



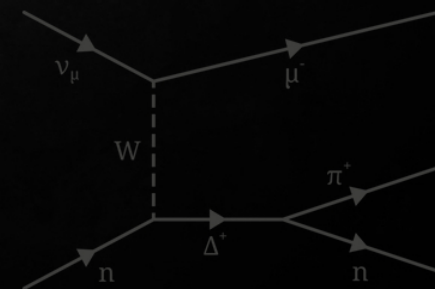
T2K

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЮОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО В БЛИЖНЕМ НЕЙТРИННОМ ДЕТЕКТОРЕ ЭКСПЕРИМЕНТА T2K

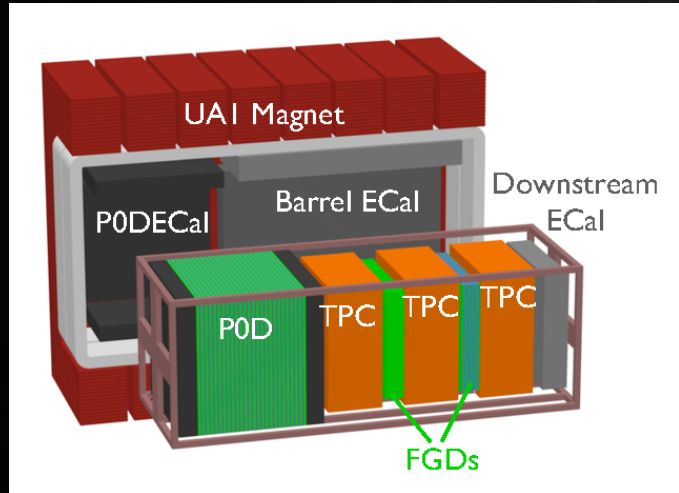
$$P_{\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu} = A_{\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu}(t, x) = |\nu_\mu \nu_\mu(t, x)|^2 = \sum_i U_{\mu i}^* \exp(-iE_i t + i p_i x) U_{\mu i}$$

Выполнила: студентка 383 группы ФФПФ
МФТИ Шайкина Анастасия

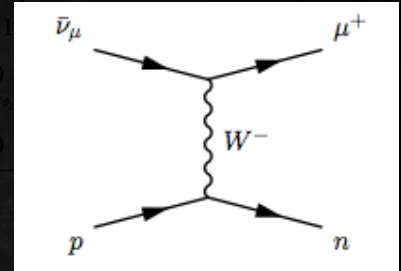
Научный руководитель:
д. ф.-м. н. проф. Куденко Юрий Григорьевич



АНАЛИЗ НЕЙТРОНОВ



$$\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$$



- MC симуляция для 2×10^{21} POT
- взаимодействия в FGD1 FV
- CC inclusive анализ

CCQE

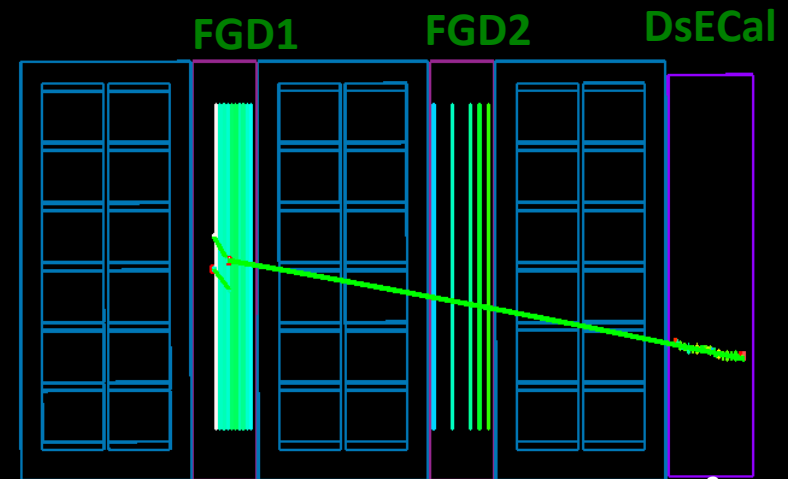
$$P_{\nu_\mu \rightarrow \mu^+} = A_{\nu_\mu \rightarrow \mu^+}(t, x)^2 = |\nu_\mu \nu_\mu^*(t, x)|^2 = \sum_i U_{\mu i}^* \exp(-iE_i t + i p_i x)$$

Топологии

CC 0π

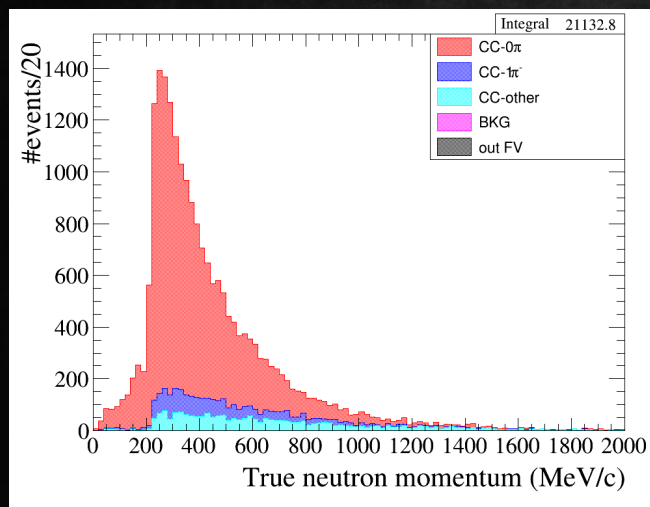
CC 1π

CC Other

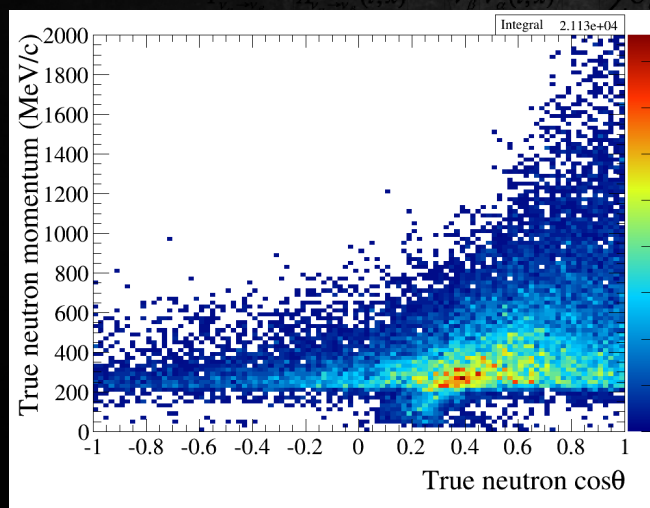
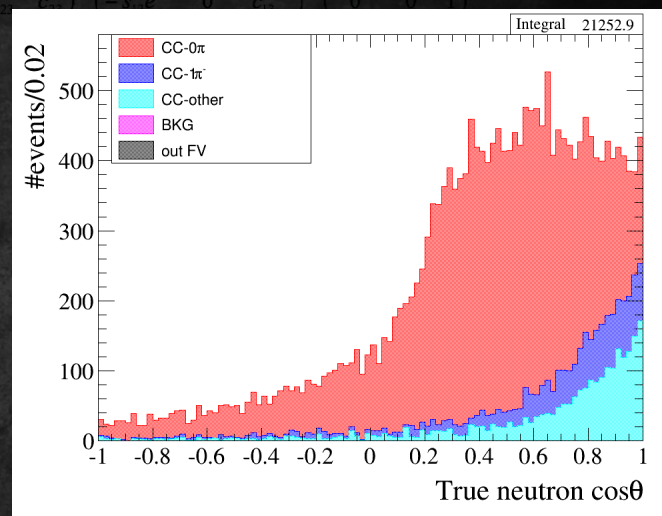


КИНЕМАТИКА НЕЙТРОНОВ

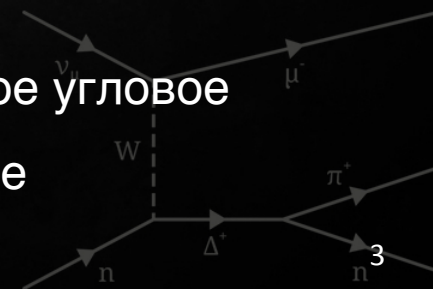
распределение по импульсам



распределение по углам



- нейтроны присутствуют в 72% реконструированных событий
- имеют широкое угловое распределение



АНАЛИЗ В ECAL

CC Inclusive

процентное
соотношение

число событий в ECAL

число взаимодействий
в FGD1 FV

CC 0π

3.58%

608.67

16986.95

CC 1π

3.86%

145.72

3771.04

CC Other

11.44%

309.13

2702.91

CC MultiPi

процентное
соотношение

число событий в ECAL

число взаимодействий
в FGD1 FV

CC 0π

3.09%

661.91

21406.79

CC 1π

3.58%

54.84

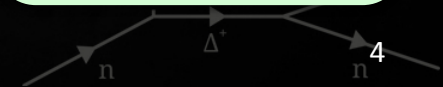
1532.99

CC Other

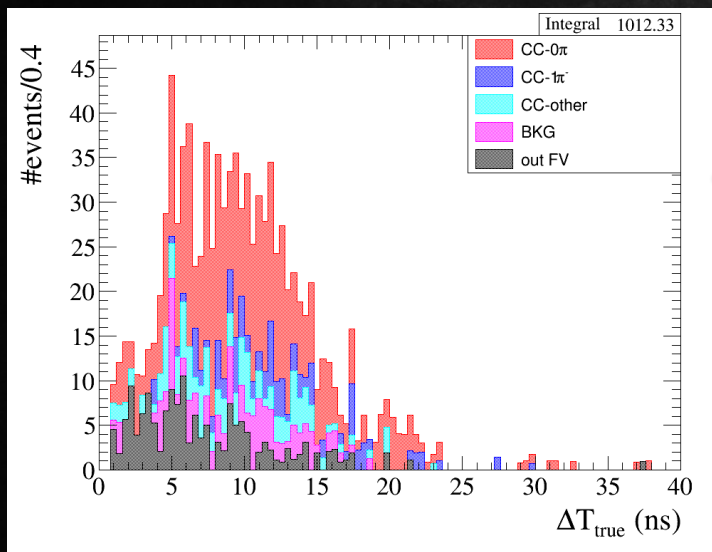
10.67%

739.78

6930.28



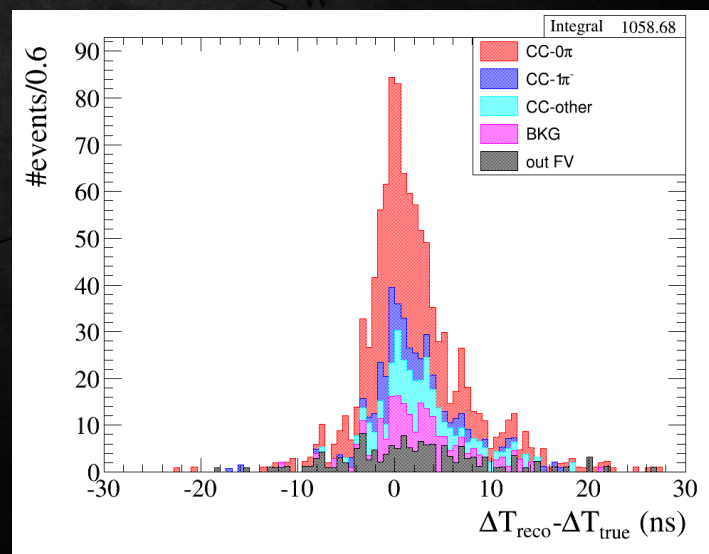
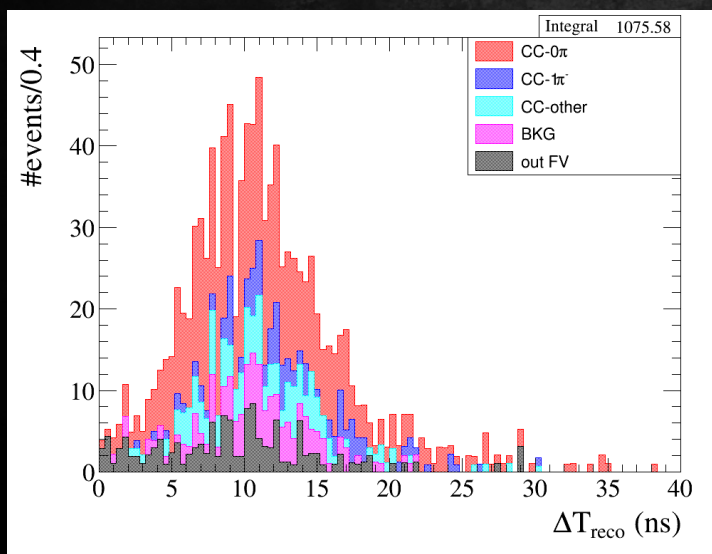
ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ



$$U^M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\phi} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\phi} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

FGD1 — ECal

- истинное время ΔT_{true}
- восстановленное время ΔT_{reco}
- разница $\Delta T_{\text{reco}} - \Delta T_{\text{true}}$

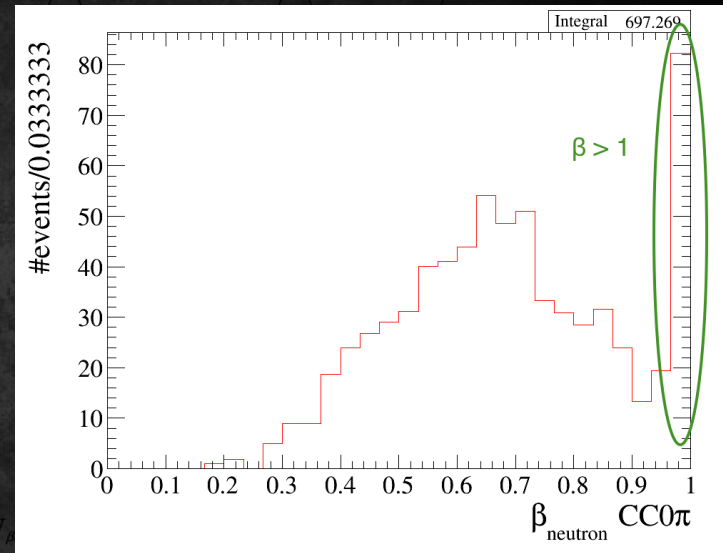
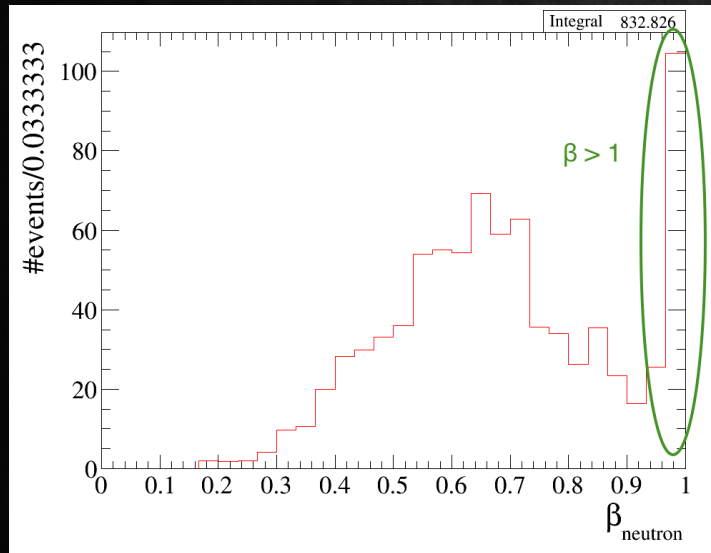


ОТБОР НЕЙТРОНОВ

CC inclusive

$$U^M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\phi} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\phi} & 0 & c_{13} \end{pmatrix}$$

CC 0π



41% эффективность

40% чистота

80% эффективность

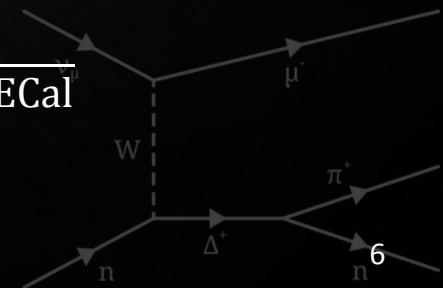
58% чистота

$$\begin{aligned} \nu_{\alpha L} \nu_{\beta L} &\Rightarrow \nu_{\alpha L} \xrightarrow{C} \nu_{\beta L} \xrightarrow{P} \nu_{\alpha R} \rightarrow \nu_{\beta R} \\ P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}} &\xrightarrow{CP} P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}} \end{aligned}$$

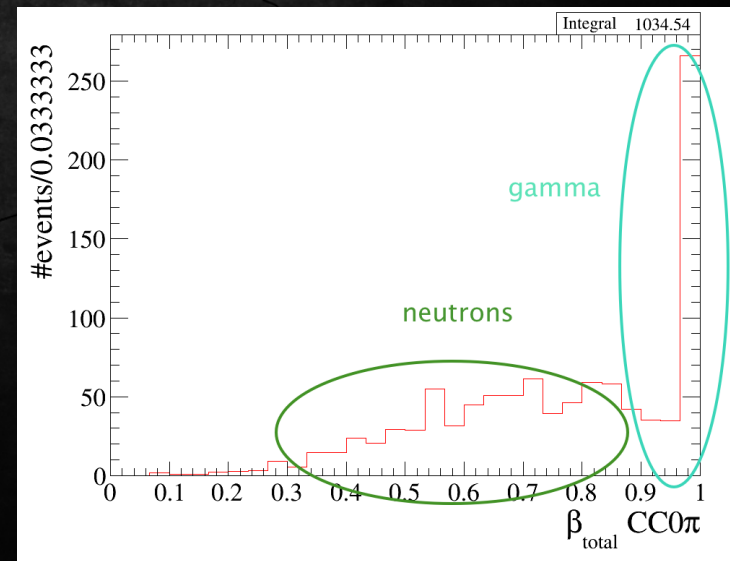
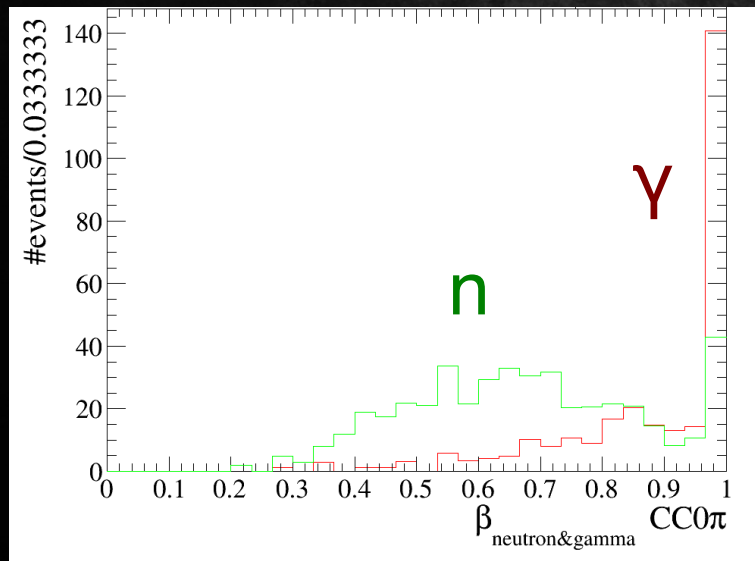
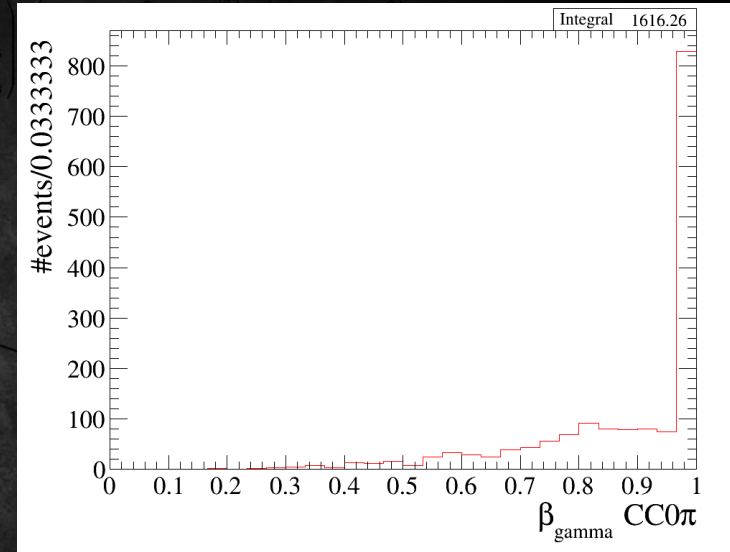
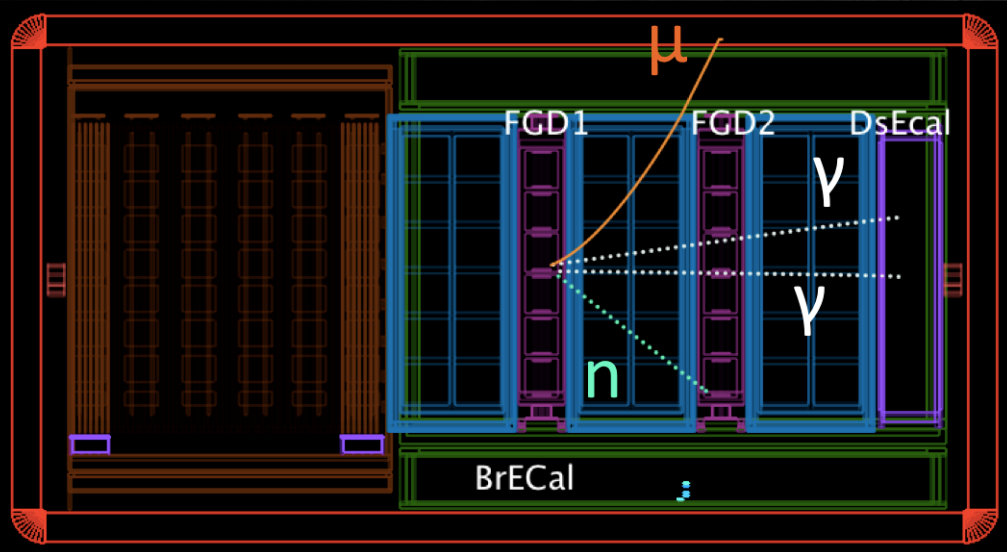
отобранные нейтроны

эффективность = $\frac{\text{отобранные нейтроны}}{\text{все нейтроны, вызвавшие изо - объекты в ECal}}$

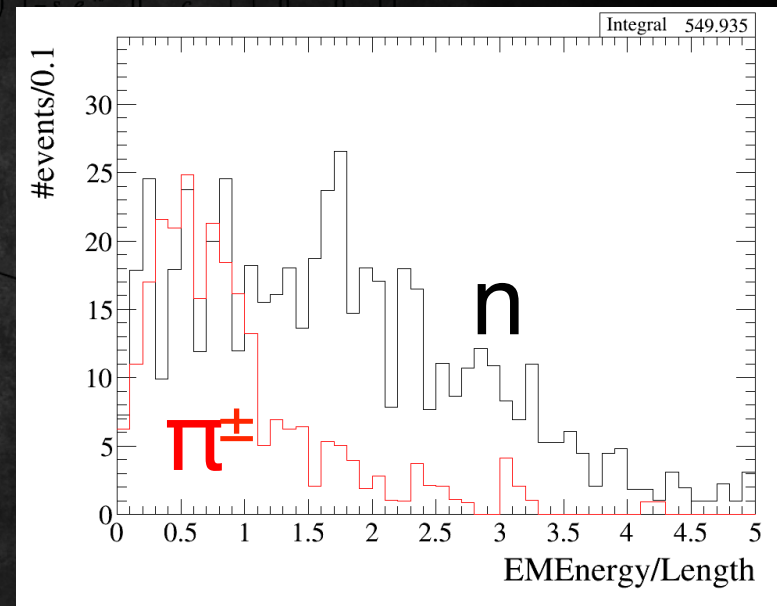
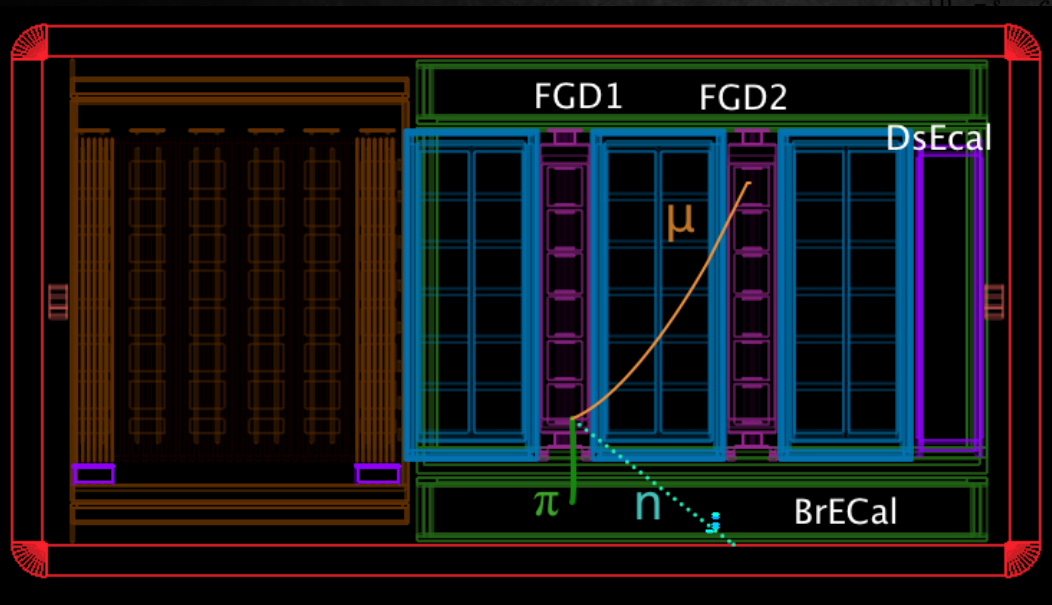
чистота = $\frac{\text{отобранные нейтроны}}{\text{все отобранные частицы}}$



ΦΟΗ ΟΤ ΓΑΜΜΑ-ΚΒΑΝΤΟΒ



ФОН ОТ ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ



$$\begin{aligned}
 & \nu_{\alpha L} \xrightarrow{C} \nu_{\beta L} \Rightarrow \nu_{\alpha L} \xrightarrow{P} \nu_{\beta L} \Rightarrow \nu_{\alpha R} \Rightarrow \nu_{\beta R} \\
 & P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}} \xrightarrow{CP} P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}}
 \end{aligned}$$

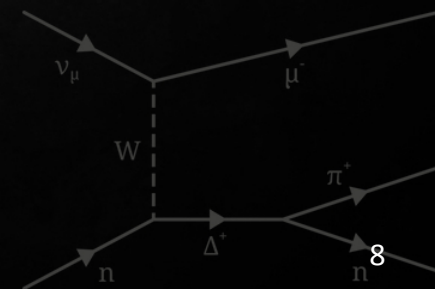
эффективность
чистота

66%
24%



41%
40%

энергия, выделявшаяся в калориметре,
на единицу длины



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

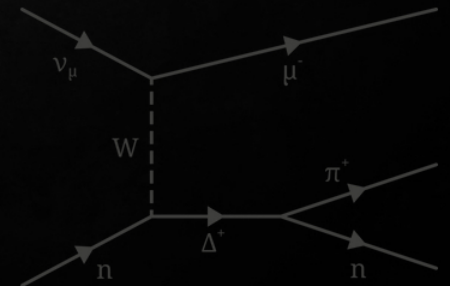
- изучена кинематика нейтронов, рождённых в антинейтринных взаимодействиях через заряженный ток в FGD1 FV ближнего детектора ND280;
- разработан алгоритм отбора нейтронов на основе времени пролёта между FGD1 и электромагнитным калориметром ECal;
- данный алгоритм реализован с эффективностью отбора **80%** и чистотой **58%** в рамках CS0p селекции;
- полученные результаты Монте-Карло моделирования планируется использовать для анализа экспериментальных данных.

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L, \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$$

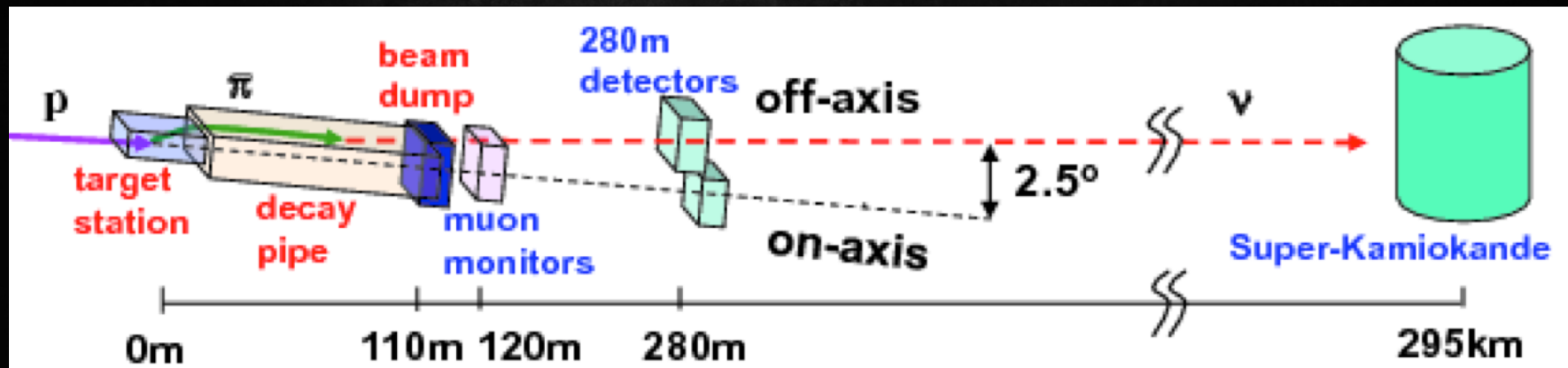
$$\nu_\alpha = \sum_k U_{\alpha k}^* \nu_k$$

$$U^M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\theta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\theta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \underbrace{\begin{pmatrix} e^{-i\phi} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-i\phi_\nu} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\theta''}$$

BACKUP



ЭКСПЕРИМЕНТ T2K



$$\begin{aligned} \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \end{aligned} \quad \frac{dE_\nu}{dE_\pi} = \left(1 - \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2}\right) \frac{1 - \gamma^2 \theta^2}{(1 + \gamma^2 \theta^2)^2}$$

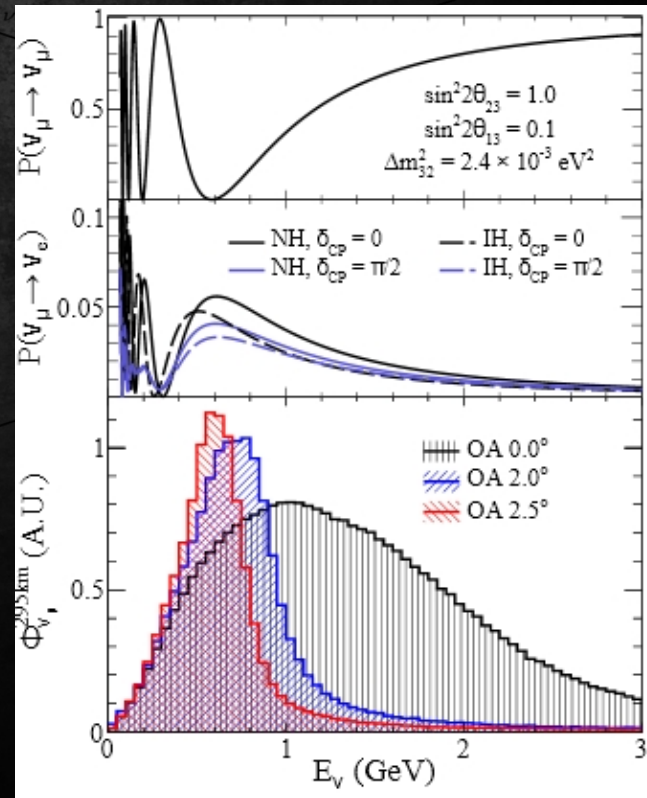
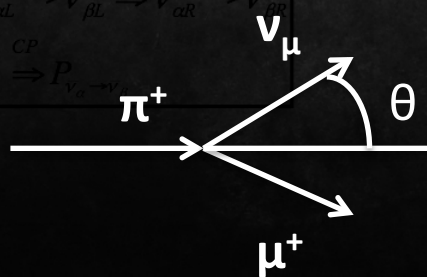
Моноэнергетический
“off-axis пучок” $\theta = 2.5^\circ$

$$p_\pi = 30 \text{ GeV}/c$$

$$\theta = m_\pi/E_\pi$$

$$L = 295 \text{ km}$$

$$E_\nu \approx 0.6 \text{ GeV}$$



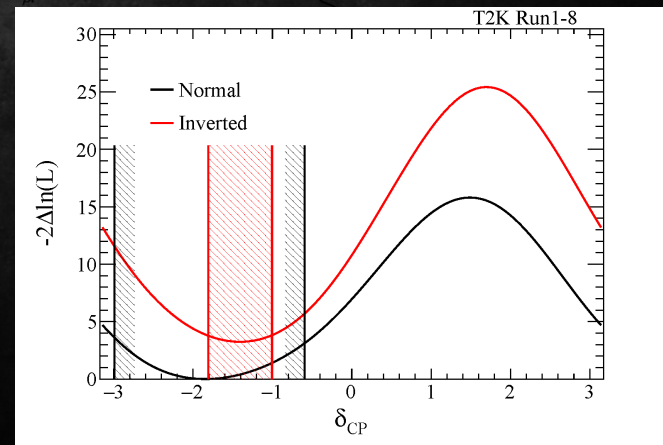
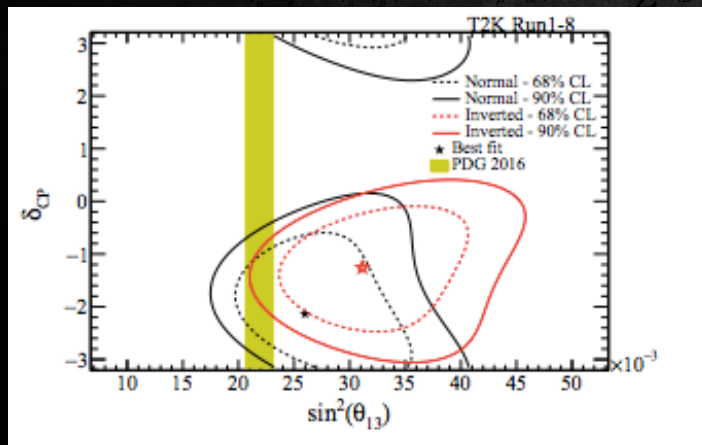
ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ Т2К

- прецизионное измерение осцилляционных параметров
- чувствительный поиск нарушения CP-симметрии: $\delta_{CP} \neq 0$, π

$$A_{CP} = \frac{P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) - P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)}{P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) + P(\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e)} \approx \frac{1}{11} \frac{\sin 2\theta_{13} \sin \delta}{(\sin^2 2\theta_{13} + 0.002)}$$

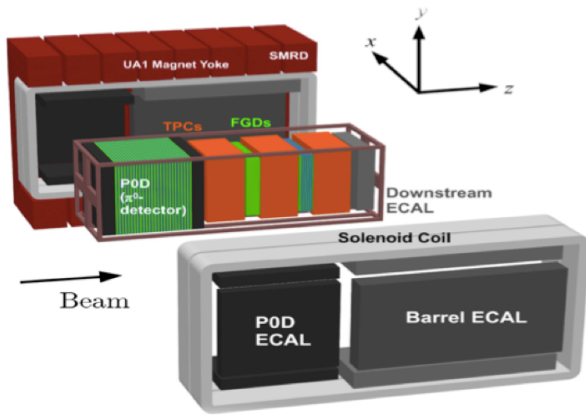
Текущие результаты:

- CP сохранение исключено на уровне 90% CL

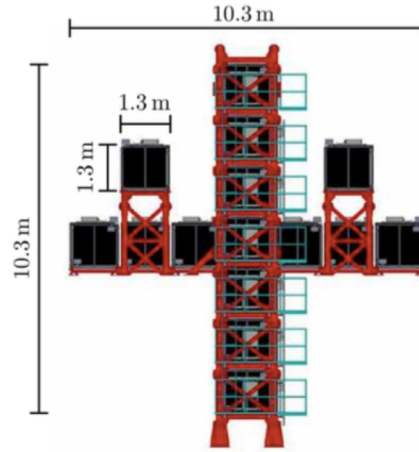


КОМПЛЕКС ДЕТЕКТОРОВ

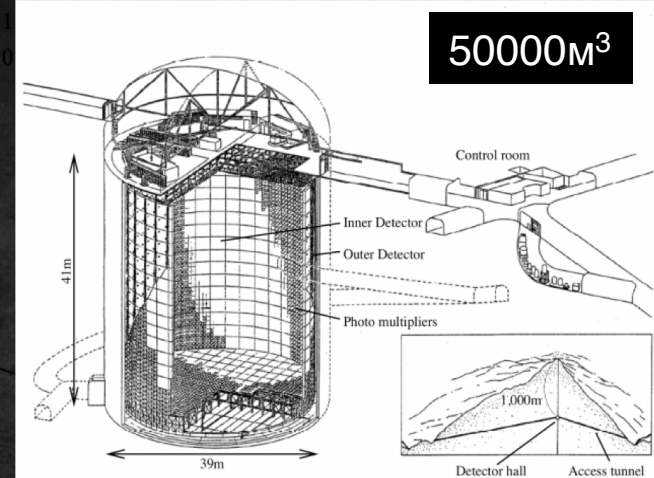
ND 280



INGRID



Супер-Камиоканде



«Off-axis» детектор:

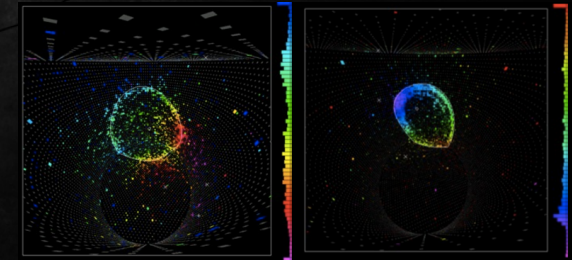
- уменьшение систематики
- спектр нейтрино до осцилляций
- сечения реакций нейтрино

«On-axis» детектор:

- мониторинг пучка
- измерение профиля пучка и положения центра
- мониторинг интенсивности пучка

Дальний детектор:

- измерение осцилляций

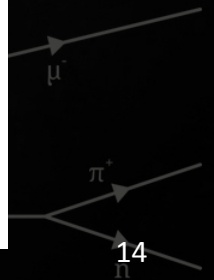
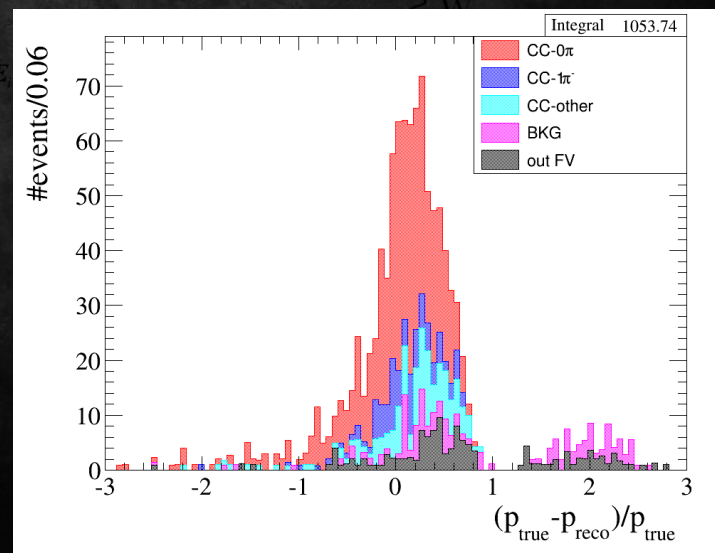
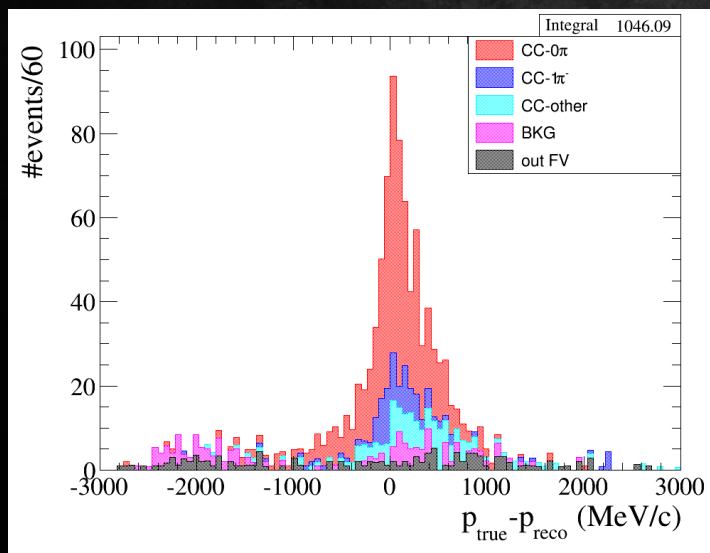
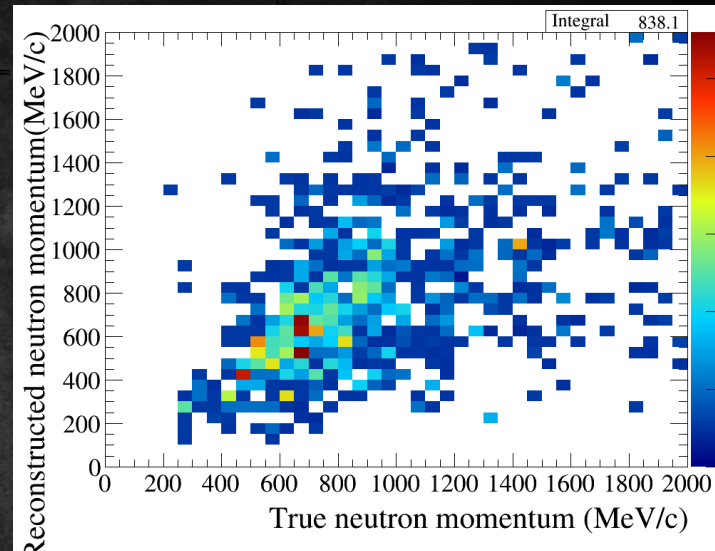
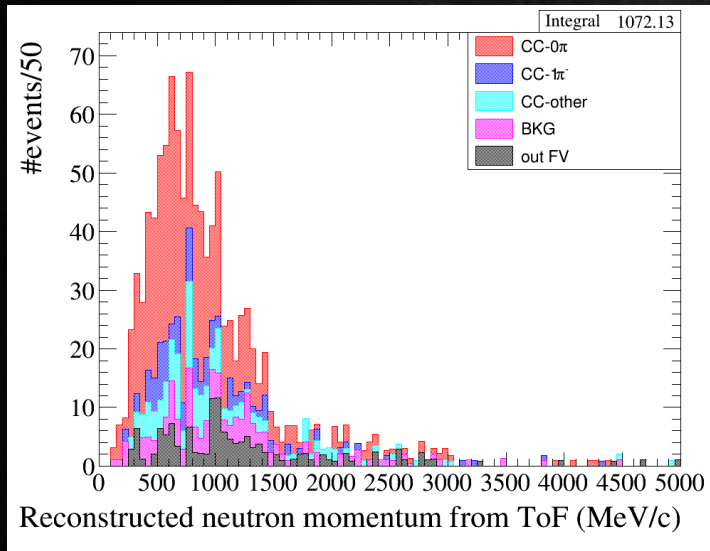


$$N_{ND} = \int \Phi_{ND}(E) \times \sigma_{ND}(E) \times \varepsilon_{ND}(E) \times dE$$

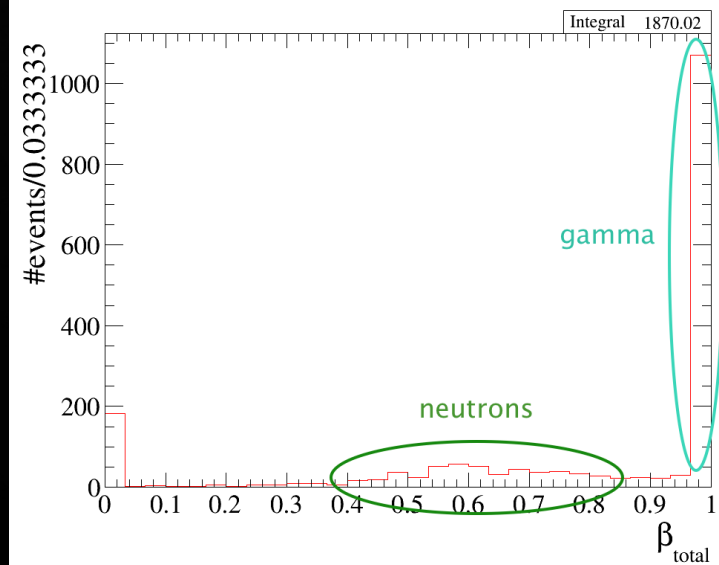
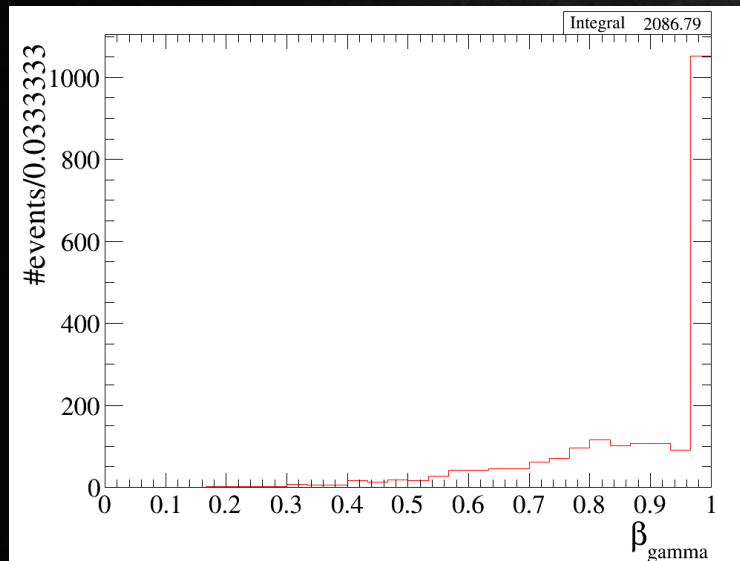
число событий ↑ поток нейтрино ↑ сечение взаимодействия ↑ эффективность

электроно- и мюноподобное
однокольцевые события

ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ИМПУЛЬС



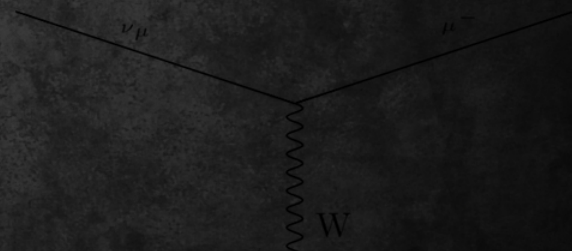
ΦΟΗ ΟΤ ΓΑΜΜΑ-ΚΒΑΝΤΟΒ



$$U^M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{-i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\times \begin{pmatrix} e^{-i\phi} & 0 & 0 \\ 0 & e^{-i\phi} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

D^M



$$\psi_{\alpha} \exp(-iE_{\alpha}t + i\mathbf{p}_{\alpha} \cdot \mathbf{x})$$

