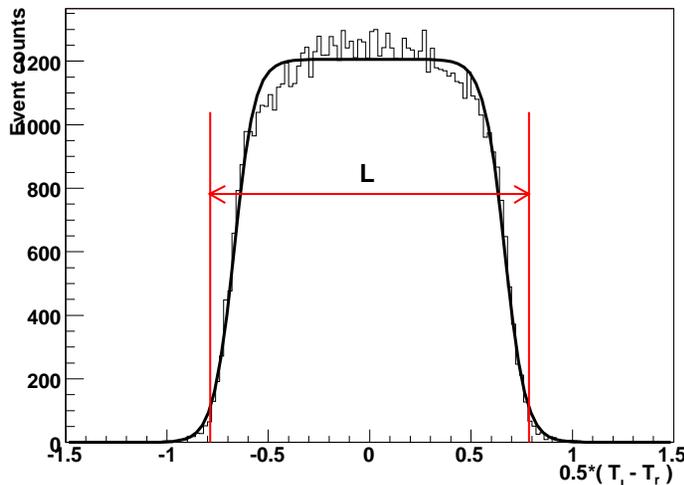
$$T_d = \overline{(T_1 - T_2)}$$

$$S = \overline{\ln(A_1/A_2)}$$

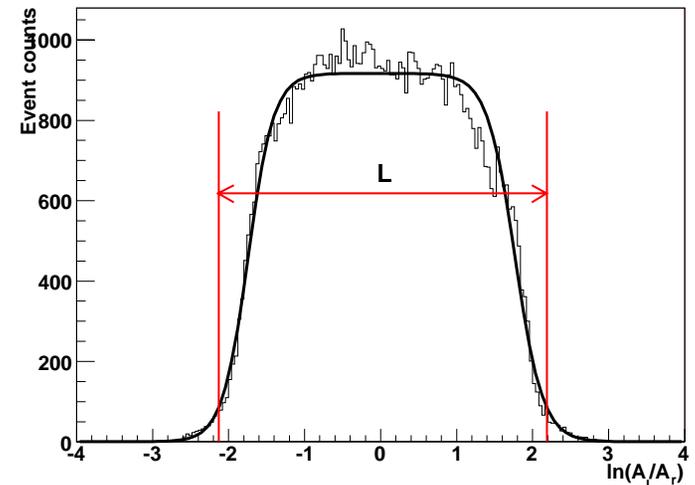
- Привязка ширины распределений к активной длине ЖСС

$$F(x) = \frac{A}{[1 + \exp(S_1 \cdot x + X_1)] \cdot [1 + \exp(-S_2 \cdot x + X_2)]}$$

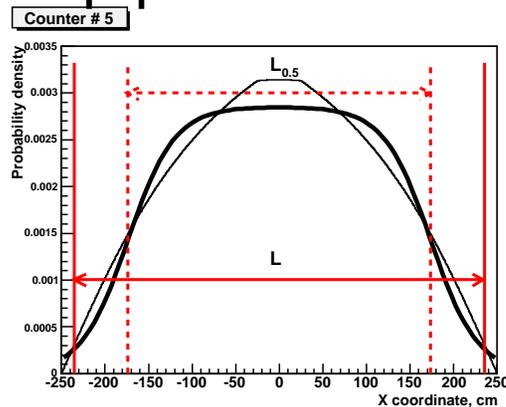
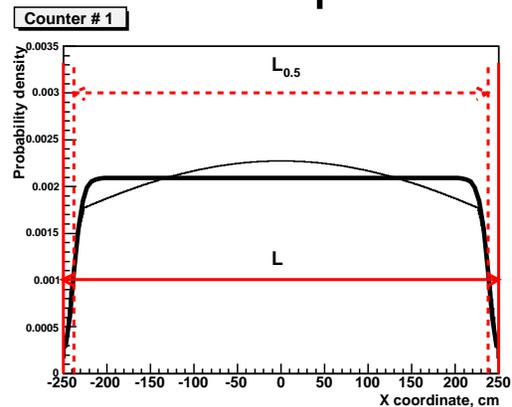
LSC\_131 Mean -0.0005552



LSC\_131 Mean 0.0002662



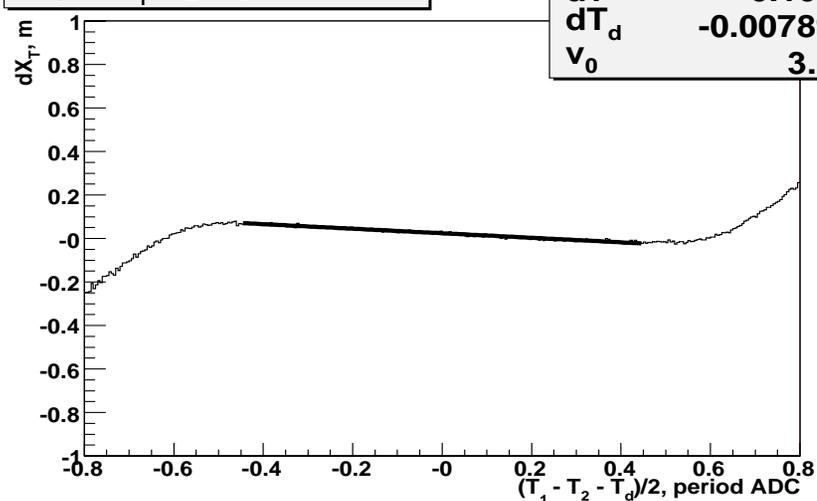
# Геометрическая эффективность определяемая триггером



LSC in plane	$L_{0.5}, m$	$L_{0.5}/L_0$	$L = X_2^b - X_1^b, m$	$L/L_0$
1, 10	4.76	0.95	4.99	0.99
2, 9	4.32	0.86	4.91	0.98
3, 8	3.94	0.79	4.82	0.96
4, 7	3.65	0.73	4.75	0.95
5, 6	3.48	0.70	4.70	0.94

## Уточнение калибровочных параметров

$dX_T$  vs  $(T_1 - T_2 - T_d)/2$  (LSC 331)



- Восстановление вертикального трека по отсчетам плоскости
- Метод малых поправок

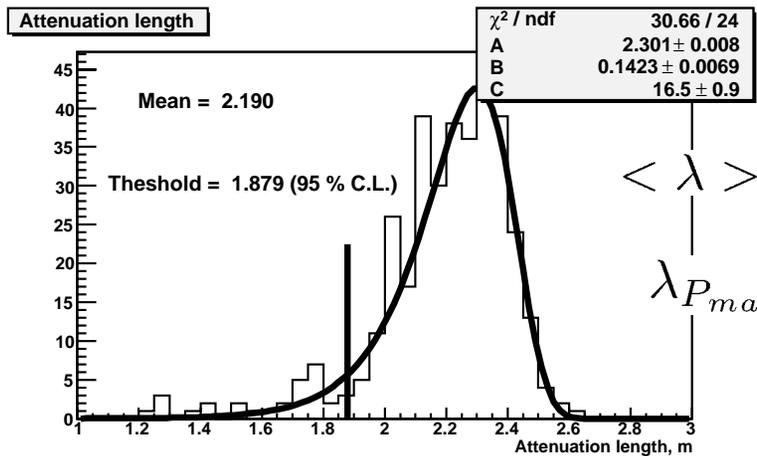
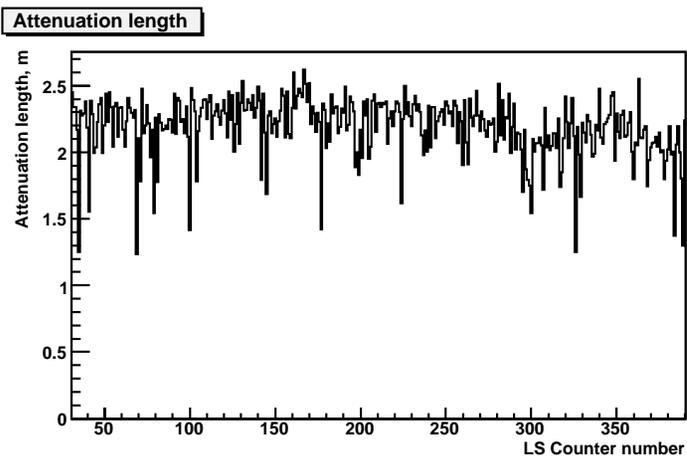
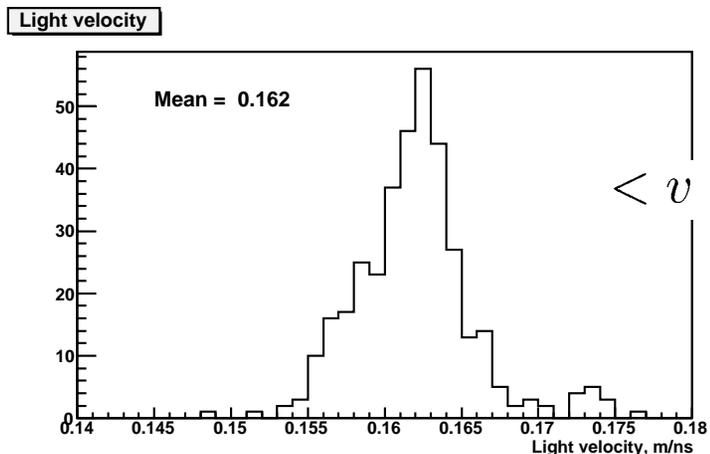
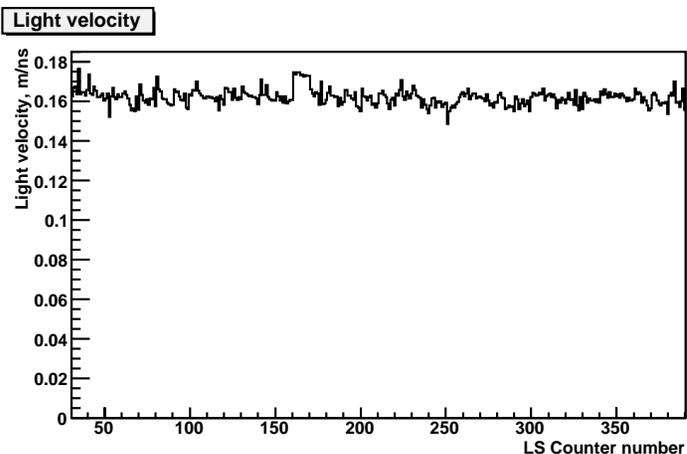
$$T_d^i = T_d^i|_0 + \Delta T_d^i \quad |\Delta T_d^i / T_d^i| \ll 1$$

$$v^i = v^i|_0 + \Delta v^i \quad |\Delta v^i / v^i| \ll 1$$

$$\Delta X_T^i|_0 = \frac{\Delta v^i \cdot (T_1 - T_2 - T_d^i|_0) - \Delta T_d^i \cdot v^i|_0}{2}$$

- 3 итерации

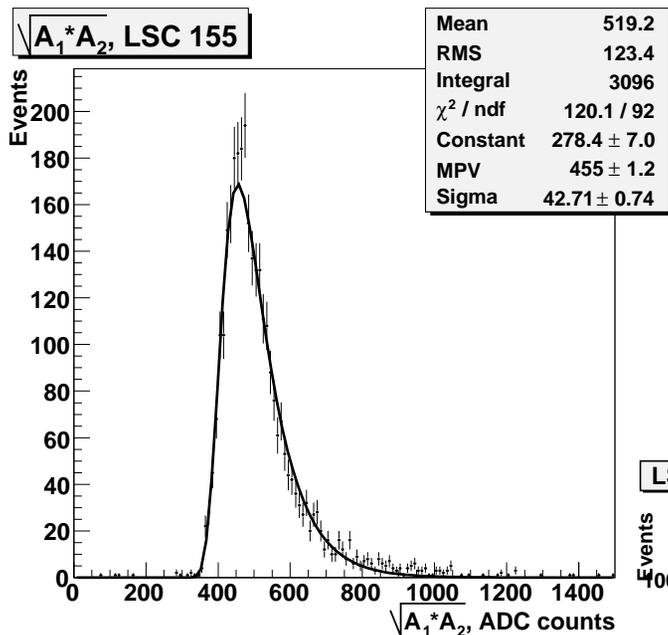
# Скорость распространения и длина затухания света



$$\lambda_{th} = 1.879 \text{ m (95 \% C.L.)} \quad 29 \text{ из } 360 \text{ ЖСС}$$

# Нормировка энергосвыделения в ЖСС

пробег в сцинт. 29.4 см - 1 мip (50 МэВ) - 460 канал АЦП



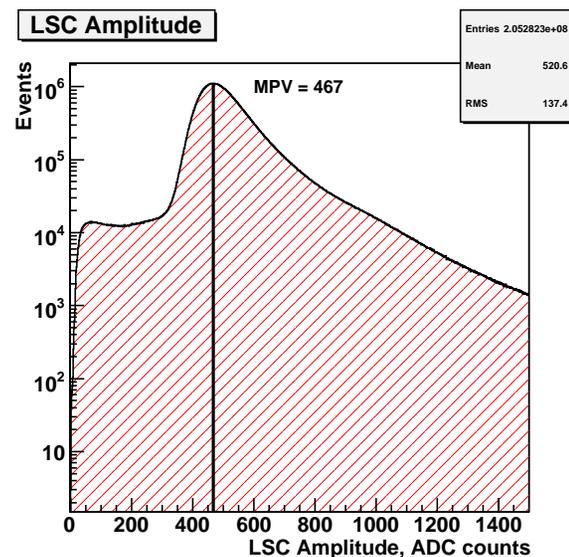
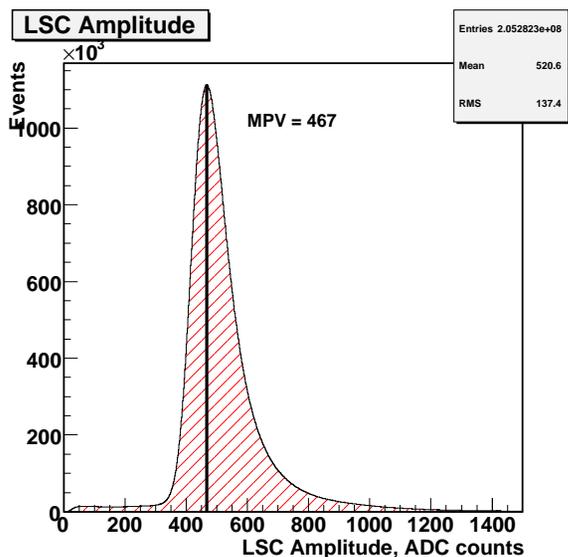
$$F(x) = A * \exp(-0.5 * (y + \exp(-y)))$$

$$y = (x - MPV) / \sigma$$

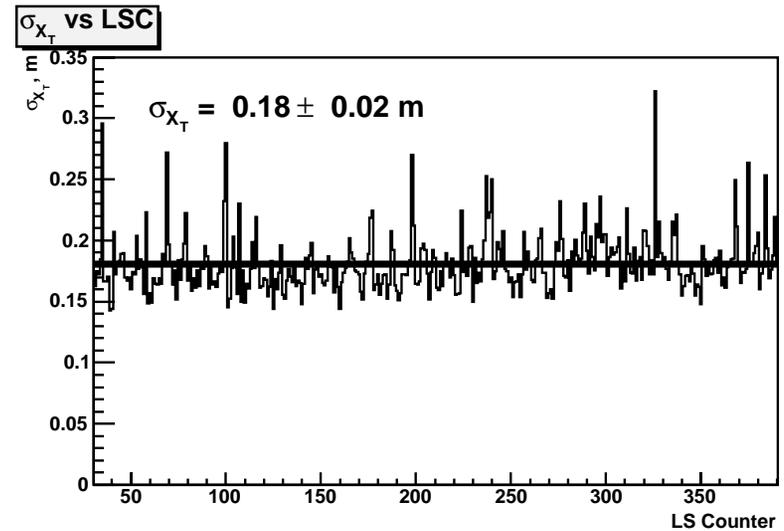
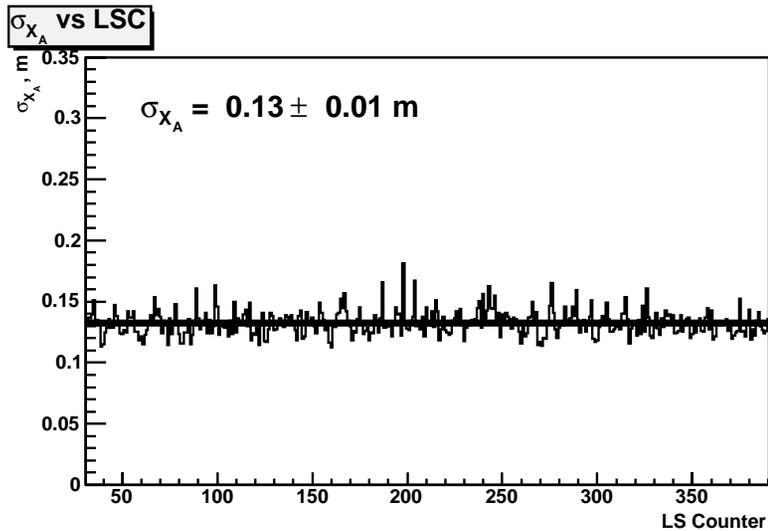
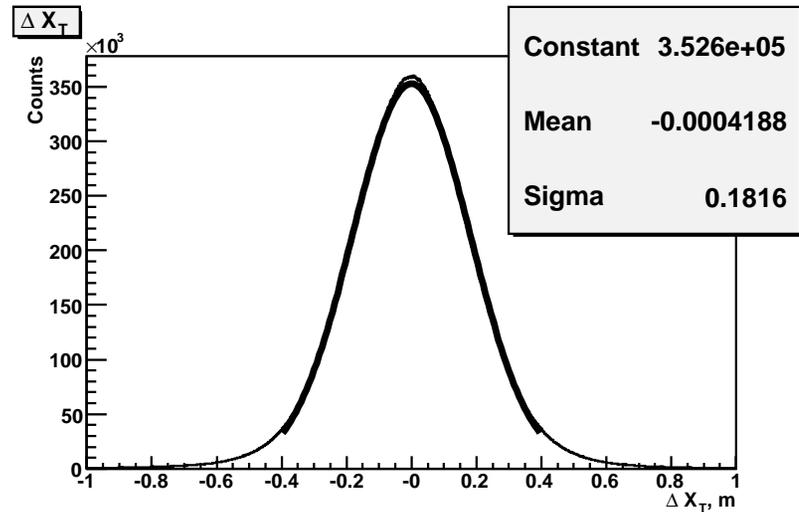
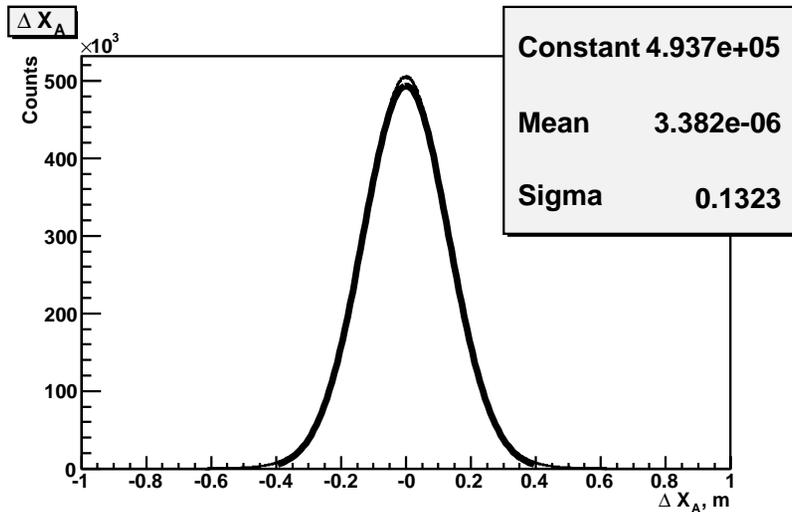
$$K = \frac{460}{MPV}$$

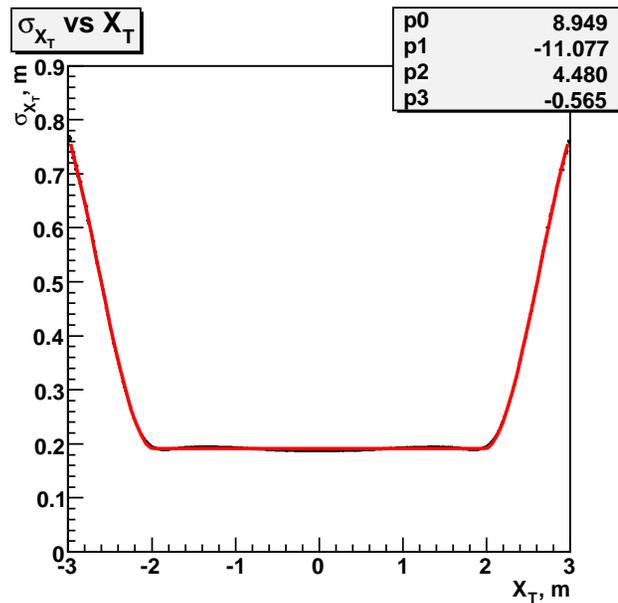
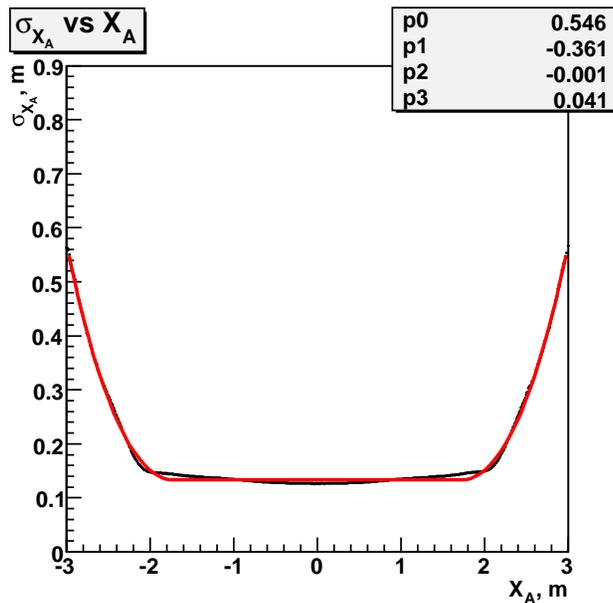
2 ч набора данных – 3000 треков/плоскость

Вся статистика  
467 канал – 1.5 %

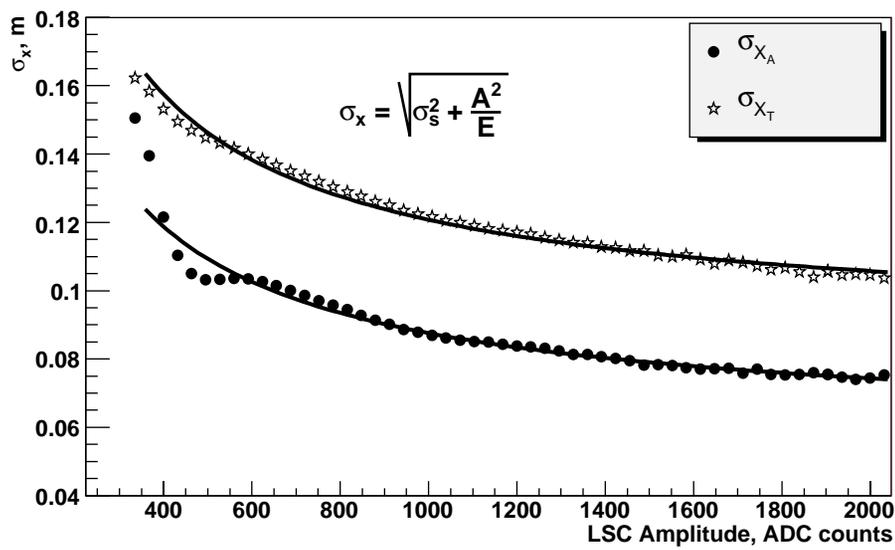


# Координатное разрешение ЖСС





**$\sigma_x$  vs LSC Amplitude**



$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_s^2 + \frac{A^2}{E}}$$

$$\sigma_s|_{X_T} = 8 \pm 4 \text{ cm}$$

$$\sigma_s|_{X_A} = 6 \pm 3 \text{ cm}$$

## <<Выравнивание>> времен срабатываний в пределах плоскости

$$T = \frac{(T_1 + T_2)}{2} - T_s \quad T_S = \frac{1}{2} \cdot (L/v + D_1 + D_2) + T_{start}$$

Время пролета между двумя последовательными плоскостями калориметра

$$(T^i - T^j) \rightarrow \Delta T_S^{ij} = T_S^i - T_S^j.$$

- определение относительных задержек сигналов в пределах одной плоскости на срабатываниях от вертикальных космических мюонов и соответствующая коррекция времен срабатываний
- определение относительных задержек сигналов от плоскости к плоскости на срабатываниях от горизонтальных мюонов, пересекающих калориметр.

- Восстановление вертикального трека
- Коррекция на время пролета до <<опорной>> точки  $Y$

$$T_{cor}^i = T^i - \frac{(Y^i - Y)}{v_{\mu} \cdot \sin \alpha}$$

- <<опорная>> точка  $Y$  – центр плоскости

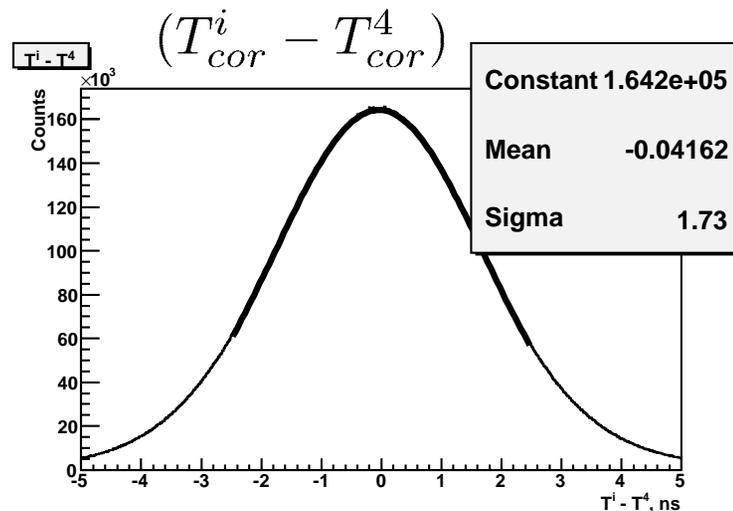
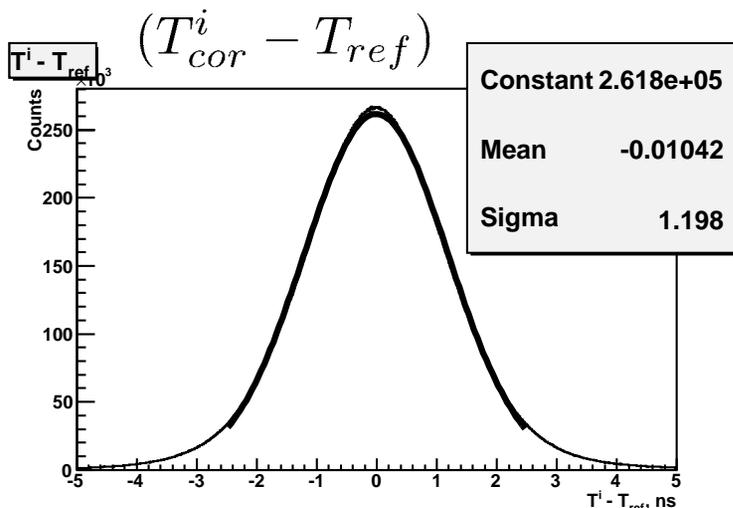
$$\Delta T_S^i = T_{cor}^i - T_{ref}, \quad T_{ref} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_{cor}^i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T^i.$$

$\overline{\Delta T_S^i}$  - усреднение по всем срабатываниям

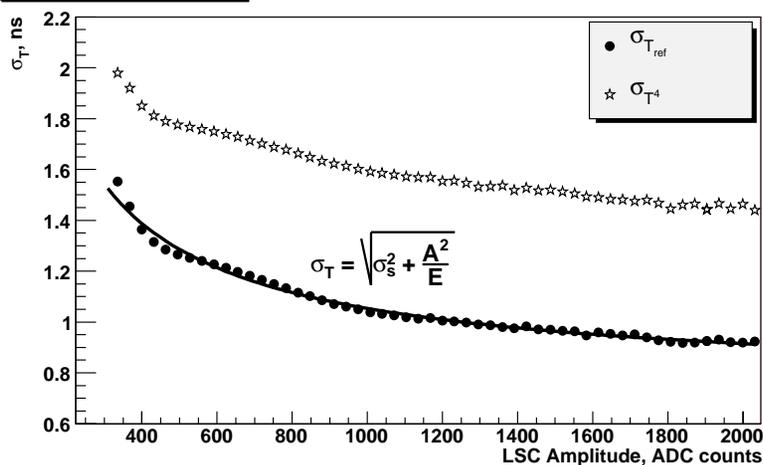
$T^i = \frac{(T_1^i + T_2^i)}{2} - \overline{\Delta T_S^i}$  - время срабатывания ЖСС, выровненное в пределах плоскости

# Временное разрешение ЖСС

- <<Грубая>> оценка ( $E > 2 \text{ mip}$ )  $\sigma_T = \sigma_{X_T}/v \simeq 16(\text{cm})/16(\text{cm/ns}) \simeq 1 \text{ ns}$



$\sigma_T$  vs LSC Amplitude

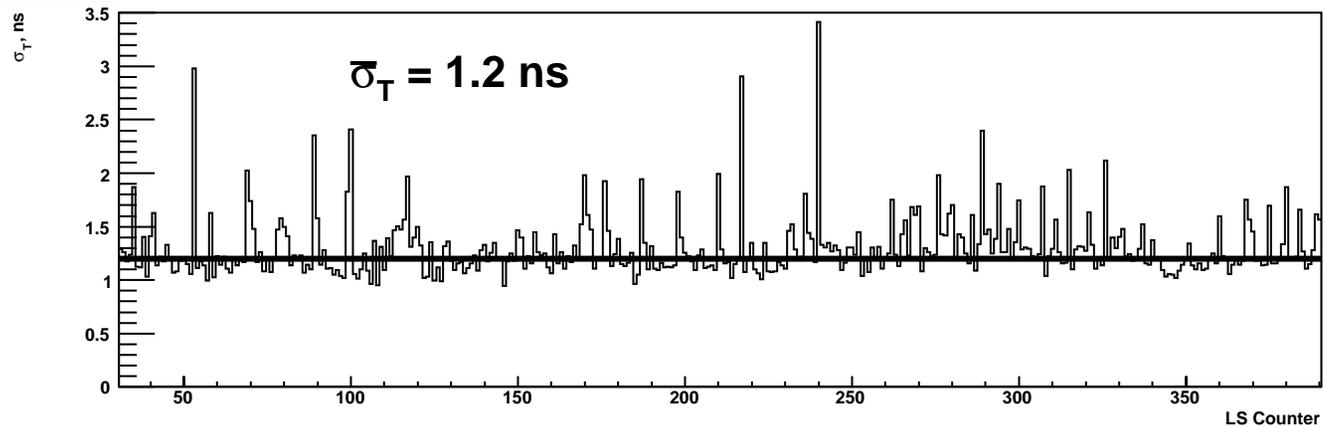


$$\sigma_{T^4}^i = \sqrt{(\sigma^i)^2 + (\sigma^4)^2} \simeq \sqrt{2}\sigma^i$$

$$\sigma_T < 1 \text{ ns} \quad (E > 2.5 \text{ mip})$$

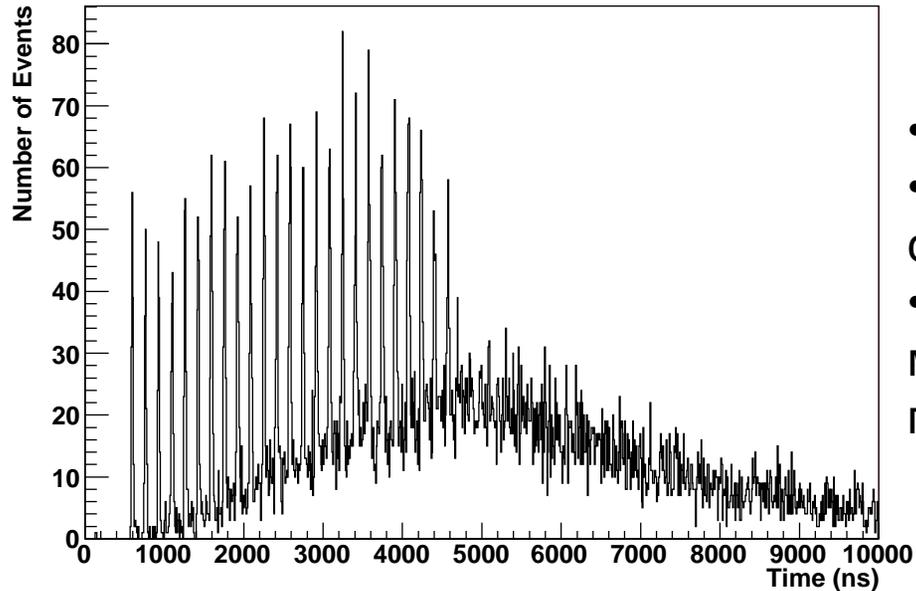
$$\sigma_S = 0.75 \text{ ns}$$

$\sigma_T$  vs LSC



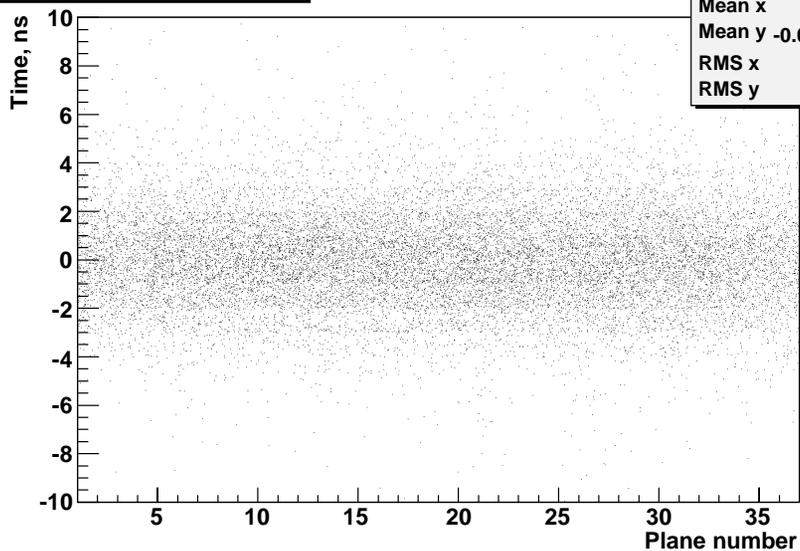
<<Выравнивание>> времен срабатываний плоскостей

Beam time structure

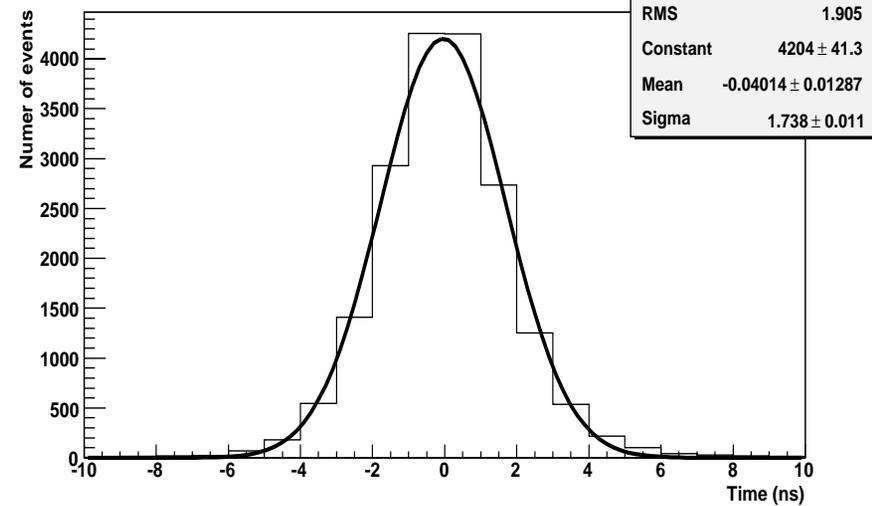


- <<рабочая информация>>
- <<одновременная>> регистрация сигнала банчей в во всех плоскостях
- уточнение – на длинных треках мюонов с учетом угла и направления пролета

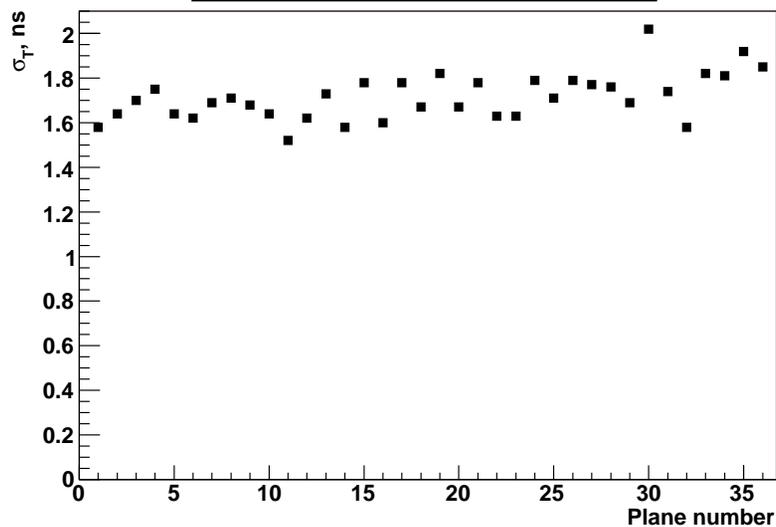
Time vs Plane Number



Time resolution



Time resolution vs plane number



$$\bar{\sigma}_T \simeq 1.74 \text{ ns}$$

$$\sigma_T = 1.5 - 2 \text{ ns}$$

# Заключение

- Разработаны алгоритмы восстановления отсчетов в ЖСС (ФЭУ) калориметра
- Определены калибровочные параметры ЖСС, необходимые для оценки продольной координаты и времени прохождения частицы ч/з ЖСС и нормировки энерговыведения на сигнал от  $mip$
- Проведена оценка координатного и временного разрешения ЖСС (для пробега 29.4 см и косм. мюонов)

$$\bar{\sigma}_{X_T} = 18 \text{ см} \quad \bar{\sigma}_{X_A} = 13 \text{ см}$$

$$\sigma_T < 1 \text{ ns} \quad (E > 2.5 \text{ mip})$$

- Временное разрешение плоскости  $\bar{\sigma}_T \simeq 1.74 \text{ ns}$