

«Третьи Черенковские чтения»

ФИАН, 6 апреля 2010 г.

**Современный статус  
черенковского водного детектора  
НЕВОД**

Хохлов С.С. от коллектива

Научно-образовательного центра НЕВОД

Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

# План доклада

1. Введение.
2. ЧВД НЕВОД и некоторые результаты.
3. Координатно-трековый детектор ДЕКОР и некоторые результаты.
4. Новые задачи и модернизация.
5. Заключение.

# Введение

НЕВОД – **Н**ейтринный **В**одный **Д**етектор создавался для регистрации нейтрино космических лучей на поверхности Земли в условиях очень высокого фона атмосферных мюонов ( $N_{\nu \rightarrow \mu} / N_{\text{фон}} \sim 10^{-10}$ ). Эта задача была решена.

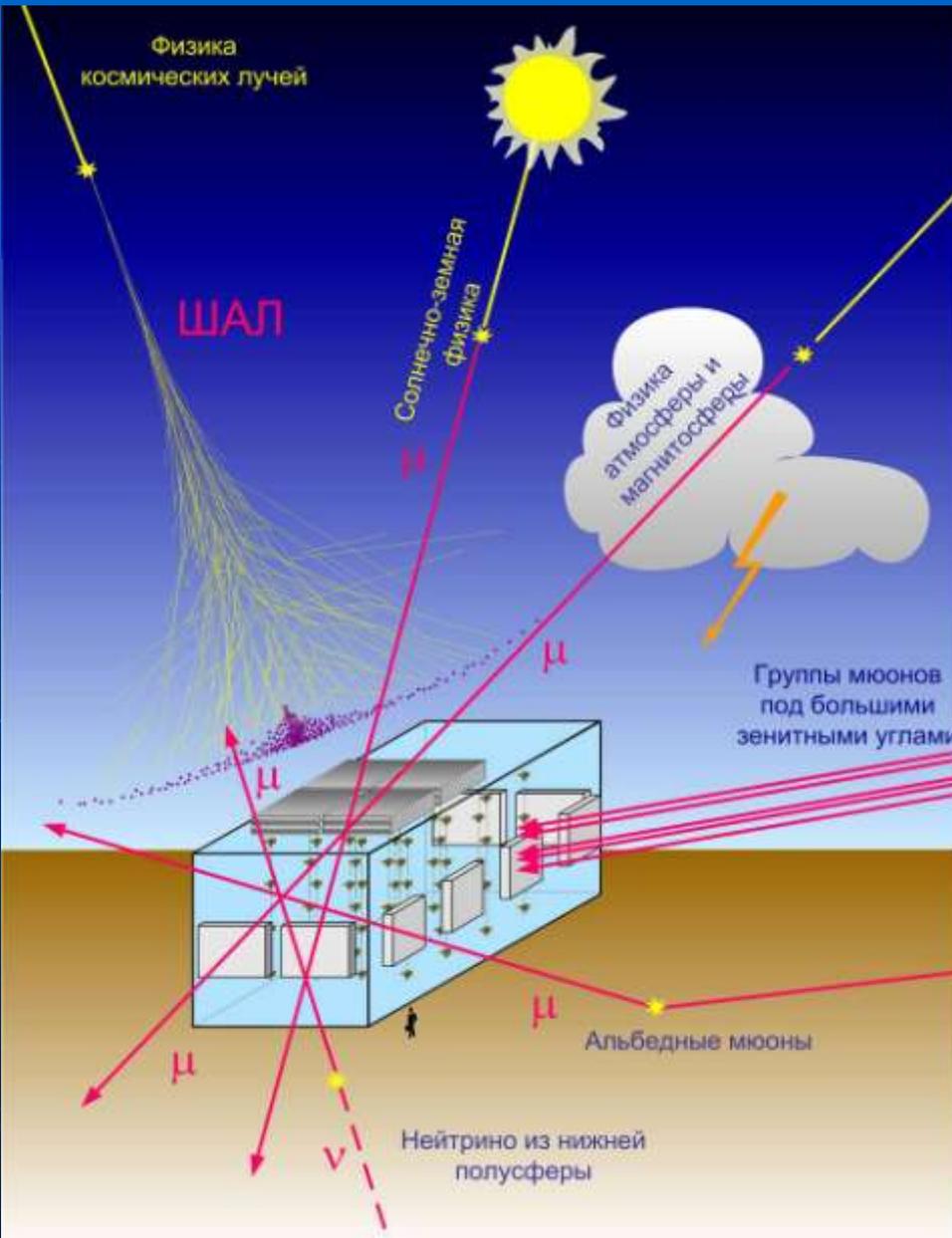
Черенковский водный детектор (ЧВД) на поверхности Земли может решать широкий спектр задач физики космических лучей и солнечно-земной физики, особенно после того, как он был дополнен координатно-трековым детектором ДЕКОР.

# Основные направления исследований

Физика космических лучей:

- атмосферные нейтрино;
- атмосферные мюоны;
- группы мюонов;
- альбедные мюоны;
- вариации потока мюонов, обусловленные процессами в атмосфере, магнитосфере и гелиосфере.

Решение этого комплекса задач стало возможным после разработки квазисферического модуля, регистрирующего черенковское излучение со всех направлений с одинаковой эффективностью.



# Принцип квазисферичности оптических модулей

## Отклик ФЭУ

$$A_i = \frac{N_\gamma \cdot S \cdot \cos \alpha_i}{r \cdot \sin \theta_C} \cdot \exp(-r / (l_{\text{eff}} \cdot \sin \theta_C))$$

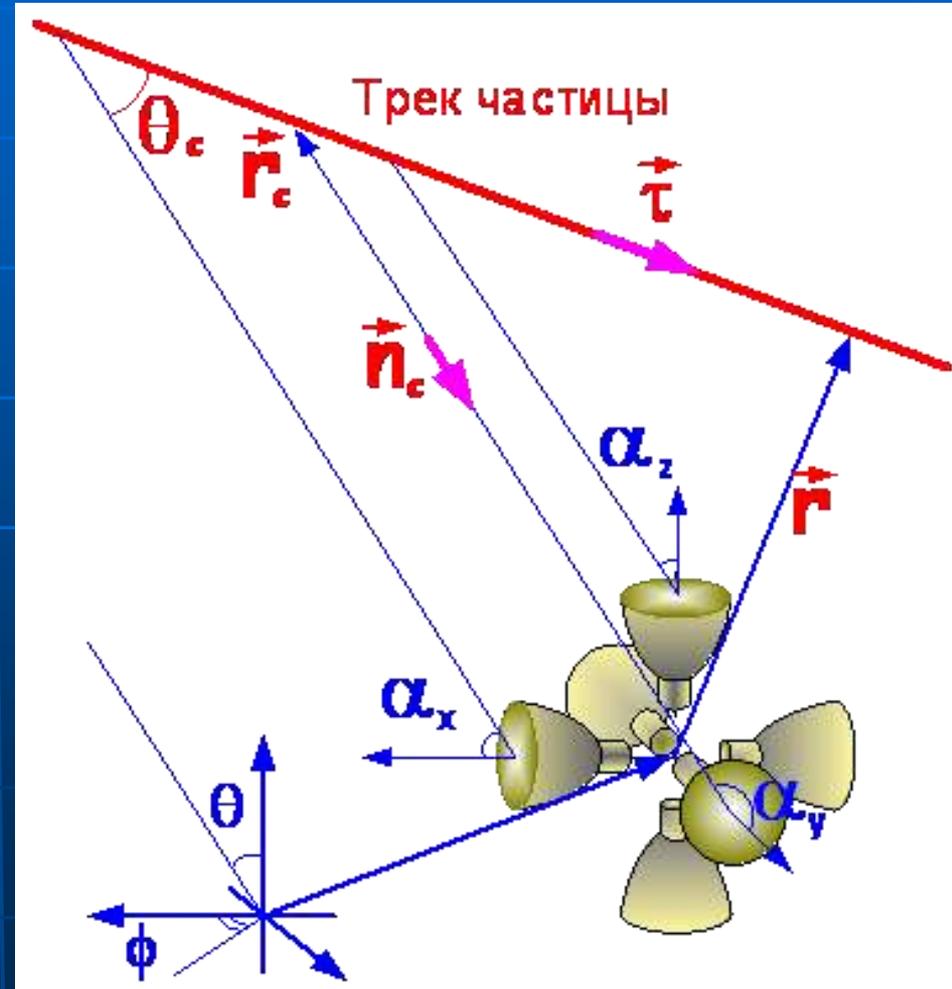
$$i = x, y, z$$

## Отклик модуля

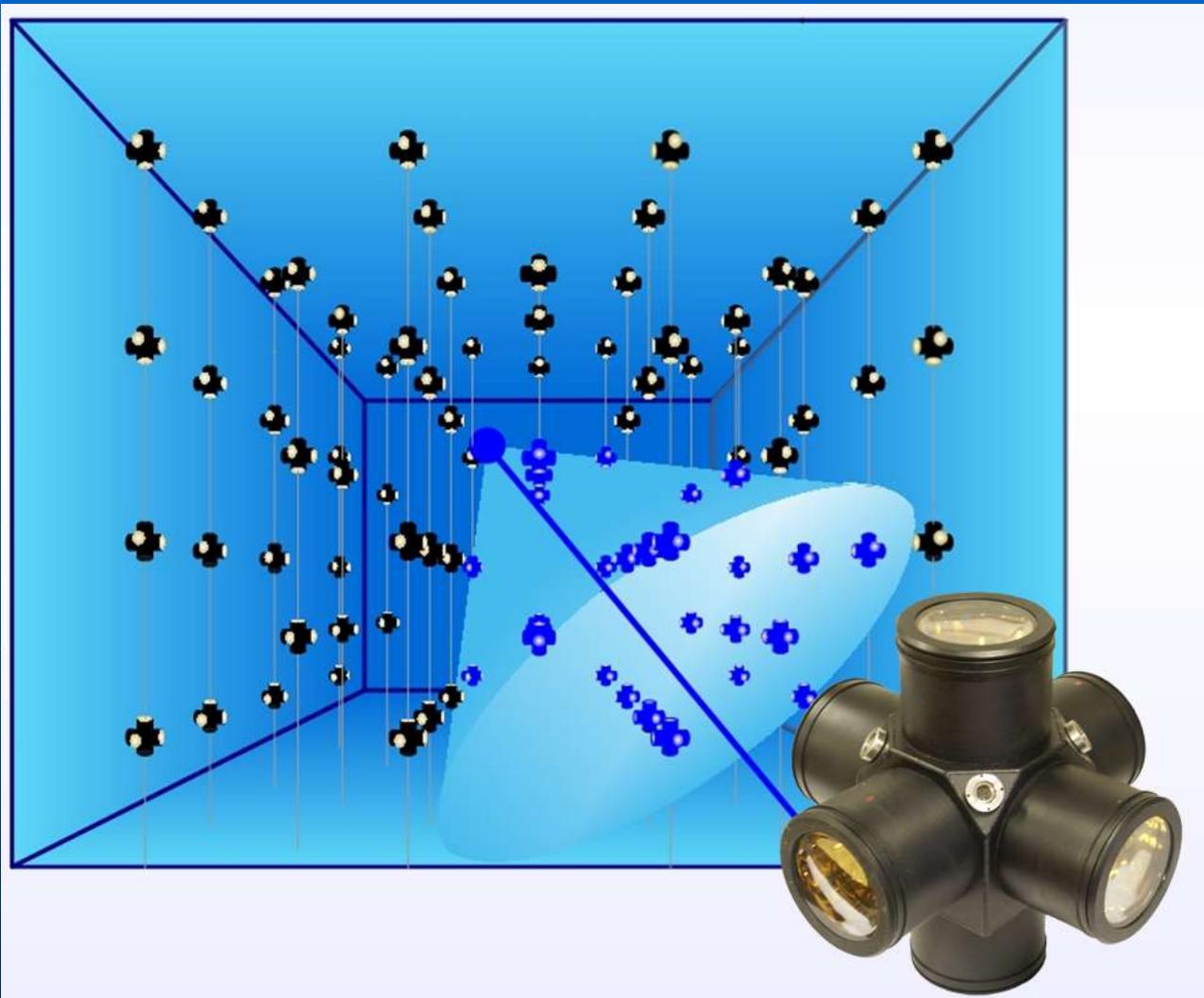
$$B = \sqrt{\sum_i A_i^2} = \sqrt{(\cos^2 \alpha_x + \cos^2 \alpha_y + \cos^2 \alpha_z)} \times \\ \times \frac{N_\gamma \cdot S}{r \cdot \sin \theta_C} \cdot \exp(-r / (l_{\text{eff}} \cdot \sin \theta_C))$$

## Направление черенковского излучения

$$\cos \alpha_i = \frac{A_i}{B}$$

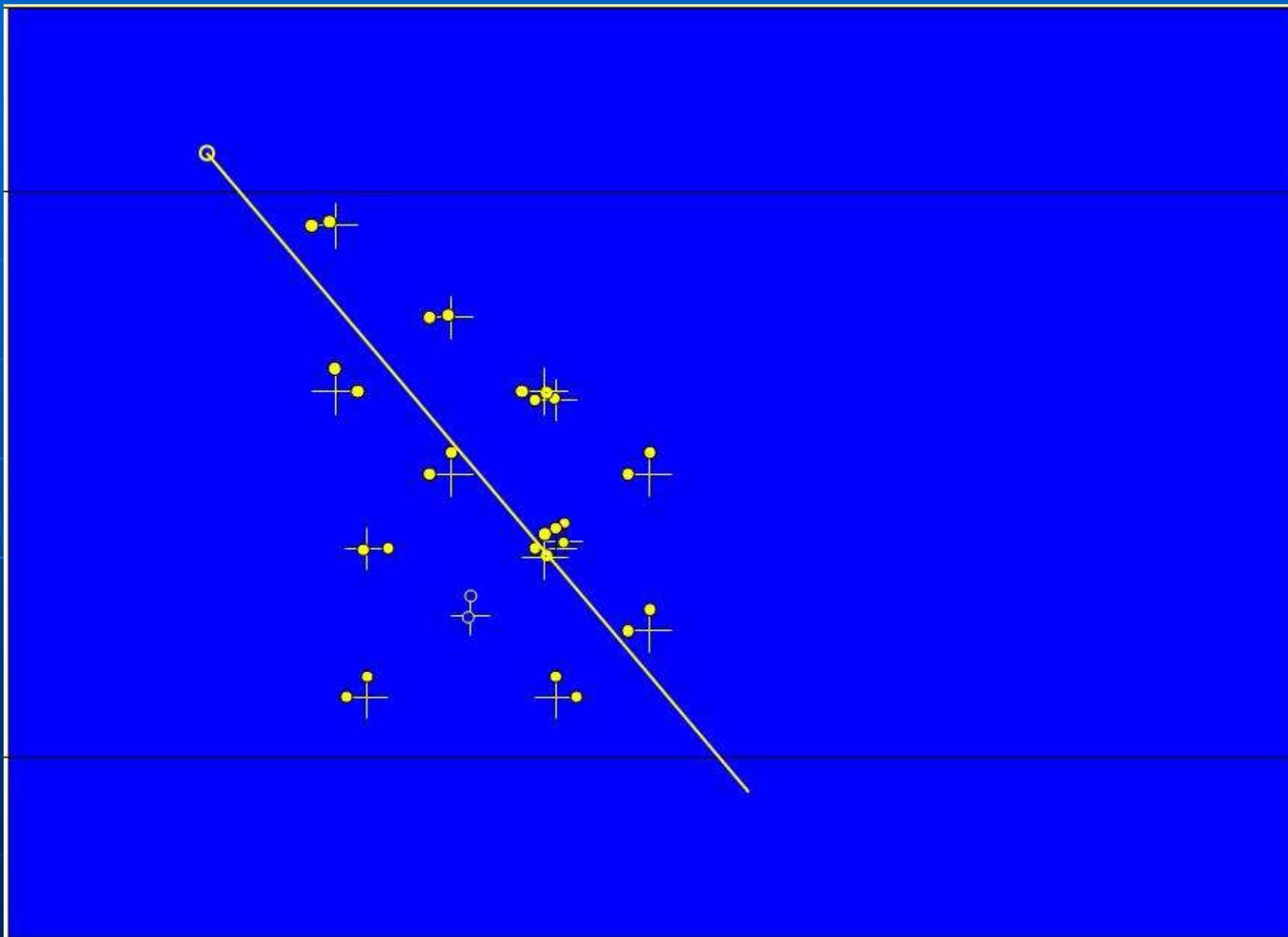


# Черенковский водный детектор НЕВОД

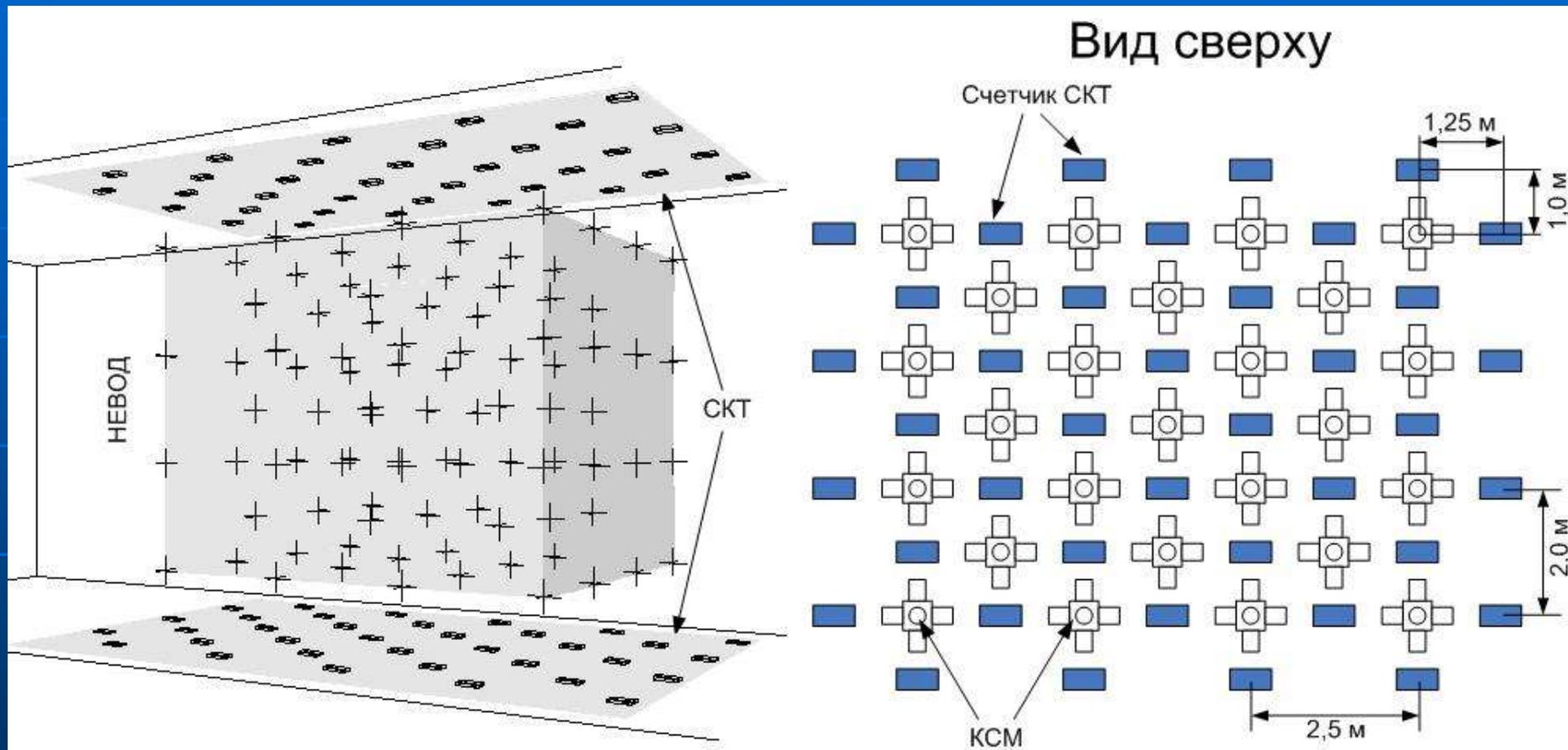


- Объем  $2000 \text{ м}^3$  ( $26 \times 9 \times 9 \text{ м}^3$ ).
- Пространственная решетка формируется из гирлянд по 3 или 4 КСМ.
- Всего в водном объеме может быть размещено до 50 гирлянд.

# Пример регистрации одиночного мюона

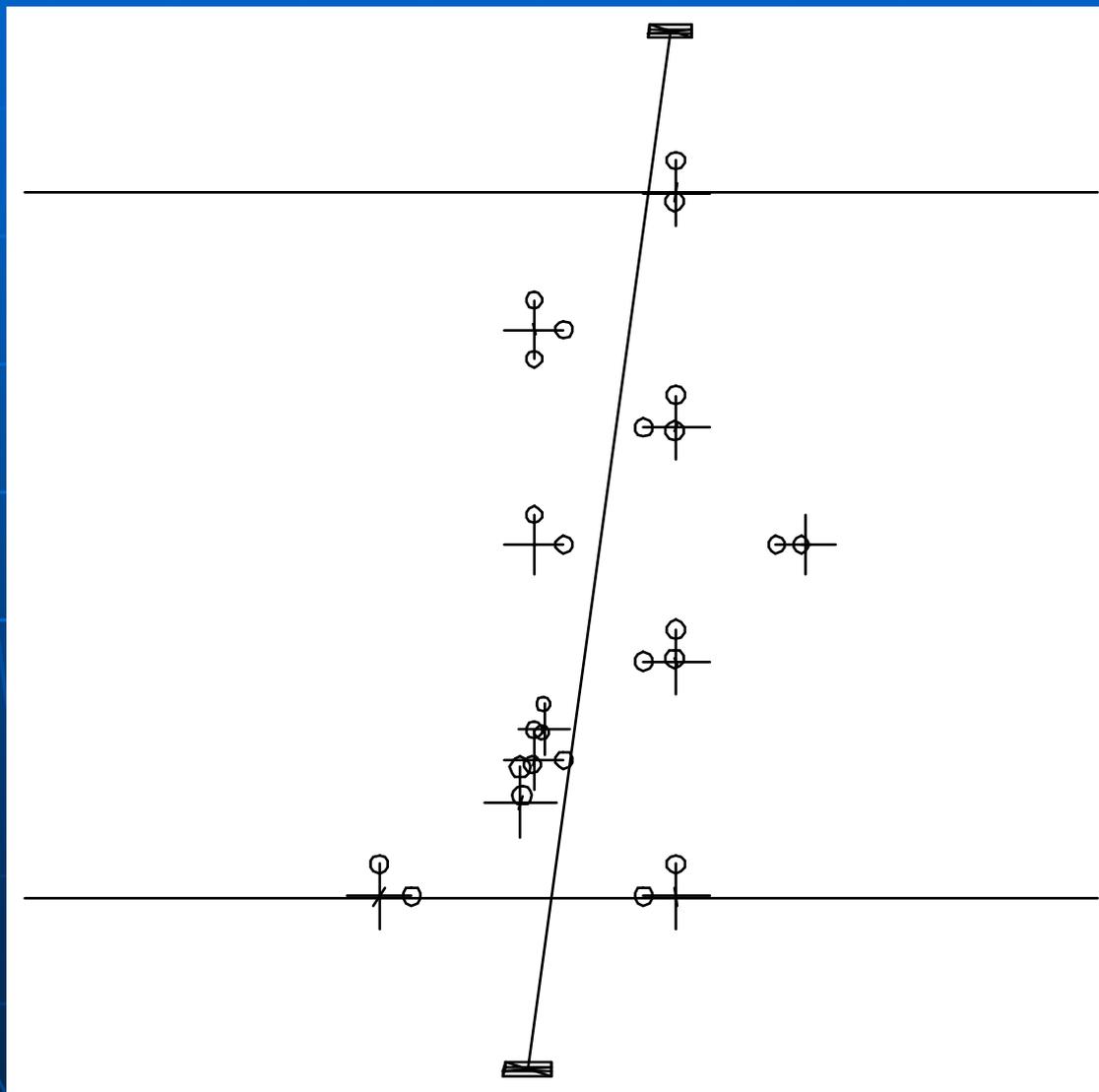


# Система калибровочных телескопов



- 2 плоскости x 40 сцинтилляционных счетчиков.
- Размер счетчика  $20 \times 40 \times 1 \text{ см}^3$ .
- Точность выделения трека  $< 2^\circ$ .

# Пример телескопного события



# Регистрация нейтрино в НЕВОДе

$p$  – вероятность правильного определения направления одним КСМ;

$q$  – вероятность неправильного определения направления одним КСМ.

По результатам регистрации телескопных событий (мюонов) был определен фактор режекции одного КСМ:

$$f = (p/q) \approx 20.$$

Необходимый фактор подавления  $F \approx 10^{10}$ .

$$F = f^{\Delta} \quad \Rightarrow \quad \Delta \geq 8 \text{ КСМ}$$

# Примеры мюонных событий в ЧВД

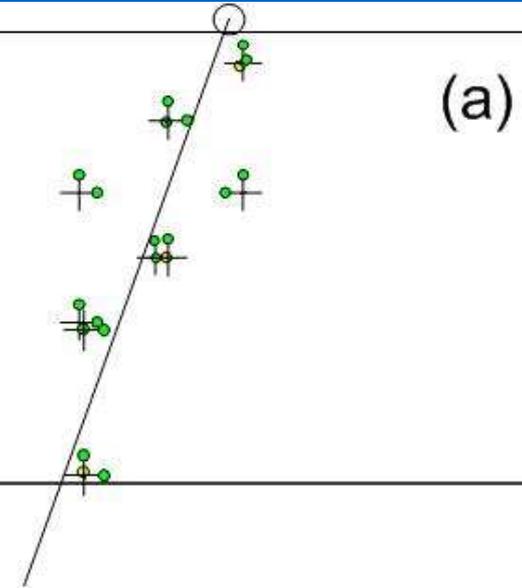
Мюон сверху

$$N_0 = 9$$

$$N_d = 0$$

$$\Delta N_Z = 8$$

$$\theta = 26^\circ$$



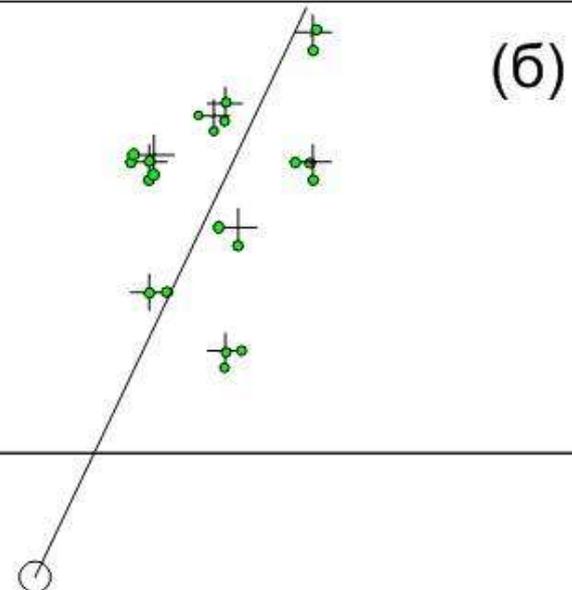
Мюон снизу

$$N_0 = 9$$

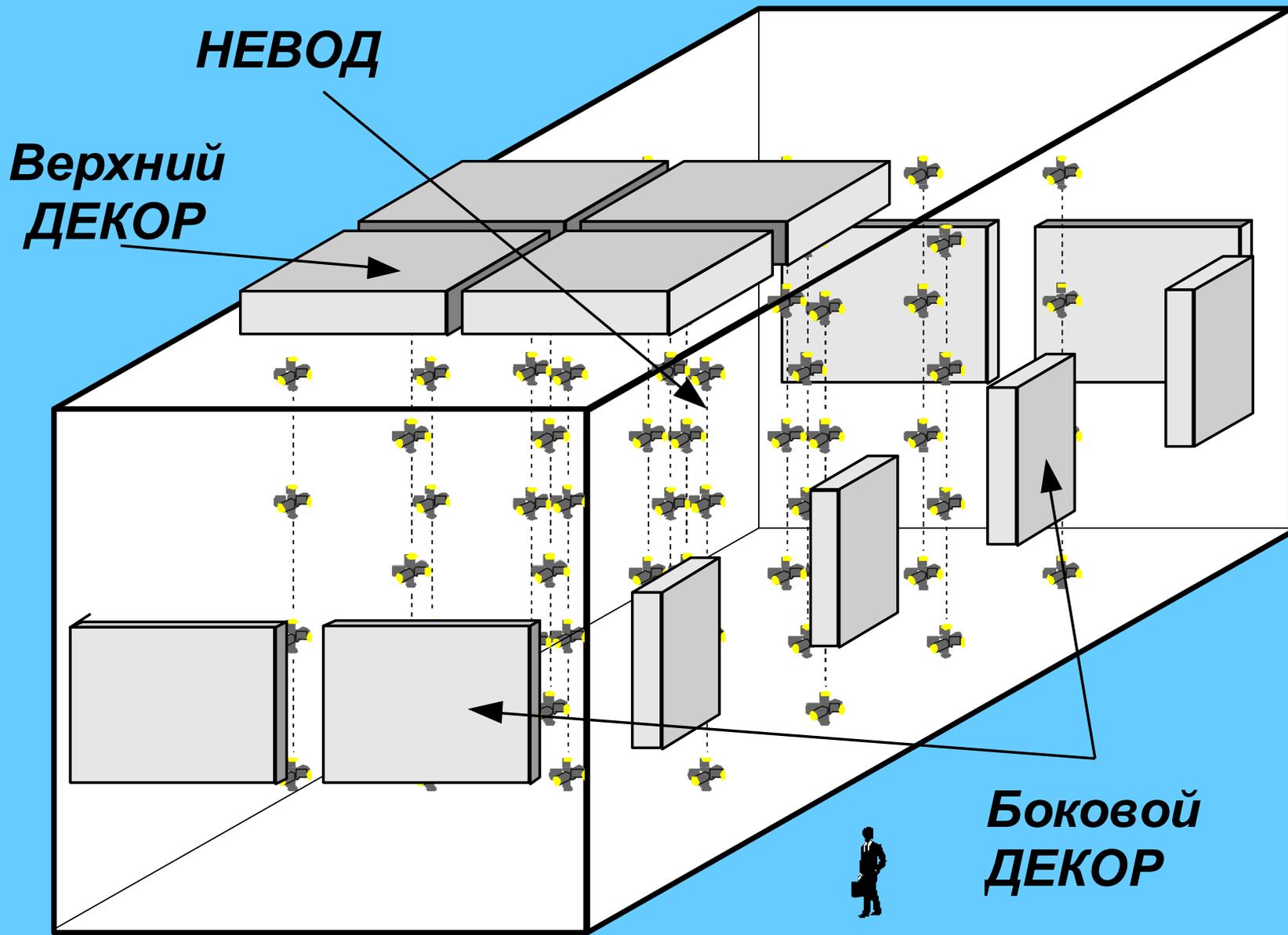
$$N_u = 0$$

$$\Delta N_Z = -8$$

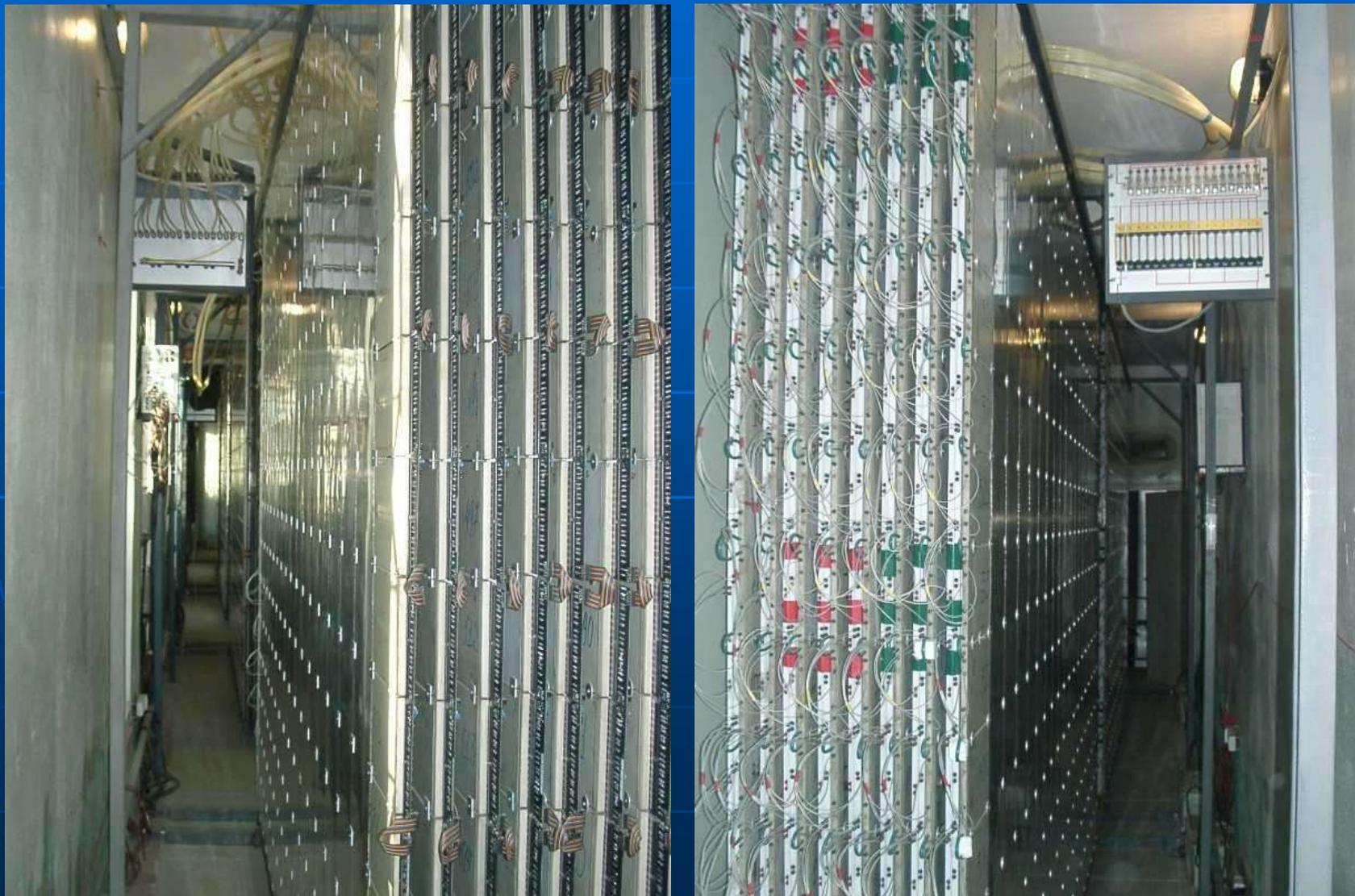
$$\theta = 141^\circ$$



# Экспериментальный комплекс НЕВОД-ДЕКОР

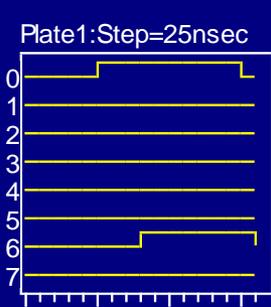
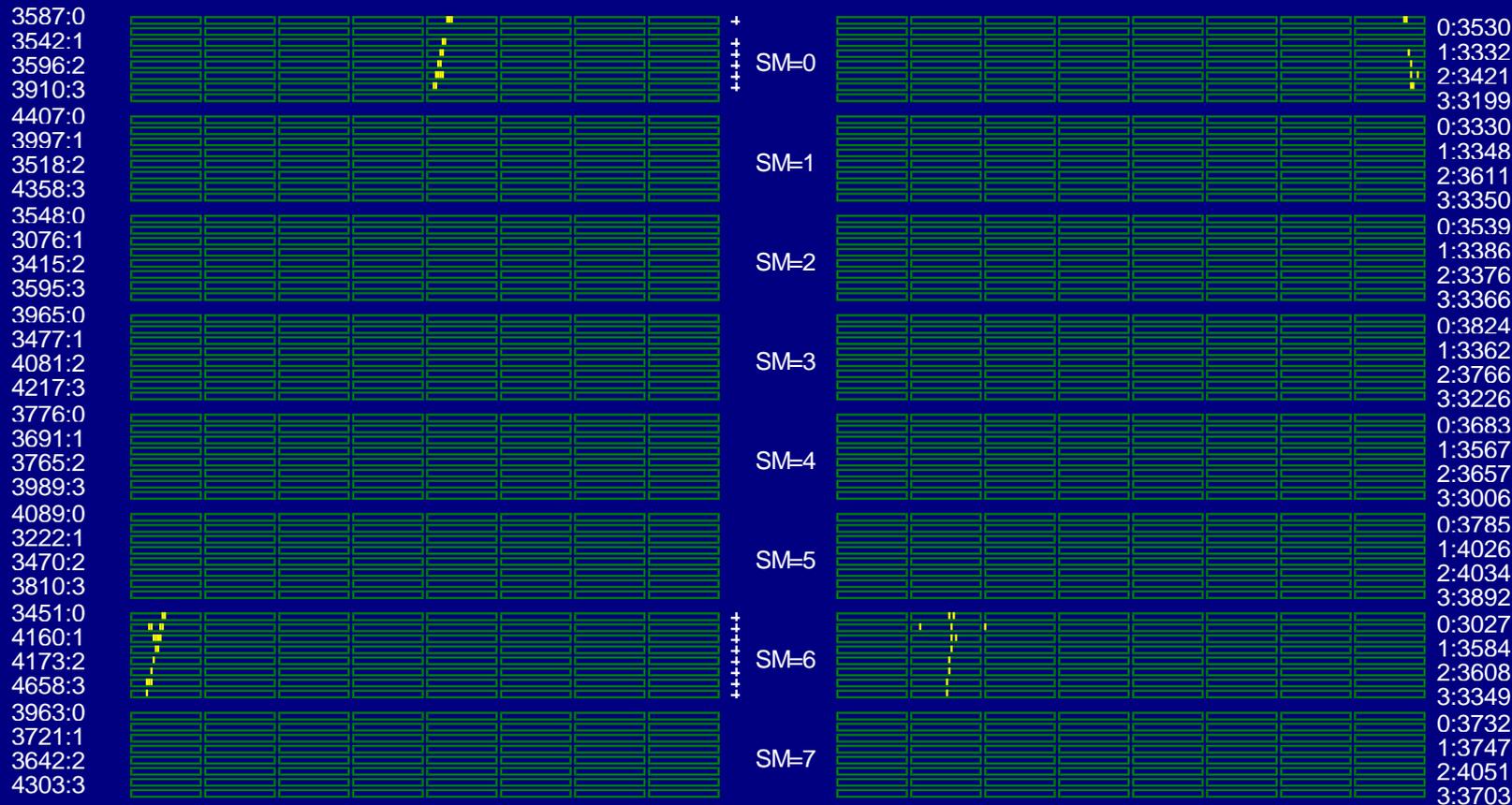


# Боковой координатно-трековый детектор ДЕКОР



# Регистрация мюонов координатно-трековым детектором

Run 48 --- Event 2566 ----18-01-2002 17:34:16.19 Trigger(1-16):00101001 00000000 Weit\_Time:78.078 msec

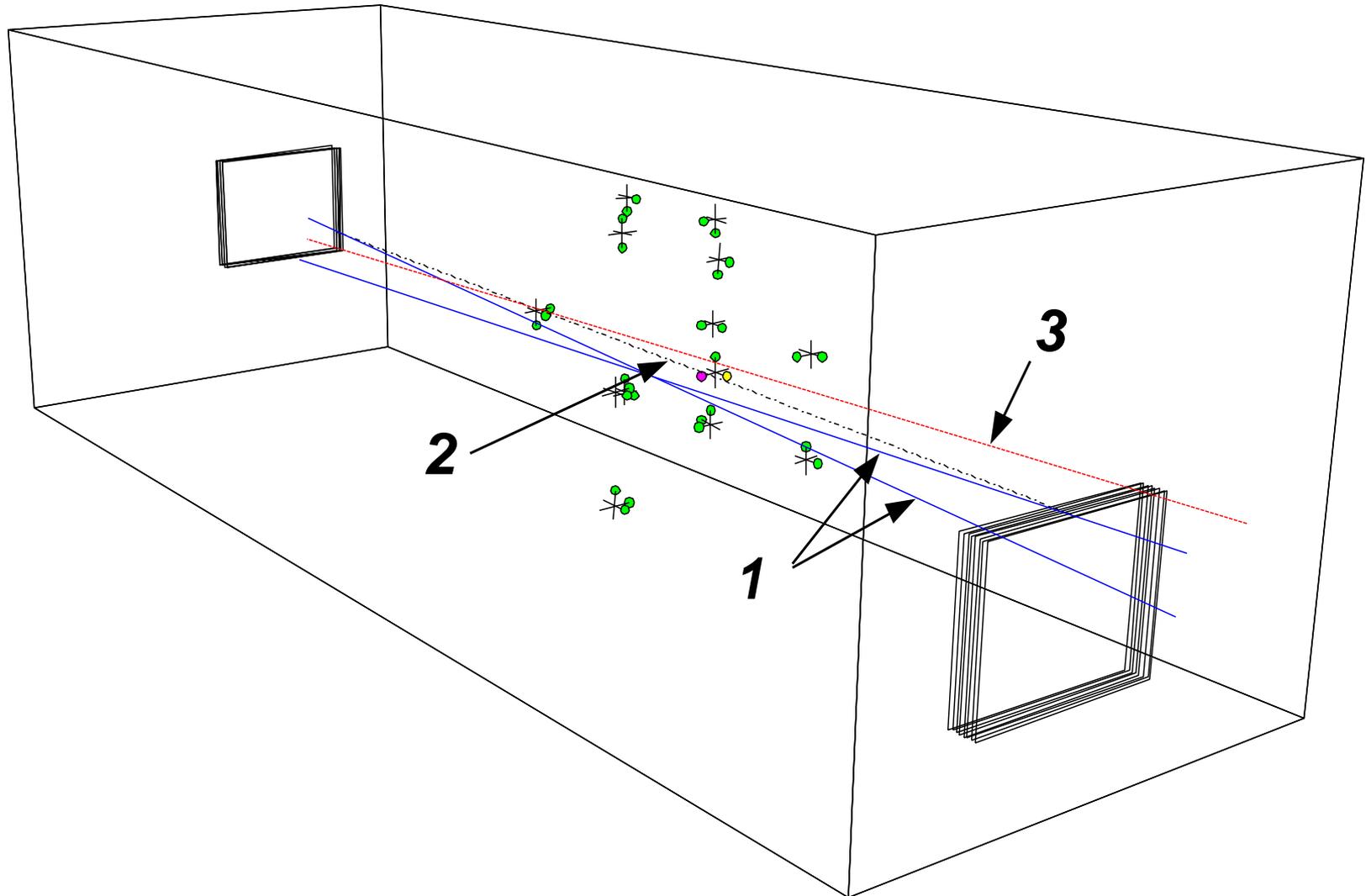


Y-проекция  
(азимутальный угол)

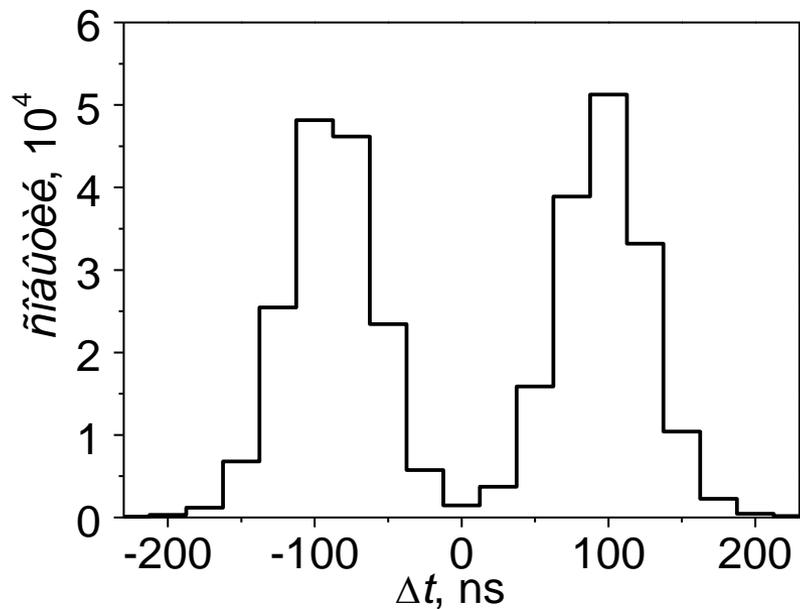
X-проекция  
(зенитный угол)

# Одиночный окологоризонтальный мюон

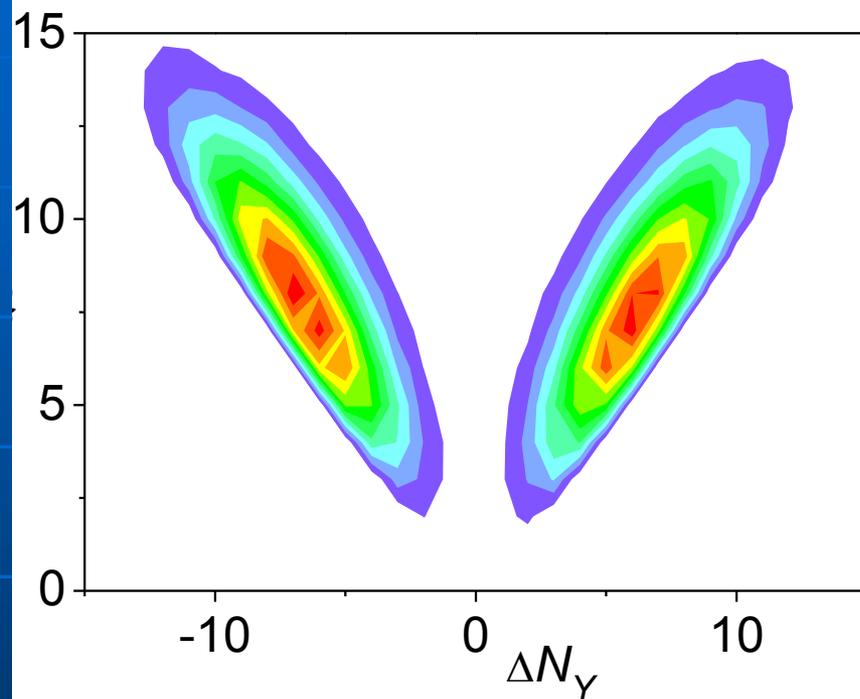
Date=18-01-02 17:34:16.019 Nevent=2566 fm=258.3 tm=85.8



# Отбор альбедных мюонов

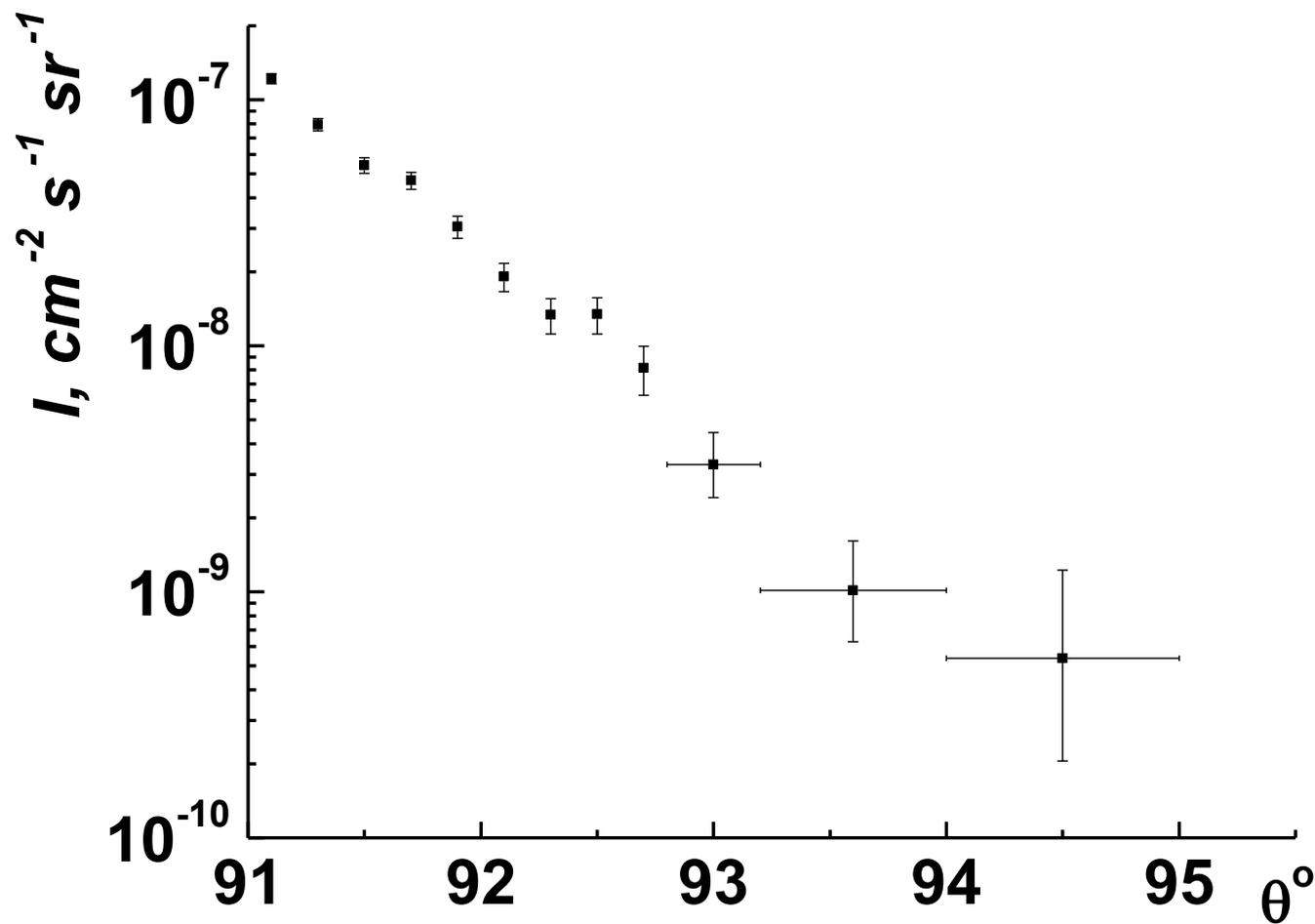


Времяпролетные данные  
ДЕКОР



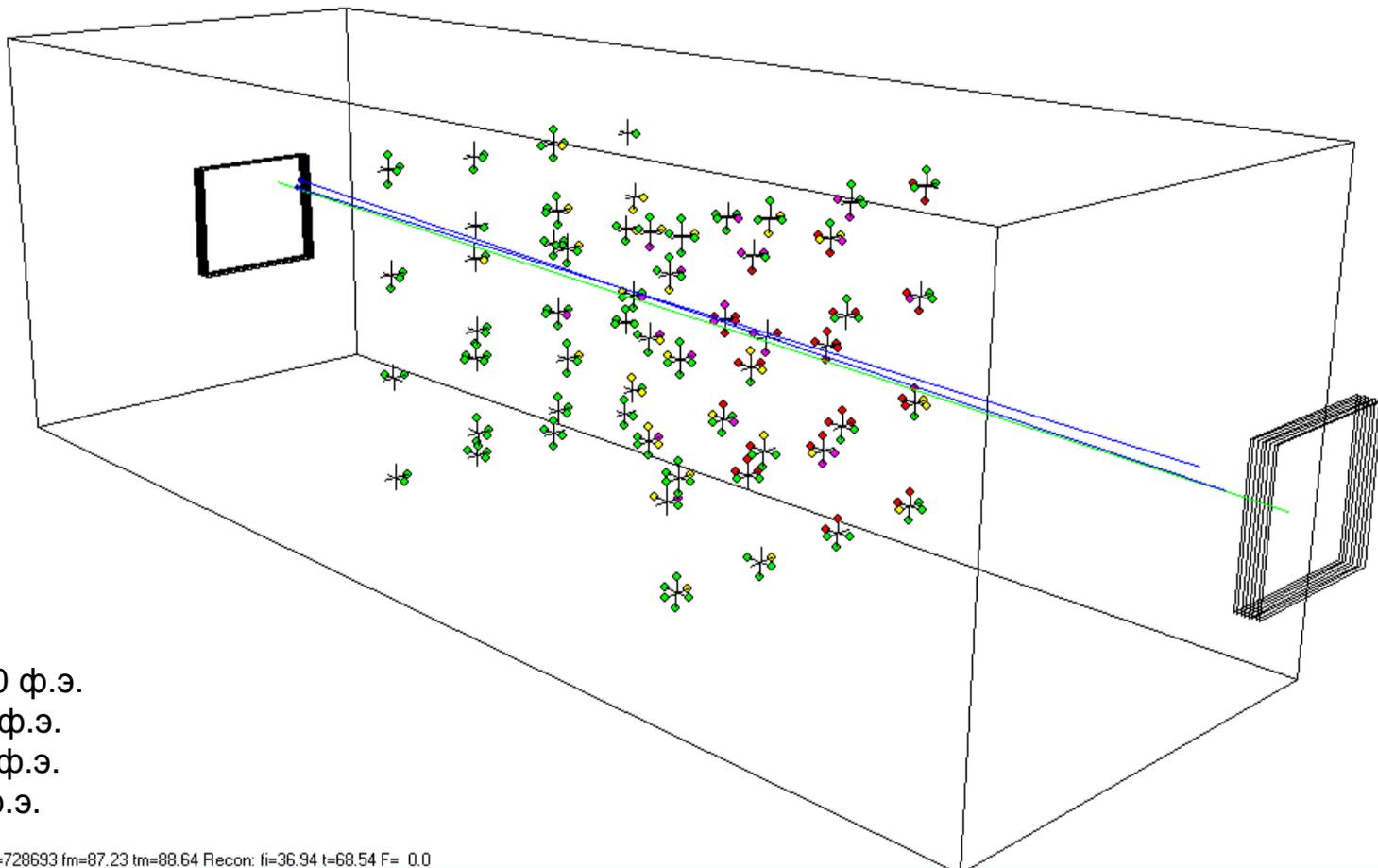
Отклик КСМ НЕВОД

# Интенсивность потока альбедных мюонов

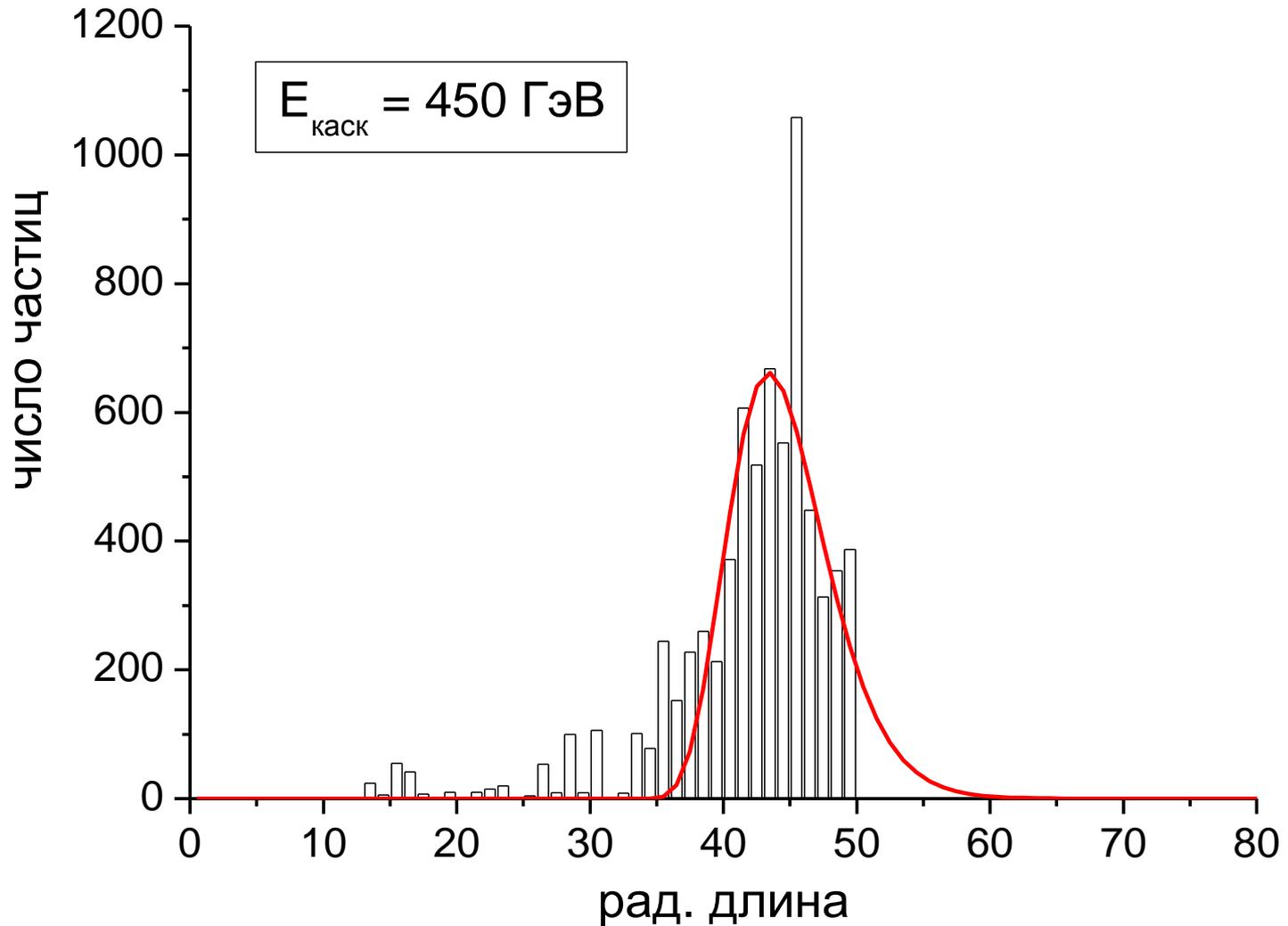


# Пример каскадного ливня

Nlam=56,N5=43,N6=35,NR1=52,NR2=32,Sum1=0 ,Sum2=0 ,Sob=00000001,00000000  
N1=40,N3=51 nCup= 0 SumAmp=3.72e+04 00100100,00010000 NTrack=2  
N2=46,N4=24 nCdown= 0 NPMT=239 ETel= 51.5% ERec= 43.5%



# Каскадная кривая события

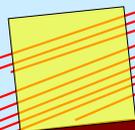


# Новый метод исследования ШАЛ

$$E = 10^{17} \text{ eV}$$

$$N_{\mu} = 9$$

$\mu$



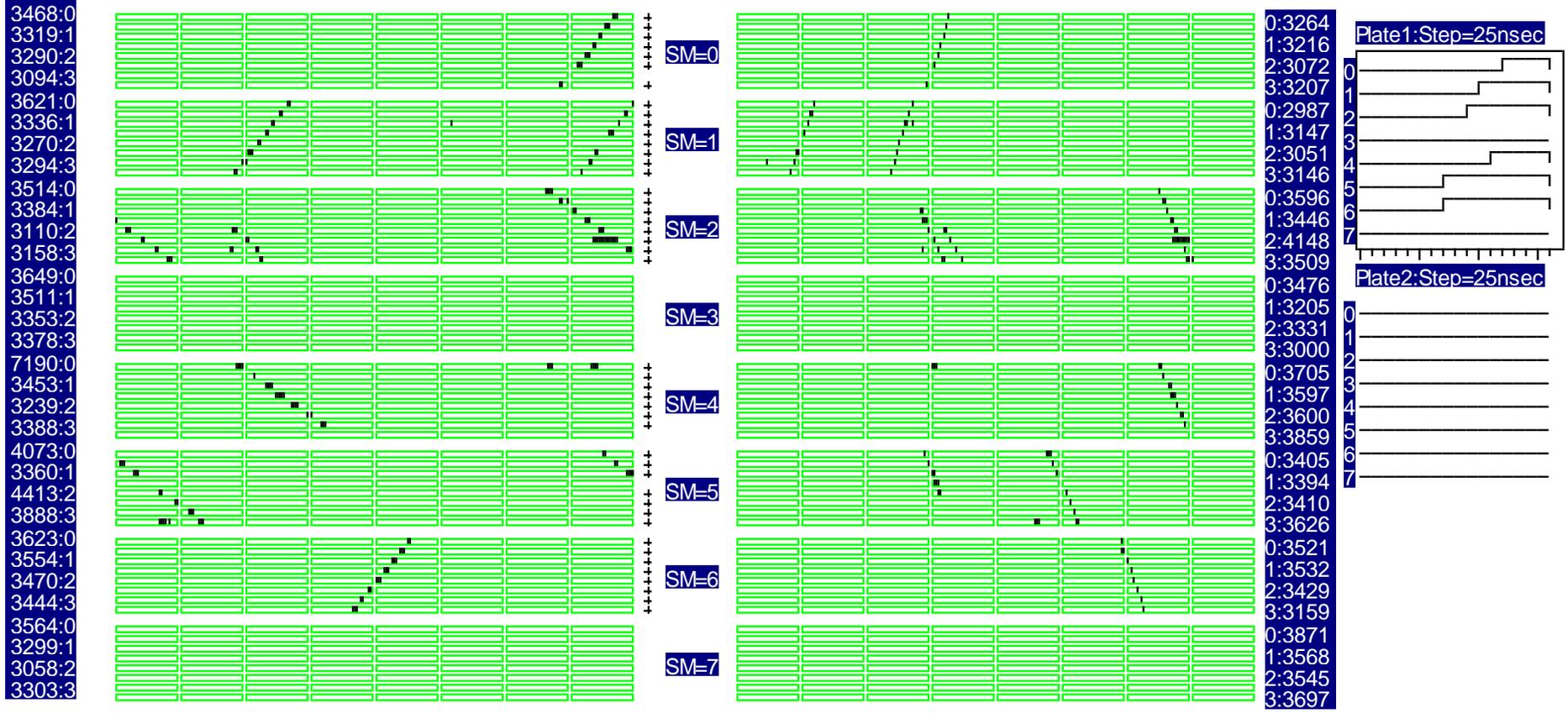
$h, e, \gamma, \mu$

$$S_{\text{eff}} \sim 10 \div 50 \text{ m}^2$$

$$D = \langle m \rangle / S_{\text{eff}}$$

# Группа мюонов из 8 штук

Run 8 --- Event 219242 ----06-12-2004 23:25:26.27 Trigger(1-16):01110100 00000000 Weit Time:109.072 msec



Y-проекция  
(азимутальный угол)

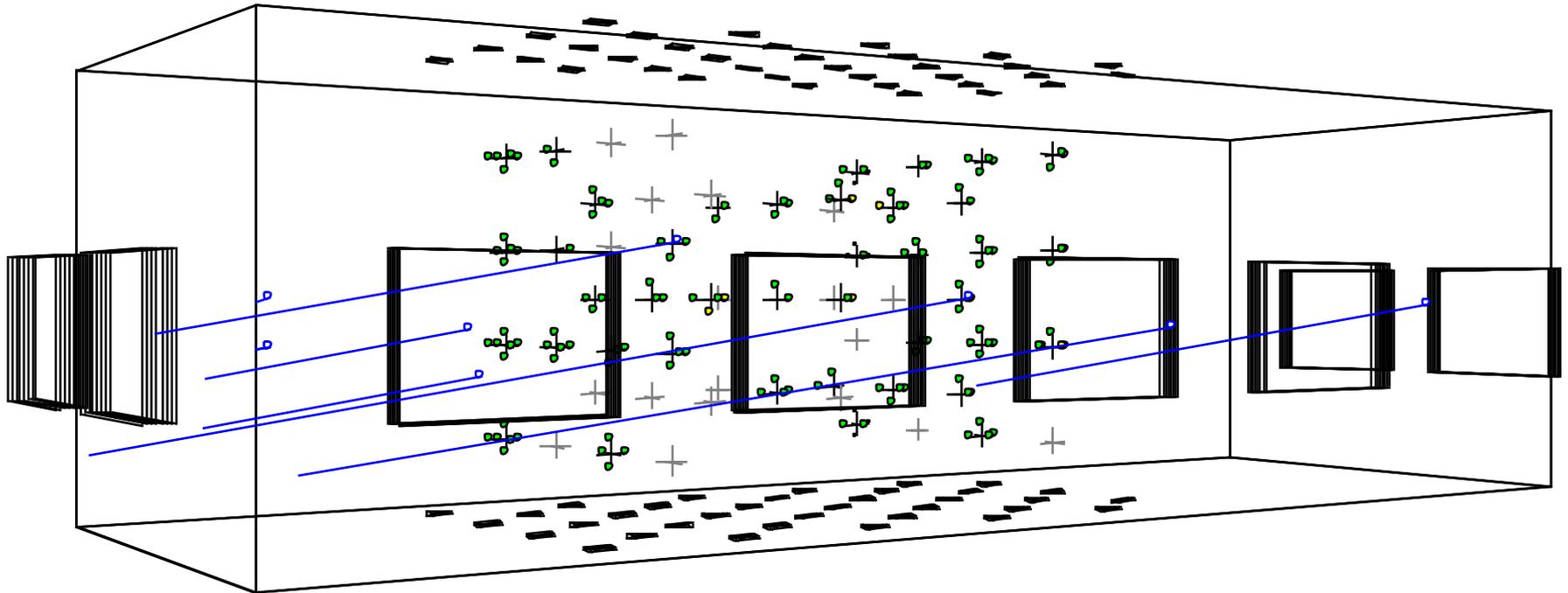
X-проекция  
(зенитный угол)

# Геометрическая реконструкция группы

Nlam=40,N5=26,N6=23,NR1=0 ,NR2=0 ,Sum1=0 ,Sum2=0 ,Sob-00000001,00000000

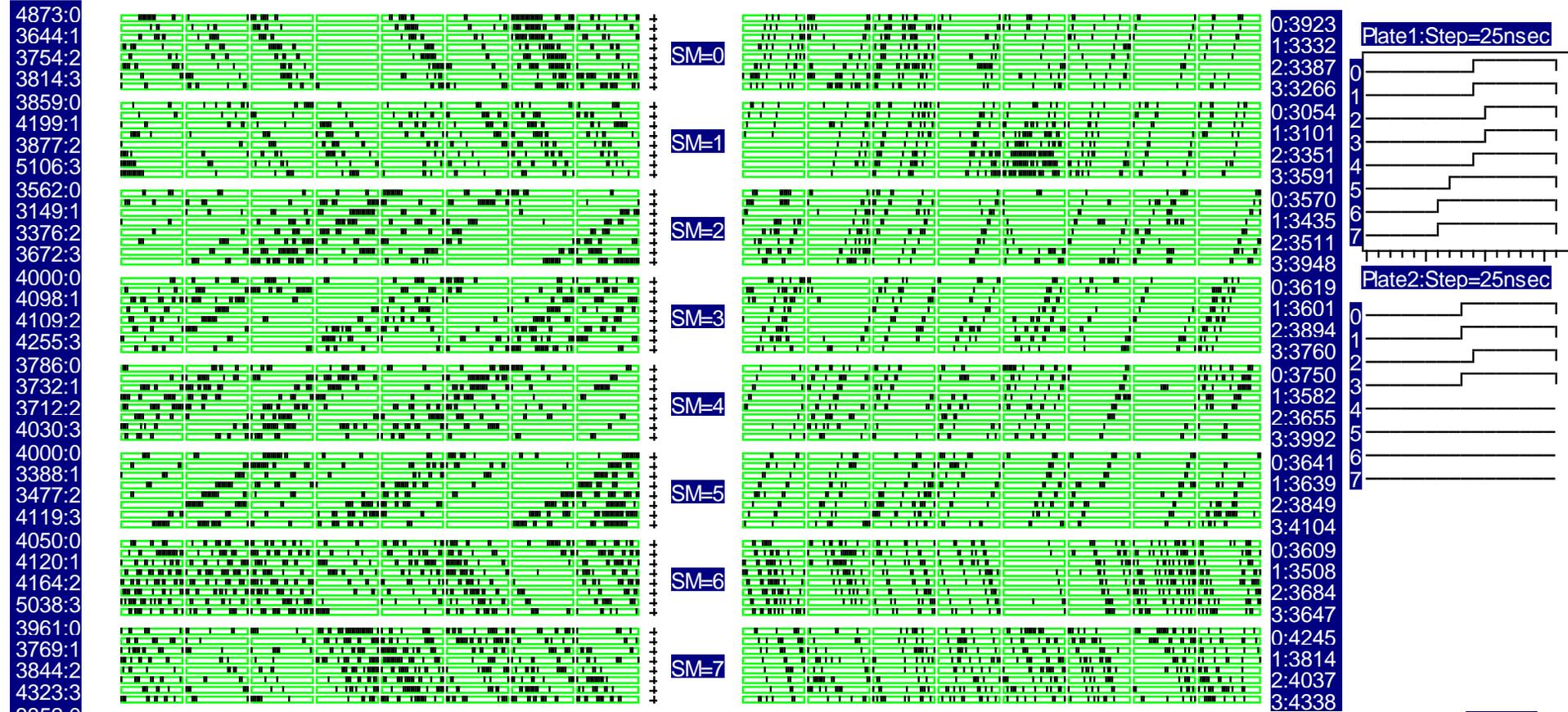
N1=35,N3=14 nCup= 0 SumAmp=1.26e+03 01110100,00000000 NGroup2=8,n=8,n1=8,n2=9,n0=8,nx=9,ny=8,One=0

N2=32,N4=13 nCdown= 0 NPMT=143 ETel= 0.0% ERec= 60.8%



# Группа мюонов из 132 штук

Run 242 --- Event 847205 ----05-05-2003 06:11:04.43 Trigger(1-16):01110101 00111100 Weit Time:30.065 msec



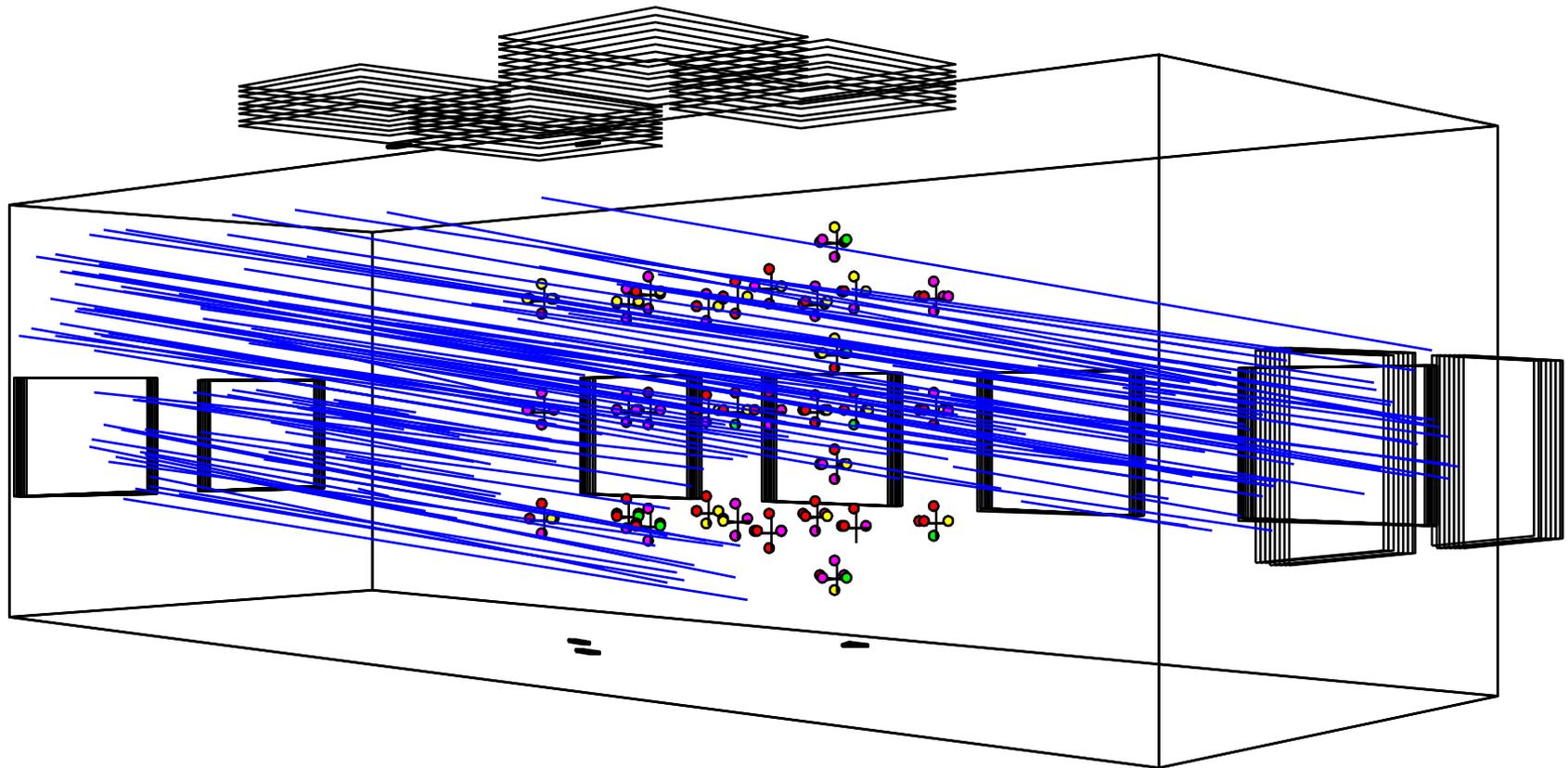
Y-проекция  
(азимутальный угол)

X-проекция  
(зенитный угол)

# Геометрическая реконструкция группы

Nlam=31,N5=30,N6=31,NR1=0 ,NR2=0  
N1=30,N3=26 nCup= 3 SumAmp=5.57e+04  
N2=30,N4=28 nCdown= 3 NPMT=175 ETel= 0.0% ERec= 49.7%

NGroup2=**132**

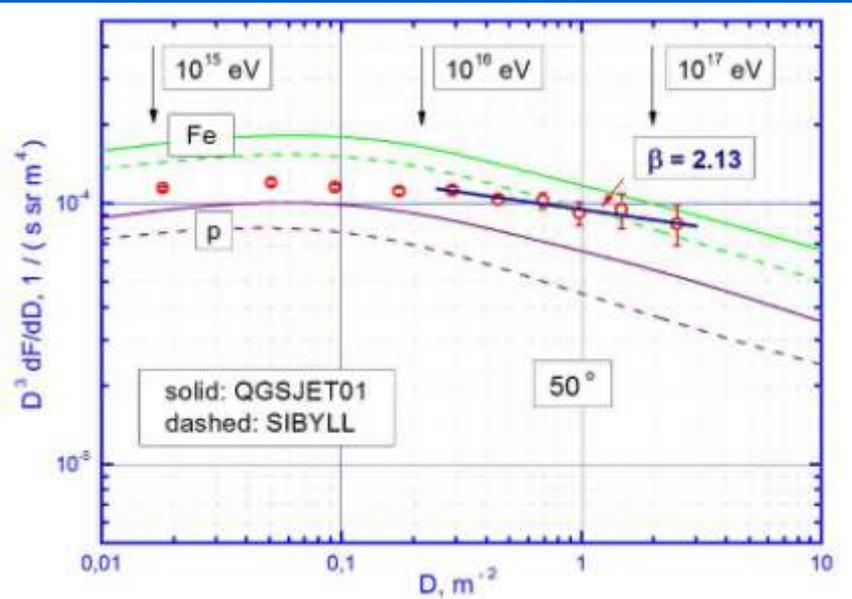
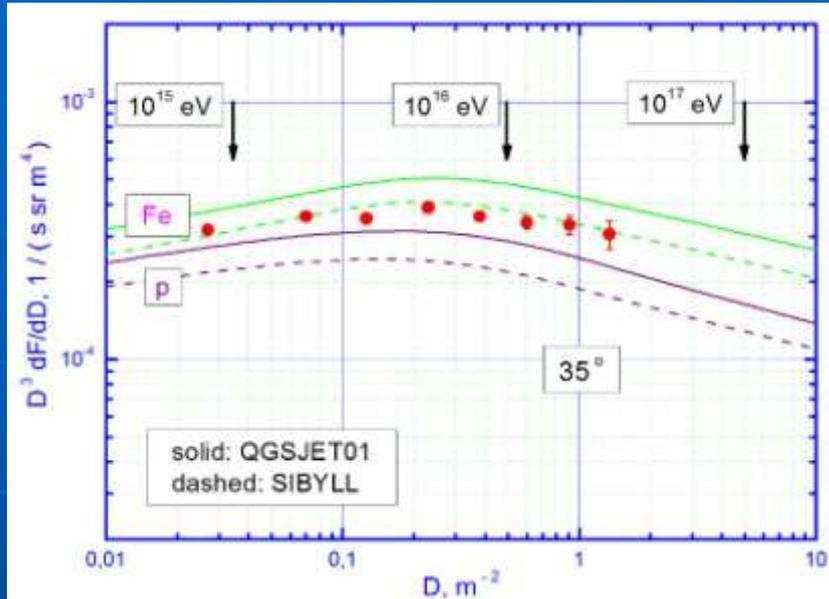


Date=05-05-03 06:11:04.043 Nevent= 847205 fm=123.1 tm=79.7

# Спектры локальной плотности мюонов

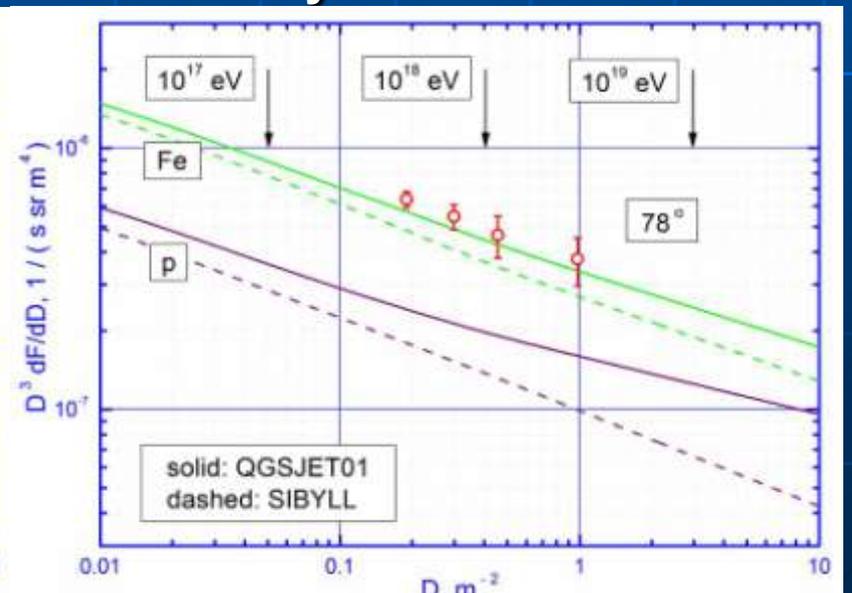
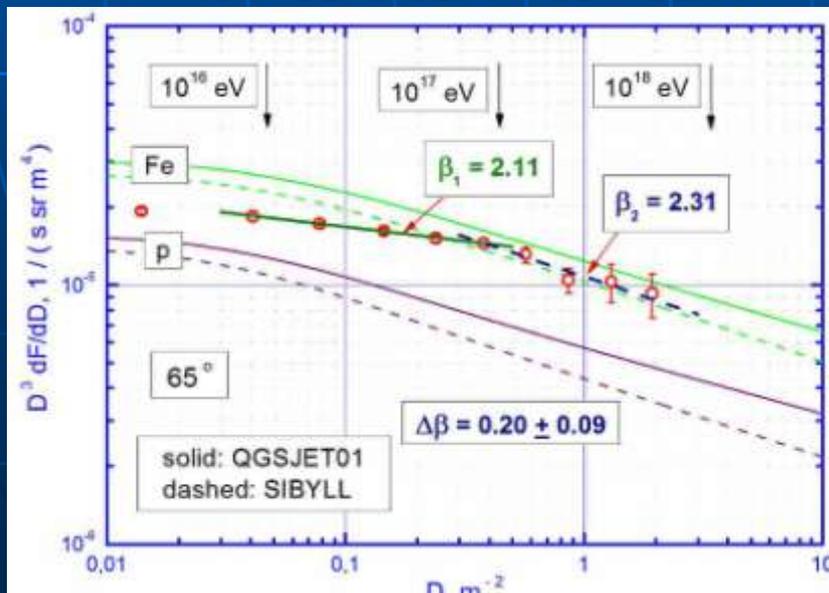
Малые углы: область “колена”

$\theta = 50^\circ : 10^{16} - 10^{17}$  эВ

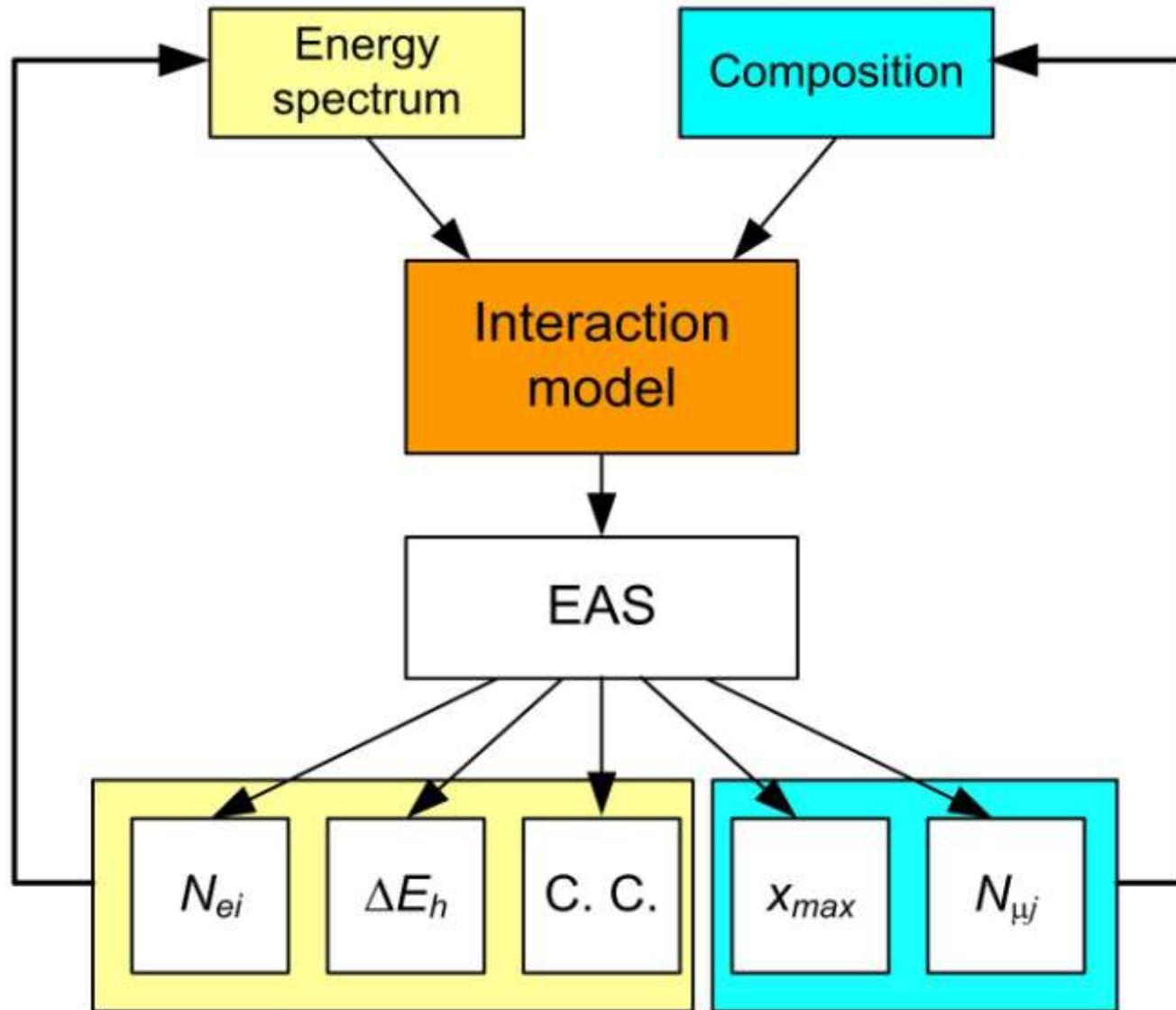


$\theta = 65^\circ : 10^{16} - 10^{18}$  эВ

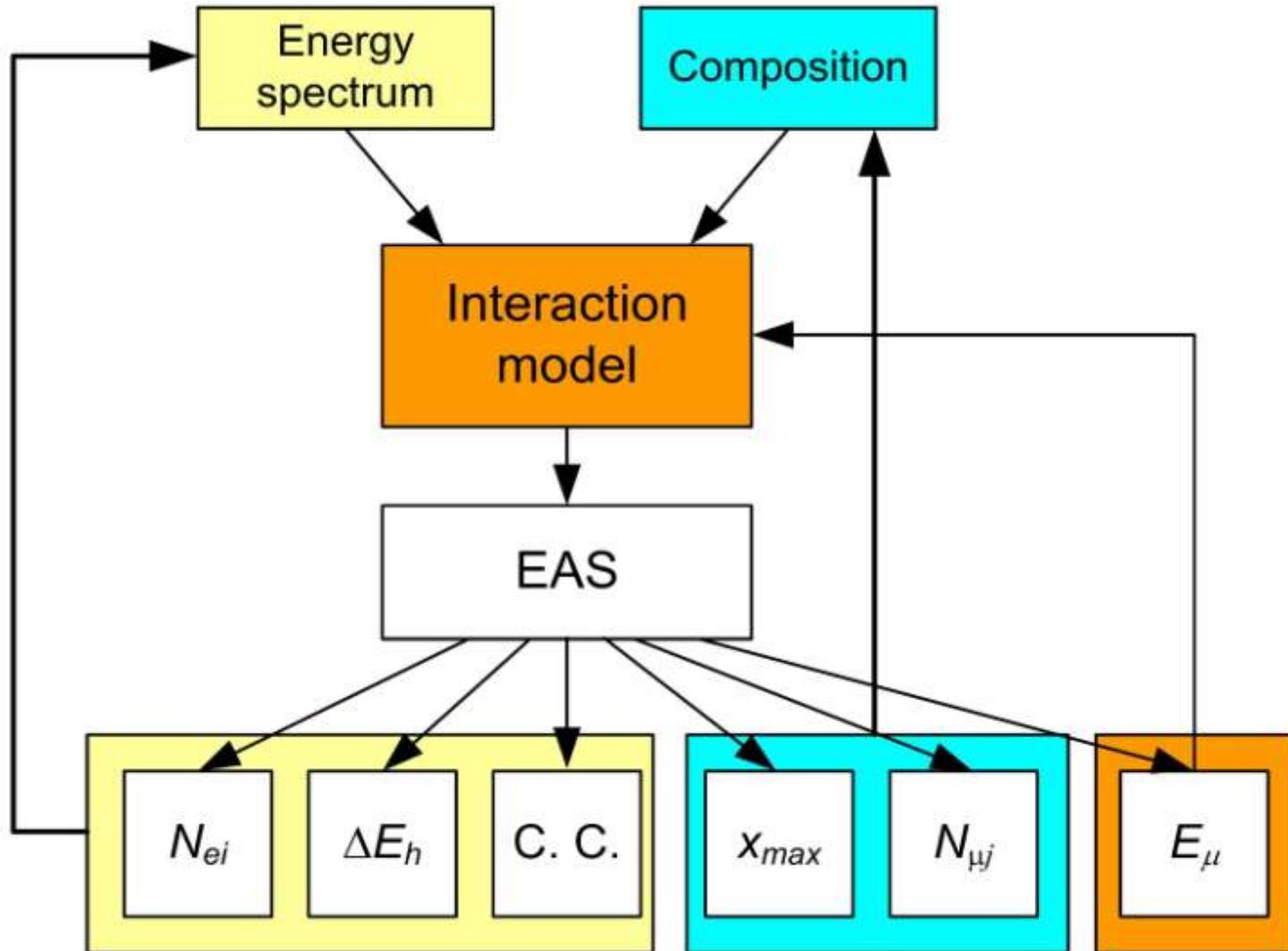
Большие углы: область  $10^{18}$  эВ



# Стандартный подход к анализу ШАЛ



# Новый подход к анализу ШАЛ



# Необходимость модернизации ЧВД НЕВОД

- Малый динамический диапазон ( $\sim 10^3$  ф.э.).
- Большой уровень шумов используемых ФЭУ-49Б.
- Устаревшая электроника и коммуникации.

## Задачи модернизации

- Расширение динамического диапазона (калориметрический режим работы).

Цели: Измерение спектра каскадов в диапазоне от  $10$  до  $10^4$  ГэВ.

Измерение энерговыделений групп мюонов и стволов ШАЛ.

- Увеличение эффективности регистрации одиночных мюонов (годоскопический режим).

Цели: Измерение углового распределения мюонов во всем диапазоне зенитных углов от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ .

Исследование вариации потока мюонов при различных углах и энергетических порогах.

- Улучшение систем калибровки.

Цель: Повышение точности экспериментальных данных.

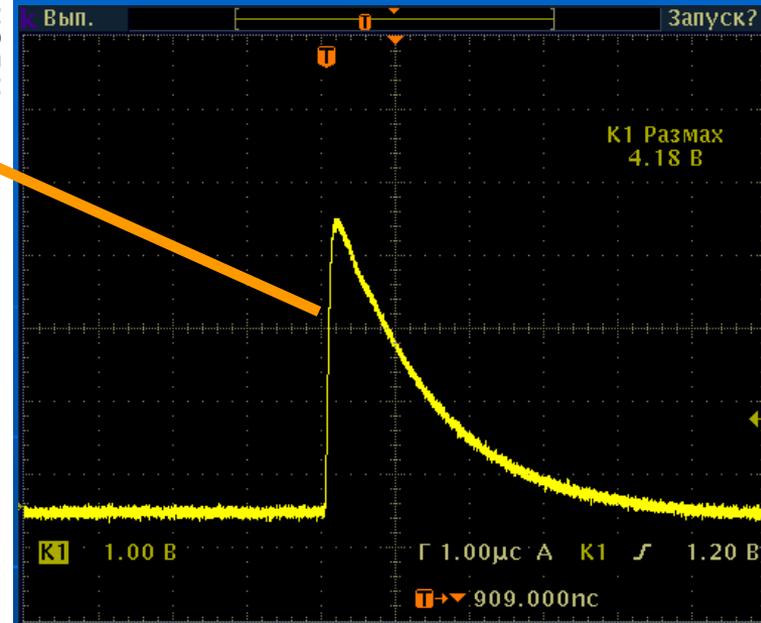
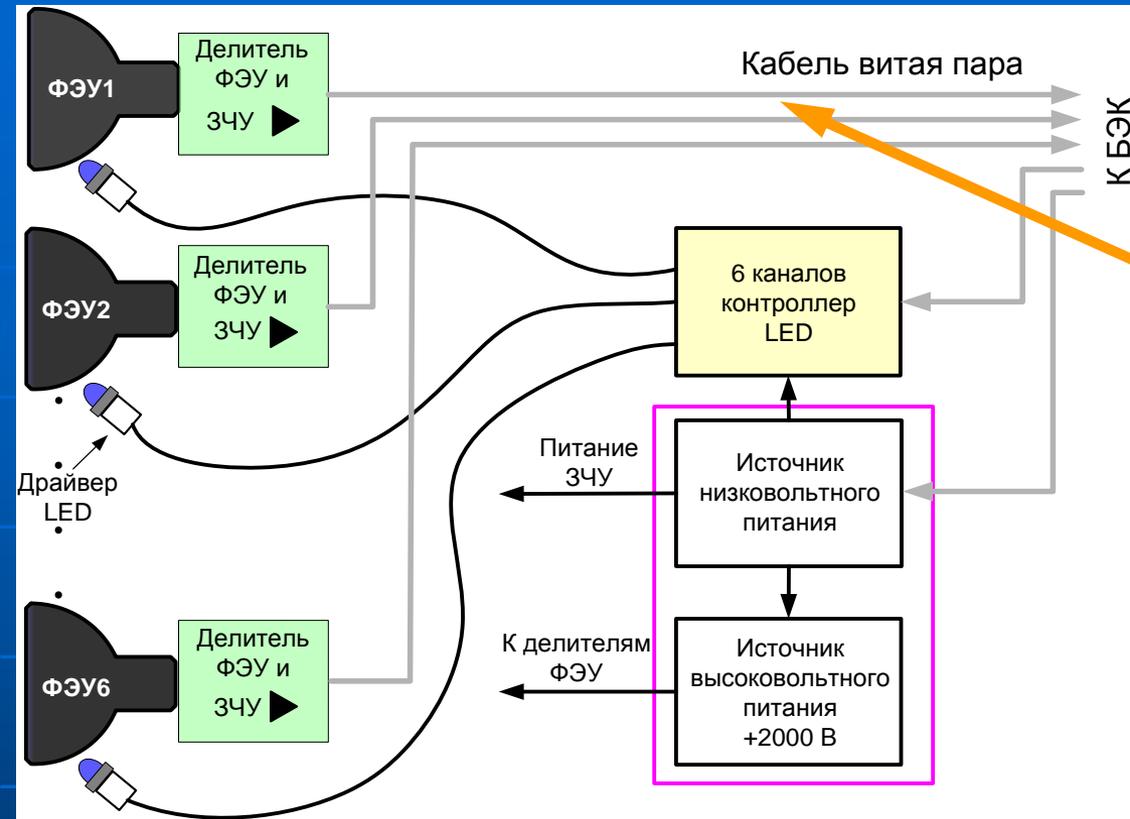
# Фотоумножитель ФЭУ-200



	ФЭУ-49Б	ФЭУ-200
Шумы при пороге $0.25 \text{ ф.э.}, 10^3 \text{ с}^{-1}$	$\sim 50$	$\sim 5$
Интегральная чувствительность, %	10	20

Использование ФЭУ-200 позволило отказаться от обязательного условия двойных совпадений в КСМ.

# Внутримодульная электроника



Диапазон регистрируемых сигналов  $1-10^5$  ф.э. (двухдиодный съём сигналов с ФЭУ).

Питание ФЭУ на аноде (катод заземлен).

Установка индивидуальной подсветки каждого ФЭУ (длительность импульса светодиода FWHM ~ 5 нс).

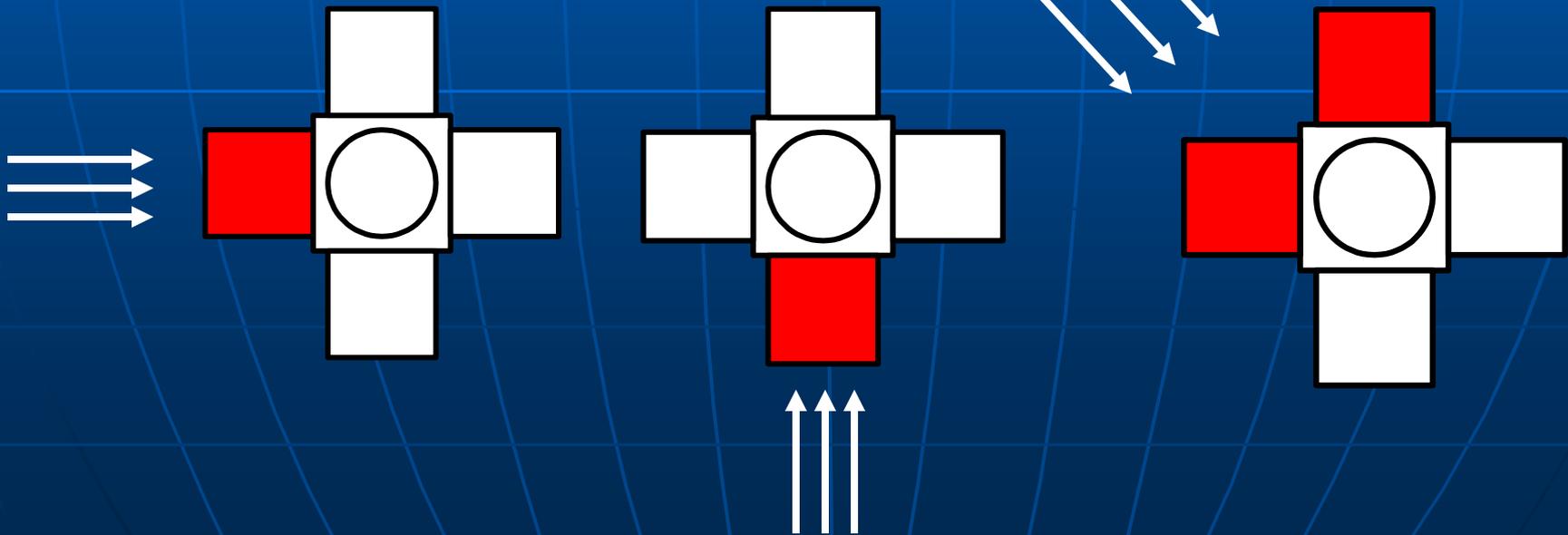
Мониторинг спектрометрического тракта во всем диапазоне.

# Триггерные сигналы 1-го уровня

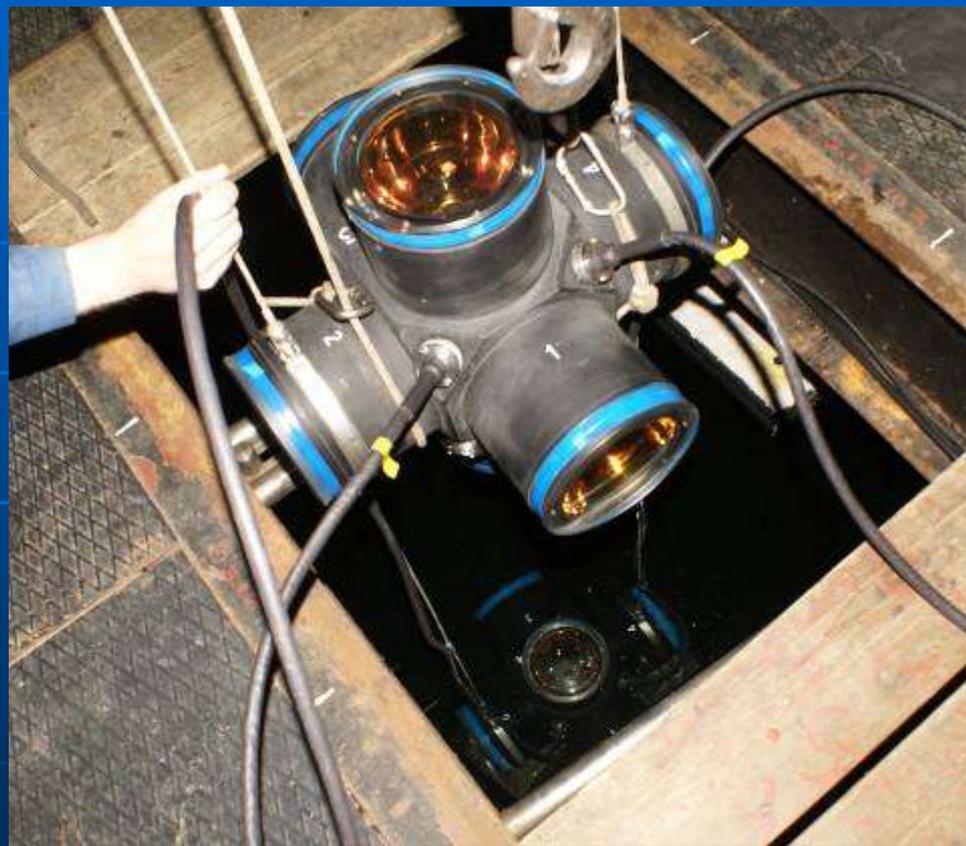
"a" (any) –  
логическое "или"  
сигналов со всех  
шести ФЭУ.

"b" (bottom) –  
сигнал от ФЭУ,  
фотокатод которого  
направлен вниз.

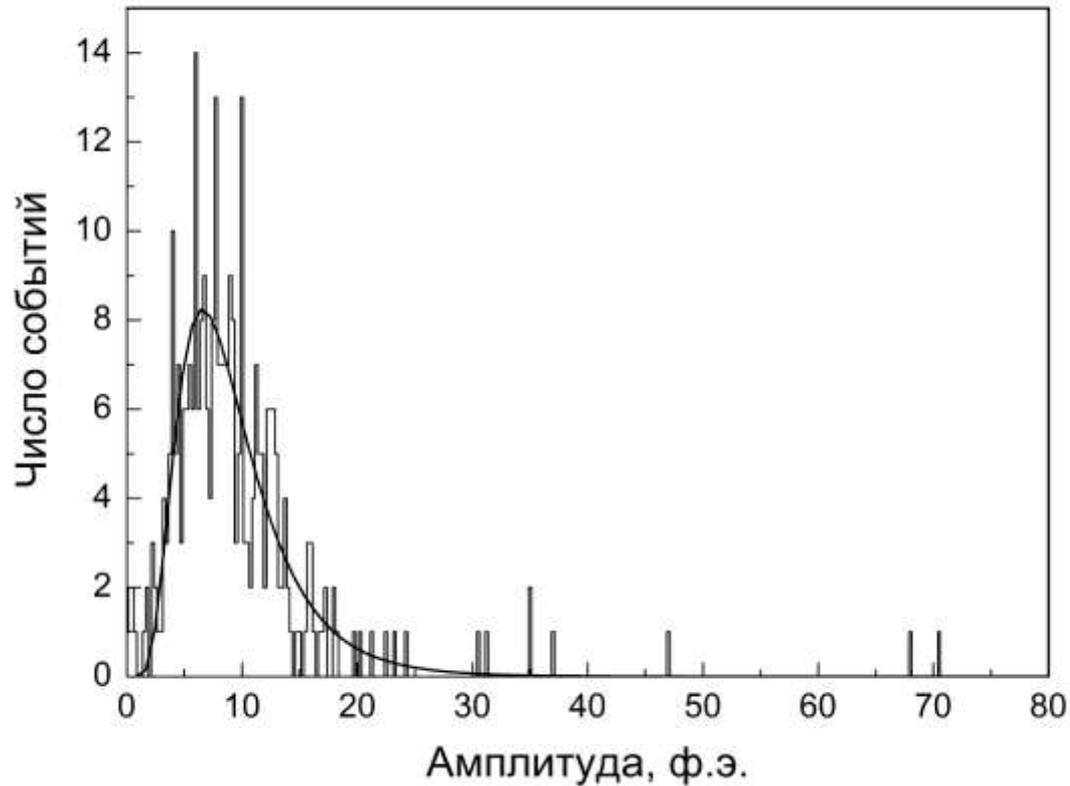
"c" (coincidence) –  
совпадение сигналов от  
любых двух ФЭУ, кроме  
противоположно  
направленных, в пределах  
временного окна 150 нс.



# Монтаж гирлянды



# Спектр телескопных событий



Телескоп расположен на расстоянии 1 м от гирлянды.  
Наиболее вероятная амплитуда  $8.4 \pm 0.5$  ф.э.  
 $\text{FWHM} = 7.3$  ф.э.

# Планы

- Май 2010 г. — первая конфигурация детектора — НЕВОД-27.
- Май 2010 г. – испытания прототипа модернизированной СКТ (добавлен аналоговый канал).
- Осень 2010 г. — НЕВОД-59.
- Зима 2010 – 2011 г.г. — НЕВОД-91.
- Зима 2010 – 2011 г.г. — запуск СКТ.
- С 2011 г. — проведение систематических измерений.

# Спасибо за внимание!



Научно-образовательный центр НЕВОД  
[www.nevod.mephi.ru](http://www.nevod.mephi.ru)