



Эксперимент SHiP: поиск новой физики в нейтринном секторе

Н.Г. ПОЛУХИНА, Т.В. ЩЕДРИНА

XI Черенковские чтения, 17 марта 2018

Содержание

- Международный проект SHiP (**S**earch for **H**idden **P**articles).
Физическая мотивация эксперимента
- Структура детектора SHiP
- Нейтринная физика в эксперименте SHiP
 - Нейтринный детектор
 - Алгоритм реконструкции нейтринного события
 - Физика ν_τ
 - Поиск тёмной материи
 - Изучение фона в нейтринном детекторе после μ -защиты
- Заключение

Международный проект SHiP (Search for Hidden Particles)



CERN-SPSC-2015-016
SPSC-P-350
8 April 2015

Search for Hidden Particles

Stevens cast-moulded, and manufactured a harness for them they had not with before in the whole voyage. Saw powder and a piece with near the vessel. The crew of the ship was a crew and a log they also picked up a stone which appeared to have been carved with an iron tool, a piece of wood, a glass which proved to be lead, and a board. The crew of the ship was other signs of lead, and a small basket with rice berries. These signs encouraged them, and they all grew cheerful. So that they they still cannot, twenty-seven leagues.

After some steered their original course east and sailed twelve miles on four till two hours after midnight, going ninety miles, which are twenty-two leagues and a half and on the third was the vessel's water, and kept ahead of the ship.

the steered lead



Technical Proposal

- Физическое описание эксперимента документ разработан 80 теоретиками
Rep. Prog. Phys. 79 (2016)
arXiv:1504.04855
- Техническое предложение
arXiv:1504.04956 (2015)
- Международное сотрудничество
62 института, 16 стран, 263 участника

Физическая мотивация эксперимента SHiP

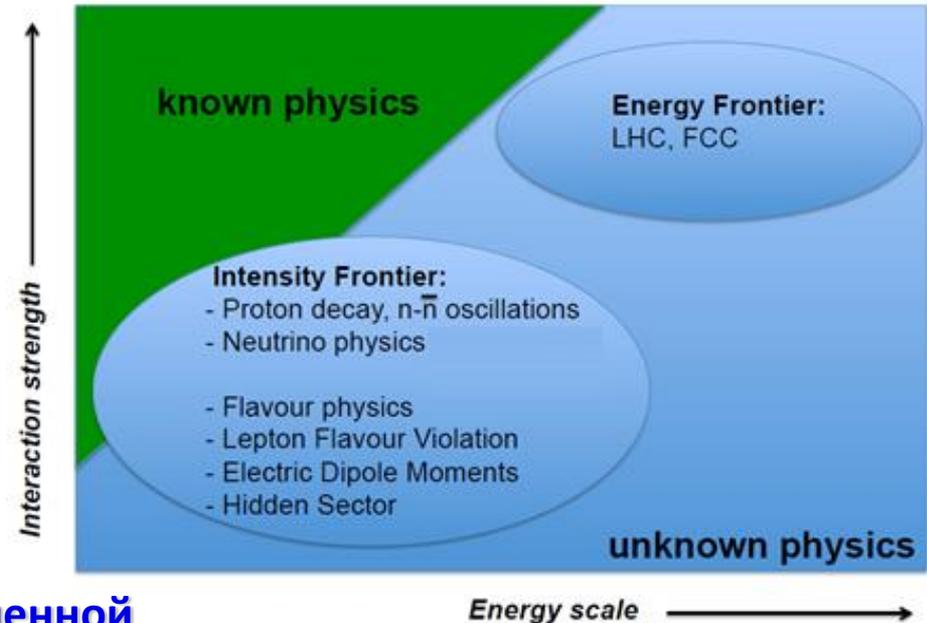
Стандартная модель позволяет описать практически все известные физике факты, но

в рамках СМ невозможно объяснить:

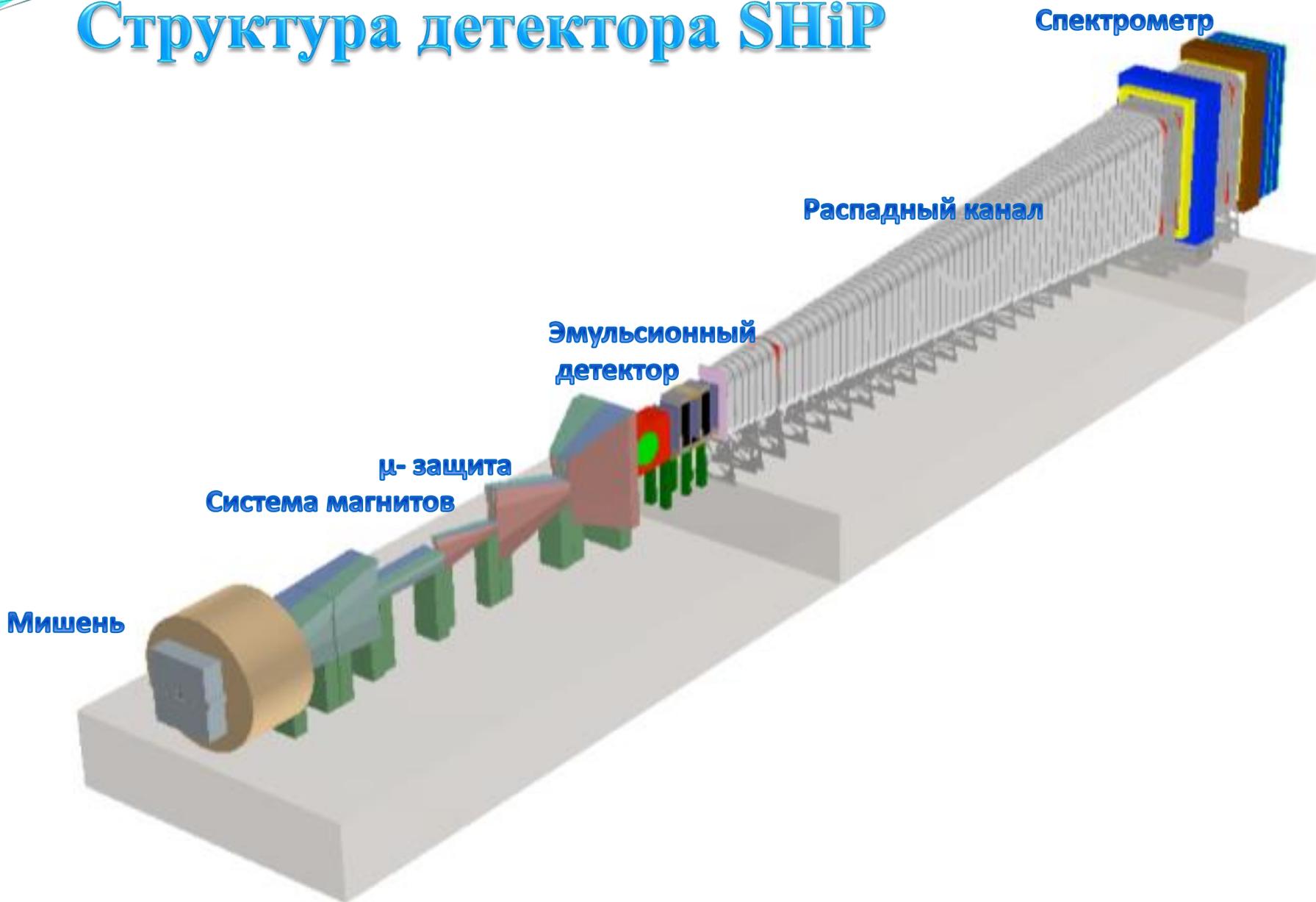
тёмную материю

осцилляции нейтрино

асимметрию материи/антиматерии во Вселенной

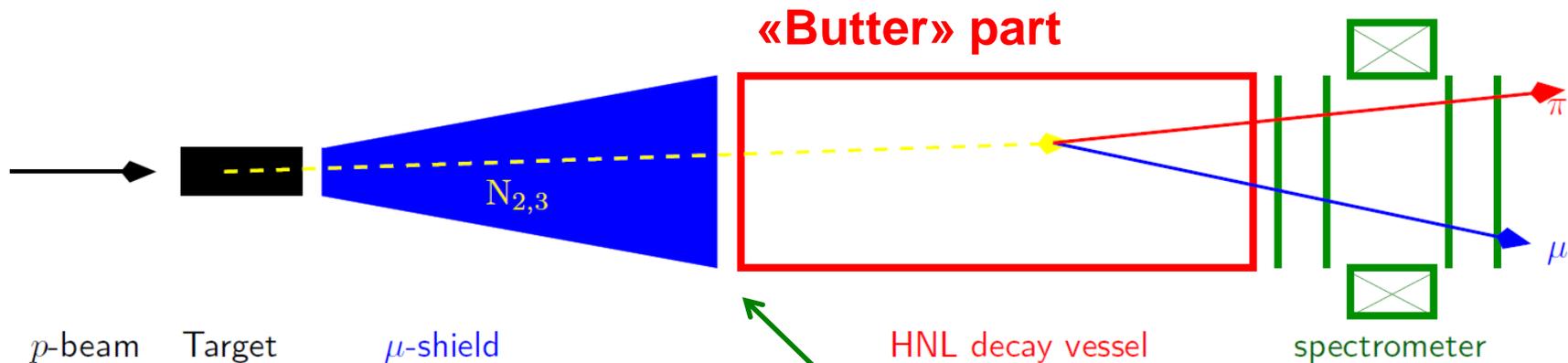


Структура детектора SHiP



ХЛЕБ с МАСЛОМ

принципиальная постановка эксперимента



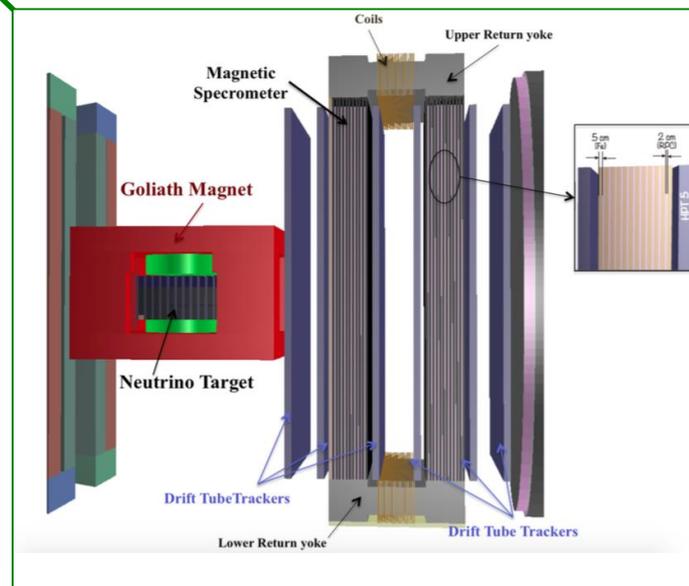
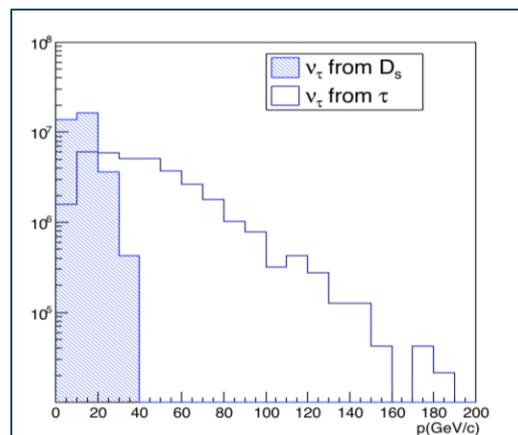
«Bread» part – tau neutrino detector

$$N_{\nu_\tau} = N_{\bar{\nu}_\tau} = 2.8 \times 10^{15}$$

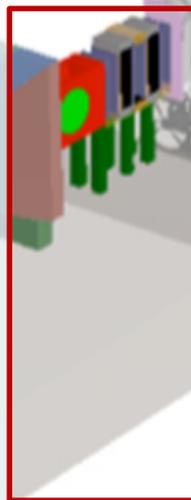
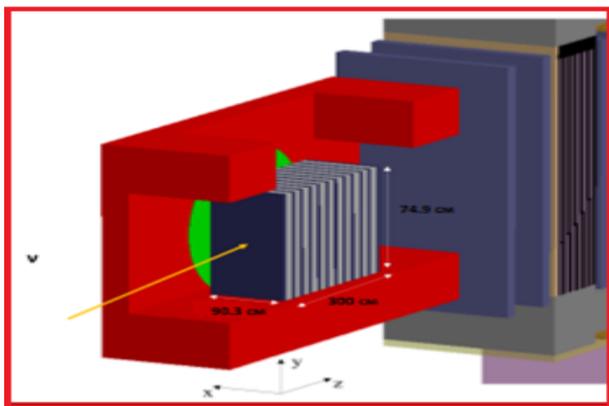
at the beam dump

$$N_{\nu_\tau} = N_{\bar{\nu}_\tau} = 1.4 \times 10^{14}$$

on the detector

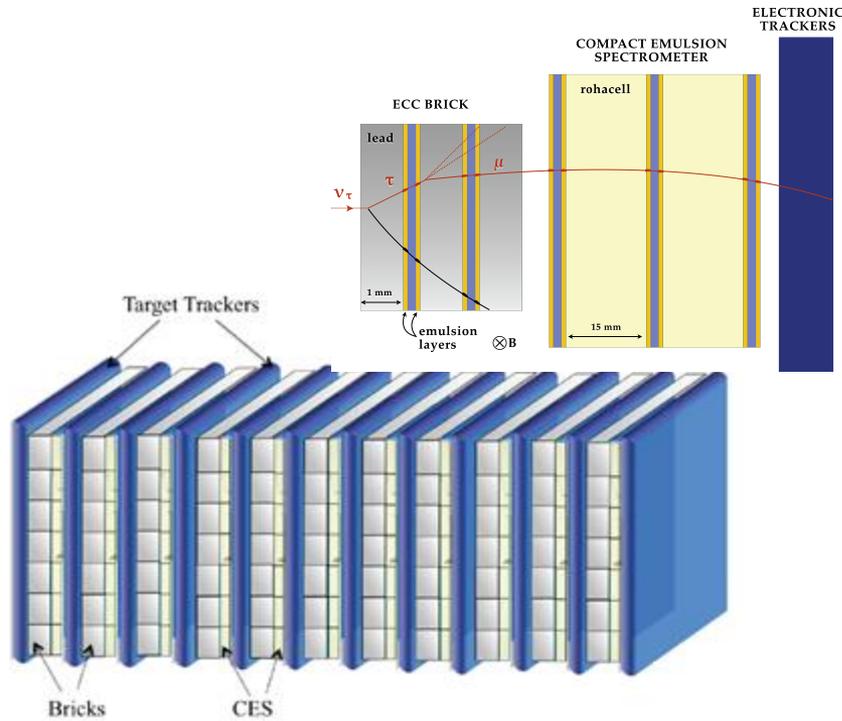


Нейтринный детектор



Эмульсионный детектор:
XУ: 90.3 x 74.9 см²
931 эм. кирпич
Масса ≈ 7.4 т
V = 1.2 Тл

Нейтринный детектор



1) Технология ECC (Emulsion Cloud Chamber)



Регистрация взаимодействий нейтрино и распада τ -лептона с μm точностью

2) Компактный Эмульсионный Спектрометр (Compact Emulsion Spectrometer)



Определение заряда продуктов τ -лептона, разделение ν_τ / анти- ν_τ

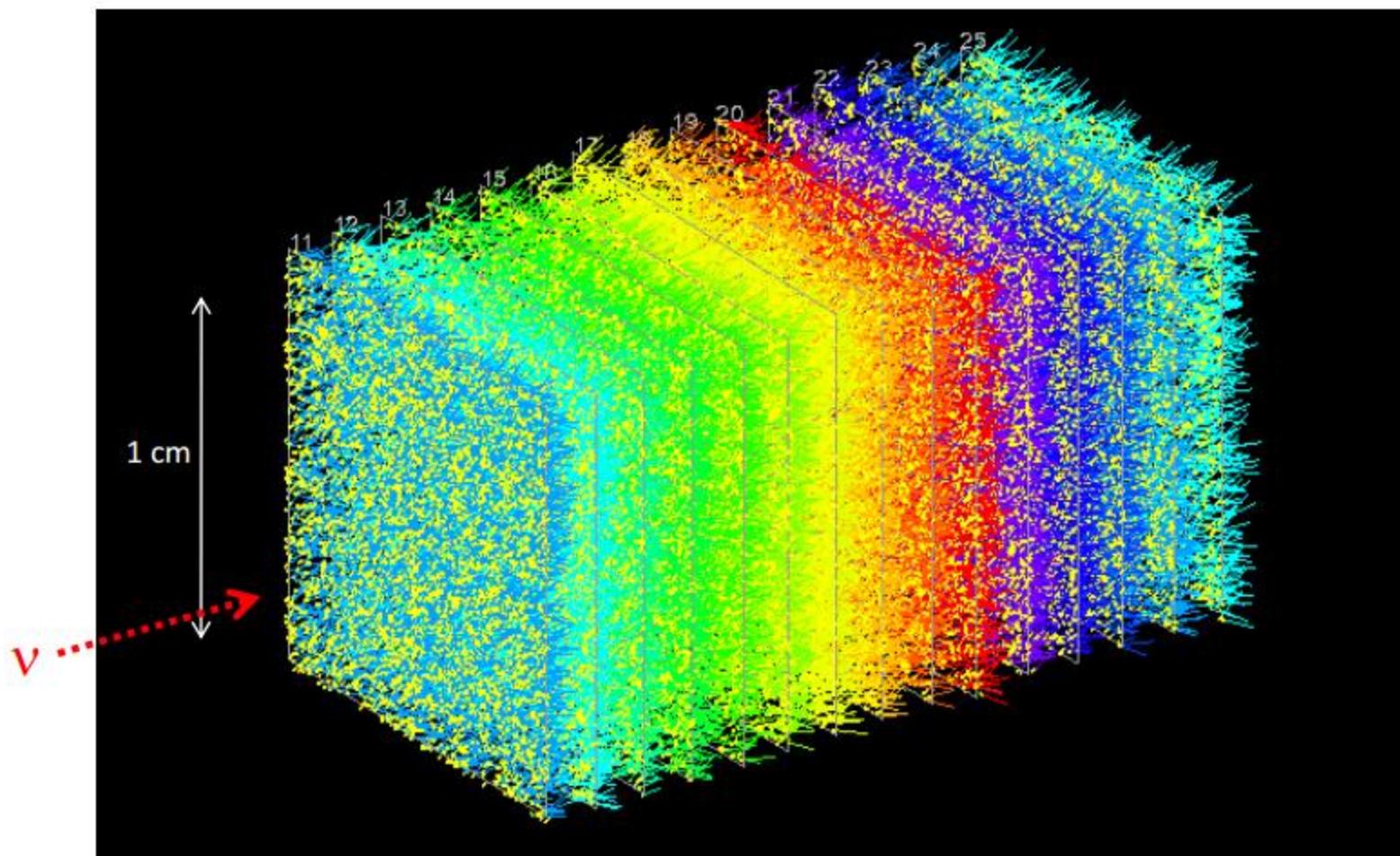
3) Электронный детектор ТТ (Target Tracker)



- ✓ Регистрация времени взаимодействия нейтрино
- ✓ Трековый и калориметрический анализ

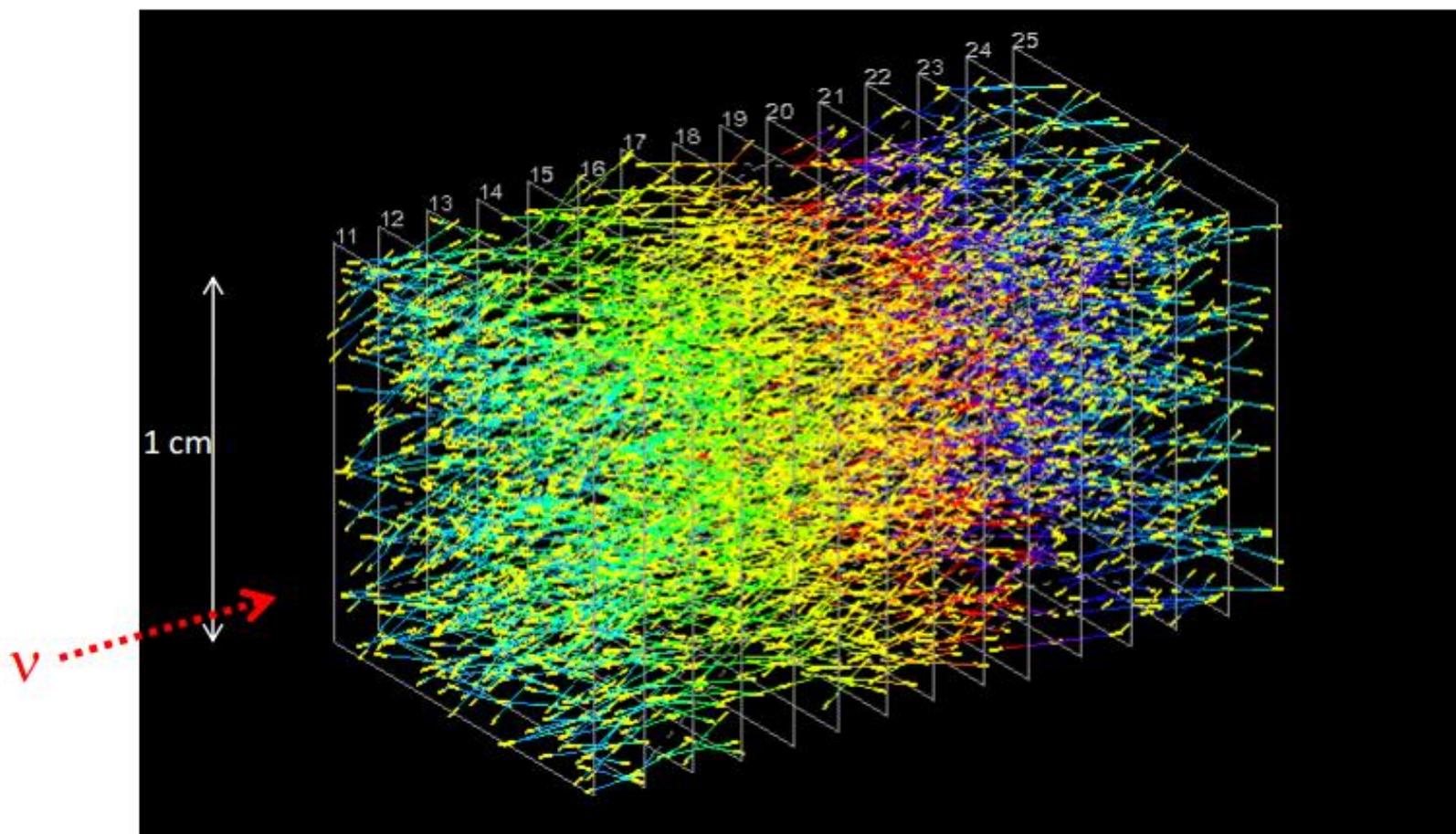
Алгоритм реконструкции нейтринного события

1. Поиск всех возможных сегментов треков вблизи вершины взаимодействия



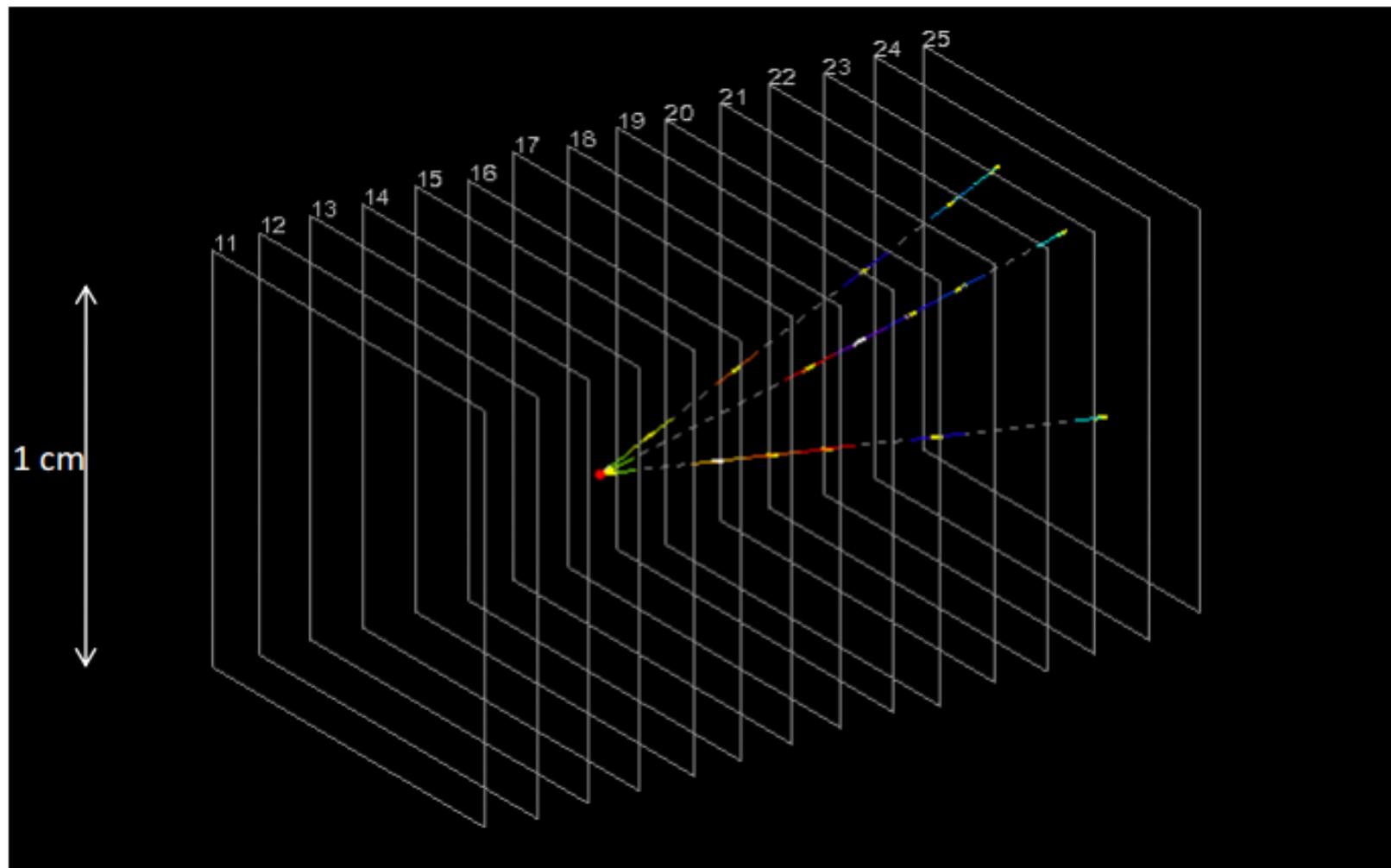
Алгоритм реконструкции нейтринного события

2. Применение cuts для устранения фоновых треков



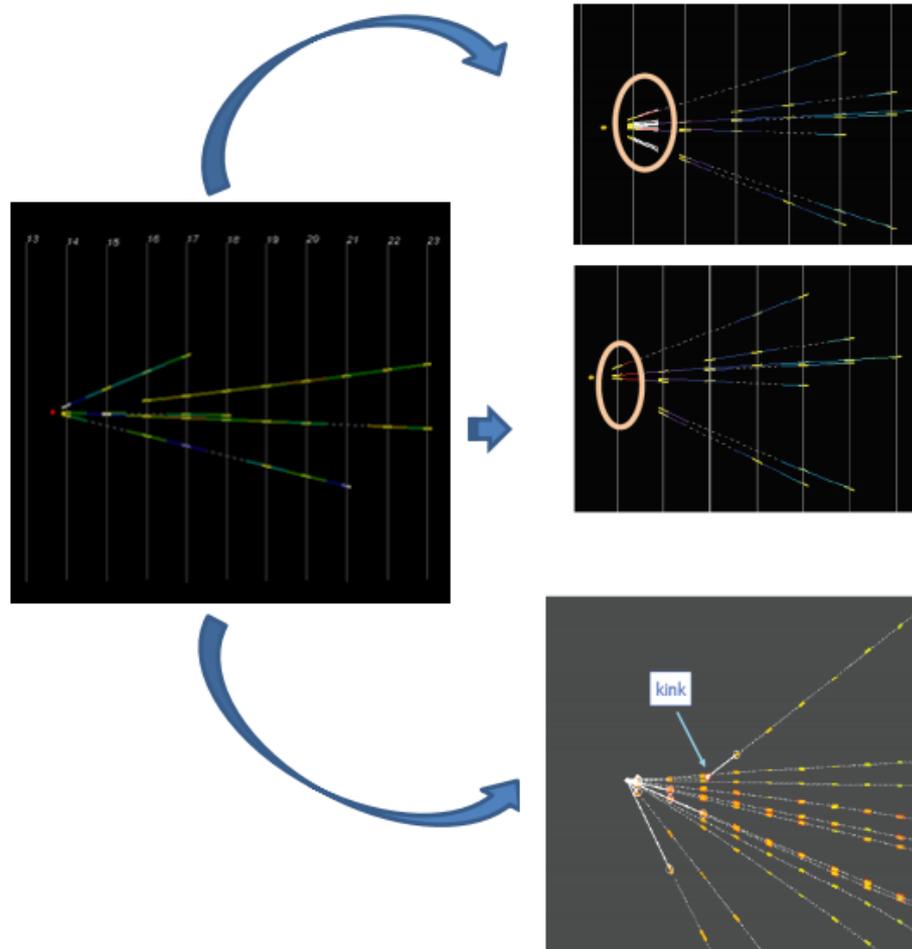
Алгоритм реконструкции нейтринного события

3. Выделение треков, сходящихся к одной вершине.

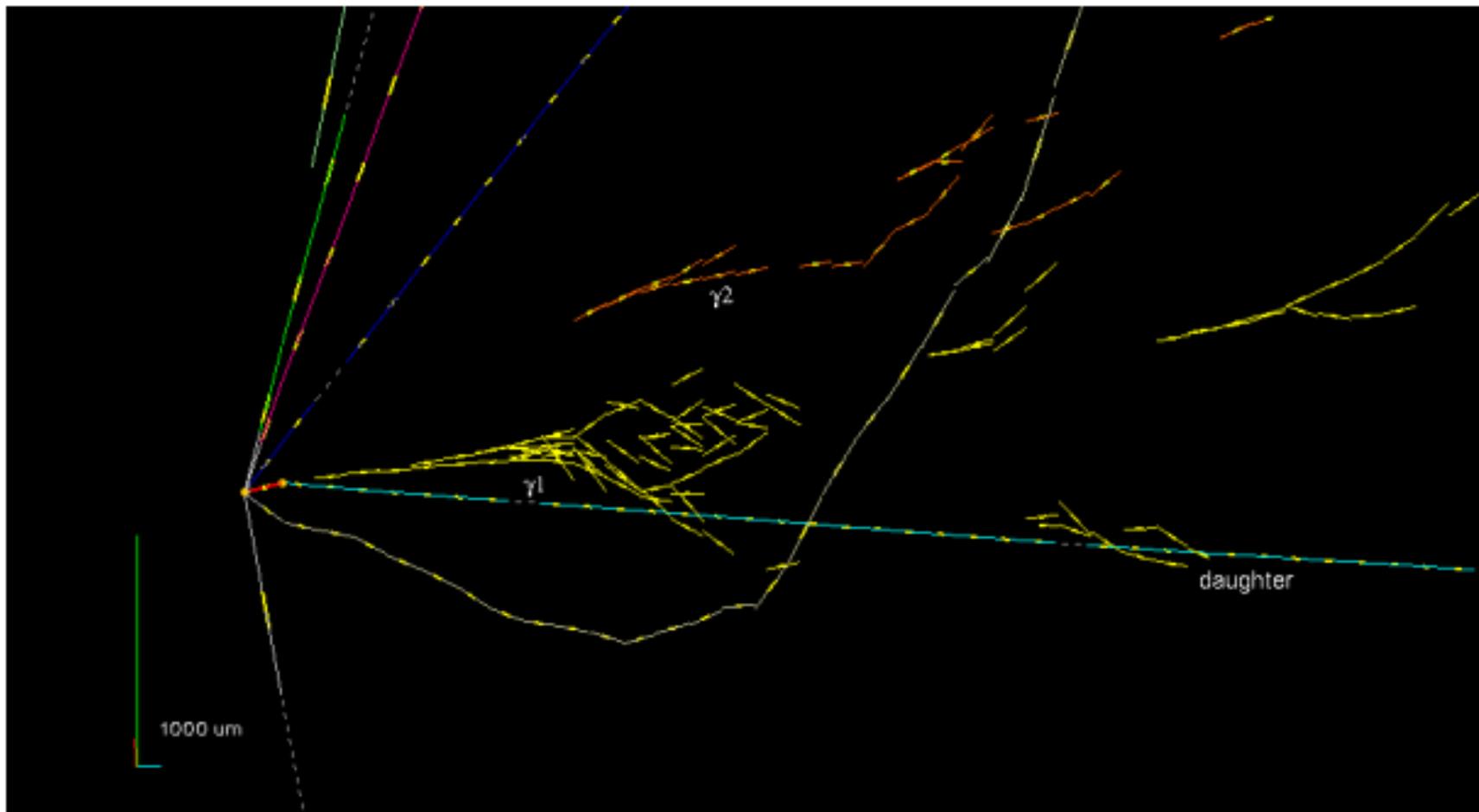


Алгоритм реконструкции нейтринного события

4. Поиск дополнительных треков, с целеуказанием на первичную вершину и изучение топологии



Реконструкция первого ν_τ в эксперименте ОПЕРА



Physics Letters B691 (2010) 138

Физика ν_τ в эксперименте SHiP

▶ ν_τ – наименее изученный фермион СМ

▶ DONUT@Fermilab: 4 события ν_τ

▶ OPERA: 5 ν_τ событий с 5.1σ

анти- ν_τ не зарегистрирован ни в одном эксперименте!

Neutrino flavour	$\langle E \rangle$ GeV	CC DIS
ν_μ	31	2.3×10^6
ν_e	50	6.3×10^5
ν_τ	45	2.6×10^4
$\bar{\nu}_\mu$	26	8.6×10^5
$\bar{\nu}_e$	38	2.2×10^5
$\bar{\nu}_\tau$	58	1.9×10^4

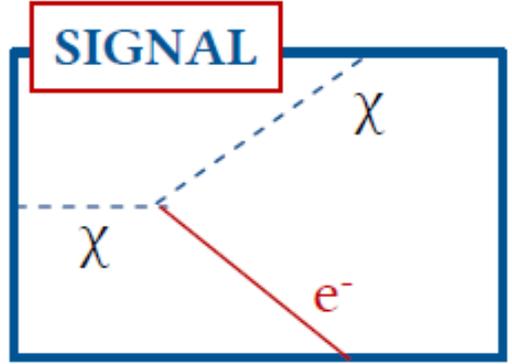
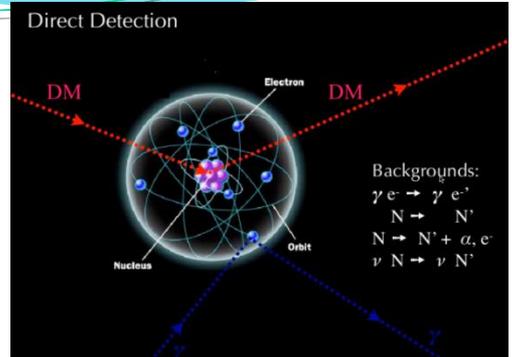
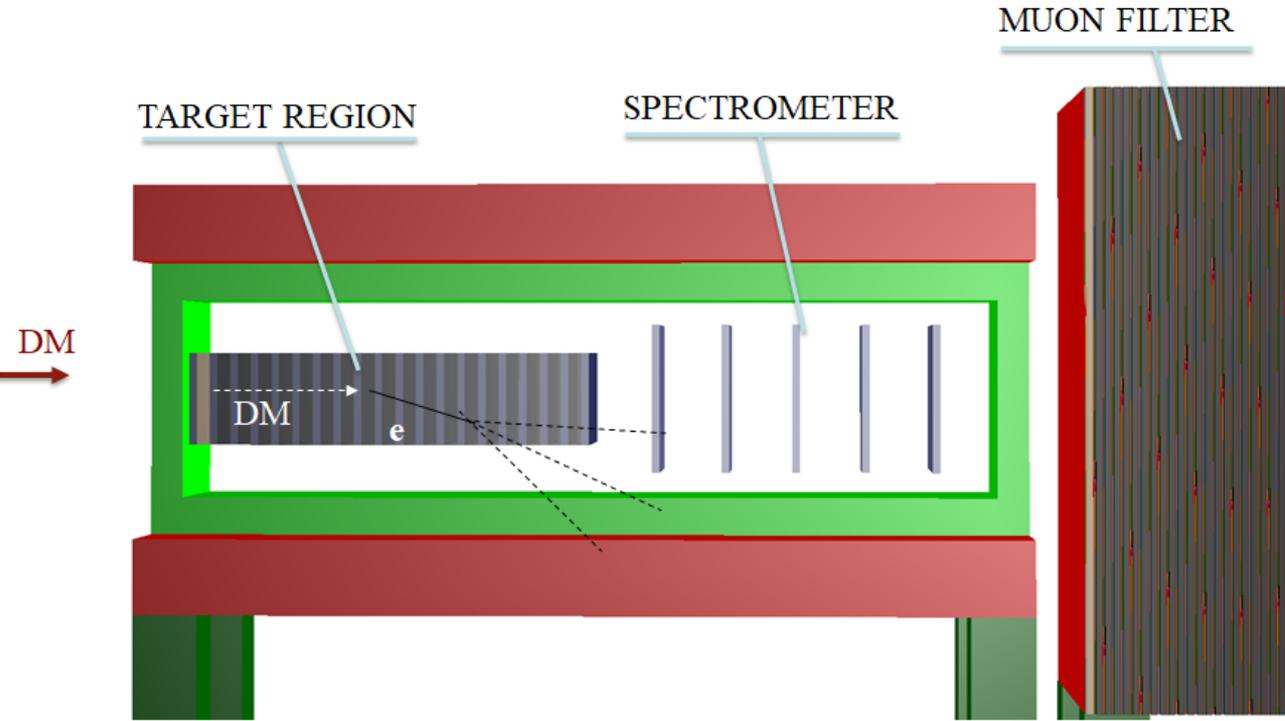
Rates for 5 years of nominal operation (2×10^{20} p.o.t)

идентификация ν_μ : реконструкция μ в магнитном спектрометре

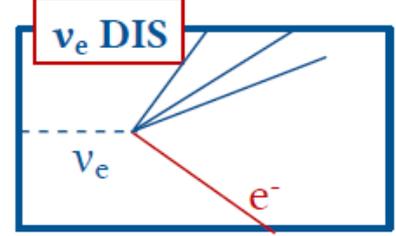
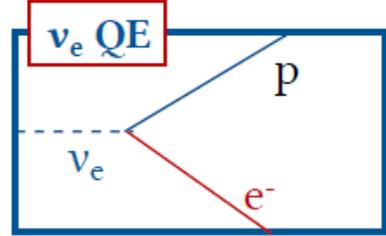
идентификация ν_e : реконструкция ливня в эмульсионном кирпиче

идентификация ν_τ : реконструкция продуктов τ -распада и вершины взаимодействия в эмульсионном кирпиче

Поиск лёгкой тёмной материи

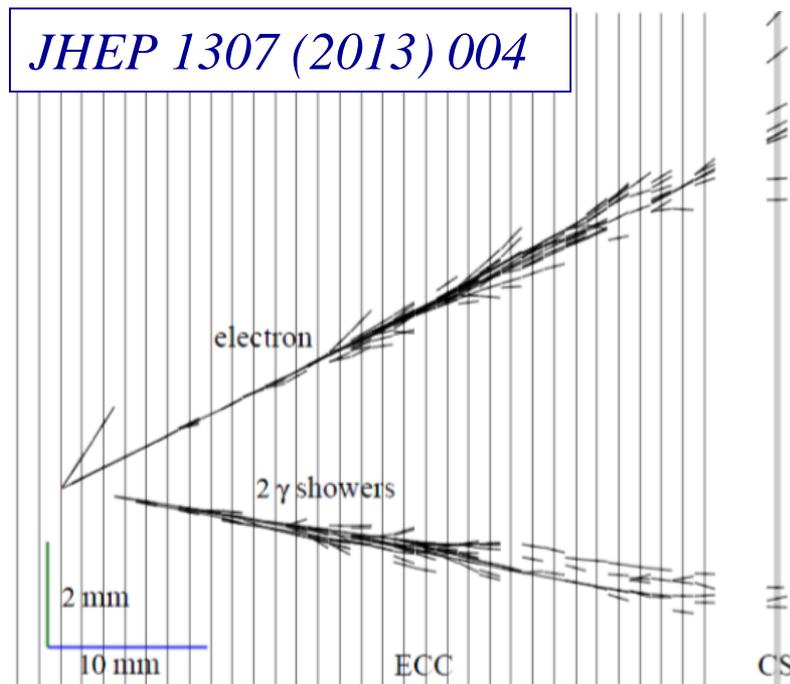
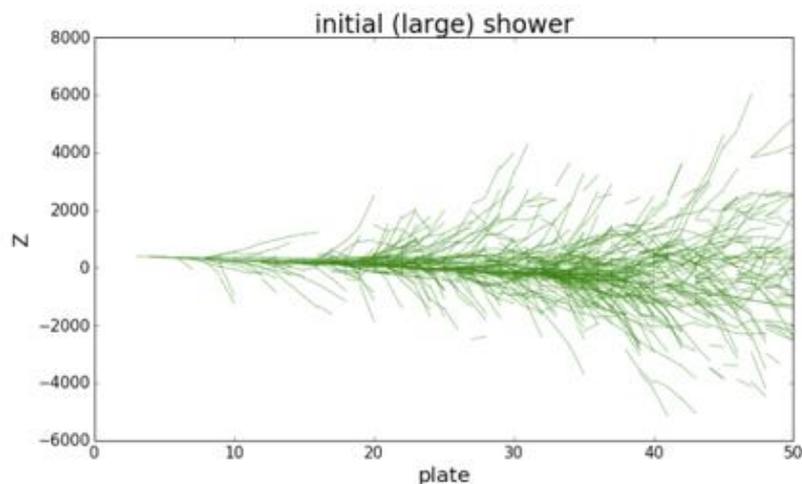


Основные фоновые события



Идентификация электромагнитного ливня

JHEP 1307 (2013) 004

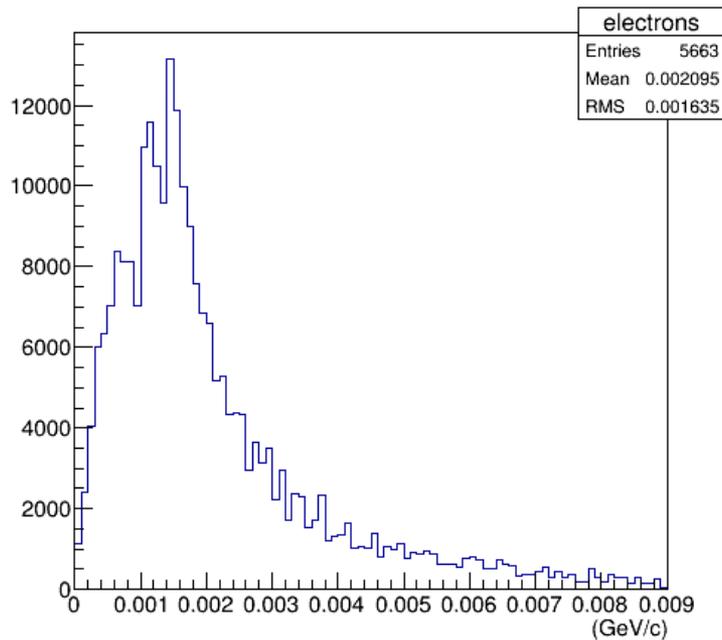


Реконструкция $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ события эксперимента ОПЕРА

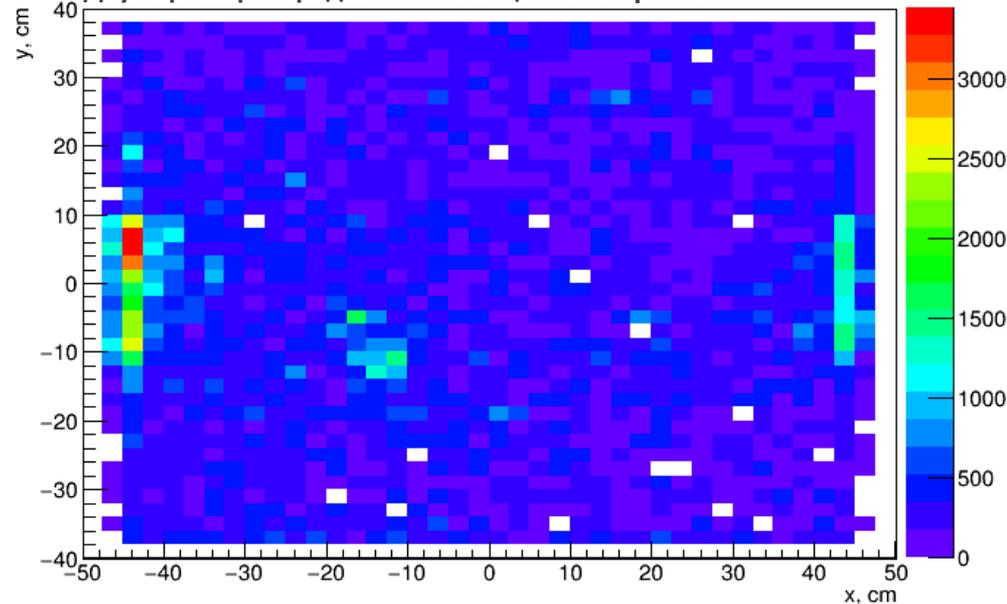
Использование технологии машинного обучения для увеличения эффективности реконструкции электромагнитного ливня

Изучение фона в нейтринном детекторе после μ -защиты

Распределение по величине импульса для электронов



Двумерное распределение позиции электронов



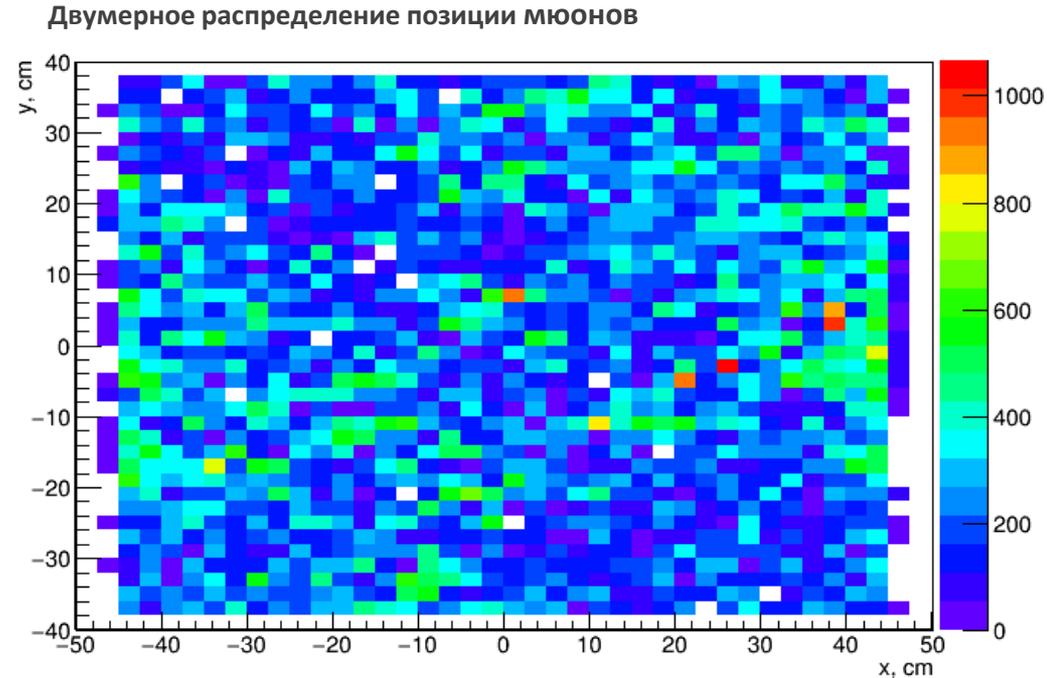
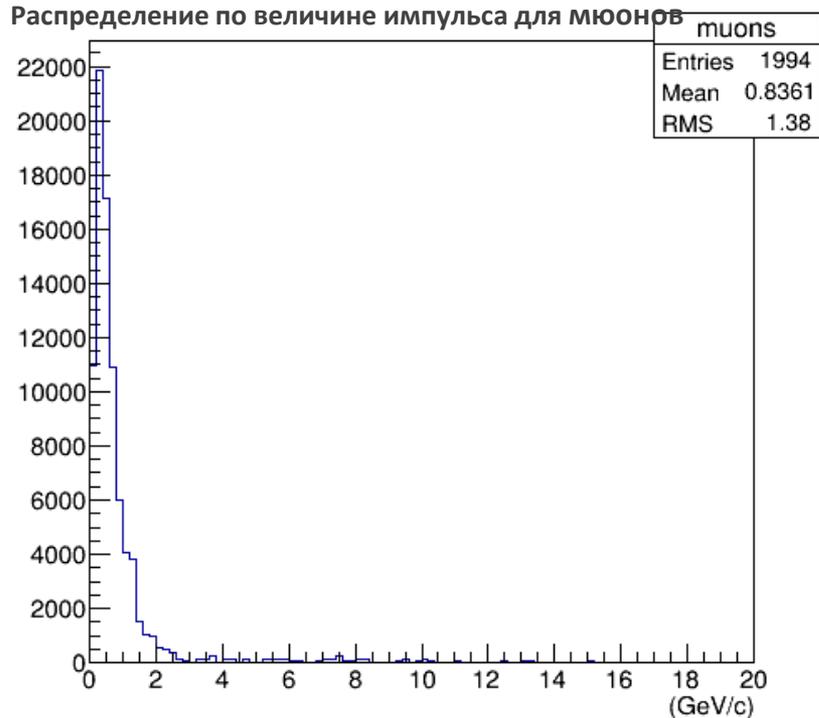
“nu/iSHiP background studies with new layout and background production”

13th SHiP collaboration meeting

A. Bagulya, T. Shchedrina

indico.cern.ch/event/705102/

Изучение фона в нейтринном детекторе после μ -защиты



“nu/iSHiP background studies with new layout and background production”

13th SHiP collaboration meeting

A. Bagulya, T. Shchedrina

indico.cern.ch/event/705102/

Заключение

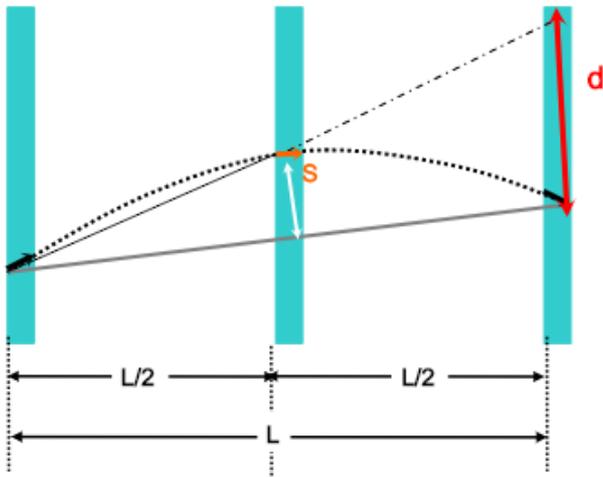
В ЦЕРНе ведётся подготовка к запуску уникального проекта SHiP, направленного на поиск частиц, предсказанных при построении моделей т.н. Скрытого сектора

В эксперименте планируется обширная программа исследований по физике нейтрино, предполагается первое прямое экспериментальное наблюдение анти тау-нейтрино

В настоящее время проводится моделирование, конструирование и тестовые испытания прототипа эмульсионного детектора – основного детектирующего элемента нейтринного детектора SHiP

Backup slides

Sagitta



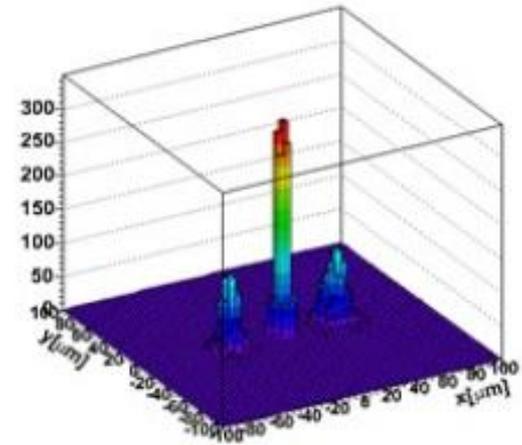
$L = 0.03[\text{m}]$ in this study

$$s = 0.3 B L^2 / (8p[\text{GeV}/c])$$

$$d = 2s$$

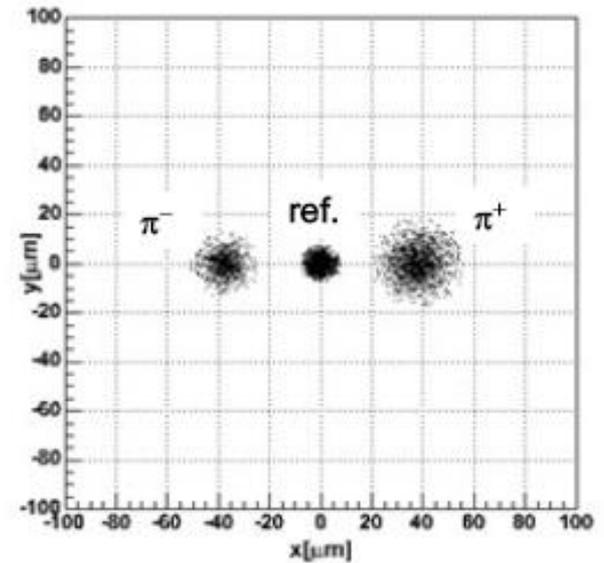
x vs. y

Entries 4178



x vs. y

Entries 4178



Backup slides

Основные моды распада тау лептона

канал распада	вероятность распада
$\mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$	17.36 ± 0.06
$e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$	17.84 ± 0.06
$h^- \nu_\tau$	11.75 ± 0.11
$h^- (\geq \text{neutrals}) \nu_\tau$	36.92 ± 0.14
$h^- h^- h^+ \nu_\tau$	15.19 ± 0.07
всего	$\approx 99\%$

Статистика обнаруженных событий в эксперименте ОПЕРА

Мода распада	Ожидаемый сигнал ¹	Наблюдаемый сигнал	Ожидаемый фон
$\tau \rightarrow 1h$	$0,52 \pm 0,10$	3	$0,04 \pm 0,01$
$\tau \rightarrow 3h$	$0,73 \pm 0,14$	1	$0,17 \pm 0,03$
$\tau \rightarrow \mu$	$0,61 \pm 0,12$	1	$0,004 \pm 0,001$
$\tau \rightarrow e$	$0,78 \pm 0,16$	0	$0,03 \pm 0,01$
Все	$2,64 \pm 0,53$	5	$0,25 \pm 0,05$

Backup slides



ν_τ physics performance

Neutrino flavour	$\langle E \rangle$ GeV	CC DIS
ν_μ	31	2.3×10^6
ν_e	50	6.3×10^5
ν_τ	45	2.6×10^4
$\bar{\nu}_\mu$	26	8.6×10^5
$\bar{\nu}_e$	38	2.2×10^5
$\bar{\nu}_\tau$	58	1.9×10^4

ν_τ / anti- ν_τ deep inelastic scattering statistics $O(10^3)$ times larger than statistics collected by previous experiments

Expected rates for 2×10^{20} p.o.t. (5 years)

Main background source:
charm production in ν CC interactions
with unidentified primary lepton

