



# Эксперимент T2K: первые результаты по осцилляциям мюонных нейтрино

**Ю.Г. Куденко**

**ИЯИ РАН**

**Семинар ИЯИ РАН**

**11 марта 2011**



# Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment



Toyama

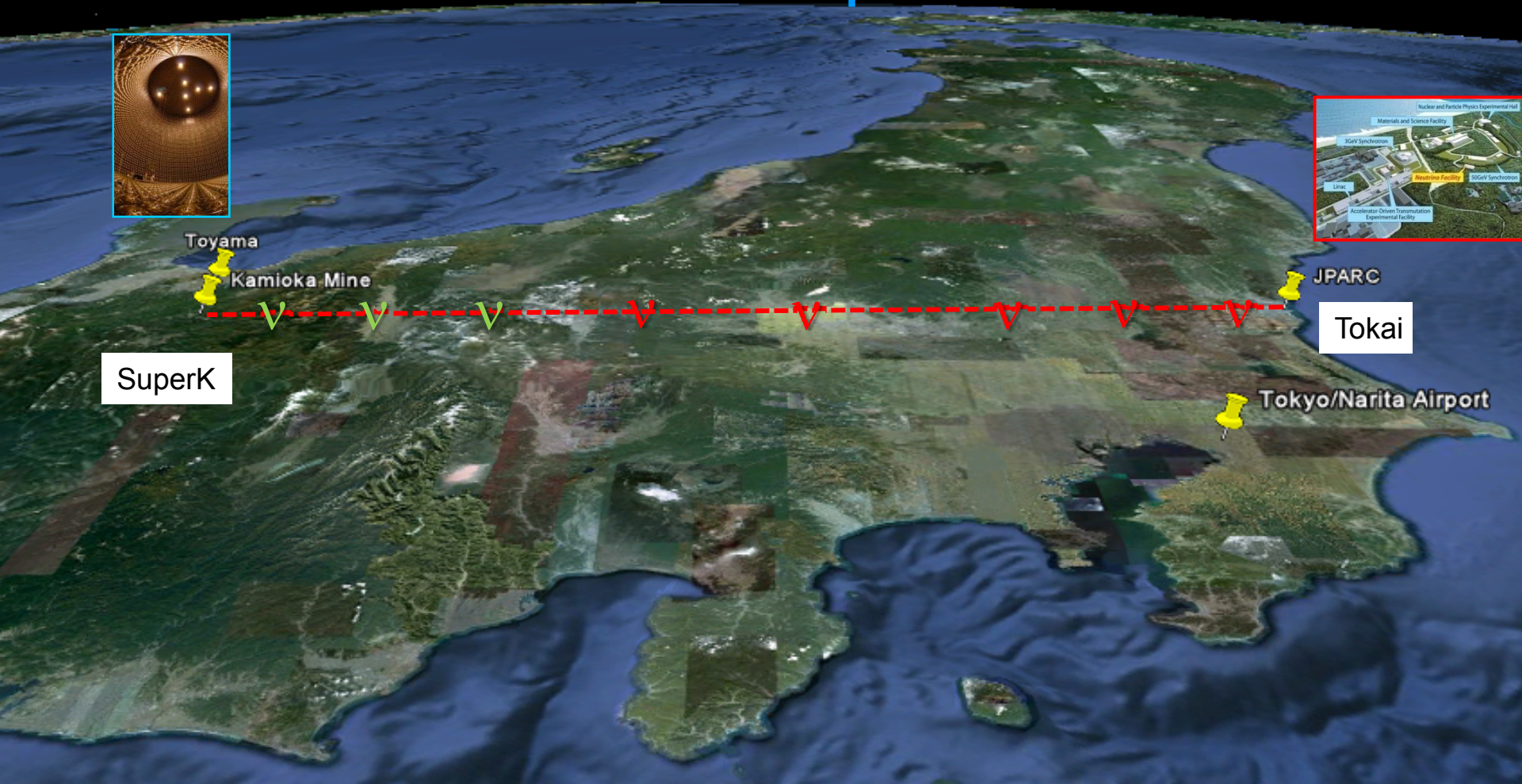
Kamioka Mine

JPARC

Tokai

SuperK

Tokyo/Narita Airport





# Эксперимент T2K



## Canada

U. Alberta  
U. B. Columbia  
U. Regina  
U. Toronto  
TRIUMF  
U. Victoria  
York U.

## France

CEA Saclay  
IPN Lyon  
LLR E. Poly.  
LPNHE Paris

## Germany

RWTH Aachen U.

## Italy

INFN, U. Bari  
INFN, U. Napoli  
INFN, U. Padova  
INFN, U. Roma



## Japan

ICRR Kamioka  
ICRR RCCN  
KEK  
Kobe U.  
Kyoto U.  
Miyagi U. Edu.  
Osaka City U.  
U. Tokyo

## Poland

A. Soltan, Warsaw  
H.Niewodniczanski,  
Cracow  
U. Silesia,  
Katowice  
T. U. Warsaw  
U. Warsaw  
U. Wroclaw

## Russia

INR

## S Korea

N. U. Chonnam  
U. Dongshin  
U. Sejong  
N. U. Seoul  
U. Sungkyunkwan

## Spain

IFIC, Valencia  
U. A. Barcelona

## Switzerland

ETH Zurich  
U. Bern  
U. Geneva

## UK

Imperial C. L.  
Lancaster U.  
Liverpool U.  
Queen Mary U. L.  
Oxford U.  
Sheffield U.  
STFC/RAL  
STFC/Daresbury  
Warwick U.

## USA

Boston U.  
B.N.L.  
Colorado S. U.  
U. Colorado  
Duke U.  
U. C. Irvine  
Louisiana S. U.  
U. Pittsburgh  
U. Rochester  
Stony Brook U.  
U. Washington

~500 collaborators, 61 institutions, 12 countries



# ПЛАН



- **Нейтринные осцилляции**
- **Основные цели T2K**
- **Комплекс T2K**
  - *Off-axis нейтринный пучок*
  - *Ближний нейтринный детектор*
  - *Дальний нейтринный детектор*
- **Детектирование нейтрино**
- **Осцилляционный анализ**
- **Первые результаты и перспективы**



# Массы и смешивание нейтрино



Осцилляции **солнечных** нейтрино  
Осцилляции **атмосферных** нейтрино

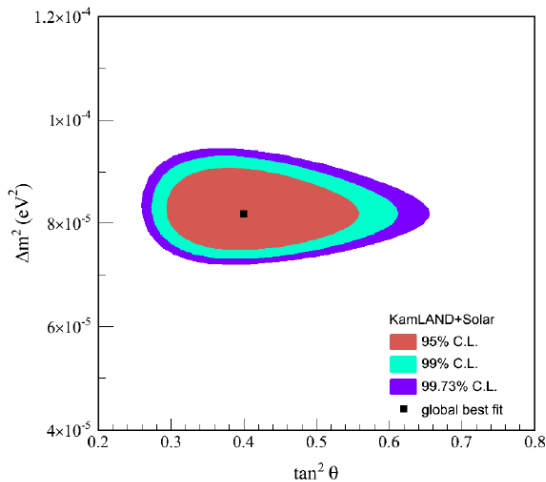
+

**LSND/MiniBooNe** anomaly  
 $\Delta m^2 \sim 1 \text{ eV}^2 \text{ ??}$

**Reactor, Gallium** anomaly  
 $\Delta m^2 \geq 1.5 \text{ eV}^2 \text{ ??}$

Solar:  $\theta_{12}, \Delta m_{12}^2$

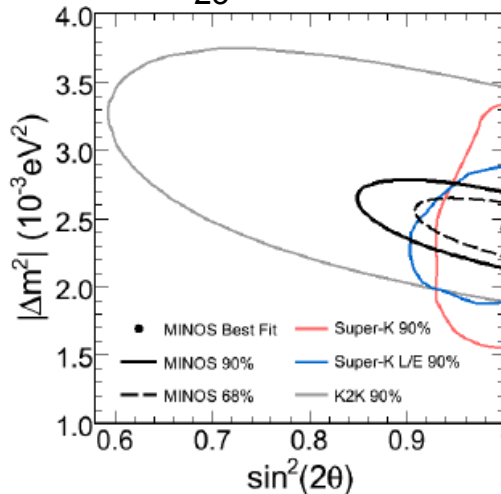
$$\Delta m_{12}^2 = 7.5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta_{12} \approx 0.85$$



SAGE, GALLEX, SK, SNO + KamLAND

Atm:  $\theta_{23}, \Delta m_{32}^2$

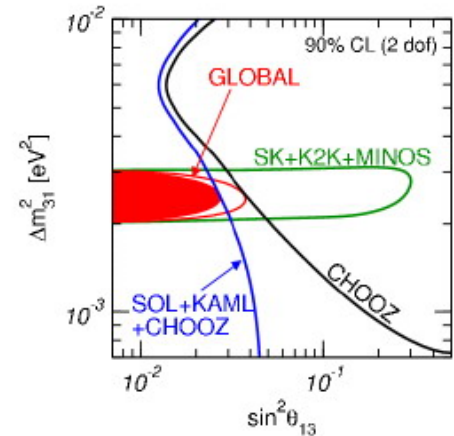
$$\Delta m_{23}^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$
$$\sin^2 2\theta_{23} > 0.92$$



SK + K2K + MINOS

$\theta_{13}$

$$\theta_{13} \leq 12^\circ$$



**только верхний предел для  $\theta_{13}$**



# Осцилляции и смешивание



Стандартная модель: нейтрино - **безмассовые** частицы

3 families

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

$$U = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix}$$

atmospheric

solar

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{23} & \sin\theta_{23} \\ 0 & -\sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_{13} & 0 & \sin\theta_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_{13}e^{-i\delta} & 0 & \cos\theta_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_{12} & \sin\theta_{12} & 0 \\ -\sin\theta_{12} & \cos\theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

link between atmospheric and solar

**U** параметризация: три угла смешивания  $\theta_{12}$   $\theta_{23}$   $\theta_{13}$  и CP нечетная фаза  $\delta$

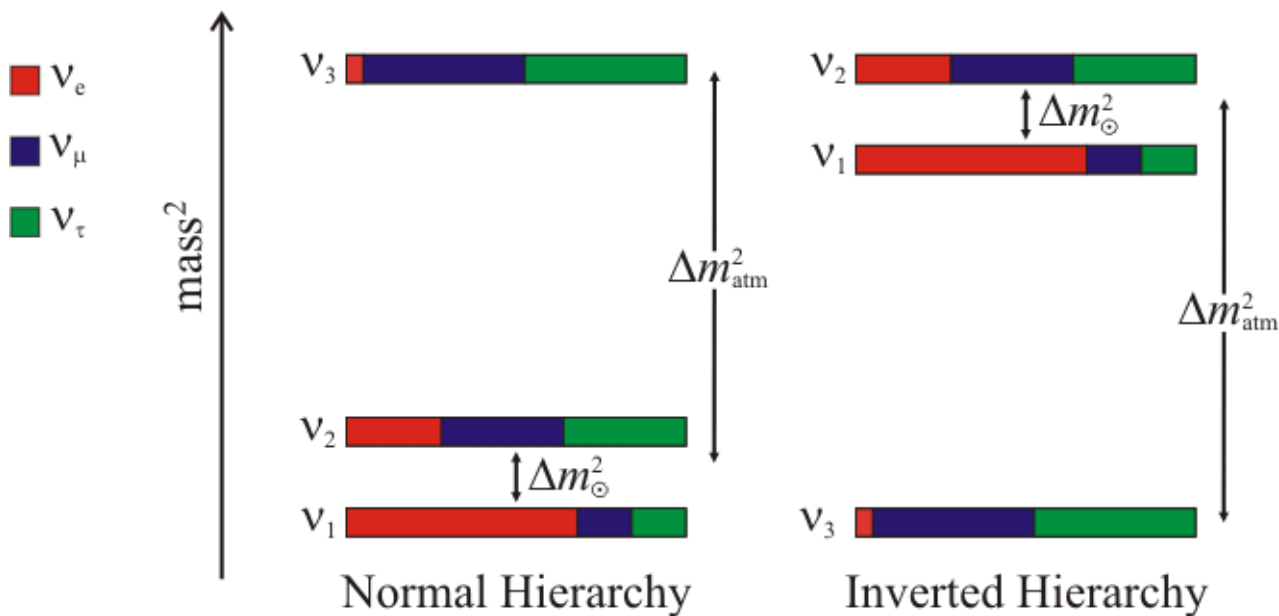
$$\Delta m_{ij}^2 = m_i^2 - m_j^2 \quad \Delta m_{12}^2 + \Delta m_{23}^2 + \Delta m_{31}^2 = 0 \quad \rightarrow \quad \mathbf{2 \text{ независимых } \Delta m^2}$$

$$\Delta m_{12}^2 = \Delta m_{sol}^2 \approx 7.5 \times 10^{-5} \text{ eV}^2 \quad \Delta m_{23}^2 \cong \Delta m_{31}^2 = \Delta m_{atm}^2 \approx 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2 \quad \theta_{12} \sim 34^\circ \quad \theta_{23} \sim 45^\circ$$

**Два неизвестных параметра:  $\theta_{13}$  и  $\delta$**



# Иерархия масс ?





# Основные цели T2K



Открытие осцилляций  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$

Измерение угла  $\theta_{13}$

Прецизионное измерение *атмосферных* параметров  $\theta_{23}$  и  $\Delta m_{32}^2$   
в процессе  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$

T2K-II  $\rightarrow$  поиск **CP** нарушения (если  $\theta_{13} \neq 0$ )





# Осцилляционные эксперименты: Appearance и Disappearance



## Осцилляционные эксперименты: Appearance и Disappearance

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \delta_{\alpha\beta} - 4 \sum_{i>j} \text{Re}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin^2 \Phi_{ij} \mp 2 \sum_{i>j} \text{Im}(U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*) \sin 2\Phi_{ij}$$

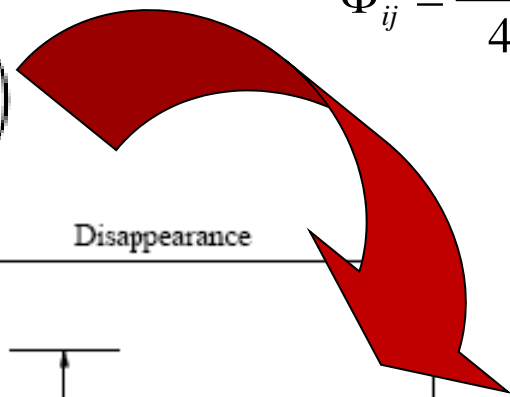
$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta} = \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{\Delta m^2 L}{4E} \right),$$

$$\Phi_{ij} = \frac{\Delta m_{ij}^2 L}{4E}$$

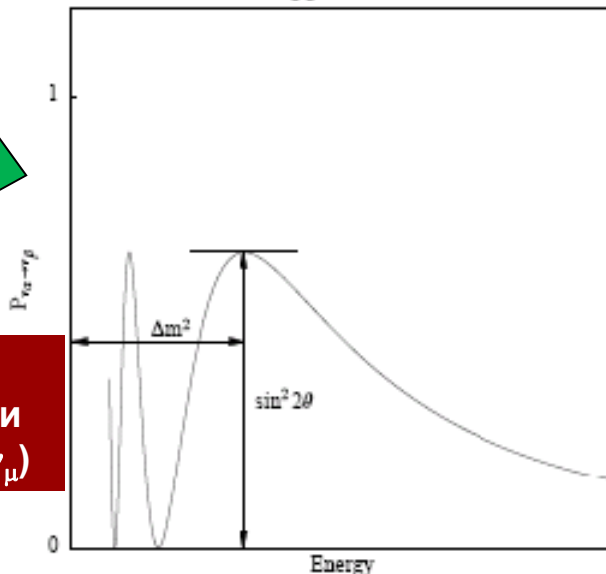
$$P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\alpha} = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{\Delta m^2 L}{4E} \right)$$

L – расстояние от источника нейтрино

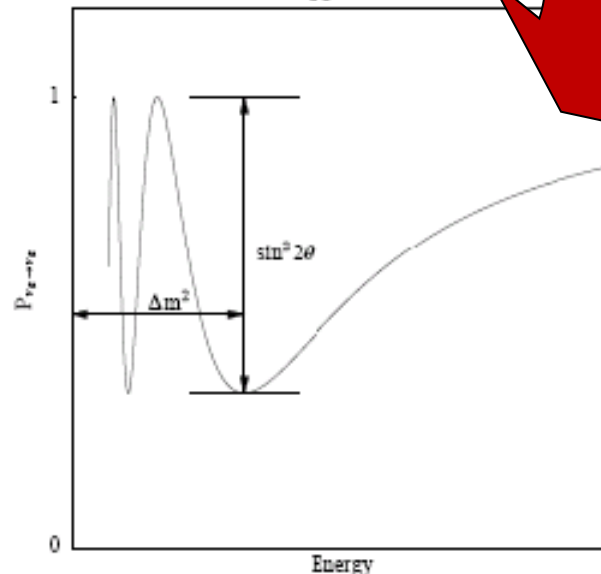
E – энергия нейтрино



Appearance



Disappearance



T2K измеряет:  
Appearance ( $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ ) и  
Disappearance ( $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ )



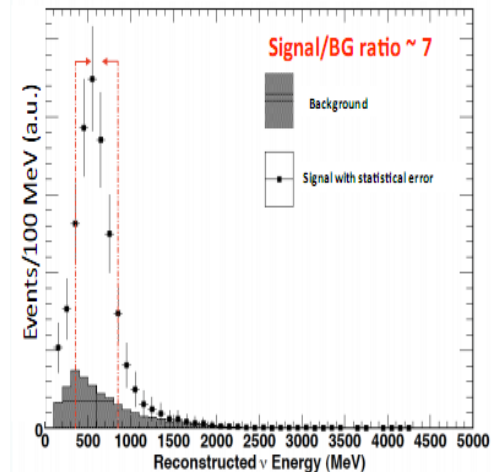
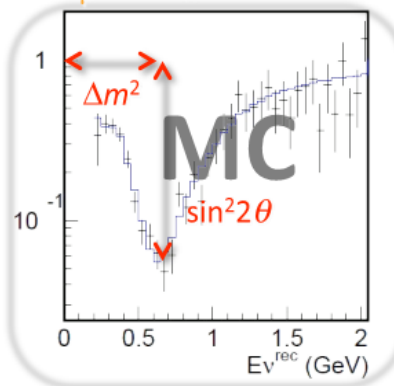
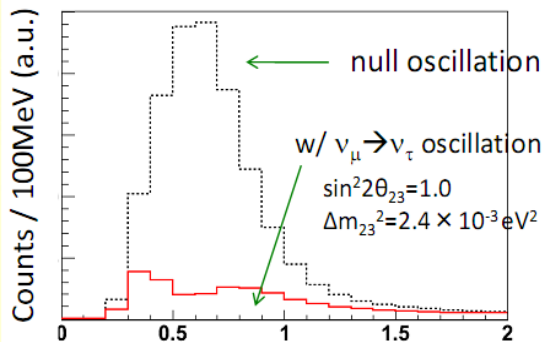
# Принципы измерений



- Intensive neutrino source
- Near detector → measurement of unoscillated neutrino spectrum
- Far Detector → measurement of oscillated neutrino spectrum
- Extrapolate flux from Near Detector to Far Detector (Far/Near ratio)
- Estimate  $\nu_\mu$  rate (without oscillation) at Far Detector
- Compare to measured  $\nu_e$  ( $\nu_\mu$ ) rate (spectrum) to observe oscillation and extract oscillation parameters
- Reduction systematic errors using data from K2K, NA61, SciBooNe, MiniBooNe

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \approx 1 - \sin^2 2\theta_{23} \sin^2(\Delta m_{23}^2 L/4E_\nu)$$

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \sin^2(\Delta m_{13}^2 L/4E_\nu)$$





# Ожидаемая чувствительность

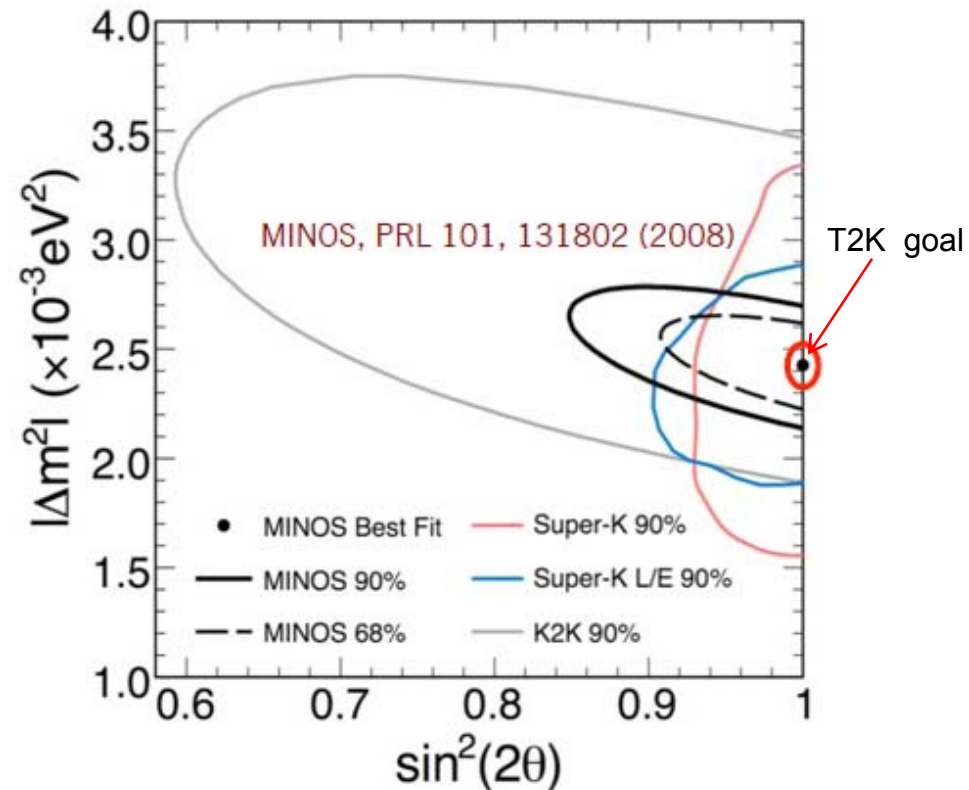
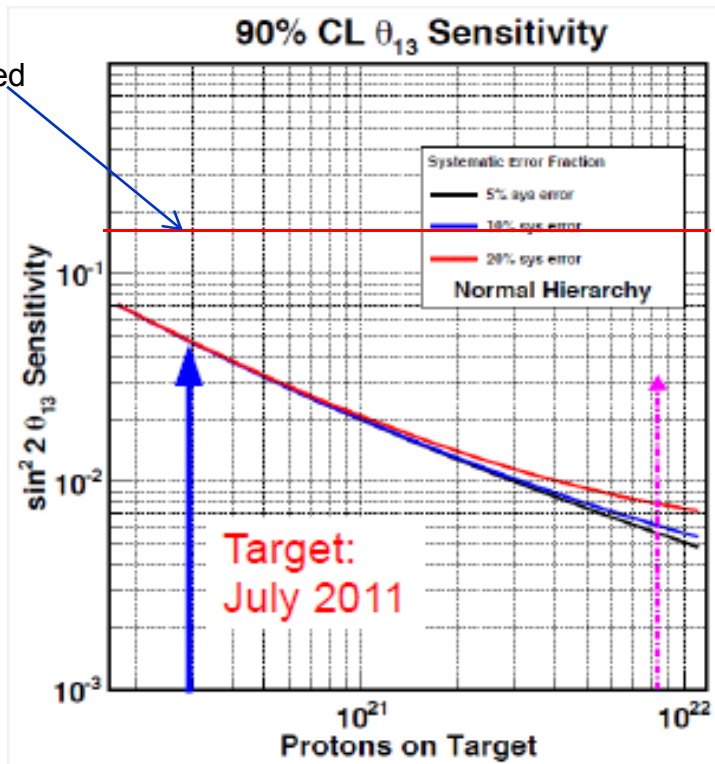


Планируемая интегральная светимость:  $8.5 \times 10^{21}$  POT

$\nu_e$  appearance:  
 $\sin^2 2\theta_{13} < 0.008$  (90% C.L.)

$\nu_\mu$  disappearance:  
 $\delta(\sin^2 2\theta_{23}) \approx 0.01$  &  $\delta(\Delta m_{23}^2) < 1 \times 10^{-4} \text{ eV}^2$

Chooz excluded





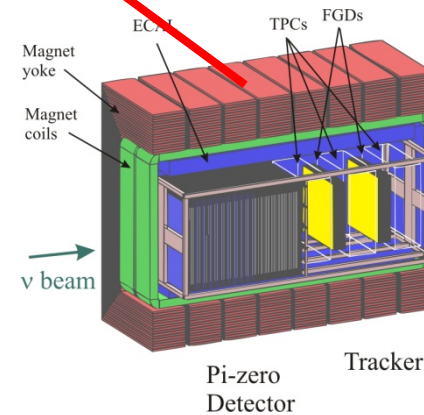
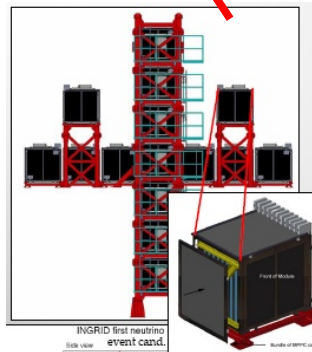
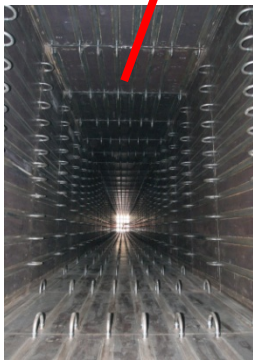
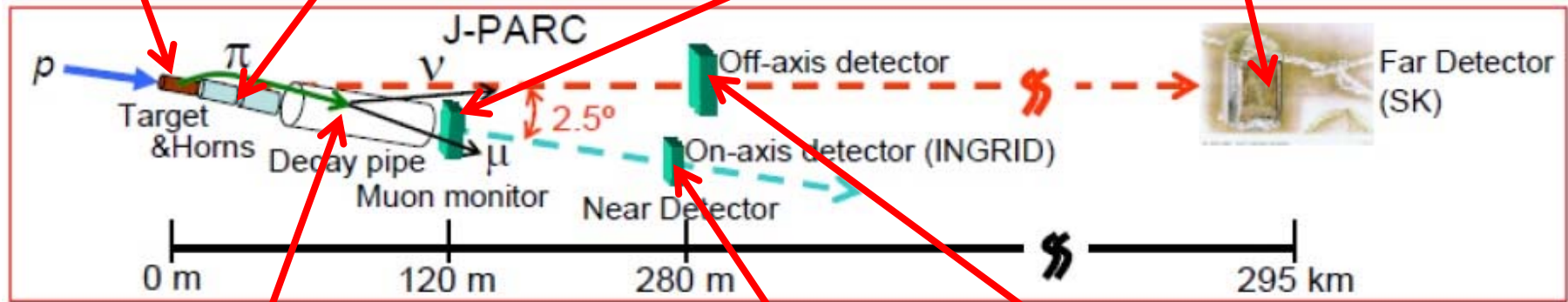
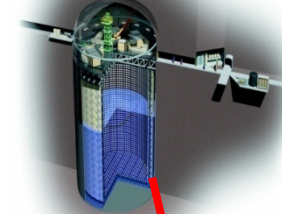
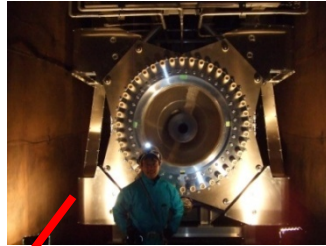
# JPARC



JPARC:  
 $E_p = 30 \text{ ГэВ}$   
Мощность = 750 кВт

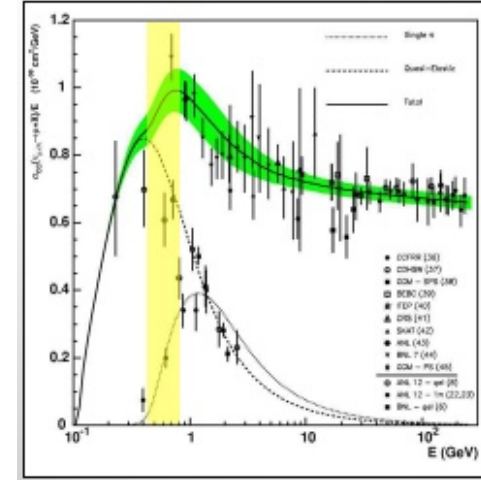
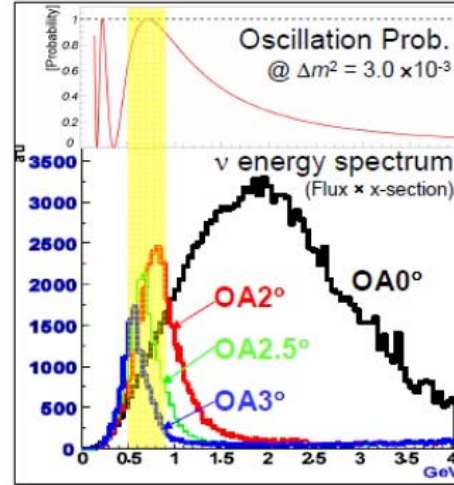
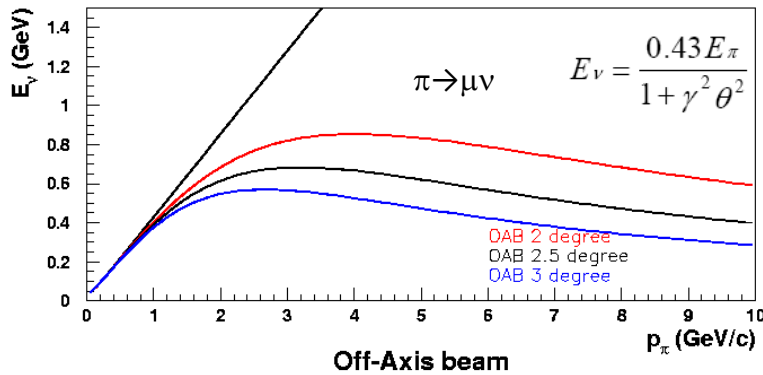
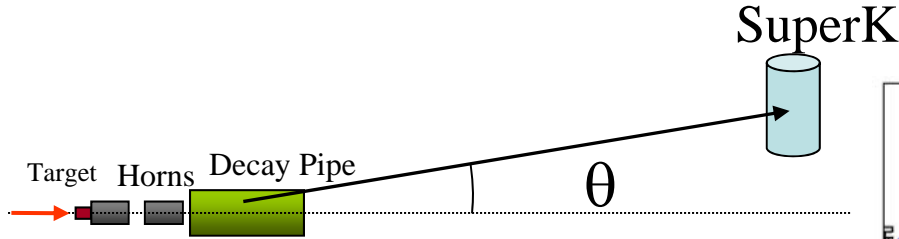


# Экспериментальная установка T2K

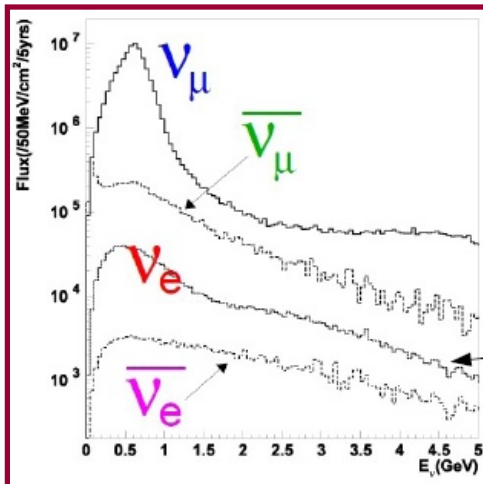




# off-axis пучок нейтрино



- T2K энергии нейтрино



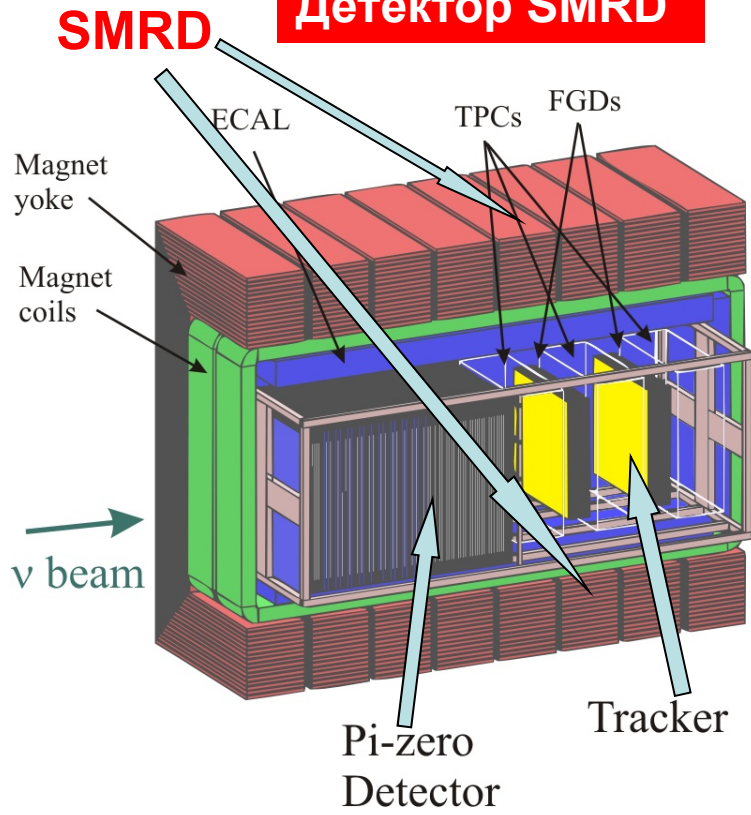
- 750 кВт протонный пучок JPARC – 30 ГэВ
- Квазимонохроматический пучок  $\nu_\mu$  (95%)
- Энергия ~700 MeV настроенная на осцилляционный максимум
- Примесь  $\nu_e$  ~0.4% в максимуме спектра
- Подавлены нейтрино высоких энергий  $\rightarrow$  снижен фон



# ND280 off-axis детектор



**Вклад ИЯИ:  
Детектор SMRD**



**280m от пионероуждающей мишени**

## UA1/NOMAD CERN magnet

operated at 0.2 T magnetic field

- Fine Grained Detector (FGD)
  - measure  $\nu$  beam flux,  $E_\nu$  spectrum, flavor composition through CC  $\nu$ -interactions,
  - backgrounds CC- $1\pi$
  - water and scintillator target
- Time Projection Chamber (TPC)
  - measure charged particle momenta, particle ID via  $dE/dx$
  - measure backgrounds/pion cross section
- Pi-Zero Detector (P0D)
  - optimized for NC  $\pi^0$  measurement
  - measure  $\nu_e$  contamination
- Electromagnetic Calorimeter (ECAL)
  - measure  $\nu_e$  contamination
  - photon detection (from  $\pi^0$ ) in P0D and tracker
  - charge particle ID and reconstruction
- Side Muon Range Detector (SMRD)
  - measure momentum for lateral muons
  - cosmic rays trigger
  - background suppression



# ND280 off-axis



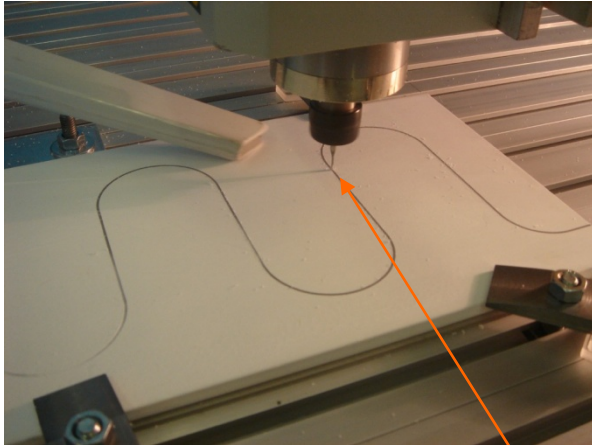
v beam







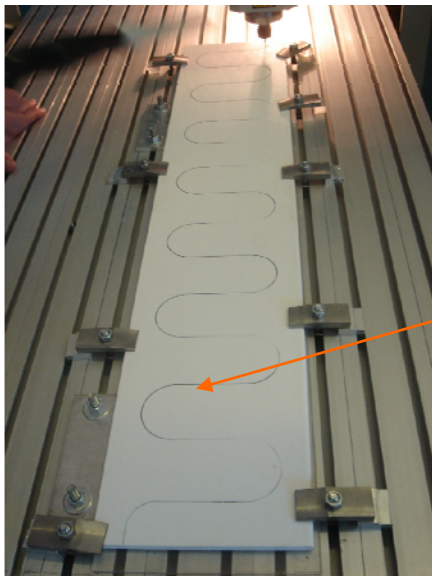
# SMRD детекторы



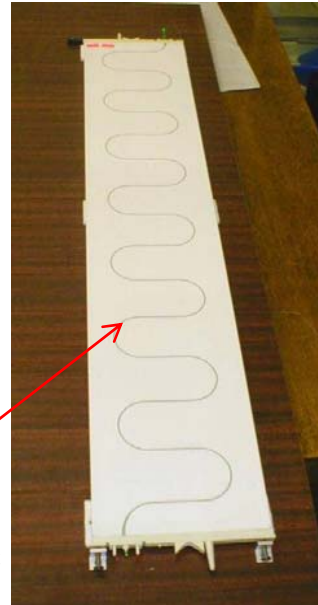
Y11 fibers  
embedded and  
glued



- Участок по изготовлению детекторов создан в ИЯИ в 2007 г.  
- Разработка и создание детекторов:  
ОФВЭ, КОРЭ, КО, ОП



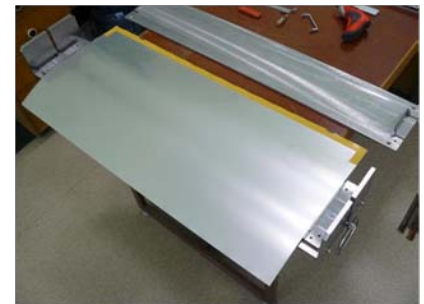
Preparation  
of S-grooves



Y11

Photosensor: MPPC

stainless steel container



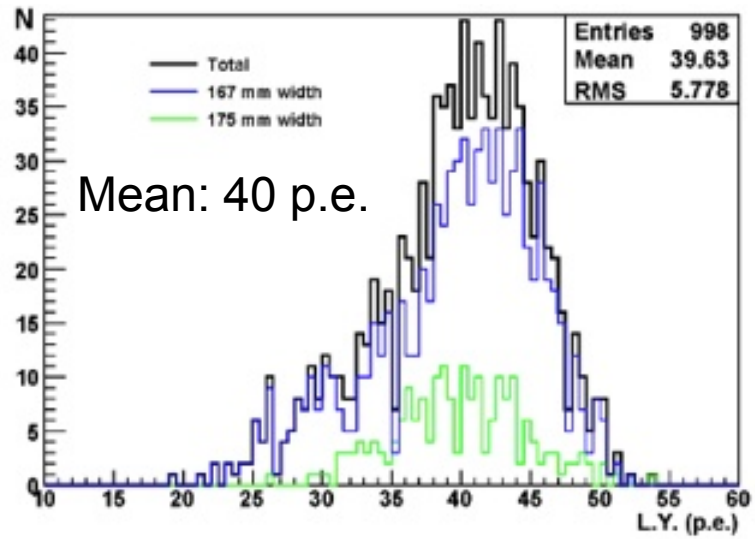


# SMRD

**2130 SMRD детекторов  
изготовлены в ИЯИ**



870 x 170 x 7 mm<sup>3</sup>



Light yield with cosmic at center of (870mm long) counter



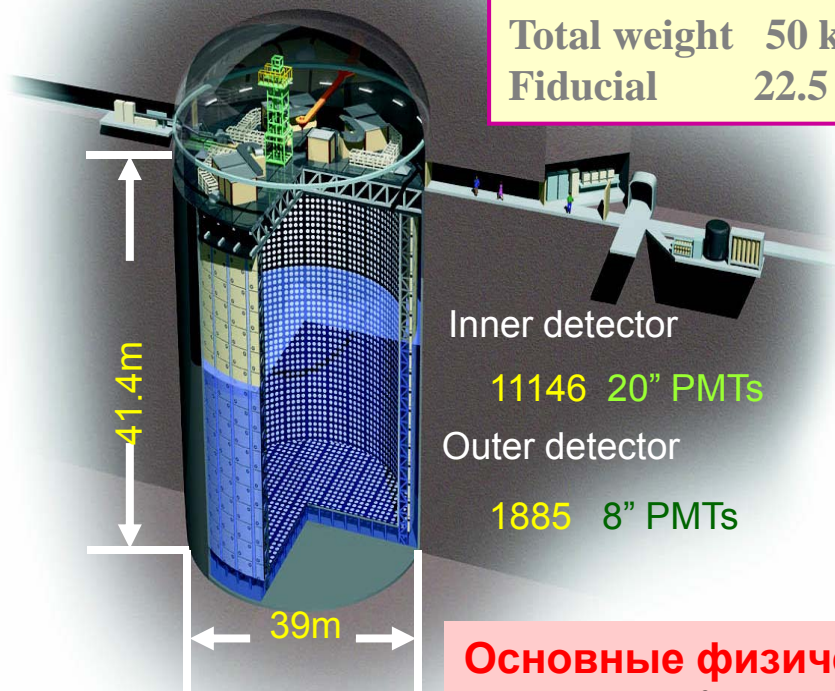


# Дальний детектор



## Super-Kamiokande IV

- $4\pi$  acceptance, very efficient  $\pi^0/e$  separation.
- High Particle ID ( $\mu/e$ ) power ( $\sim 99\%$  at  $600\text{MeV}/c$ )
- Good energy reconstruction.
- Methods are established.



Total weight 50 kt  
Fiducial 22.5 kt

Inner detector  
11146 20" PMTs

Outer detector  
1885 8" PMTs

$\sim 11000$  PMTs  
с FRP+Acrylic сферой  
чувствительная поверхность 40%

CC quasi elastic scatterings

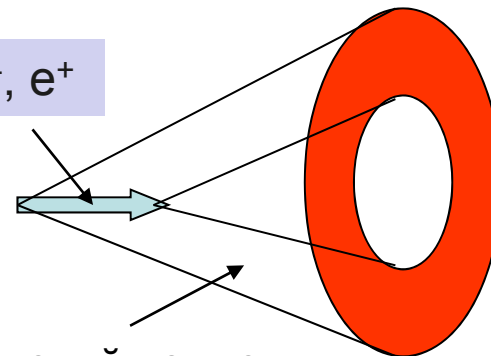
$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p$$

Inelastic scatterings

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p + \pi$$

$$E_\nu = \frac{m_N E_\ell - m_\ell^2/2}{m_N - E_\ell + \mathbf{p}_\ell \cdot \mathbf{p}_\nu / E_\nu}$$

$\mu^-, e^-, e^+$



Черенковский конус

**Основные физические фоны при измерении  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ :**

Рождение  $\pi^0$  через нейтральные токи  $\rightarrow$  фактор подавления  $\sim 100$

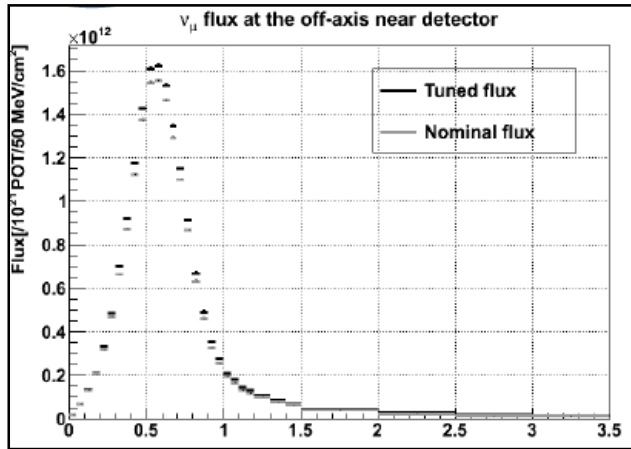
Примесь  $\nu_e$  в пучке  $\nu_\mu \rightarrow \sim 0.4\%$  при энергии  $600-700$  МэВ



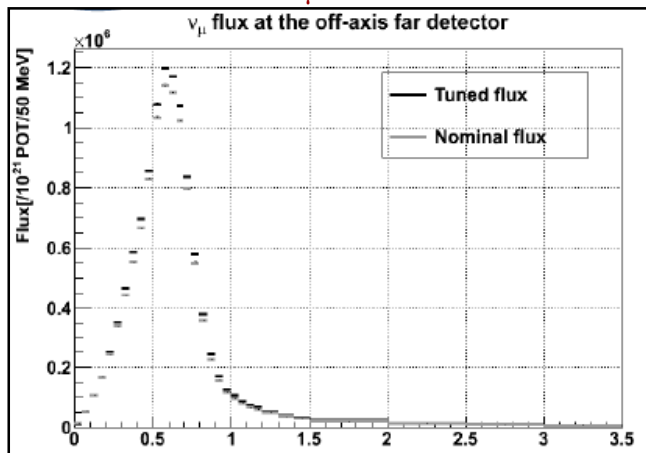
# Нейтринный пучок



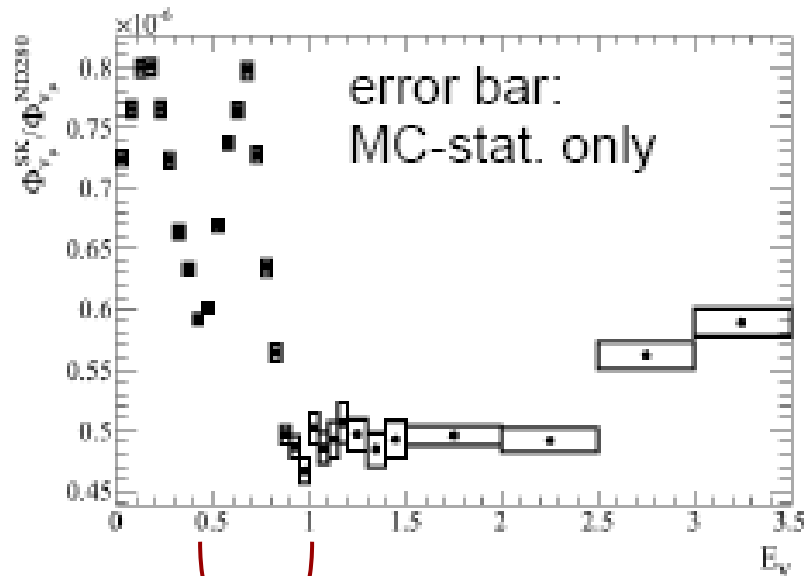
Спектр  $\nu_\mu$  в ближнем детекторе  
угол  $2.5^\circ$



Спектр  $\nu_\mu$  в SK



Отношение Far/Near в зависимости  
от энергии нейтрино



T2K энергии нейтрино

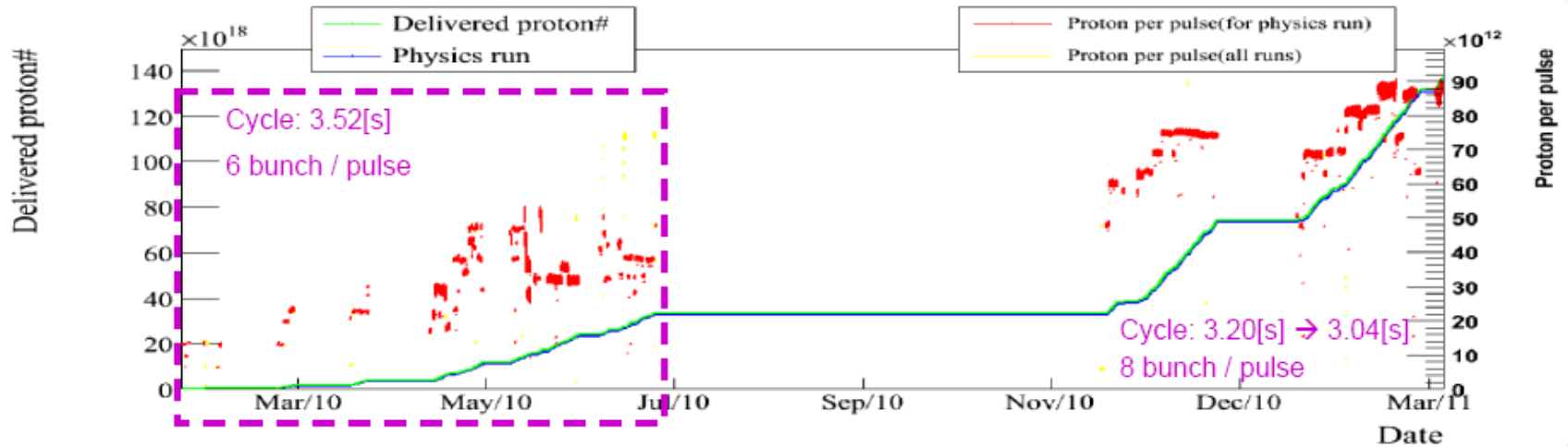
Beam MC



# Интегральная светимость



Интегральное число 30 Гэвных протонов на мишени



Результаты, представленные ниже, базируются на  $3.3 \times 10^{19}$  POT набор статистики январь – июнь 2010

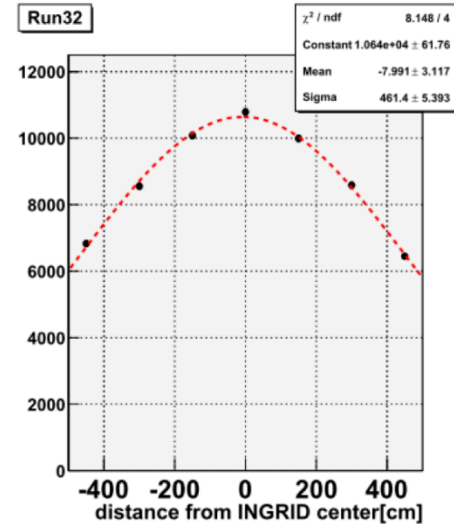
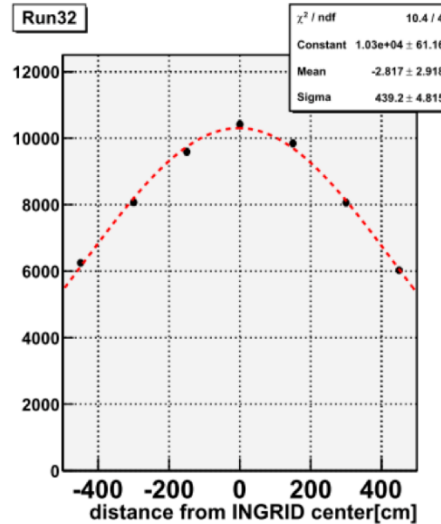
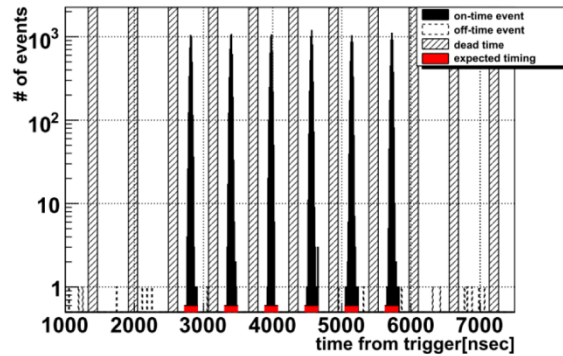


# Профиль нейтринного пучка

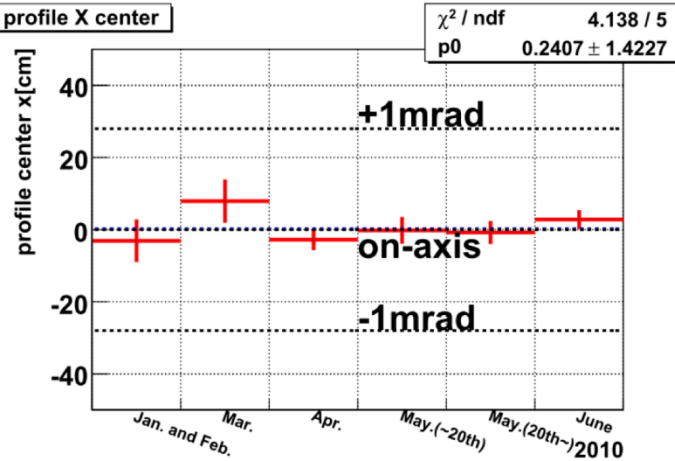


## INGRID

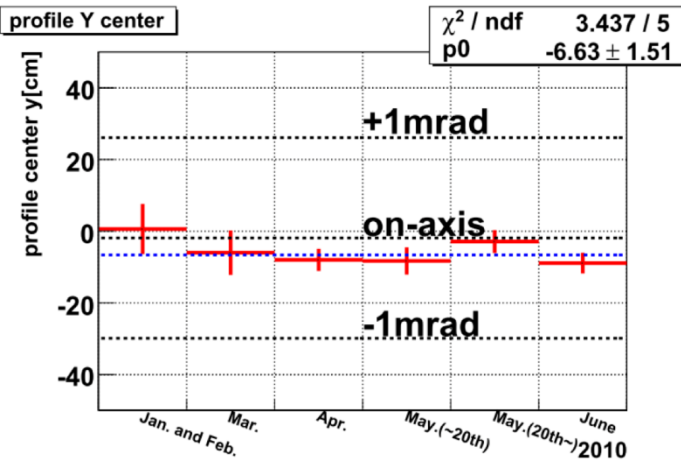
event timing after neutrino event selection



profile X center

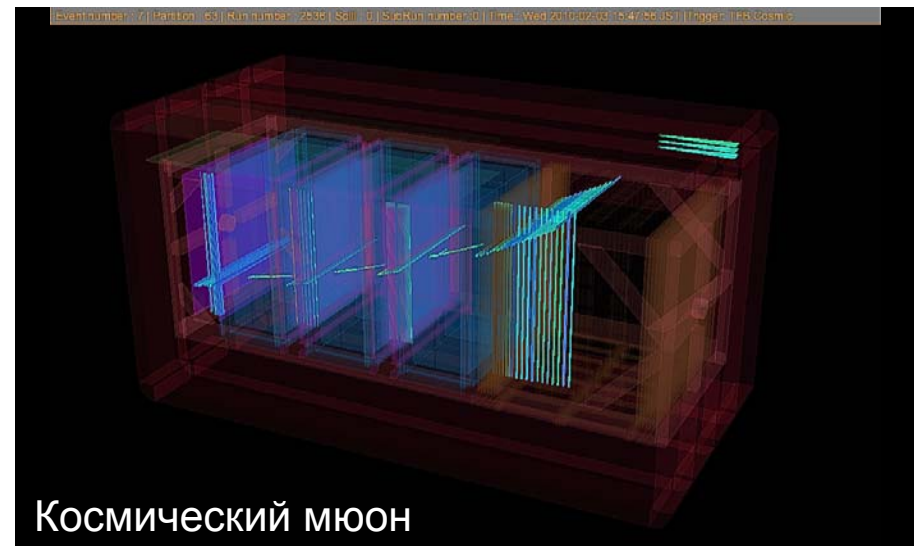
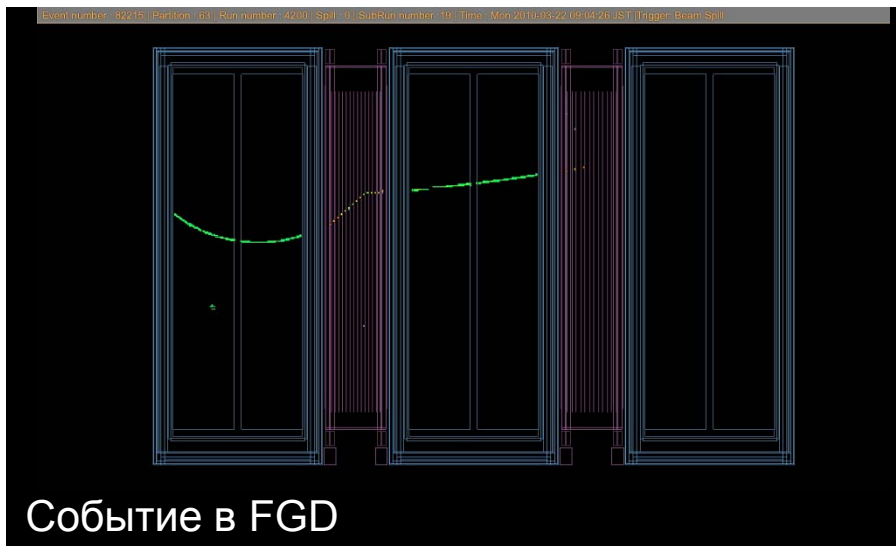
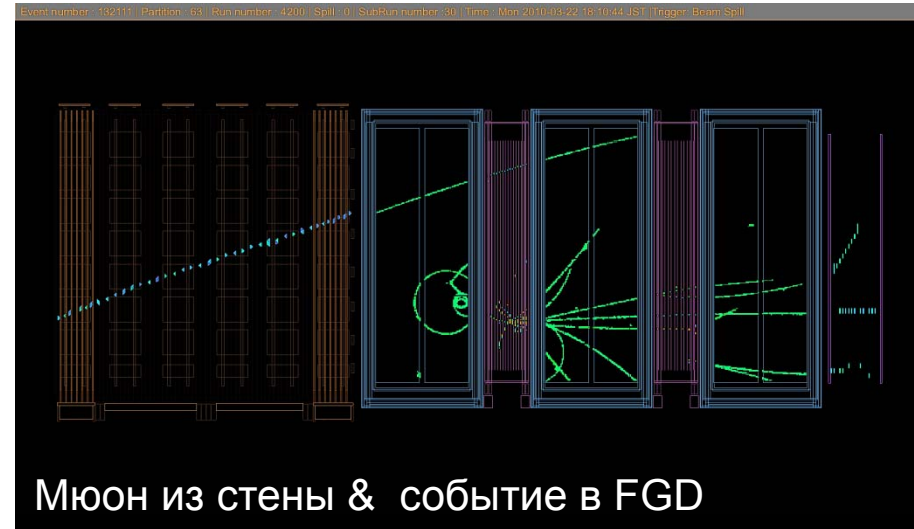
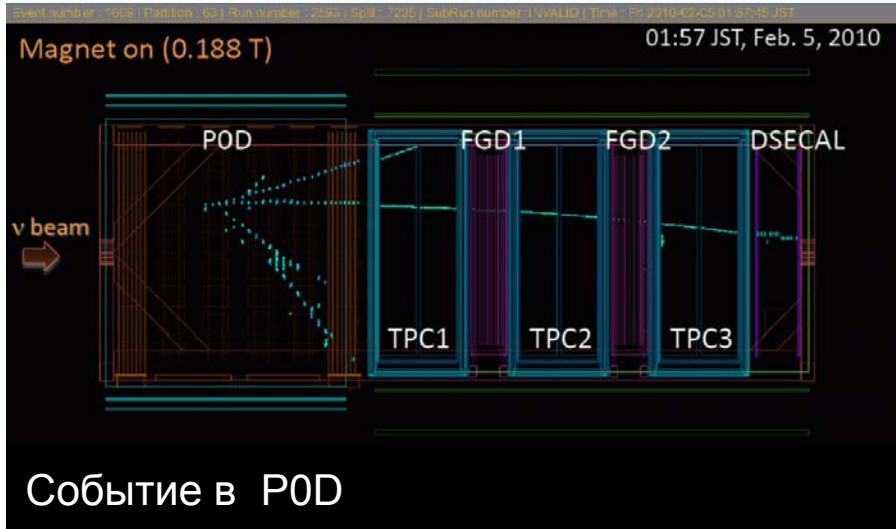


profile Y center





# Нейтринные события в ближнем детекторе



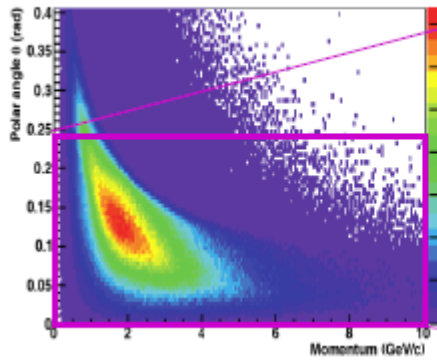


# Рождение адронов

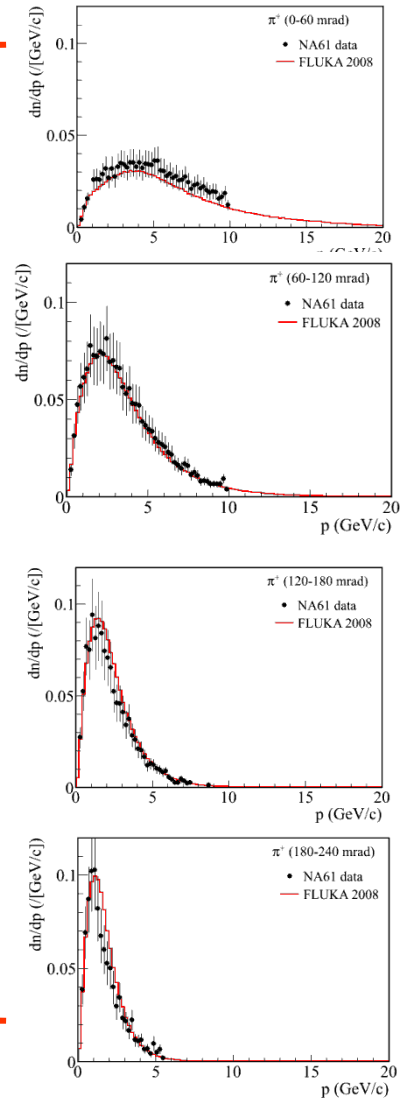
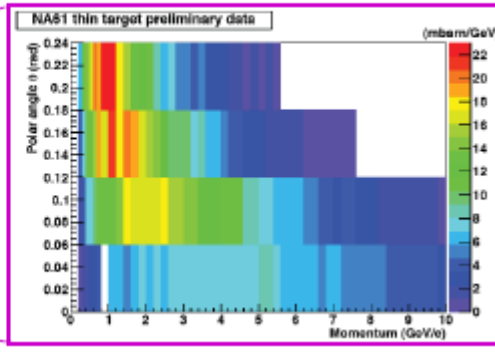


T2K MC (FLUKA2008) модель  
скорректирована с учетом данных NA61  
Протоны(30 ГэВ) + мишень С (2см/90 см)

MC(T2K): $\pi^+$  produce  $\nu_\mu$  @ SK



NA61 2007 data:  $\pi^+$



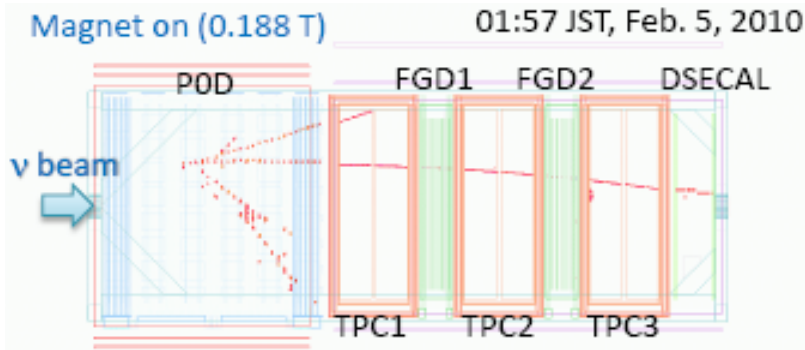




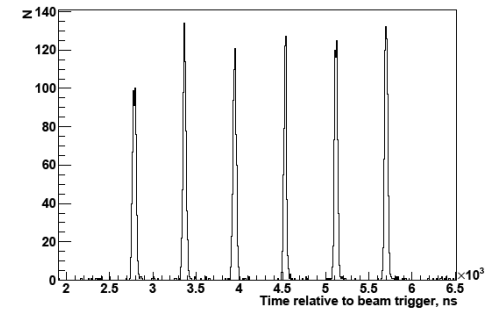
# Off-axis нейтрино



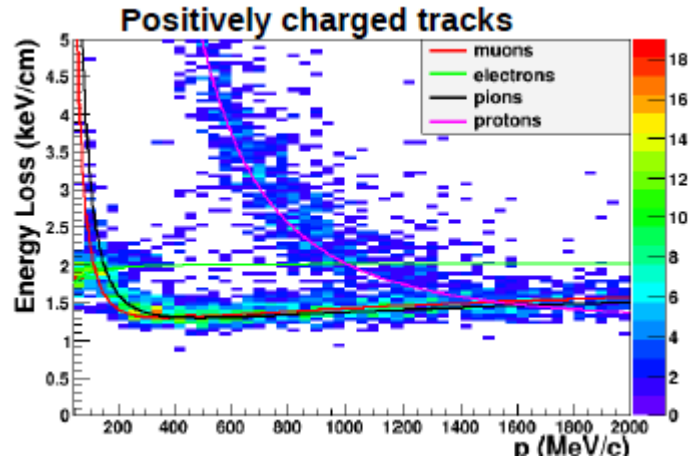
## 1-е $\nu_\mu$ событие в ND280



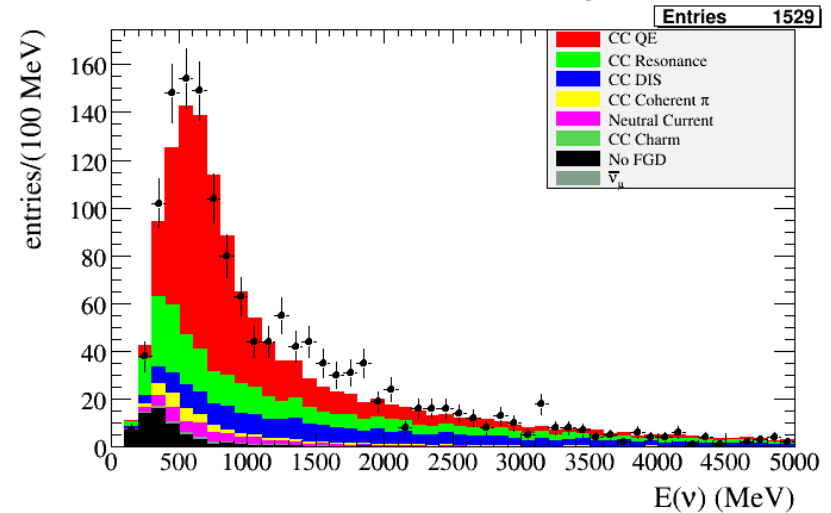
## Нейтринные события в SMRD



## TPC: dE/dx



## Спектр ССQE нейтрино, угол $2.5^\circ$



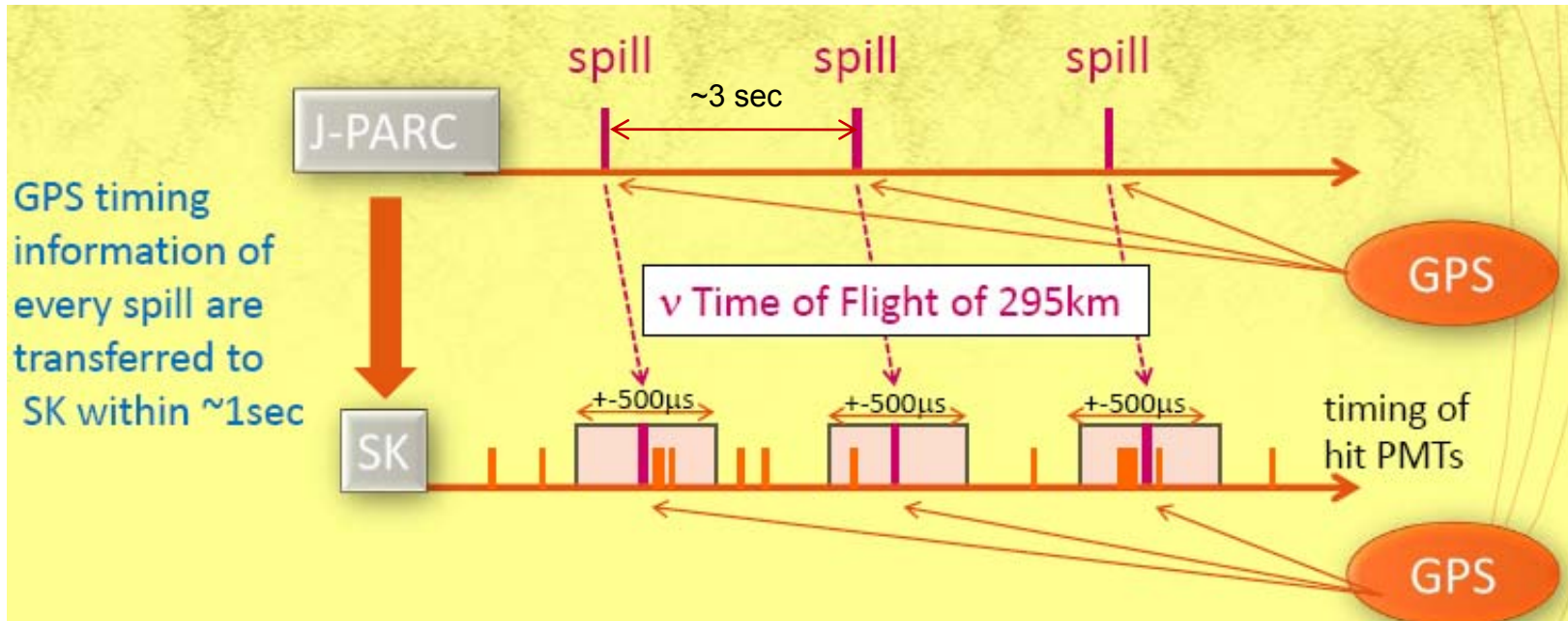
$$N_{\text{exp}}/N_{\text{MC}} = 1.061 \pm 0.028(\text{stat}) \pm 0.041(\text{sys}) \pm 0.039(\text{model})$$



# Синхронизация событий



$L = 295 \text{ км}$   
 $\text{TOF} = 985 \text{ }\mu\text{s}$   
 $\text{GPS stability} < 100 \text{ ns}$





# Отбор событий в СуперКамиоканде

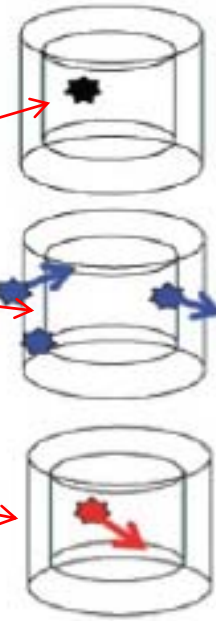
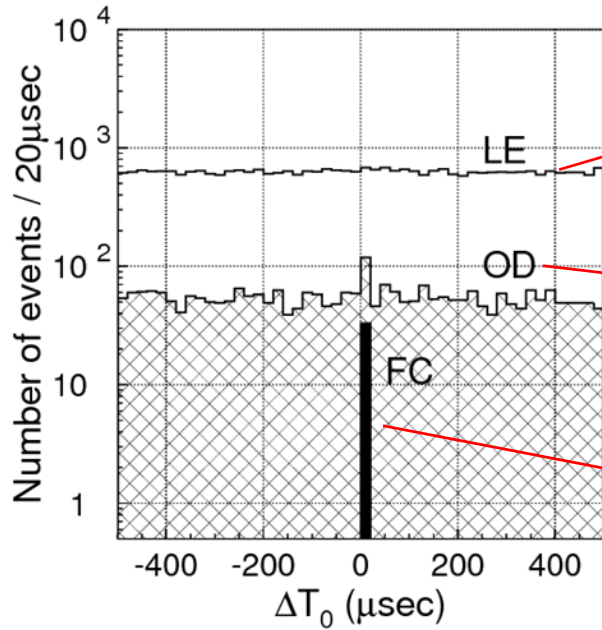


For $\nu_\mu$ disappearance analysis	For $\nu_e$ appearance search
Timing coincident w/ beam time (+TOF)	
Fully contained (No OD activity)	
Vertex in fiducial volume (Vertex >2m from wall)	
$E_{\text{vis}} > 30\text{MeV}$	$E_{\text{vis}} > 100\text{MeV}$
n <sup>o</sup> of rings = 1	
$\mu$ -like ring	e-like ring
	No decay electron
	Inv. mass w/ forced-found 2 <sup>nd</sup> ring < 105MeV
	$E_\nu^{\text{rec}} < 1250\text{MeV}$

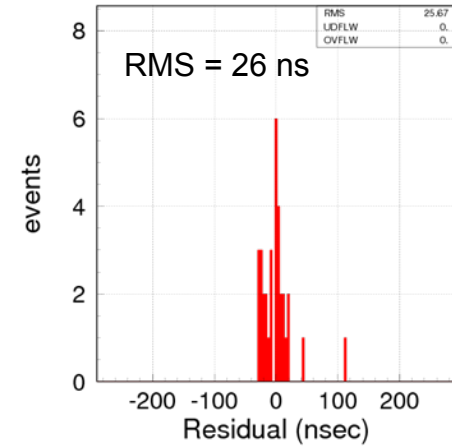
Критерии были определены и фиксированы до начала набора статистики



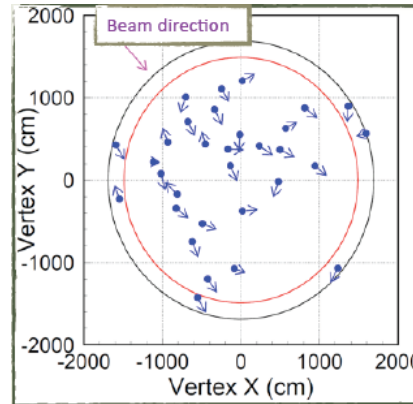
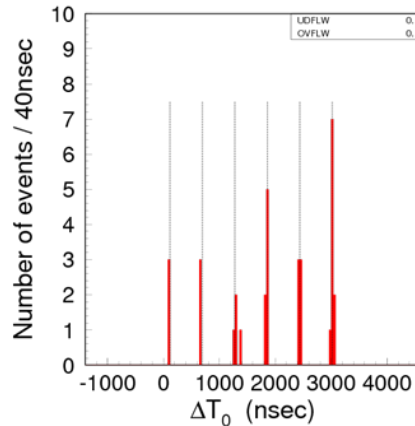
# Временное распределение событий в SK



Временные окна:  
 $\pm 500$  мкс  
 $\pm 100$  нс для микробанча



6 микробанчей  
 протонного  
 ускорителя



Распределение  
 вершин  
 нейтринных  
 событий в SK



# T2K события в SK



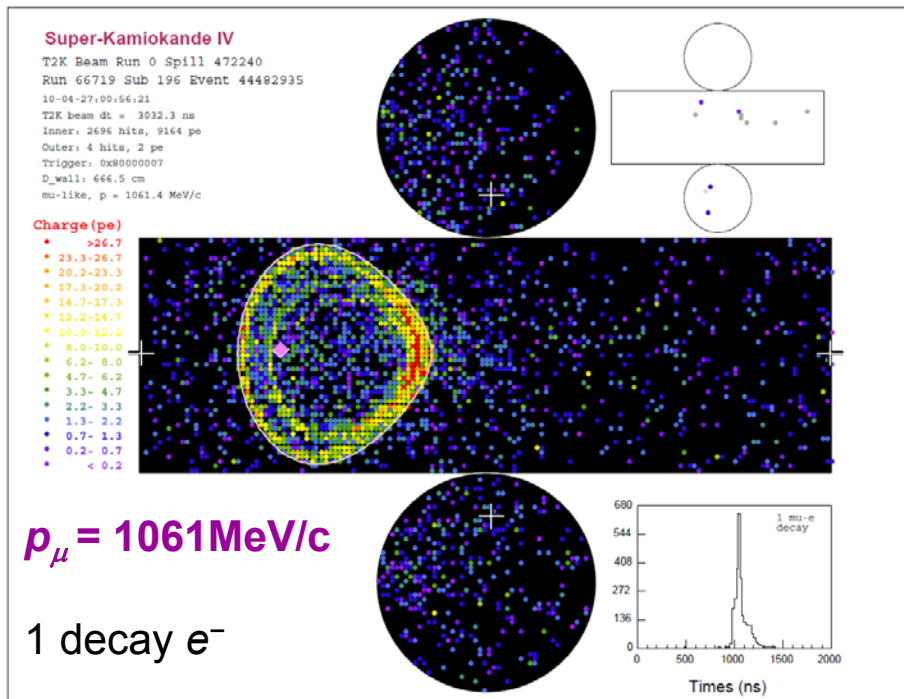
	Data	MC		BG (12 $\mu$ s window)
		No oscillation	Oscillation $\Delta m^2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ (eV}^2\text{)}$ $\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$	
Fully-Contained	<b>33</b>	54.5	24.6	0.0094
Fiducial Volume, $E_{\text{vis}} > 30\text{MeV}$	<b>23</b>	36.8	16.7	0.0011
Single-ring $\mu$ -like ( $P_{\mu} > 200\text{MeV}/c$ )	<b>8</b> <b>(8)</b>	24.6 (24.5 $\pm$ 3.9)	7.2 (7.1 $\pm$ 1.3)	-
Single-ring e-like ( $P_e > 100\text{MeV}/c$ )	<b>2</b> <b>(2)</b>	1.9 (1.5 $\pm$ 0.7)	1.5 (1.3 $\pm$ 0.6)	-
Multi-ring	<b>13</b>	10.2	8.0	-



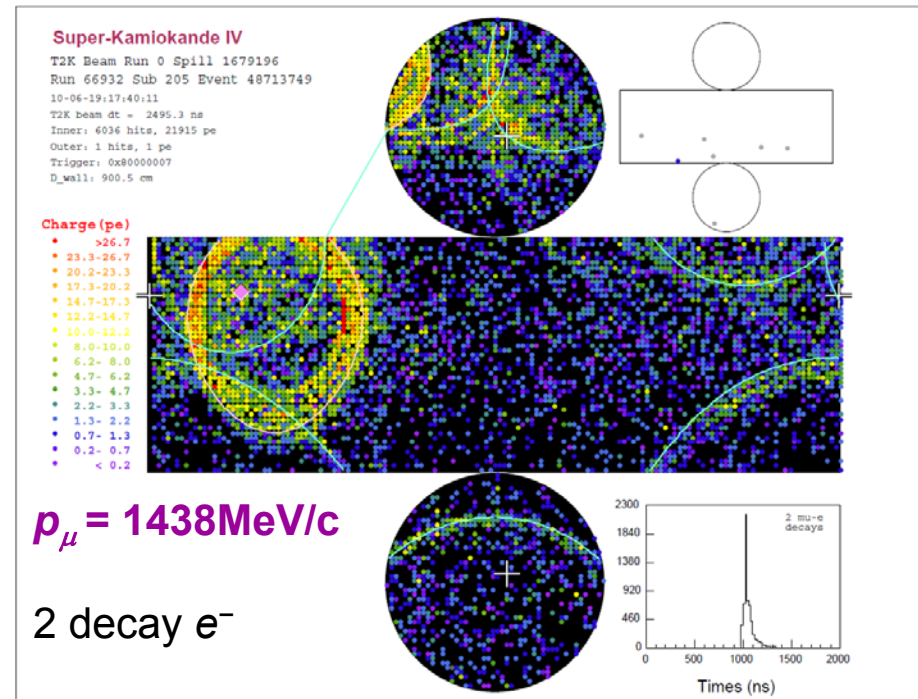
# Нейтринные события в SK



## Однокольцевое событие (muon-like)

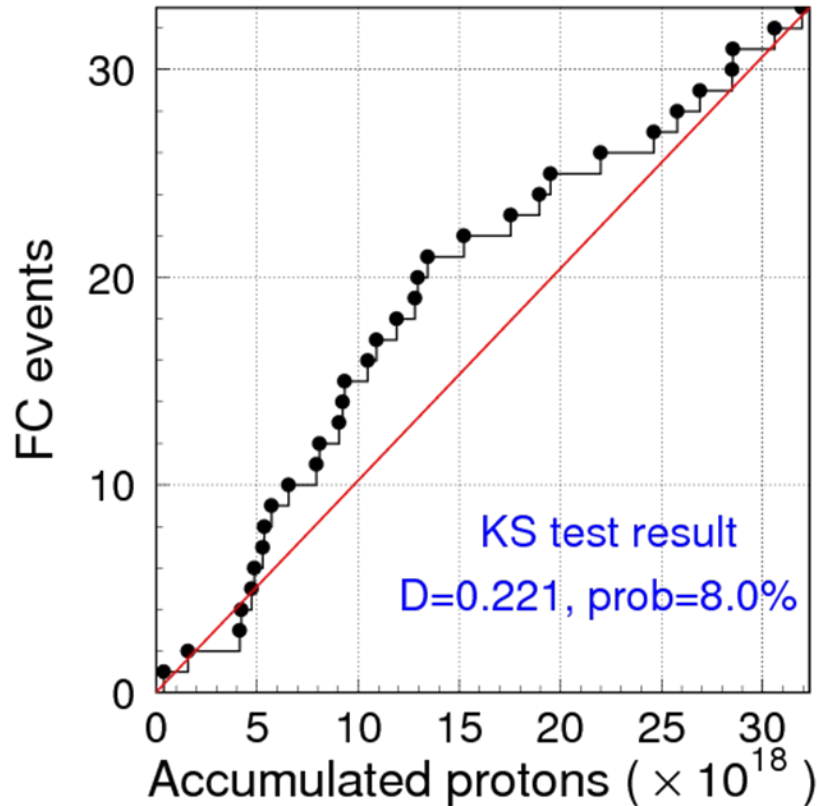


## Многокольцевое событие





# Нейтринные события в СуперКамиоканде



Нейтринные события,  
энергия которых полностью  
регистрируется в SK

Из них 23 события  
- энергия  $>30$  МэВ  
- вершина в чувствительном  
объеме детектора  
( $< 2\text{m}$  от стенок)



# Поиск $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$



Осцилляционный анализ для интегрального числа протонов на мишени  $3.23 \times 10^{19}$  POT (январь-июнь 2010)

## Стратегия анализа:

Число зарегистрированных событий в SK:

$$N^{SK}(\nu_e) = P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \times \Phi_{SK}(\nu_\mu) \times \sigma(\nu)$$

$$N^{SK}(\nu_\mu) = P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) \times \Phi_{SK}(\nu_\mu) \times \sigma(\nu)$$

$$\Phi_{SK}(\nu_\mu) \times \sigma(\nu) = R(SK/ND) \times \Phi^{ND}(\nu_\mu) \times \sigma(\nu) = R(SK/ND) \times N^{ND}(\nu_\mu)$$

$R(SK/ND)$  – Far/Near ratio

Фоновые события (NC  $\pi^0$  + beam  $\nu_e$ ) - учтены

Parameter	Value
$\Delta m_{12}^2$	$7.6 \times 10^{-5} \text{ eV}^2$
$\sin^2(2\theta_{12})$	0.8704
$\sin^2(2\theta_{23})$	1.0
Earth density	3.2 gram/cm <sup>3</sup>
Beam length	295 km



Signal ( $\sin^2 2\theta_{13}$ )=0.1	0.846
Backgrounds	
$\nu_\mu$ (NC)	0.123
$\nu_e$ (beam)	0.154
anti- $\nu_\mu$	0.008

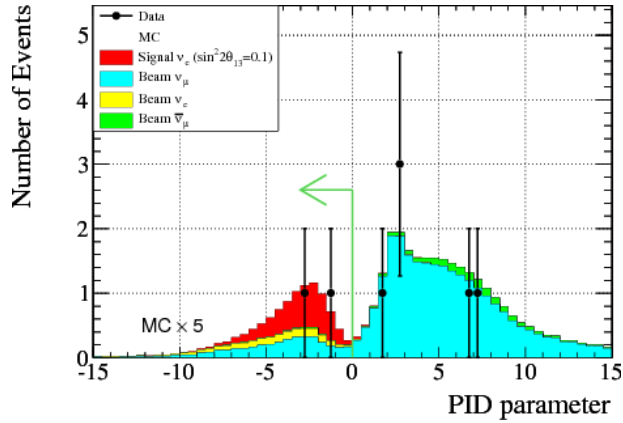




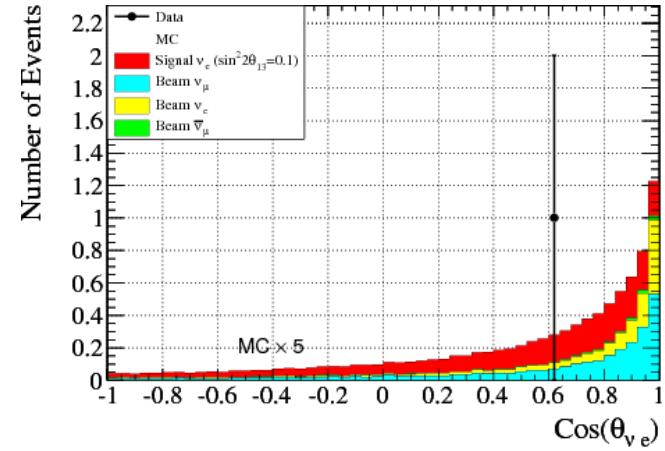
# Кандидаты в $\nu_e$



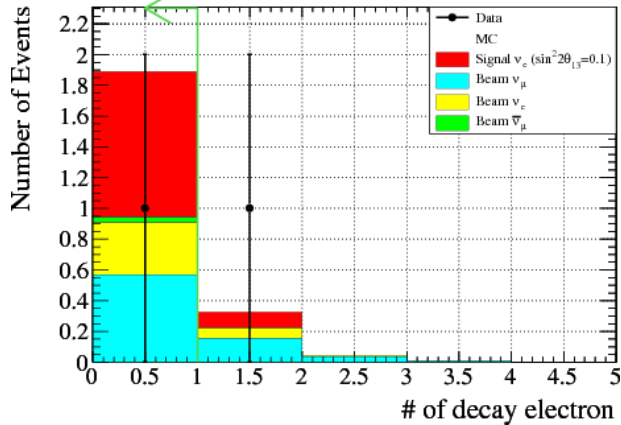
PID < 0 → electron



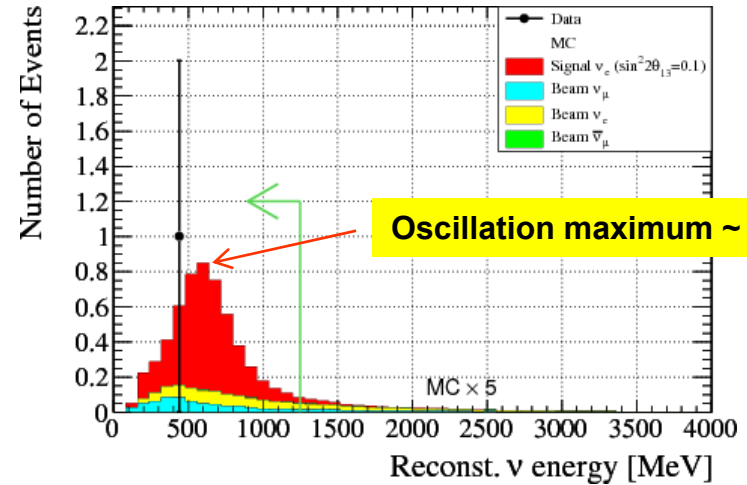
Angular distribution



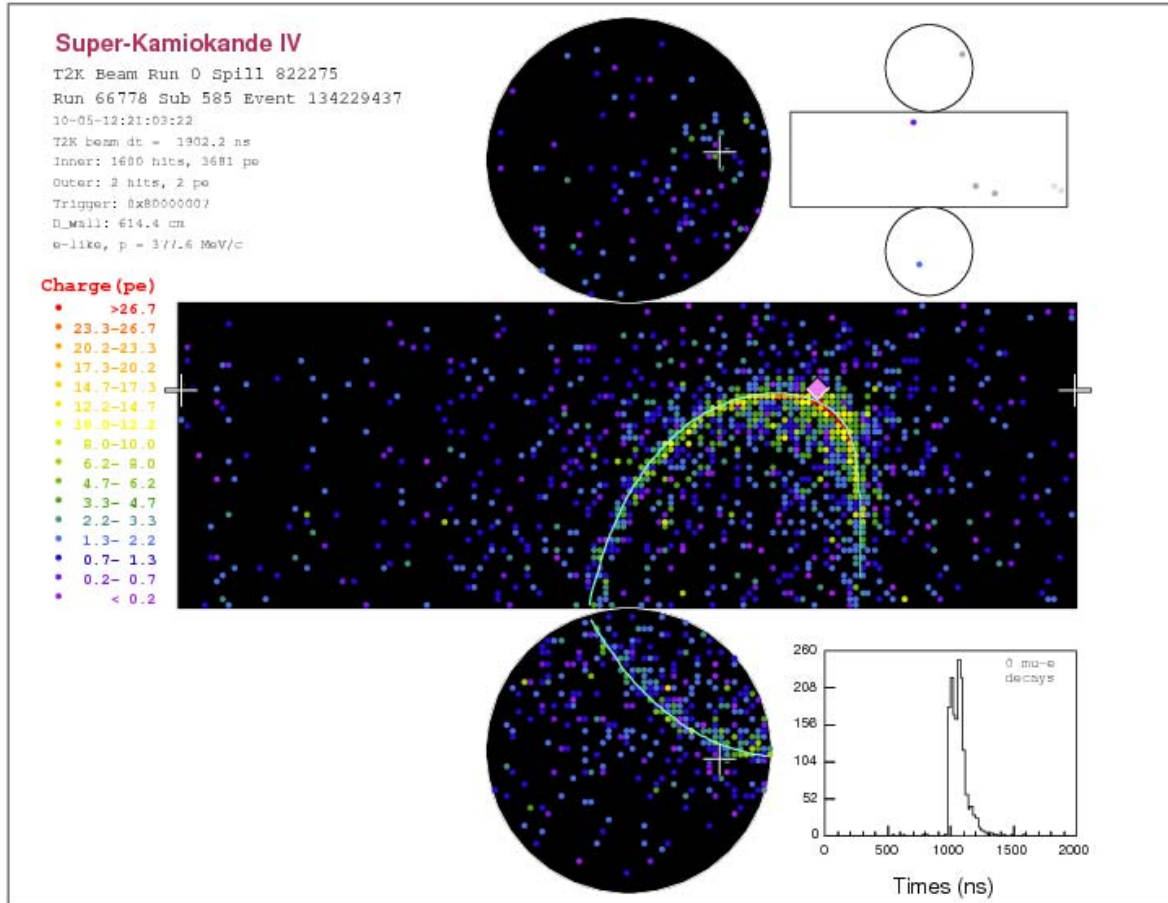
# of decay electrons ( $\mu \rightarrow e + \nu_e$ ) = 0



reconstructed  $\nu$  energy



Число зарегистрированных электронных нейтрино  $N^{SK}(\nu_e) = 1$





# Систематика

Основные источники систематики для числа нейтринных событий, %

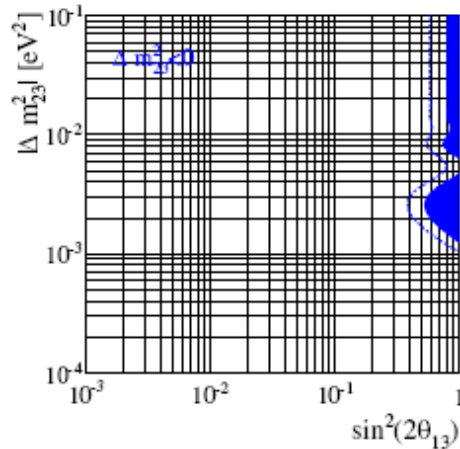
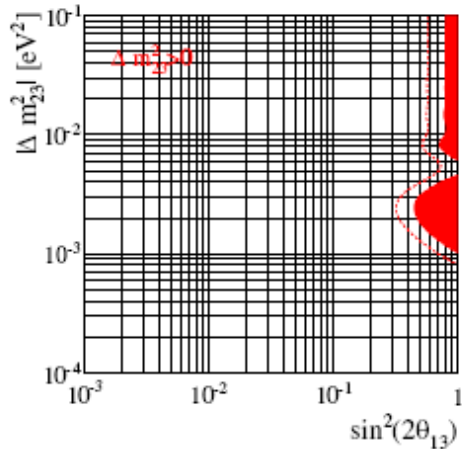
Error source		$N_{SK}^{sig}$	$N_{SK}^{bkg}$	$N_{SK}^{s+b}$	$N_{ND}$	$N_{SK}^{bkg}/N_{ND}$	$N_{SK}^{s+b}/N_{ND}$
SK Norm.	$f^{SKnorm}$	$\pm 1.41$	$\pm 1.41$	$\pm 1.41$	$\pm 0.0$	$\pm 1.41$	$\pm 1.41$
SK Energy Scale	$f^{Energy}$	$\pm 0.30$	$\pm 0.50$	$\pm 0.35$	$\pm 0.0$	$\pm 0.50$	$\pm 0.35$
SK Ring Counting	$f^{Nring}$	$\pm 3.90$	$\pm 8.40$	$\pm 5.03$	$\pm 0.0$	$\pm 8.40$	$\pm 5.03$
SK PID Muon	$f^{PID\mu}$	$\pm 0.0$	$\pm 1.00$	$\pm 0.25$	$\pm 0.0$	$\pm 1.00$	$\pm 0.25$
SK PID Electron	$f^{PIDE}$	$\pm 3.80$	$\pm 8.10$	$\pm 4.88$	$\pm 0.0$	$\pm 8.10$	$\pm 4.88$
SK POLfit Mass	$f^{POLfit}$	$\pm 5.10$	$\pm 8.70$	$\pm 6.01$	$\pm 0.0$	$\pm 7.70$	$\pm 6.01$
SK Decay Electron	$f^{Ndecy}$	$\pm 0.10$	$\pm 0.30$	$\pm 0.15$	$\pm 0.0$	$\pm 0.30$	$\pm 0.15$
SK $\pi^0$ Efficiency	$f^{\pi^0eff}$	$\pm 0.00$	$\pm 5.90$	$\pm 1.49$	$\pm 0.0$	$\pm 5.90$	$\pm 1.49$
CC QE shape	$f^{CCQEshape}$	$\pm 4.91$	$\pm 2.62$	$\pm 4.33$	$\pm 0.0$	$\pm 2.72$	$\pm 4.33$
CC $1\pi$	$f^{CC1\pi}$	$\pm 4.28$	$\pm 3.76$	$\pm 4.15$	$\pm 5.93$	$\pm 2.10$	$\pm 1.78$
CC Coherent $\pi$	$f^{CCcoh}$	$\pm 0.32$	$\pm 0.23$	$\pm 0.30$	$\pm 3.29$	$\pm 3.06$	$\pm 2.99$
CC Other	$f^{CCother}$	$\pm 0.07$	$\pm 0.35$	$\pm 0.14$	$\pm 4.77$	$\pm 4.43$	$\pm 4.63$
NC $1\pi^0$	$f^{NC1\pi^0}$	$\pm 0.00$	$\pm 5.86$	$\pm 1.48$	$\pm 0.05$	$\pm 5.56$	$\pm 1.43$
NC Coherent $\pi$	$f^{NCcoh}$	$\pm 0.00$	$\pm 2.48$	$\pm 0.63$	$\pm 0.00$	$\pm 2.37$	$\pm 0.62$
NC Other	$f^{NCother}$	$\pm 0.00$	$\pm 3.83$	$\pm 0.97$	$\pm 1.14$	$\pm 2.53$	$\pm 0.17$
$\sigma(\nu_e)$	$f^{\sigma(\nu_e)}$	$\pm 6.00$	$\pm 3.17$	$\pm 5.29$	$\pm 0.01$	$\pm 3.28$	$\pm 5.28$
FSI	$f^{FSI}$	$\pm 3.83$	$\pm 10.34$	$\pm 5.47$	$\pm 0.00$	$\pm 10.32$	$\pm 5.47$
Beam Norm.	$f_{SK/ND}^{\phi}$	$\pm 21.97$	$\pm 18.12$	$\pm 20.49$	$\pm 19.83$	$\pm 9.17$	$\pm 11.88$
ND Efficiency	$f^{\epsilon ND}$	$\pm 0.00$	$\pm 0.00$	$\pm 0.00$	$+5.60$ $-5.16$	$+5.60$ $-5.16$	$+5.60$ $-5.16$
Overall Norm.	$f^{norm}$	$\pm 0.00$	$\pm 0.00$	$\pm 0.00$	$\pm 0.00$	$\pm 2.70$	$\pm 2.70$
Total		$\pm 25.17$	$\pm 27.77$	$\pm 24.64$	$+22.23$ $-22.13$	$+23.95$ $-23.85$	$+19.55$ $-19.43$



Far/Near detector cancellation

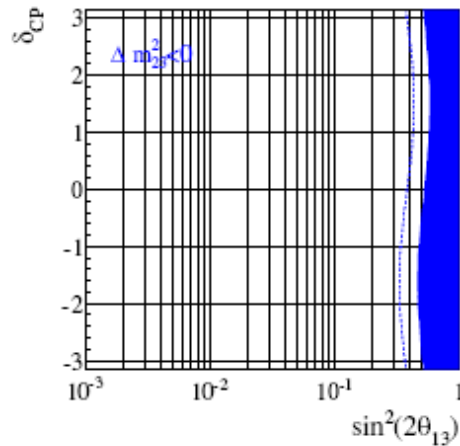
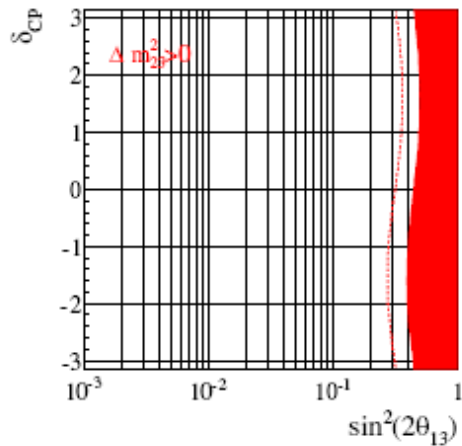


# Ограничение на $\theta_{13}$



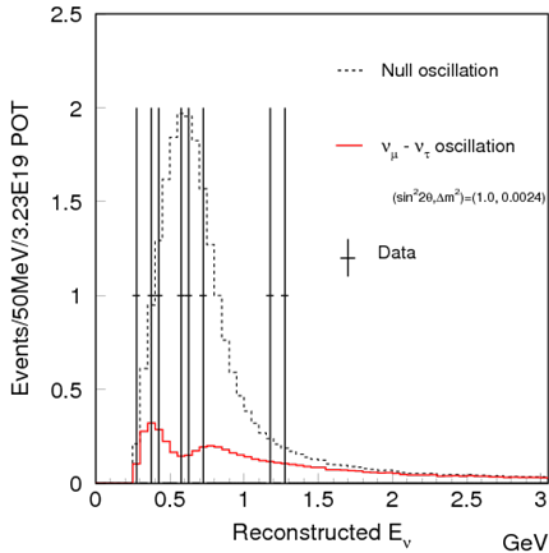
NH:  $\sin^2 2\theta_{13} < 0.44$  (90% CL)  
NH:  $\sin^2 2\theta_{13} < 0.32$  (sensitivity)

IH:  $\sin^2 2\theta_{13} < 0.53$  (90% CL)  
NH:  $\sin^2 2\theta_{13} < 0.39$  (sensitivity)

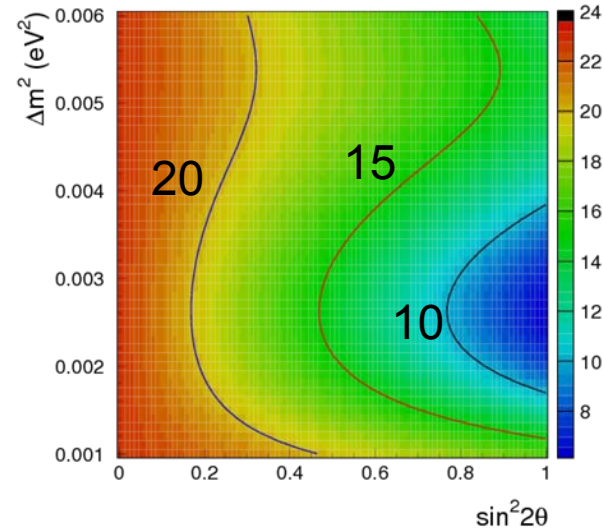




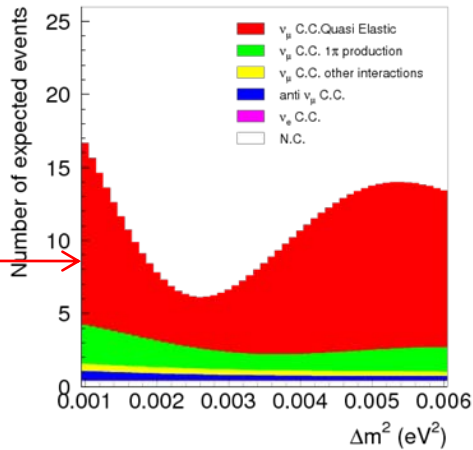
$$\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\mu}$$



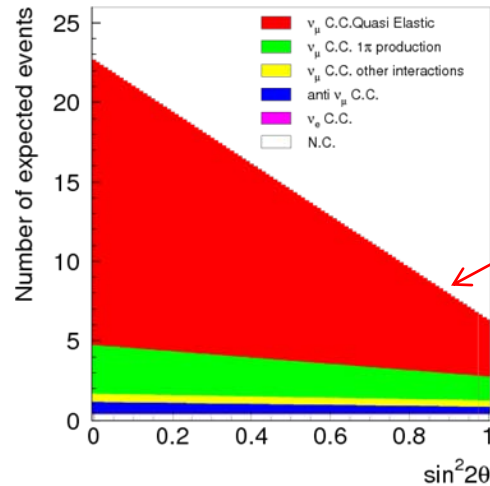
**8 однокольцевых  
 $\nu_{\mu}$  событий  
 зарегистрировано  
 СуперКамиоканде**



**8 СОБЫТИЙ**



**8 СОБЫТИЙ**





# Заключение



- **T2K**: набор статистики с января 2010
- Основная цель:  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  и  $\theta_{13}$
- В первом сеансе наблюдается первое событие – кандидат в  $\nu_e$
- Второй сеанс - с ноября 2010 по июль 2011  
Ожидаемая интегральная светимость  $3 \times 10^{20}$  POT,  
что позволит достичь чувствительности  
 $\sin^2 2\theta_{13} \sim 0.05$  (90% CL)

**спасибо за внимание**