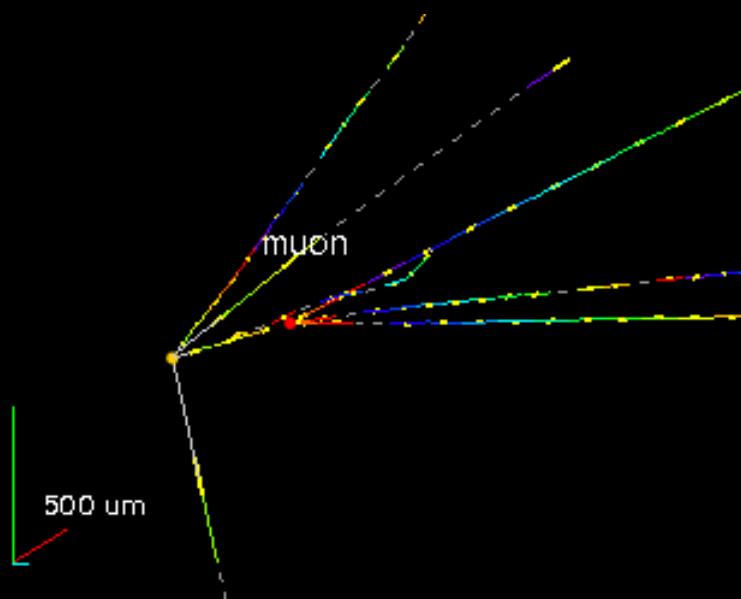




Наблюдение первого кандидата на взаимодействие таонного нейтрино в эмульсионном эксперименте OPERA



Татьяна Роганова
НИЯФ МГУ

Заседание Ученого Совета

Масса? Сохранение лептонных чисел? Природа массивных нейтрино?...

- Традиционно: $m = 0$, сохранение L
- Если $m \neq 0$, L – не сохраняется \rightarrow
- Смешивание \rightarrow

$$\text{weak states} \begin{bmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{bmatrix} \text{mass states}$$

PMNS matrix - analogous to the quark CKM matrix

- Нейтринные осцилляции ,
Б. М. Понтецорво, 1957

Бозоны (переносчики взаимодействия)

Три поколения материи (Фермионы)			
I	II	III	
масса $\rightarrow 2,4 \text{ МэВ}$	$1,27 \text{ ГэВ}$	$171,2 \text{ ГэВ}$	0
заряд $\rightarrow \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
спин $\rightarrow \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
название \rightarrow верхний	очаровательный	истинный	фотон
d	s	b	g
4,8 МэВ	104 МэВ	$4,2 \text{ ГэВ}$	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
нижний	странный	прелестный	глюон
V_e	V_μ	V_τ	Z
$< 2,2 \text{ эВ}$	$< 0,12 \text{ МэВ}$	$< 15,5 \text{ МэВ}$	$91,2 \text{ ГэВ}$
0	0	0	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
электронное нейтрино	мюонное нейтрино	таяу нейтрино	слабое взаимодействие
e	μ	τ	W
0,511 МэВ	$105,1 \text{ МэВ}$	$1,777 \text{ ГэВ}$	$80,4 \text{ ГэВ}$
-1	-1	-1	=1
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
электрон	мюон	тау	слабое взаимодействие

Кварки

Лептоны

Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata

Эксперименты по нейтринным осцилляциям

- **Реакторные:** CHOOZ, Palo-Verde, KamLand, BOREXINO
- **Мезонные фабрики:** LSND, KARMEN
- **Ускорители :** CHORUS, NOMAD, DONUT
- **Солнечные нейтрино:** Homestake, GALEX, Kamiokande, Super-Kamiokande, GNO, SNO
- **Атмосферные нейтрино:** NUSEX, Soudan-2, IMB, Kamiokande, Super-Kamiokande, BOREXINO, UNO, MACRO
- **Ускорители:** K2K, MINOS, OPERA

Современный статус нейтринных осцилляций

Солнечные нейтрино
в веществе Солнца с MSW

$$\Delta m^2 = (10^{-5} - 10^{-6}) \text{ эВ}^2$$

$$\sin^2 2\theta \approx 10^{-3} \text{ или } \sin^2 2\theta \approx 0.8 - 1$$

Атмосферные нейтрино

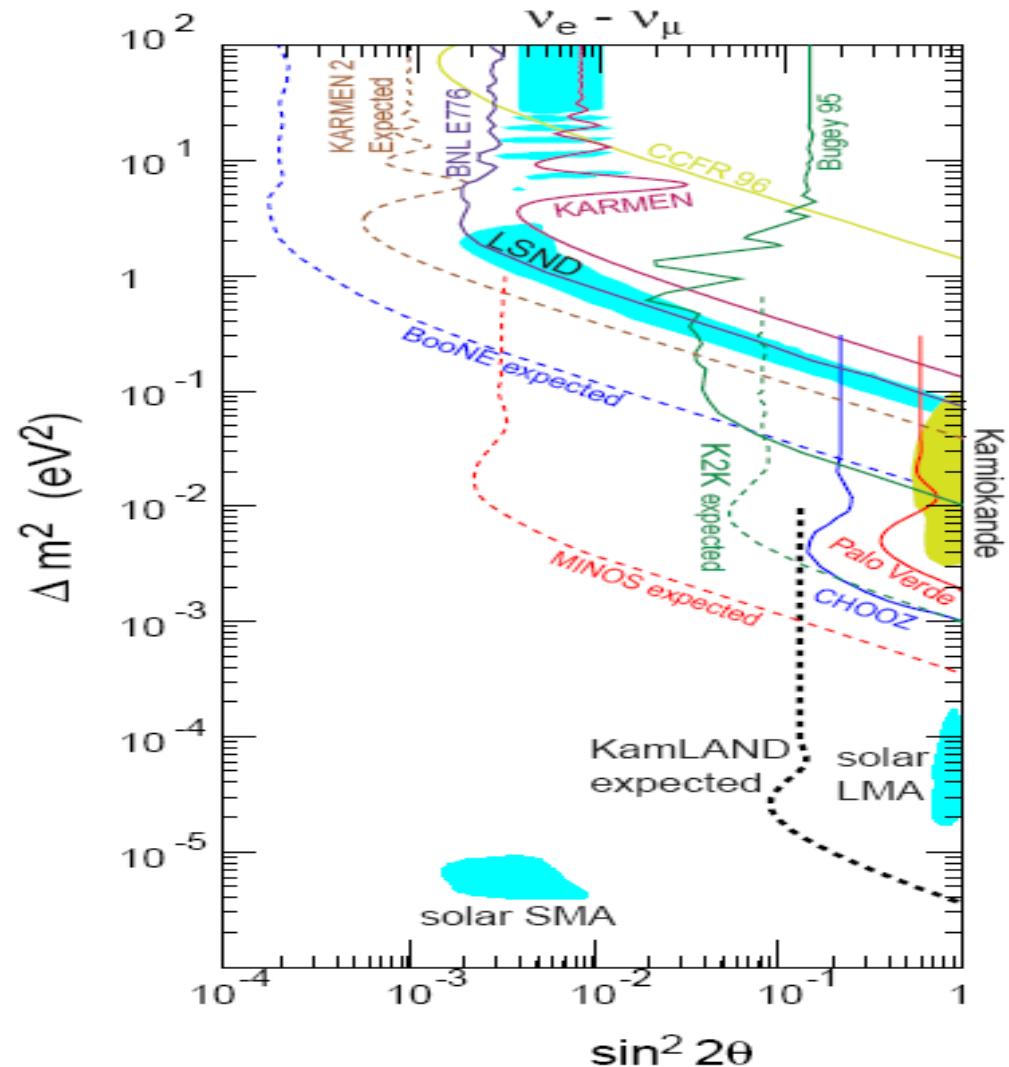
$$\Delta m^2 = (10^{-3} - 10^{-2}) \text{ эВ}^2$$

$$\sin^2 2\theta \approx 0.8 - 1$$

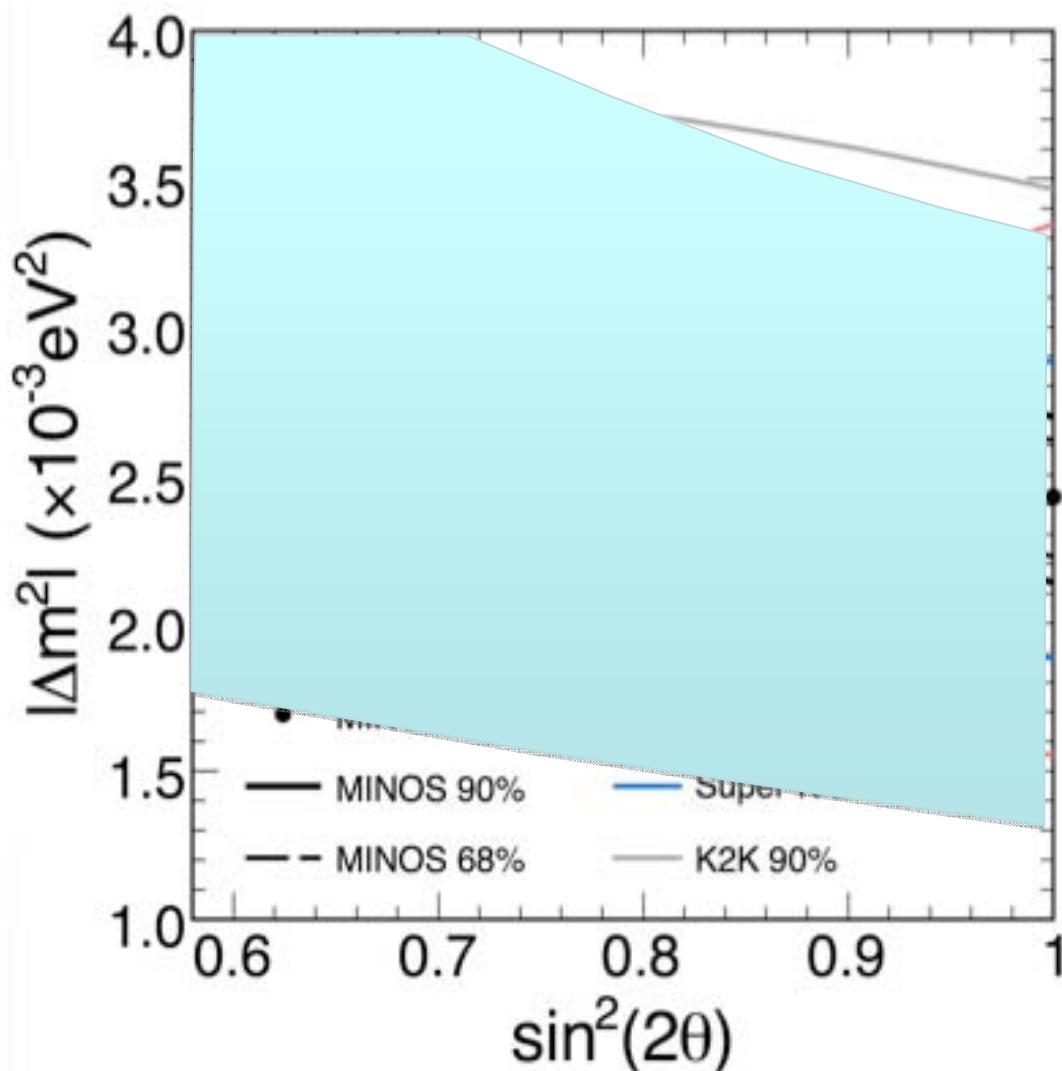
Эксперимент LSND

$$0.3 \leq \Delta m^2 \leq 2.2 \text{ эВ}^2 \quad \sin^2 2\theta \approx 10^{-2} -$$

Три неперекрывающиеся области по



Measurement of the oscillation parameters in the atmospheric neutrino sector: present situation



Full mixing and
 $\Delta m_{23}^2 \sim 2.4 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$

The grey band indicates
the OPERA allowed region
(90% CL) for the above
parameter values for
 22.5×10^{19} pot



The OPERA Collaboration

180 physicists, 33 institutions in 12 countries



Belgium
IIHE-ULB Brussels



Croatia
IRB Zagreb



France
LAPP Annecy
IPNL Lyon
IPHC Strasbourg



Germany
Hamburg
Münster
Rostock



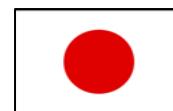
Israel
Technion Haifa



Italy
Bari
Bologna
LNF Frascati
L'Aquila,
LNGS
Naples
Padova
Rome
Salerno



Japan
Aichi
Toho
Kobe
Nagoya
Utsunomiya



Korea
Jinju



Russia
INR RAS Moscow
LPI RAS Moscow
SINP MSU Moscow
ITEP Moscow
JINR Dubna



Switzerland
Bern
ETH Zurich



Tunisia
CNSTN Tunis



Turkey
METU Ankara



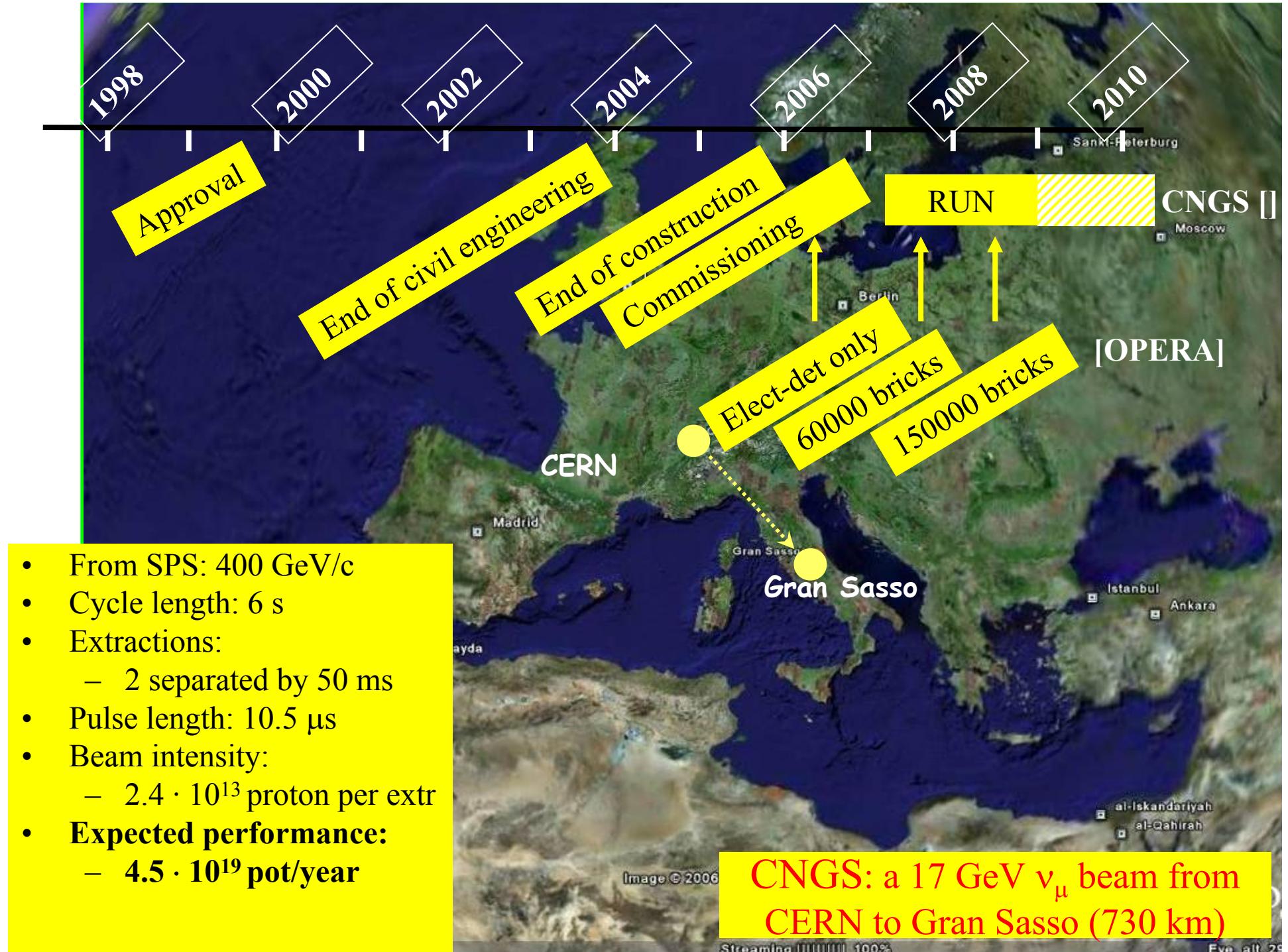
OPERA: прямое детектирование осцилляций нейтрино по появлению т-лептона (масса т-лептона 1,777 ГэВ. Время жизни $2,9 \times 10^{-13}$ сек)

предсказания PMNS :

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2 2\theta_{23} \cos^4 \theta_{13} \sin^2 (\Delta m^2_{23} L / 4E)$$

Требования к эксперименту:

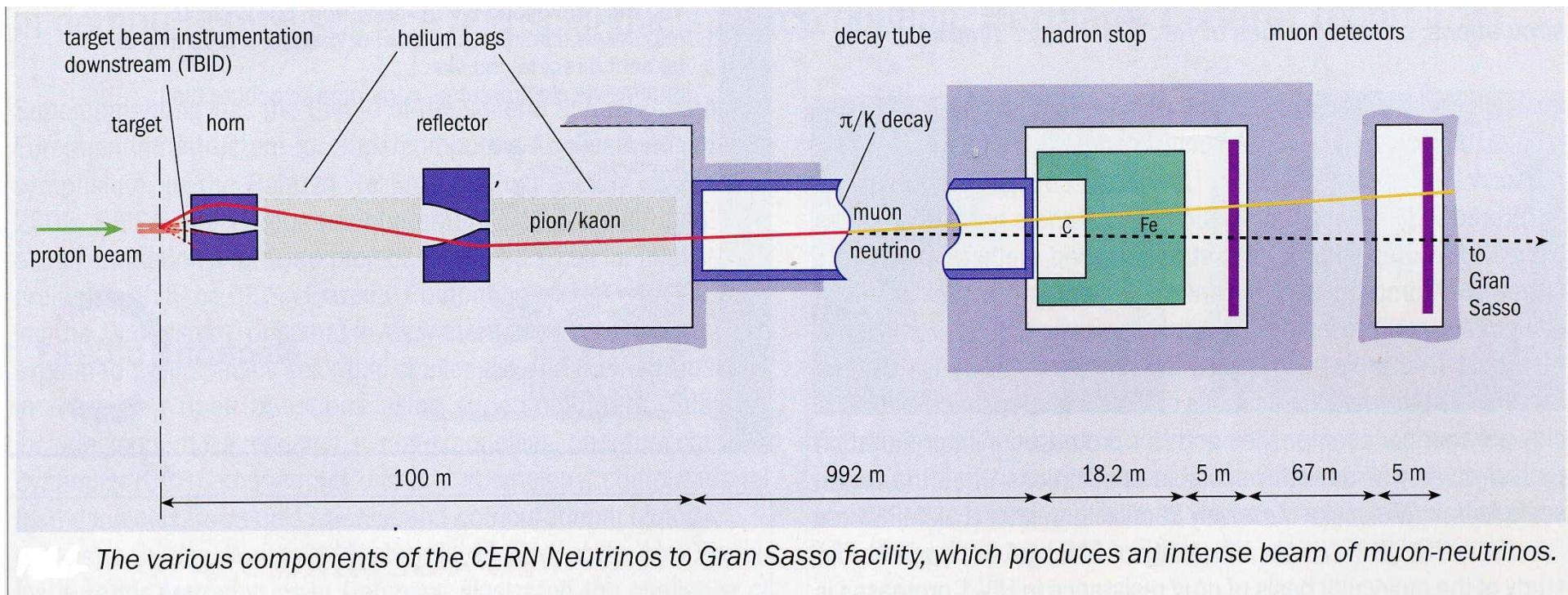
- Большая база,
- Высокая энергия нейтринного пучка,
- Большая интенсивность пучка,
- Возможность детектирования короткоживущего т-лептона



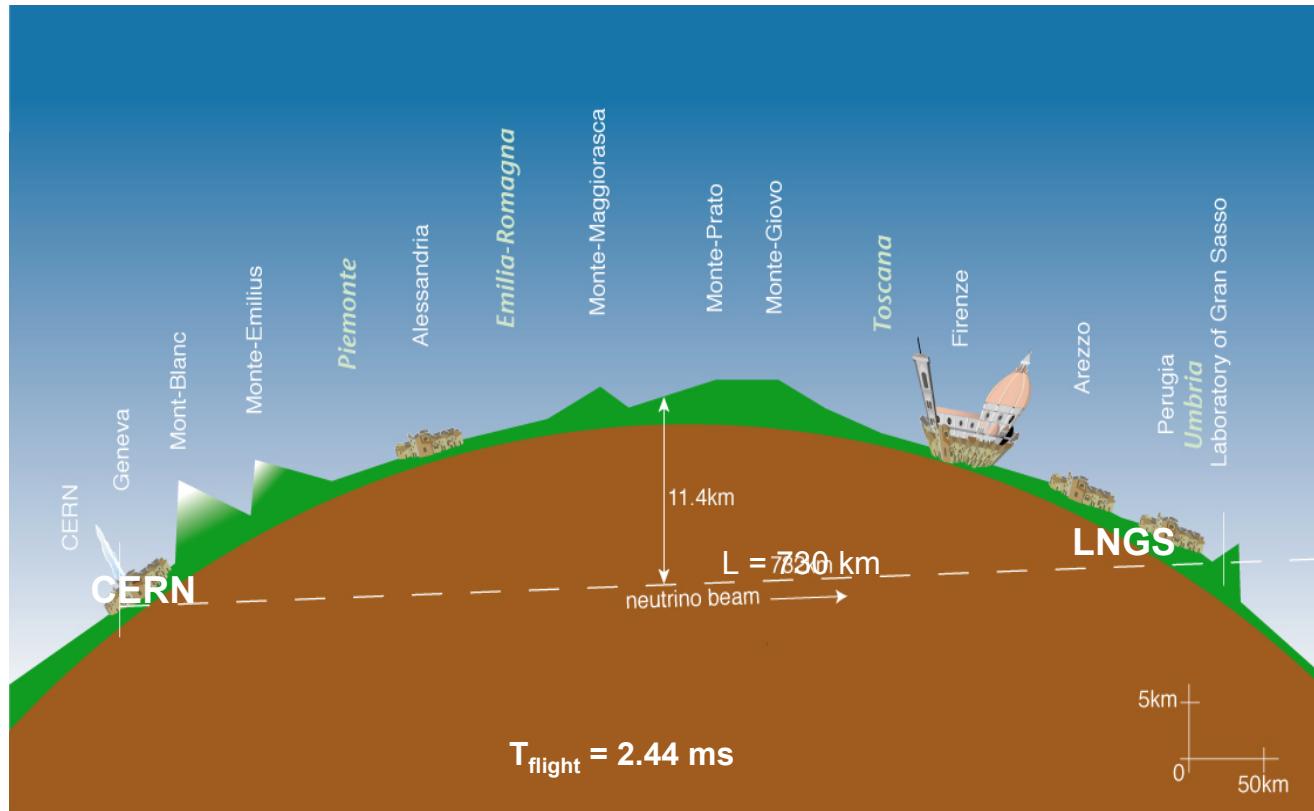


Интенсивность нейтринного пучка в лаборатории Gran Sasso $\approx 4.49 * 10^{-9} \text{ м}^{-2}$ на 1 падающий на мишень протон ($\sim 10^{17}$ протонов в сутки), поперечный размер – около 800 м, средняя энергия ~ 17 ГэВ

Пучок в основном состоит из ν_μ
Примесь $\bar{\nu}_\mu$ - 2%, ν_e - 1%



CNGS- пучок ν_μ от ускорителя в CERN нацелен на LNGS (730 km)



$\langle E \rangle$	17 GeV
L	730 km
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu (\text{CC})$	0.87%
$\bar{\nu}_\mu / \nu_\mu (\text{CC})$	2.1%
ν_τ прямые	negligible

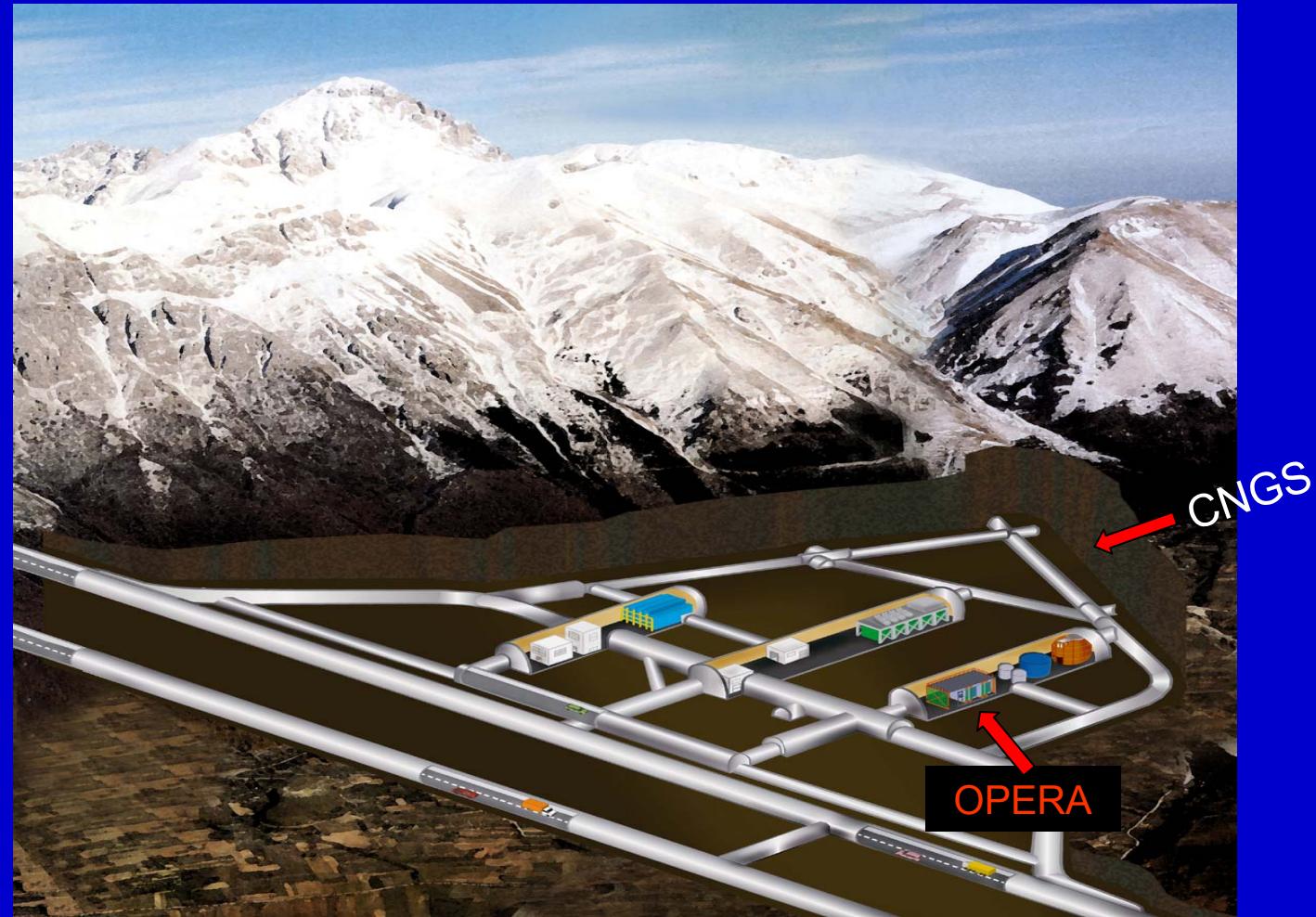
Регистрация взаимодействий в детекторе OPERA. Регистрация тау-лептонов в ядерной эмульсии .

Ожидаемое число взаимодействий для 22.5×10^{19} pot:

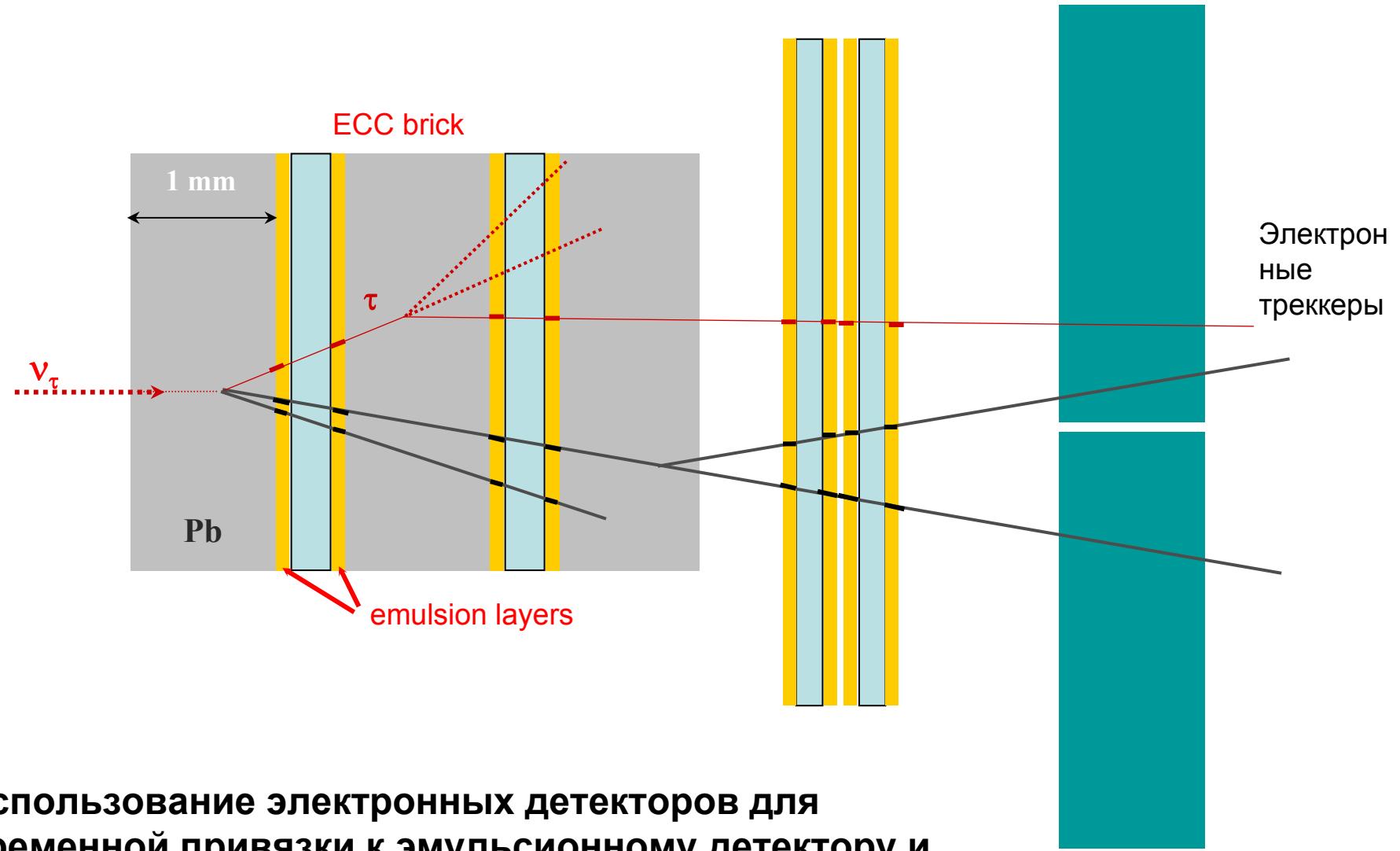
- $\sim 23600 \nu_\mu \text{ CC} + \text{NC}$
- $\sim 160 (\nu_e + \bar{\nu}_e) \text{ CC}$
- $\sim 115 \nu_\tau \text{ CC } (\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2)$

LNGS (INFN), самая большая в мире лаборатория, связанная с подземной физикой:

~180'000 m³ объем помещения, ~3'100 m.w.e. глубина, ~1 cosmic μ / m² x час, экспериментальная инфраструктура, множество экспериментов. Подземные залы ориентированы в направлении CERN.

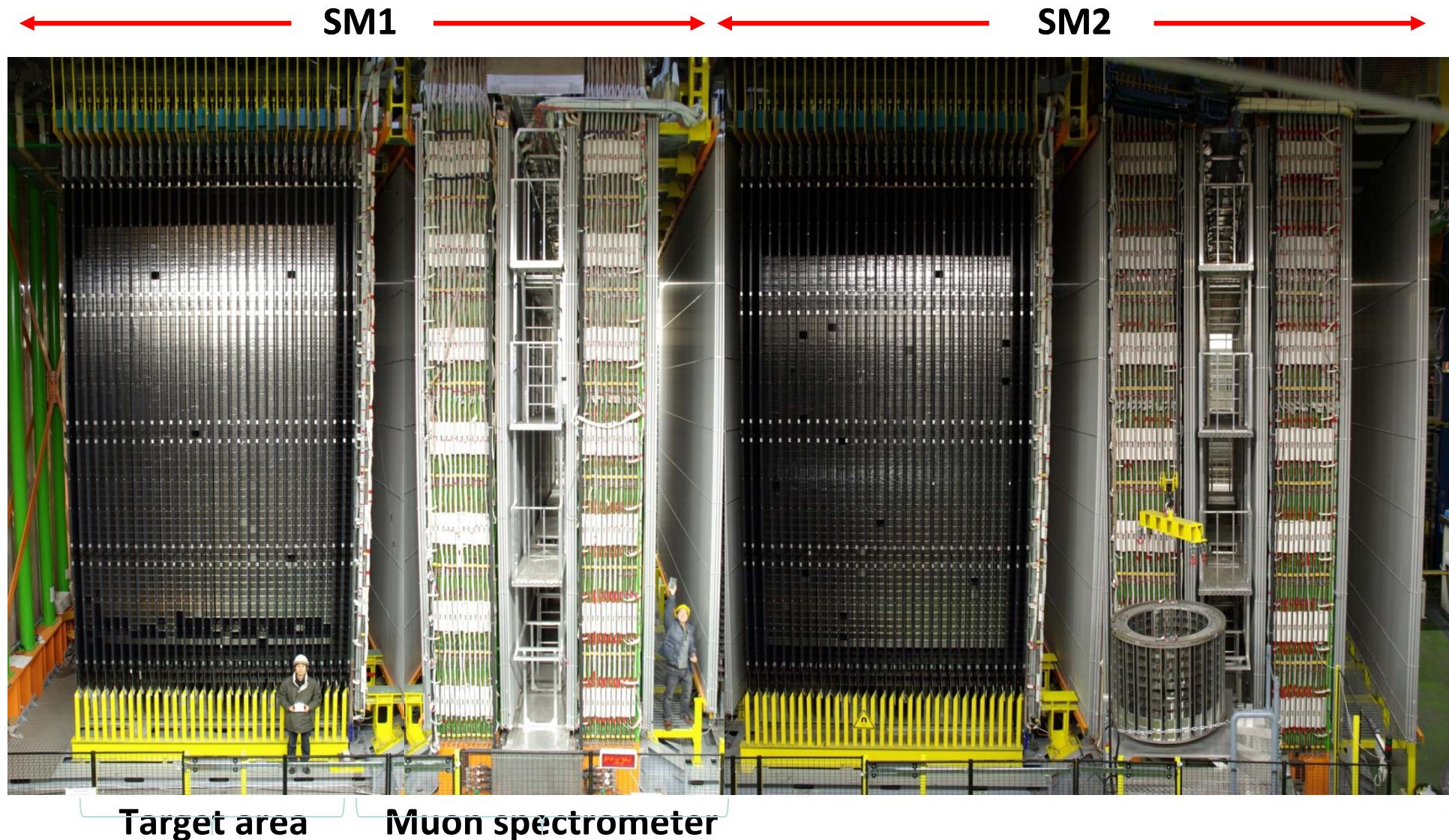


Основной принцип: ЕСС + ЭЛЕКТРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ



Использование электронных детекторов для временной привязки к эмульсионному детектору и определения места взаимодействия нейтрино

ДЕТЕКТОР- ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ





При обработке эмульсий выделяем следующие типы событий:

Таблица 1

1	СС взаимодействие ν_μ (обмен W^\pm бозоном)	$\nu_\mu N \rightarrow \mu^- X$
2	NC взаимодействие нейтрино (обмен Z^0 бозоном)	$\nu N \rightarrow \nu X$
3	СС взаимодействие ν_e	$\nu_e N \rightarrow e^- X$
4	Взаимодействия с образованием чармированных частиц.	$\nu_\mu N \rightarrow c\bar{\mu}X$ $\nu_\mu N \rightarrow c\bar{c}\mu X$
5	СС взаимодействие ν_τ	$\nu_\tau N \rightarrow \tau^- X$

↑
выделение событий

Время жизни τ -лептона
 $2.9 \cdot 10^{-13}$ с .

Вероятности распадов равны:

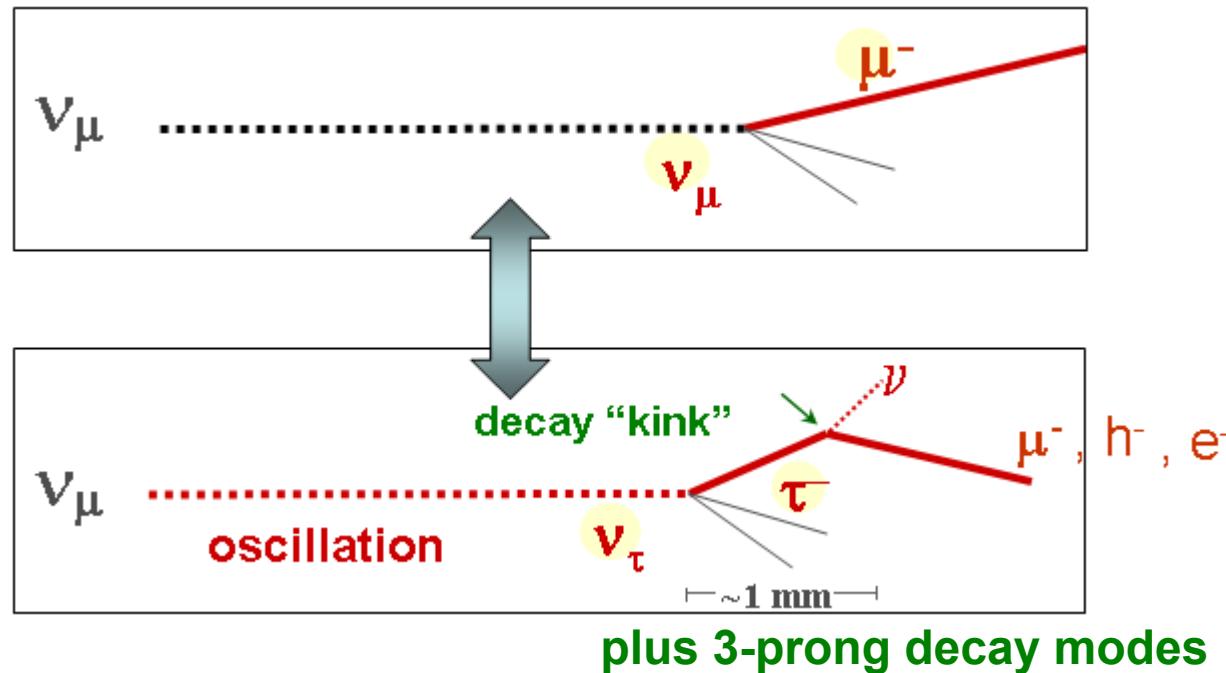
$$\tau^- \rightarrow e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e X \quad 17.7 \%$$

$$\tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu X \quad 17.8 \%$$

$$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau (n\pi^0) \quad 49.5 \%$$

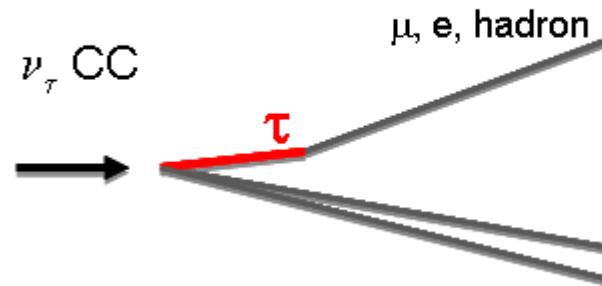
$$\tau^- \rightarrow 3 h \nu_\tau \quad 15.0 \%$$

Выделение осцилляционных событий

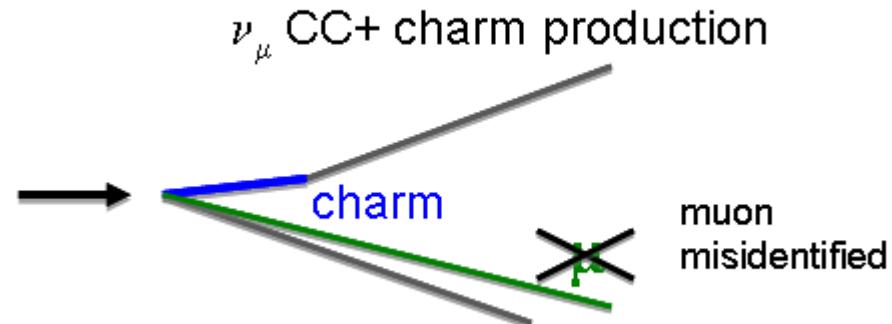


Фоновые события

Signal



Background



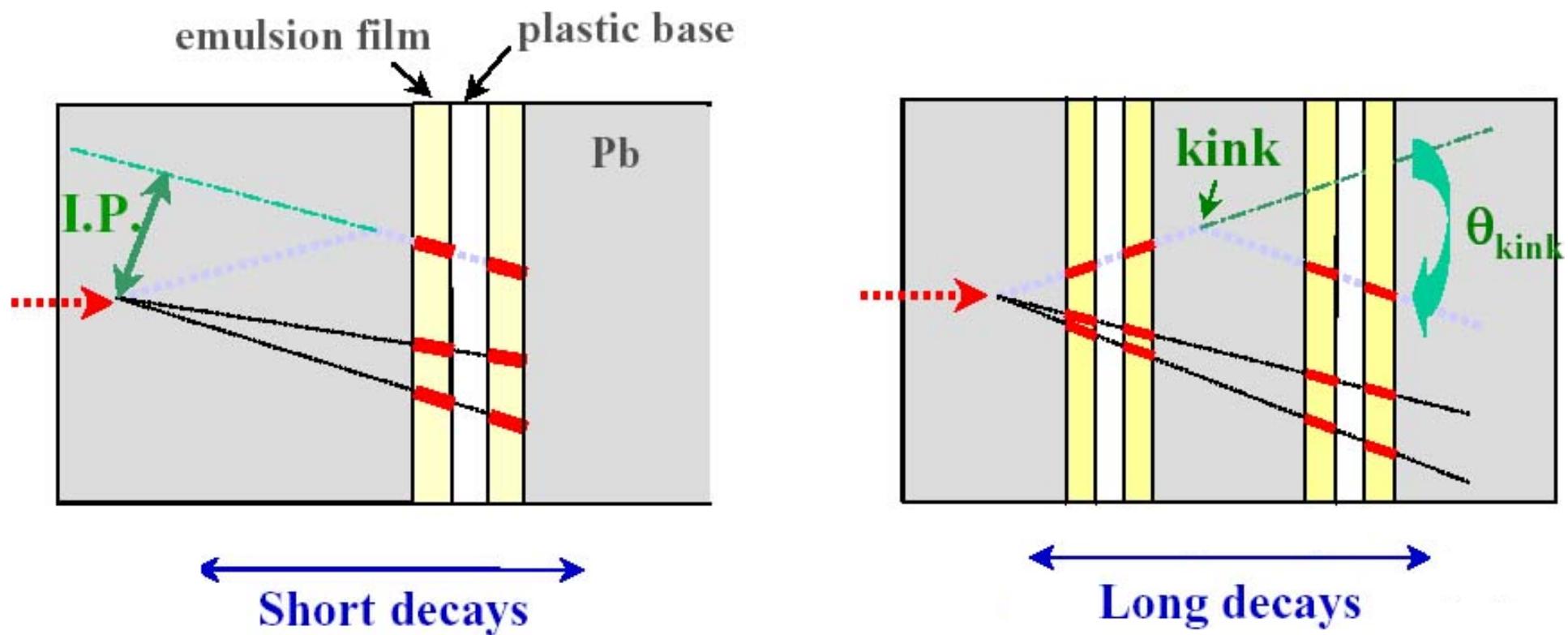
Эффективность до идент. т:

16

$\epsilon_{\text{trigger}} \times \epsilon_{\text{brick}} \times \epsilon_{\text{geom}} \times \epsilon_{\text{vertex location}} = 99\% \cdot (\geq 70\%) \cdot 94\% \cdot 90\%$



Распады τ -лептона подразделяются на «короткие» и «длинные». Короткий распад происходит в той же свинцовой пластине, в которой произошло первичное взаимодействие, длинный – в одной из последующих. В первом случае отбор события происходит по прициальному параметру (*impact parameter*), который должен превышать величину 5 мкм. Признаком длинного распада является угол излома трека, лежащий в пределах от 20 до 500 мрад.



Signal & Background

τ decay channel	B.R. (%)	Signal $\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	Background
$\tau \rightarrow \mu$	17.7	2.9	0.17
$\tau \rightarrow e$	17.8	3.5	0.17
$\tau \rightarrow h$	49.5	3.1	0.24
$\tau \rightarrow 3h$	15.0	0.9	0.17
Total	10.4	0.75	

MD = 1.3 Kton, 5 years run, 4.5×10^{19} pot / year,  full mixing

Основные источники фона

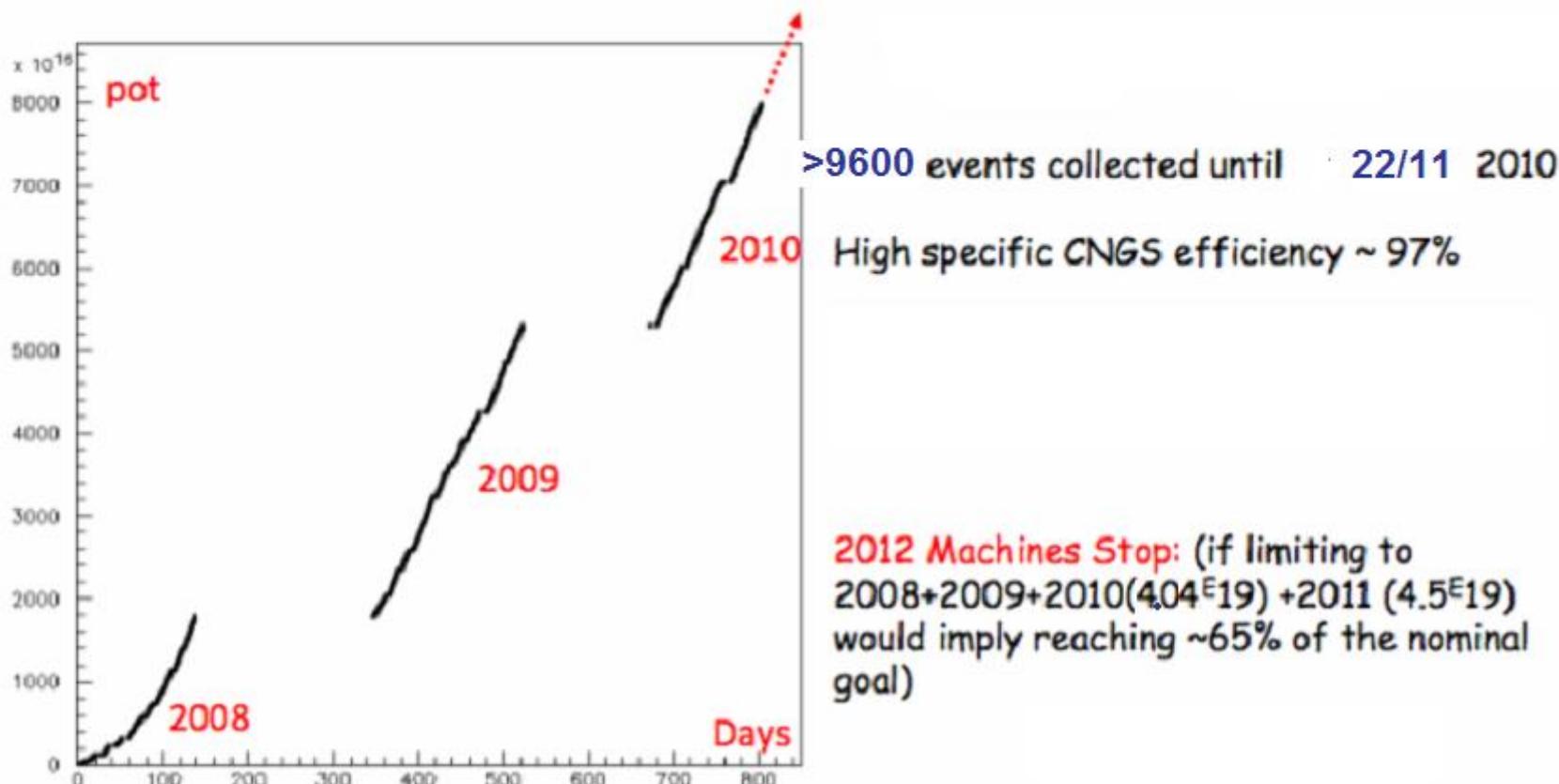
- Образование и распад чармированных частиц
- Повторные взаимодействия адронов
- Рассеяние мюона на большие углы

CNGS

2010:
3rd physics run since 2008

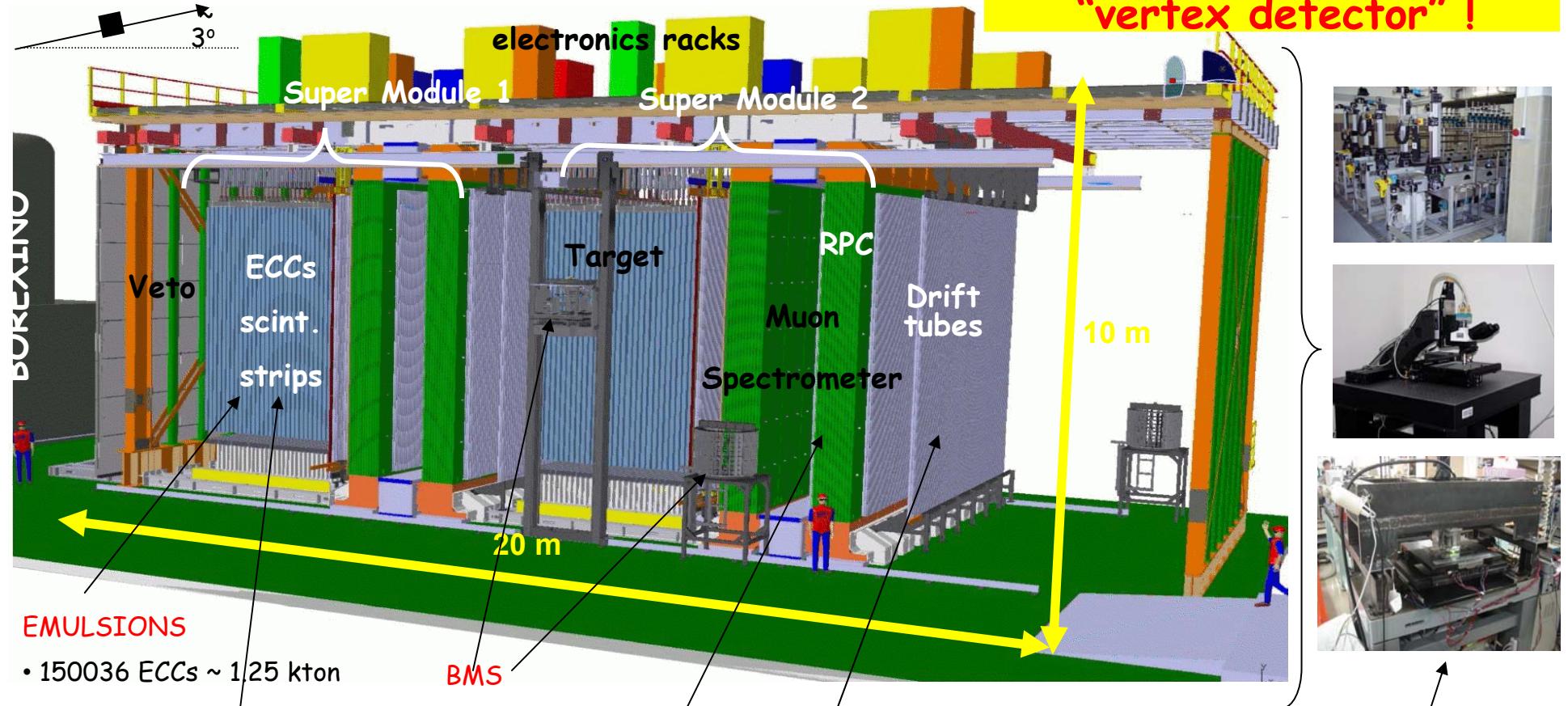
CNGS program nominal goal:
 4.5×10^{19} pot x 5 years

Year	Beam days	Protons on target	SPS Eff.	Events in the bricks
2008	123	1.78×10^{19}	61%	1698
2009	155	3.52×10^{19}	70%	3693
2010	187	4.04×10^{19}	81,2%	4246



ДЕТЕКТОР

The OPERA detector



EMULSIONS
• 150036 ECCs ~ 1.25 kton

TARGET TRACKERS

- 2 x 31 scintillator strips walls
- 256+256 X-Y strips/wall
- both-sides readout, WLS fiber
- 64-channel H7546 PMT
- 63488 channels
- $\Delta \sim 0.8$ cm (2.6 cm pitch)
- $\epsilon \cong 99\%$
- rate $\cong 20$ Hz/pixel @1 p.e.

Brick Manipulator system

INNER TRACKERS

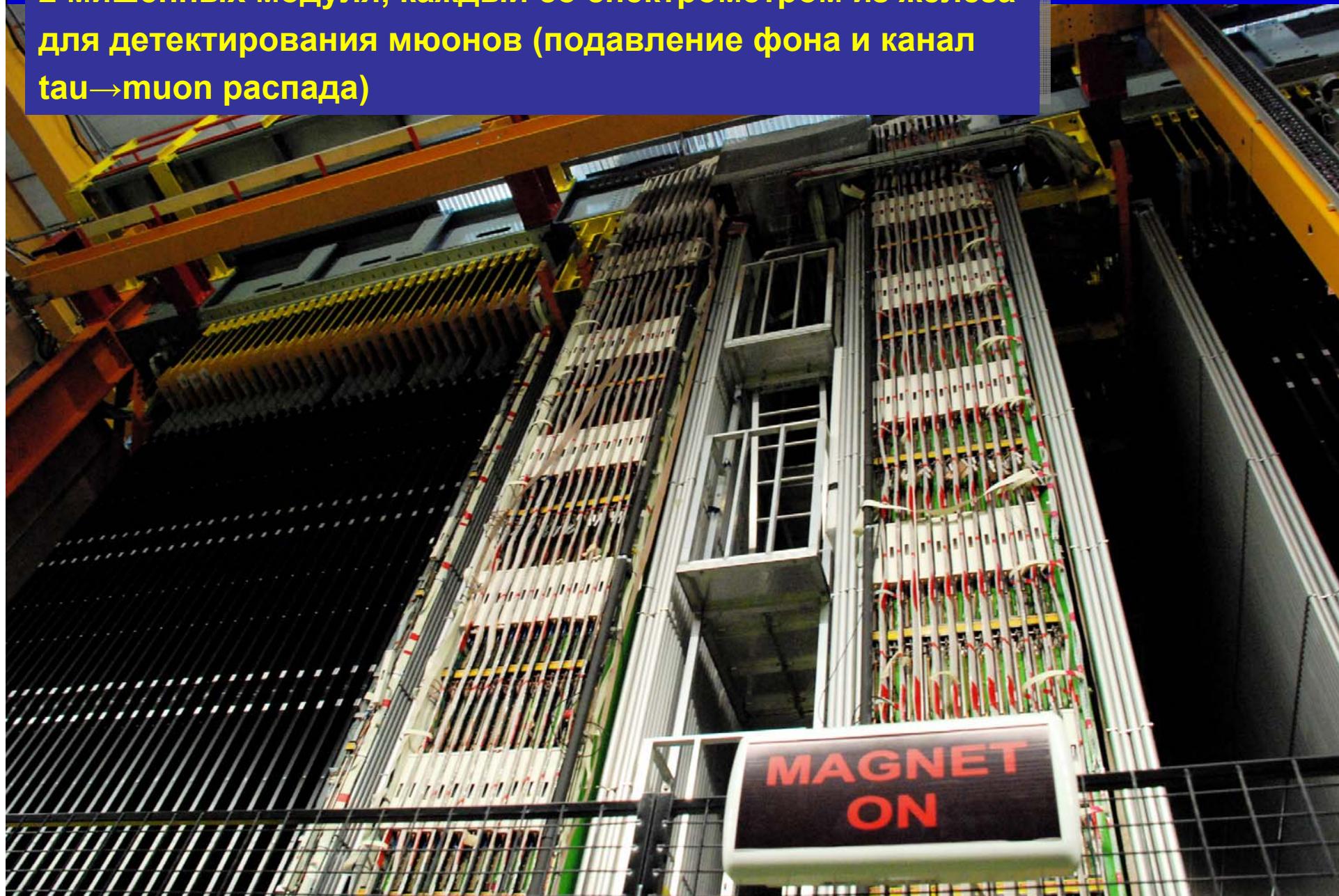
- 990-ton Fe dipole magnets ($B=1.55$ T) instrumented with
- 22 RPC planes (streamer mode)
- 3050 m² surface
- $\Delta \sim 1.3$ cm spatial resolution
- $\epsilon \cong 96\%$ (geometrical)

+ several essential "off-site" ancillary facilities:

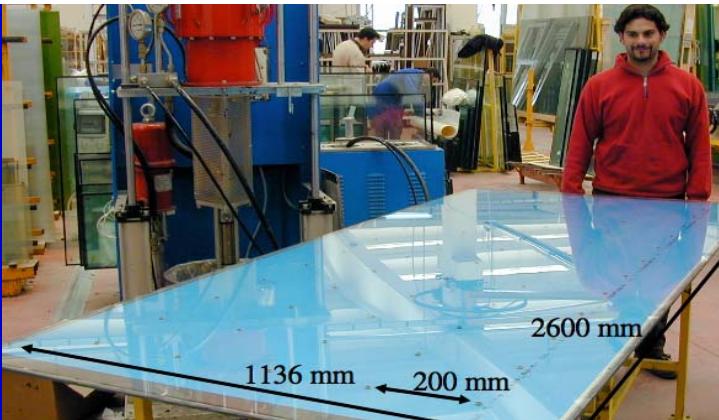
- emulsion "refreshing",
- brick assembly/disassembly
- labelling
- automatic development
- scanning

21
21

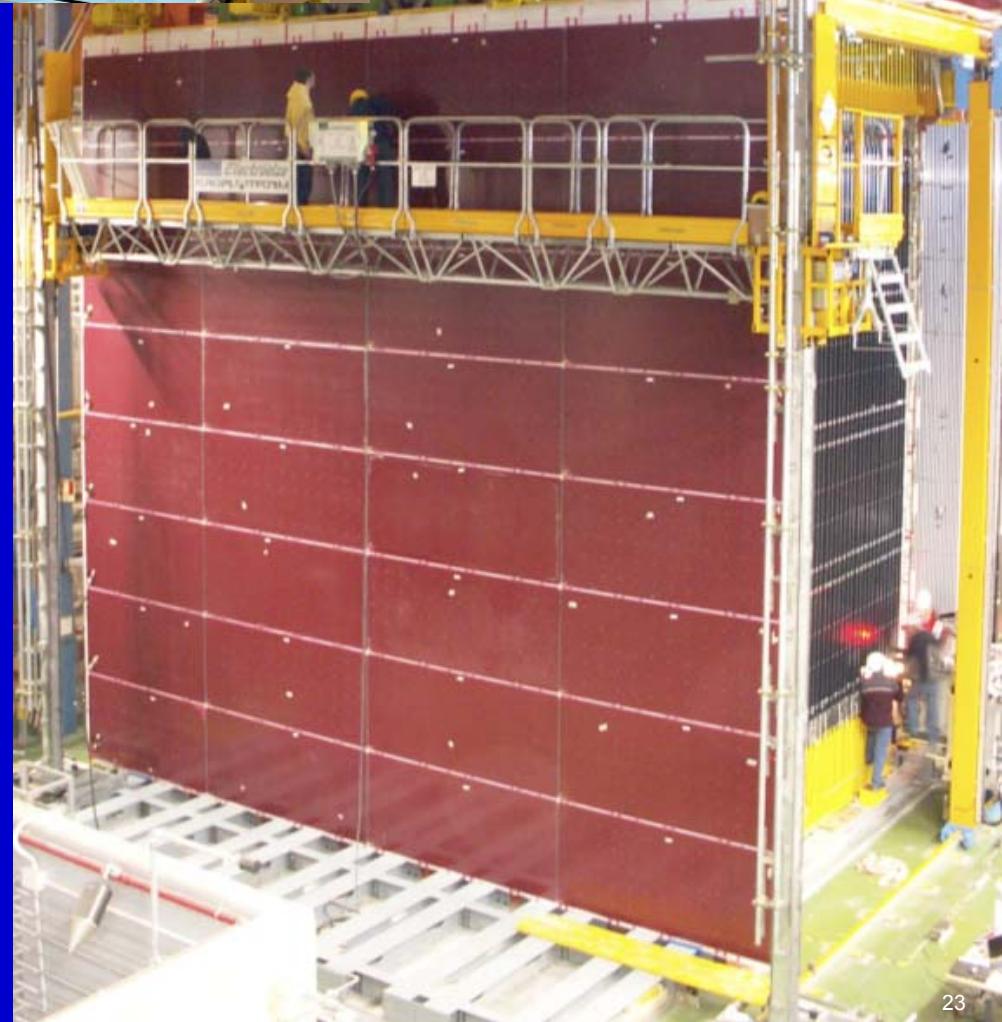
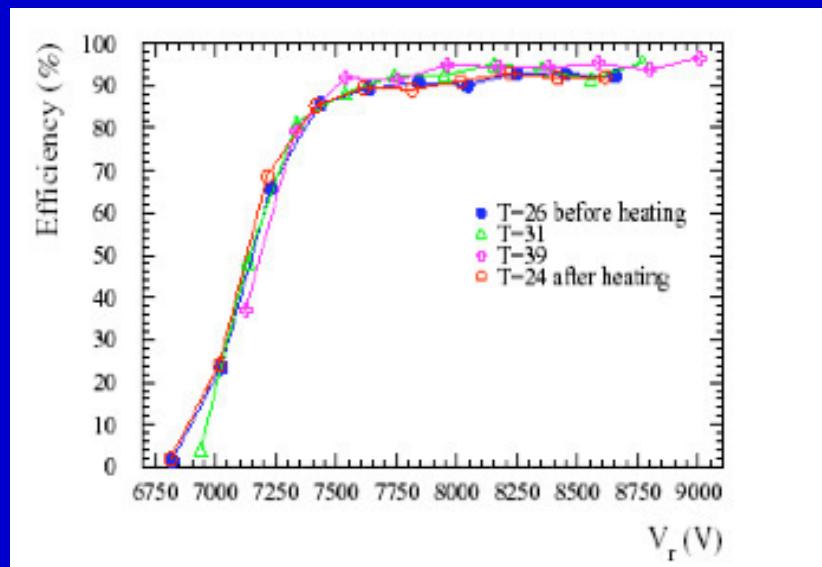
2 мишенных модуля, каждый со спектрометром из железа
для детектирования мюонов (подавление фона и канал
 $\tau \rightarrow \mu$ он распада)



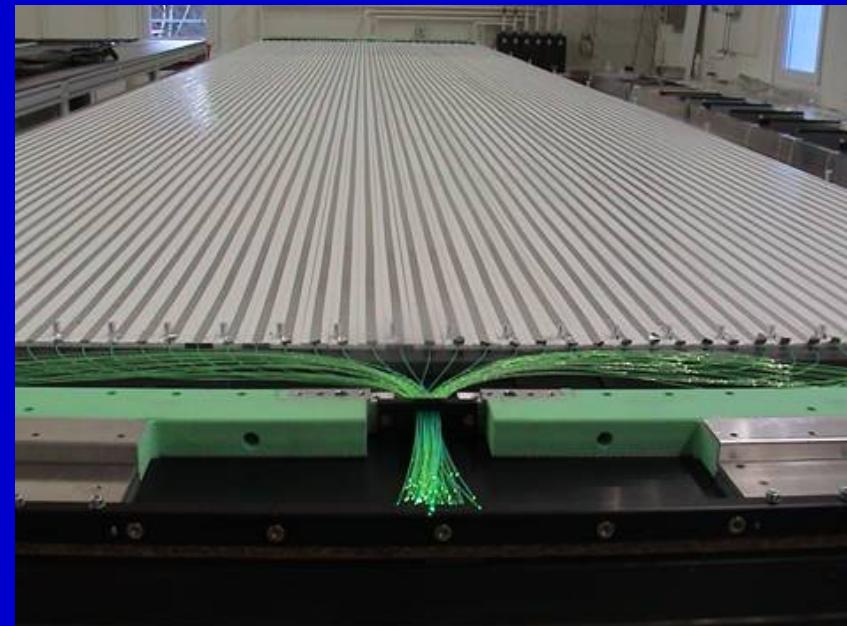
VETO SYSTEM



double layer of glass RPCs $\sim 100 \text{ m}^2$
97% efficiency in streamer mode



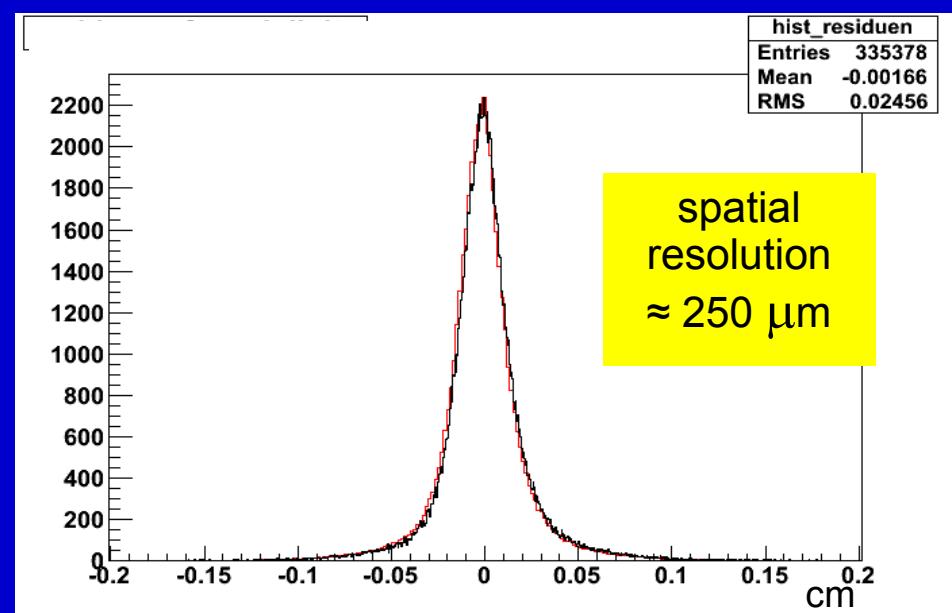
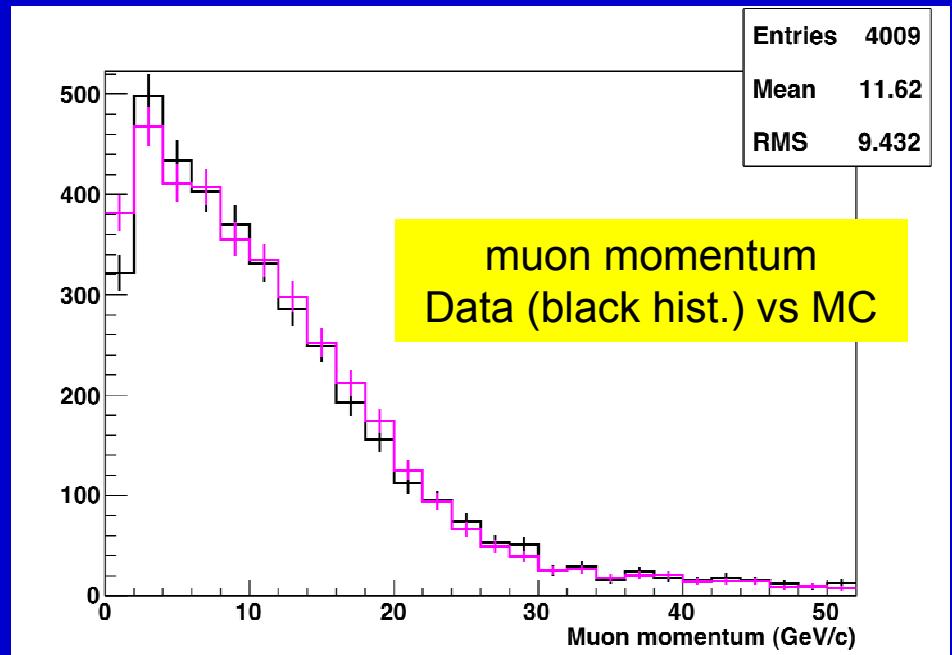
МИШЕНЬ ИЗ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СТРИПОВ



> 5 p.e. for a m.i.p.
~ 99% detection efficiency \Rightarrow trigger
position accuracy: ~8 mm
angular accuracy: ~ 20 mrad

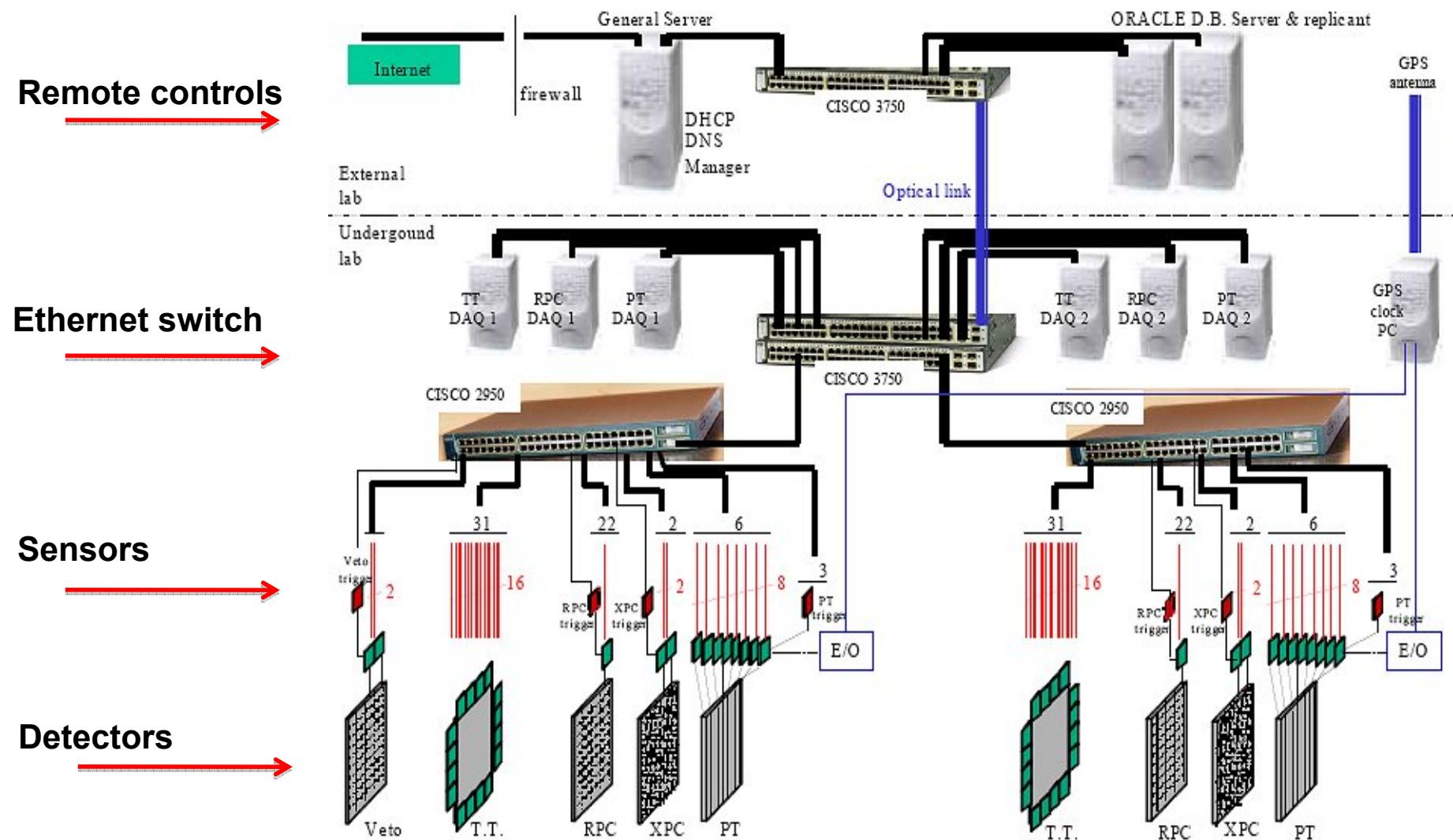
Механическая структура:
brick trays: только 0.5% массы мишени

ТРЕККЕР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НРТ)

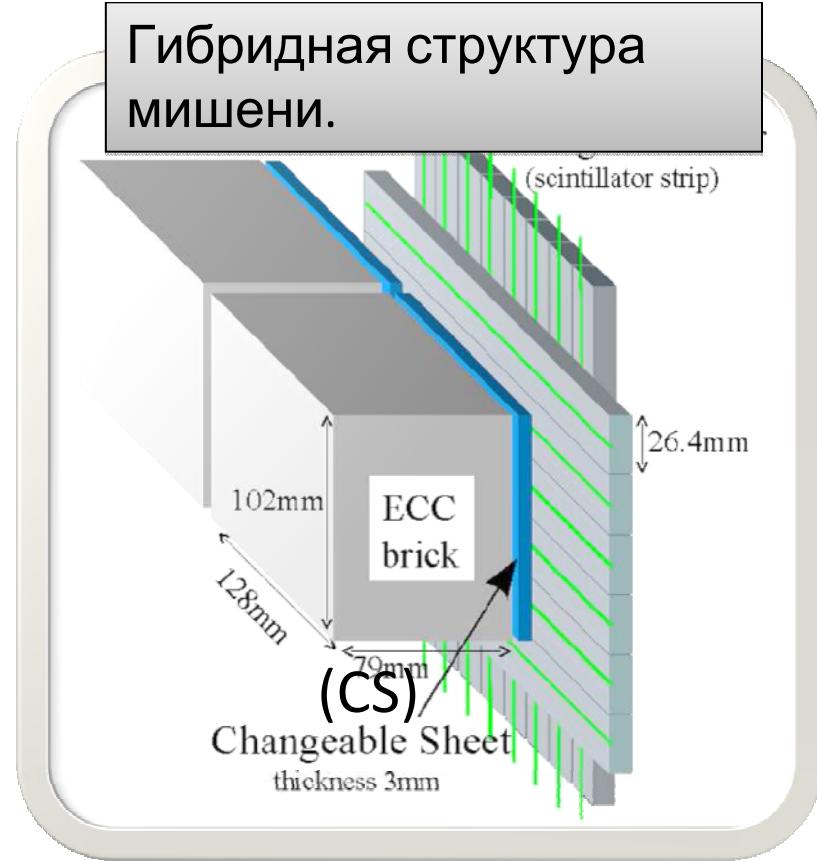
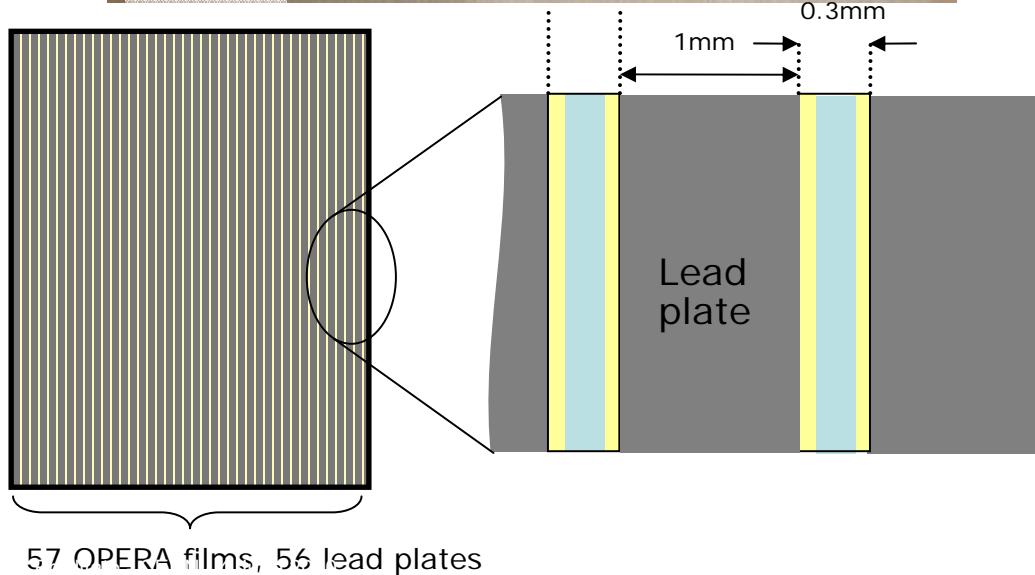
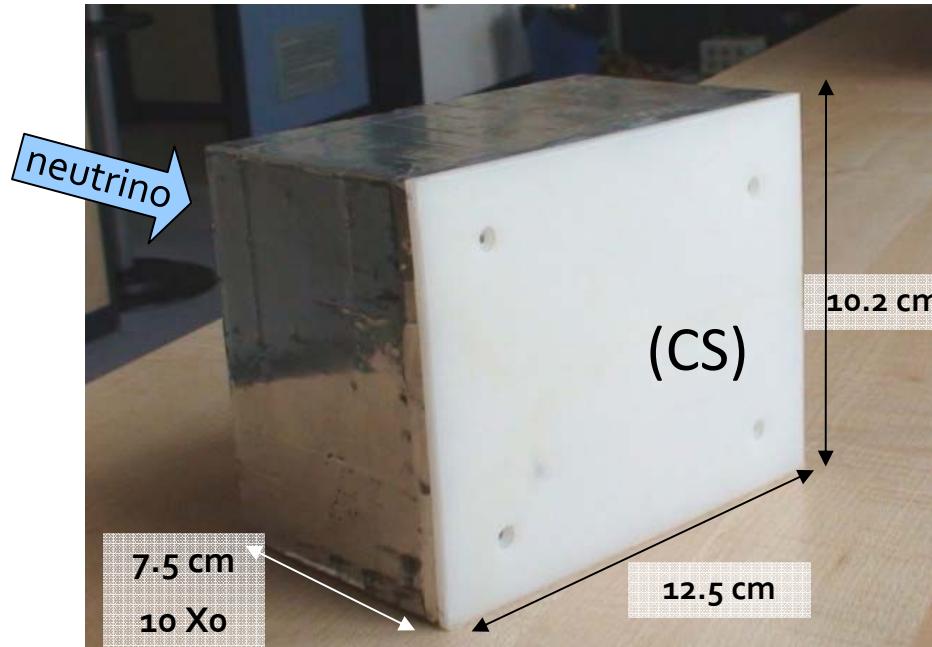


СБОР ДАННЫХ

- Trigger-less scheme: hits from single detectors with GPS time stamp
- About 1200 sensors for controlling groups of pixels, strips or wires
- All hits recorded in the DB
- Events extracted offline from DB



«СЕРДЦЕ» ЭКСПЕРИМЕНТА: ЕСС мишенные брики



OPERA содержит 150'000 ECC
«кирпичей».

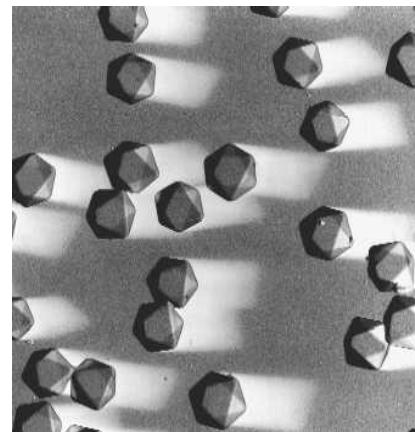
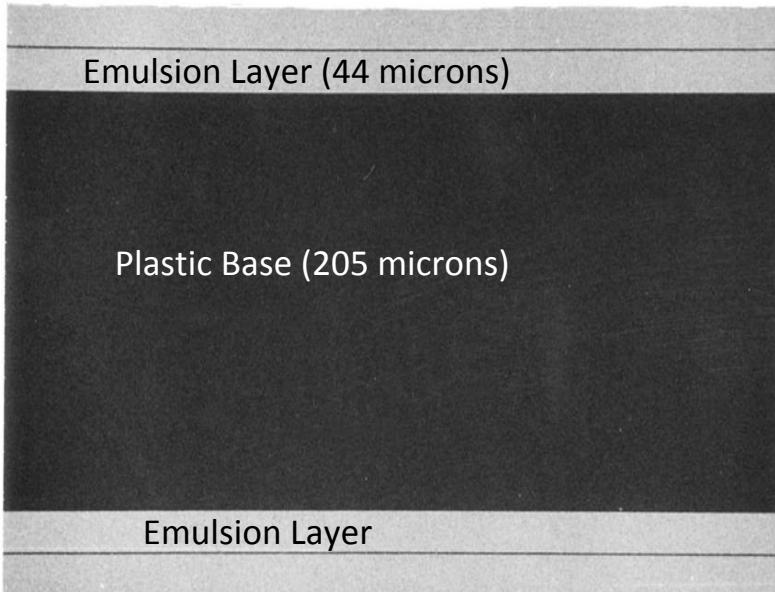
Всего 105'000 m² поверхности
свинца и

111'000 m² эмульсий

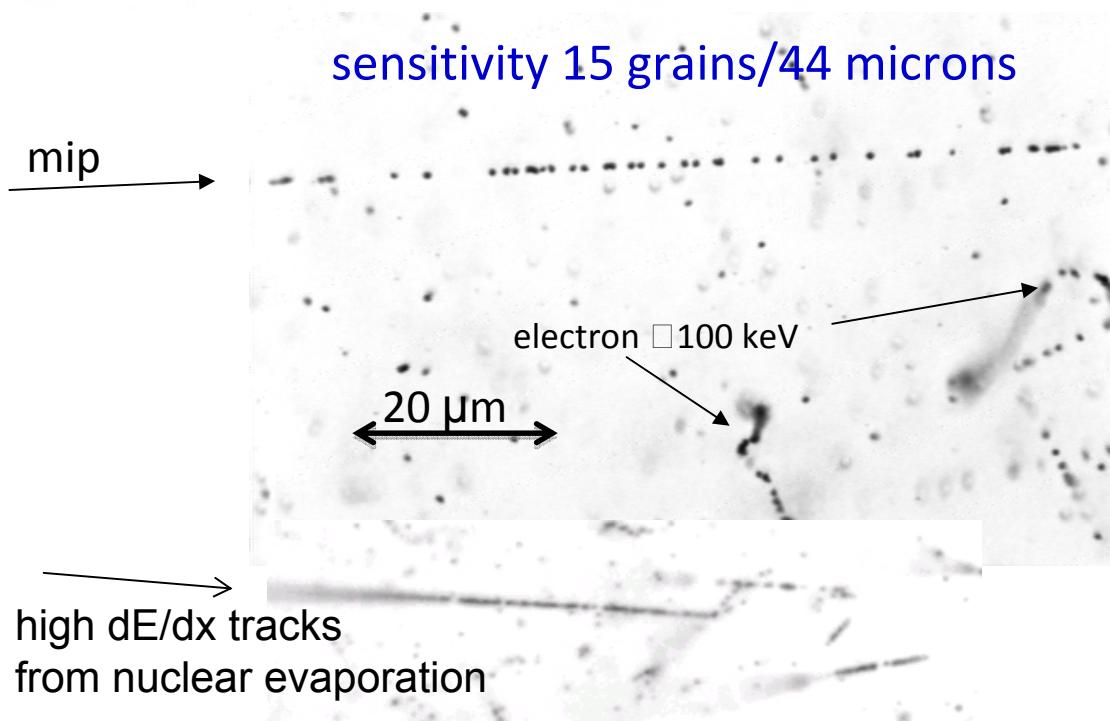
(~ 8.9 миллионов пленок)

Полная масса мишени : 1.25 kton

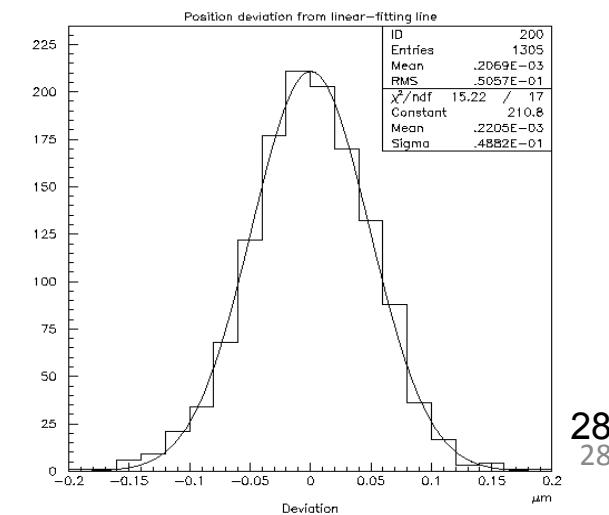
ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ (FUJI FILM)



basic detector: AgBr crystal,
size = 0.2 micron
detection eff.= 0.16/crystal
 10^{13} “detectors” per film



intrinsic resolution: 50 nm
deviation from linear-fit line. (2D)



Neutrino interaction

bottom layer

What the microscope CCD sees in one film..

170 µm

250 µm

ПРОИЗВОДСТВО СВИНЦОВЫХ ПЛАСТИН в JL-GOSLAR

НИР и промышленное производство:

9.2 миллионов пластин произведено из with
1'300 тонн свинца

Низкофоновый свинец: lead (80 Bq/kg)

0.04% Ca alloy

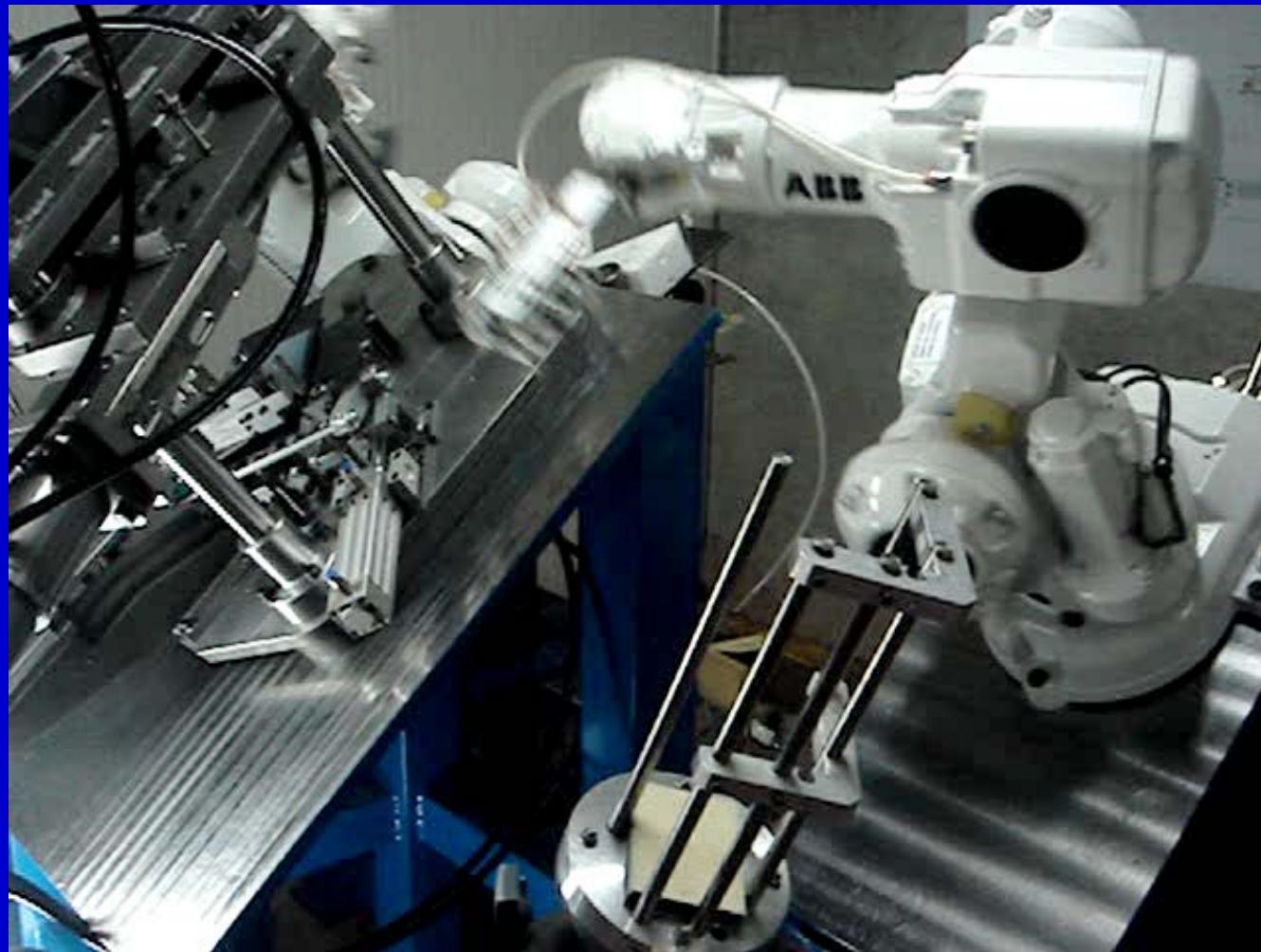
Specs (fulfilled):

- $\pm 5 \mu\text{m}$ planarity
- $\pm 5 \mu\text{m}$ thickness
- $\pm 50 \mu\text{m}$ transverse dimensions
- class 10000 cleanliness
- no corrosion of surface
- not aggressive to emulsion

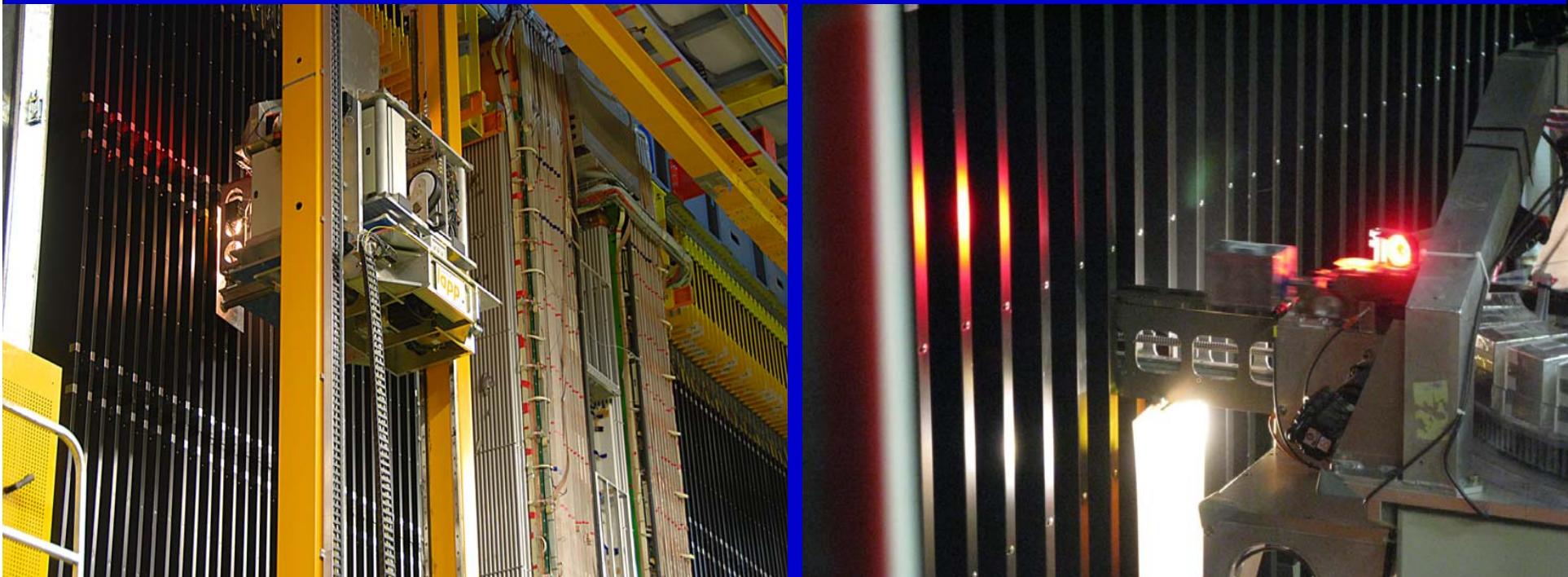


РОБОТ для СБОРКИ КИРПИЧЕЙ (ВАМ)

Инженерное обеспечение : автоматизированное производство 150'000 кирпичей (2006-2008)



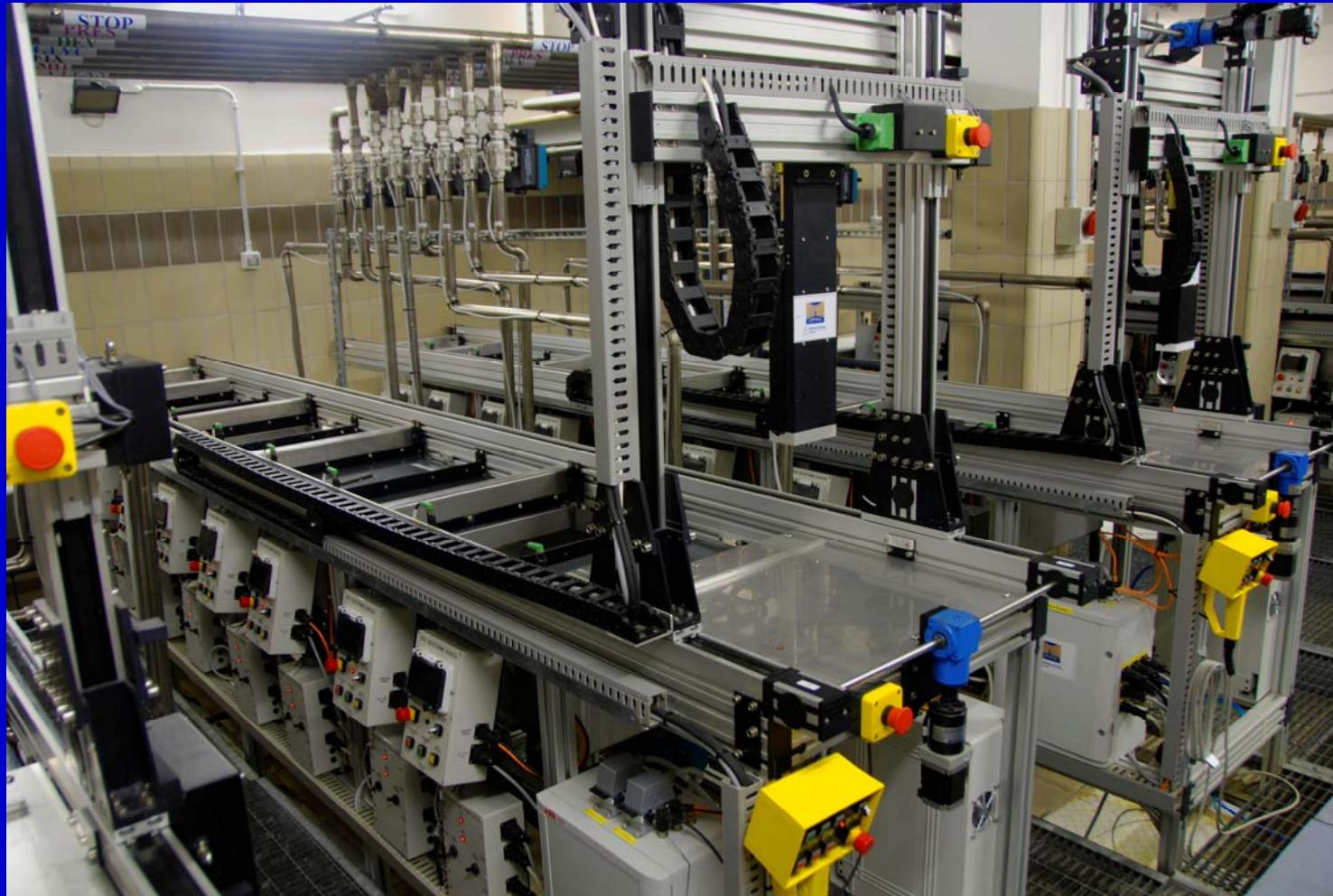
Система установки и выемки кирпичей из детектора (BMS)



Выемка “hit” кирпичей параллельно с CNGS пучком:

- initially used to fill the brick target (two twin devices at either detector sides)
- fully automatic extraction of 25 bricks/8 hour shift (neutrino interactions)
- ~90'000 bricks handled until 2009 for the extraction of ~7000 event bricks

ЦЕНТР ПРОЯВКИ ЭМУЛЬСИЙ

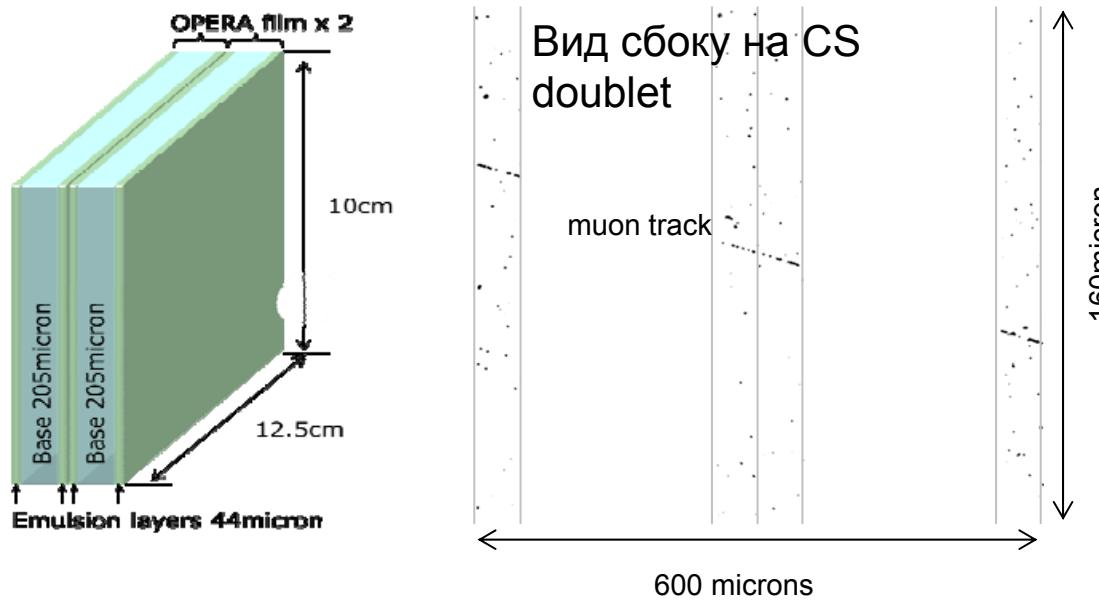


- 6 automatic lines running in parallel, in dark
- maximum rate: 150 bricks/week
- additional facility underground for CS: max 300 CS/week

33

Changeable Sheet (CS) установка в подземной LNGS лаборатории

- To pick up event related tracks.
- On-site refreshing and doublet packing: very low background emulsion tracker.
- 160'000 CS produced in 2006-2008.



CHANGEABLE SHEET сканирующие станции

LNGS



Nagoya



European Scanning System

High speed automatic
microscopes:

~ 200 cm² emulsion film
surface/hour/facility

Based on state of the art
technologies:

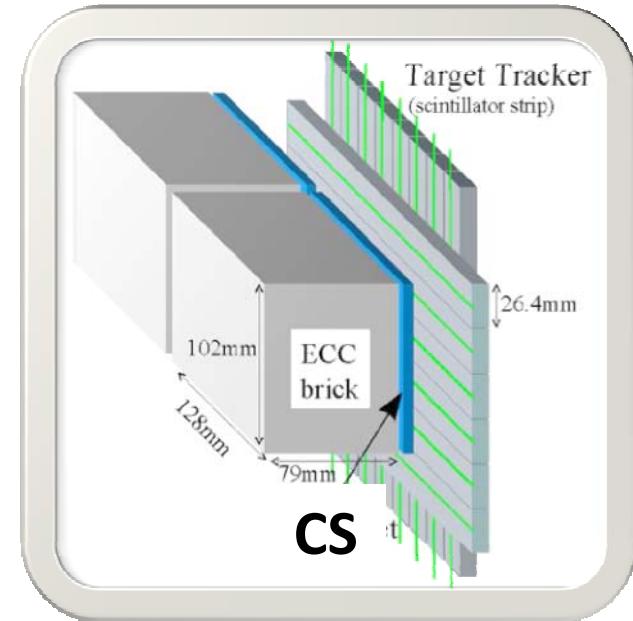
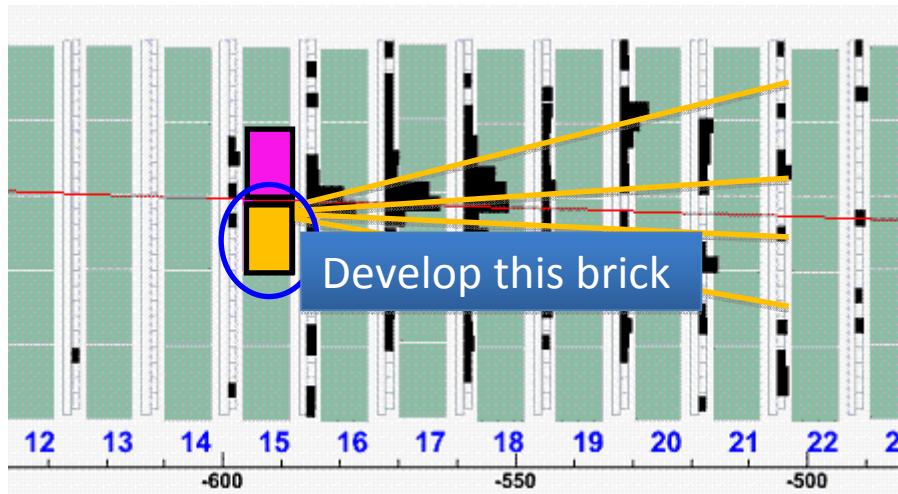
precision mechanics, stepping
motors, CCD readout, pattern
recognition, image analysis,...



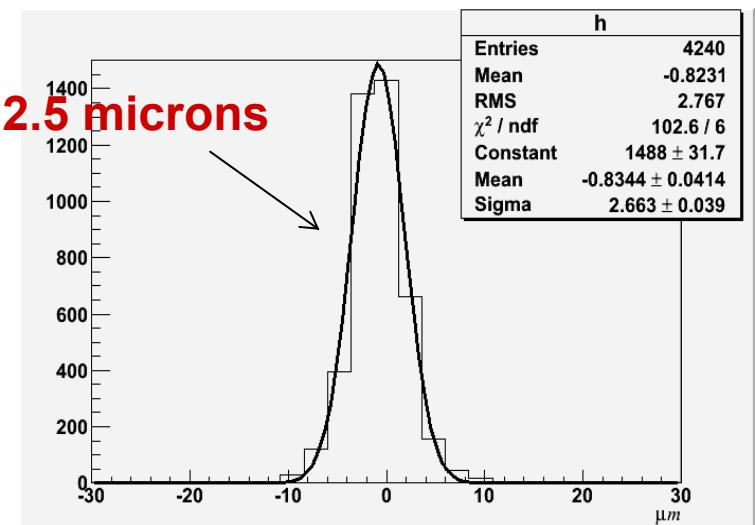
Super-UltraTrack Selector (Japan)

РАБОТА ДЕТЕКТОРА

BRICK, подтвержденный CS



CS doublet сшивка Compton электронами: 2.5 microns

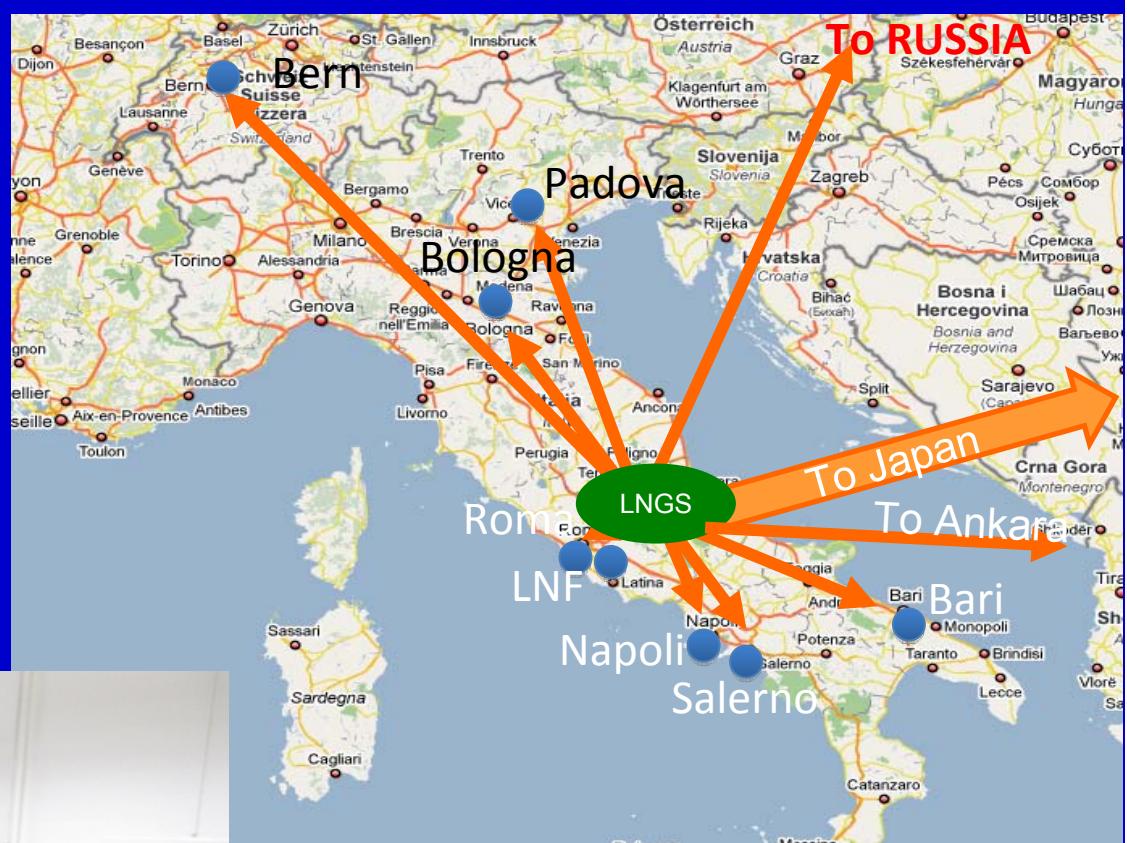


Scanning effort/event:
CHORUS $1 \times 1 \text{ mm}^2$
DONUT $5 \times 5 \text{ mm}^2$
OPERA $100 \times 100 \text{ mm}^2$

До настоящего времени, 640'000 cm^2 поверхности CS были отсканированы в OPERA эксперименте

АНАЛИЗ

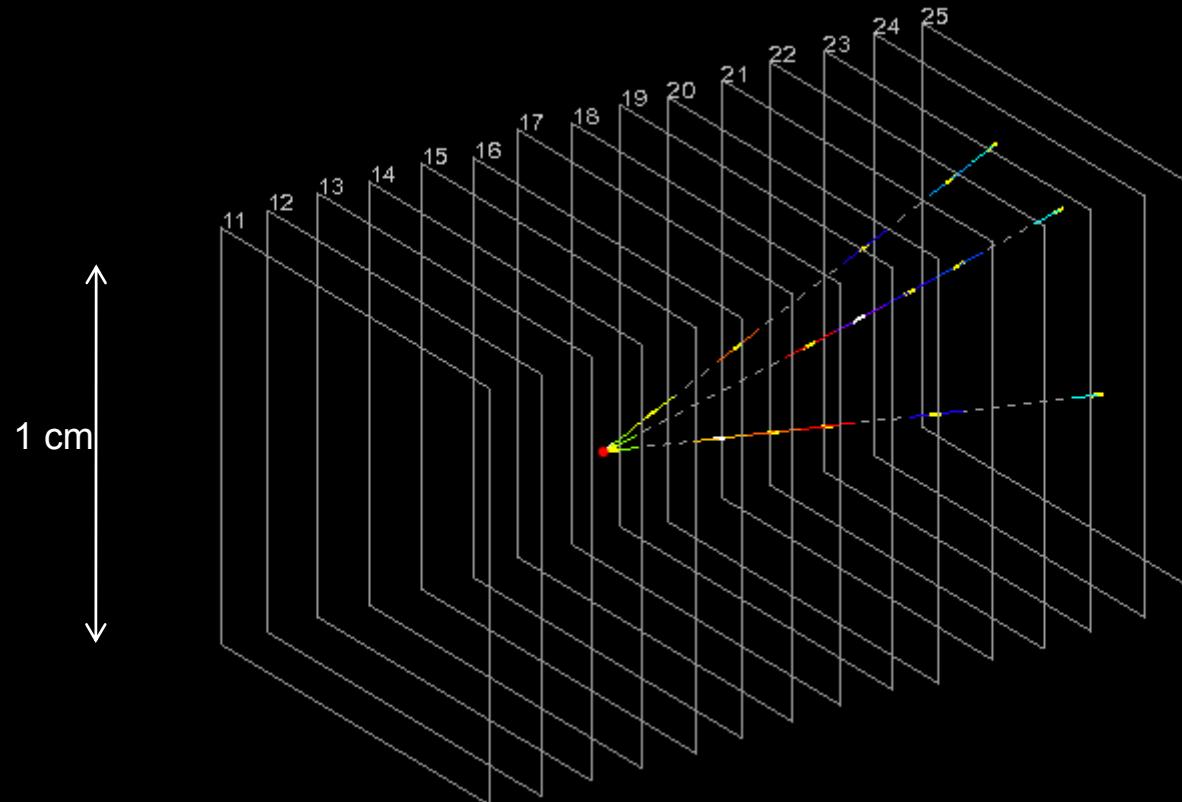
сканирование в 12
лабораториях



ЛОКАЛИЗАЦИЯ ВЕРШИНЫ ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРИНО

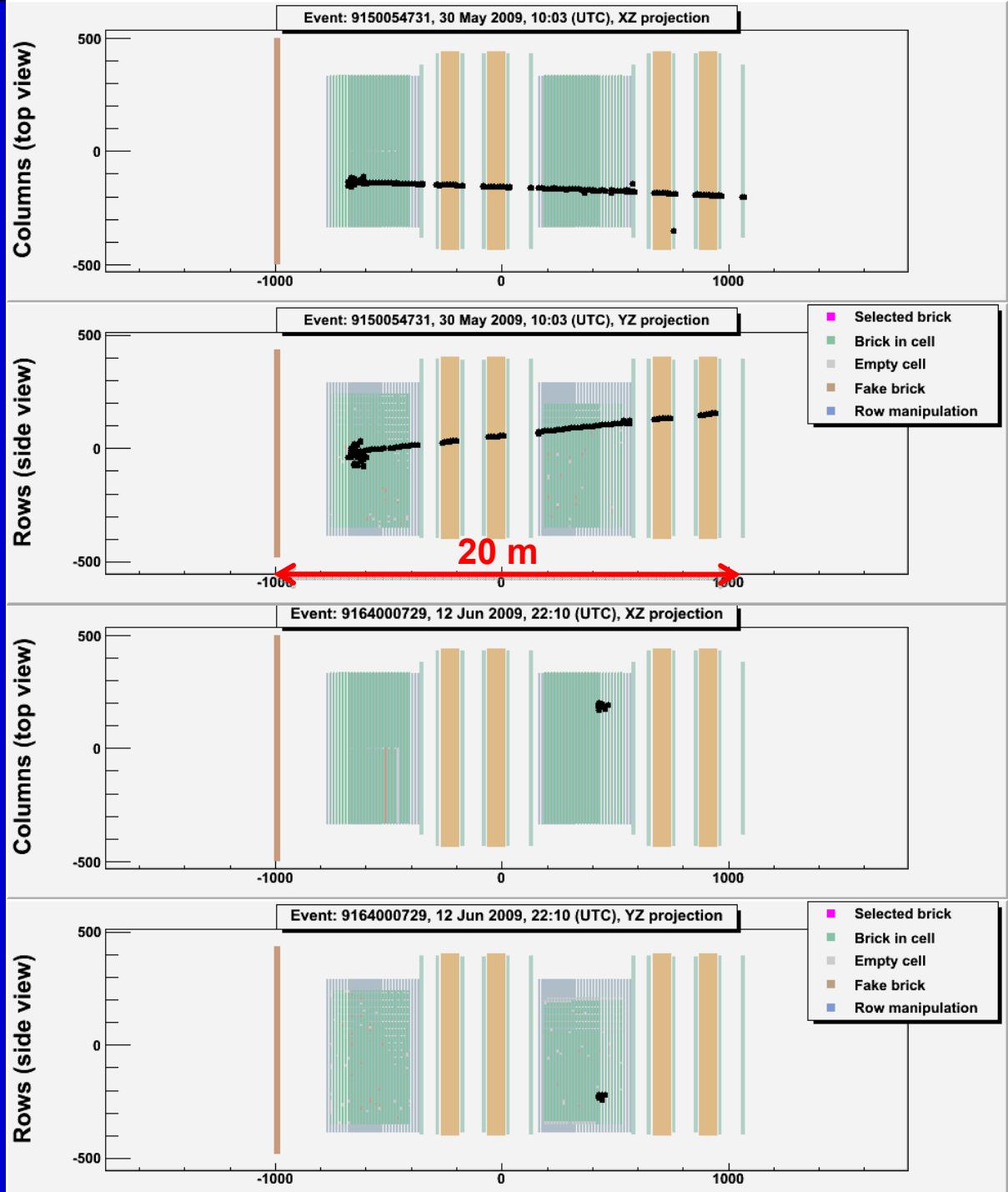
Emulsions give 3D vector data, with micrometric precision of the vertexing accuracy.

The frames correspond to the scanning area. Yellow short lines → measured tracks.
Other colored lines → interpolation or extrapolation.



ПРИМЕРЫ ν_μ СС и NC-взаимодействий

Измеренное отношение
NC-like/CC-like событий
после ID мюона и
локализации события
~20%, как ожидалось из
расчетов



Статистика событий

Эффективность обнаружения взаимодействия вместе с поиском вершины: 60%

Полное число найденных вершин: 1617

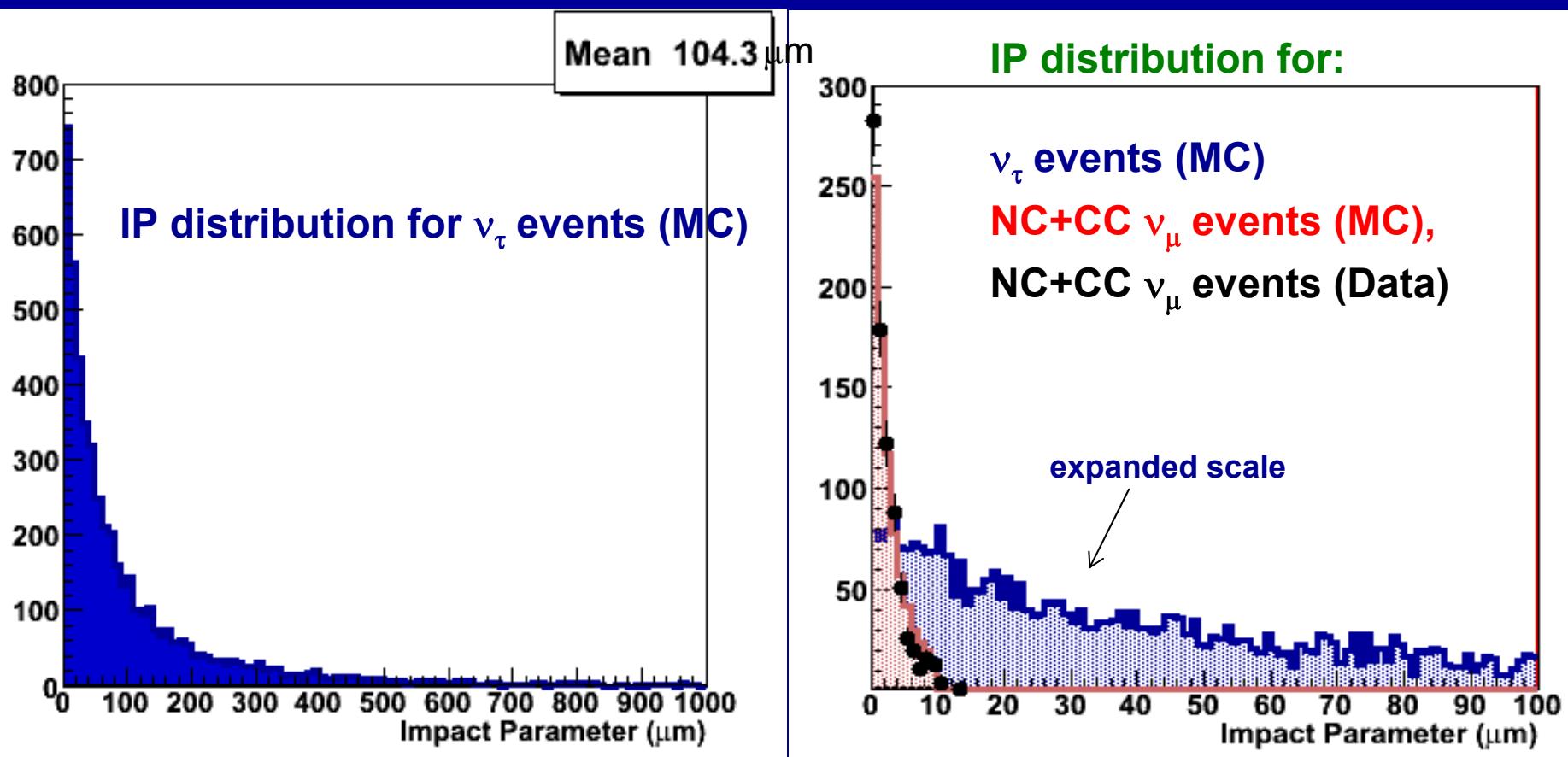
Число событий, для которых осуществлен поиск точки распада: 1088 (187 NC)

Это составляет ~35% от полной статистики 2008-2009 сеансов и соответствует 1.85×10^{19} pot

С учетом статистики для $\Delta m^2_{23} = 2.5 \times 10^{-3}$ eV² и полного смешивания, OPERA ожидает: ~ 0.5 ν_τ событий

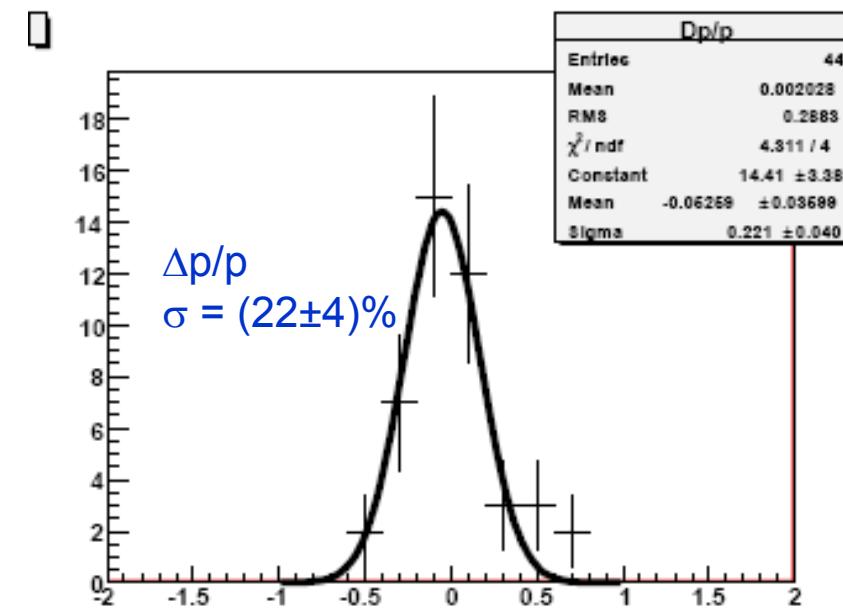
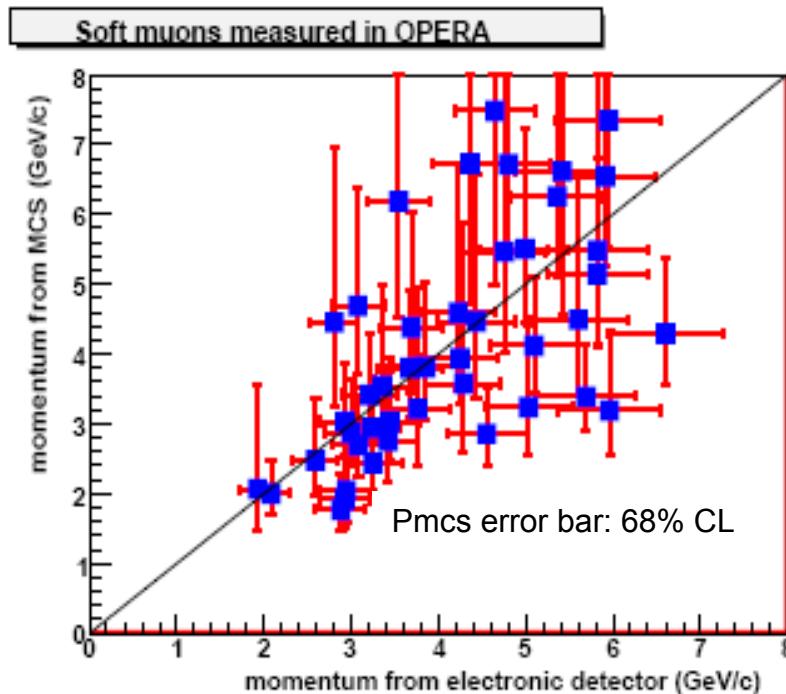
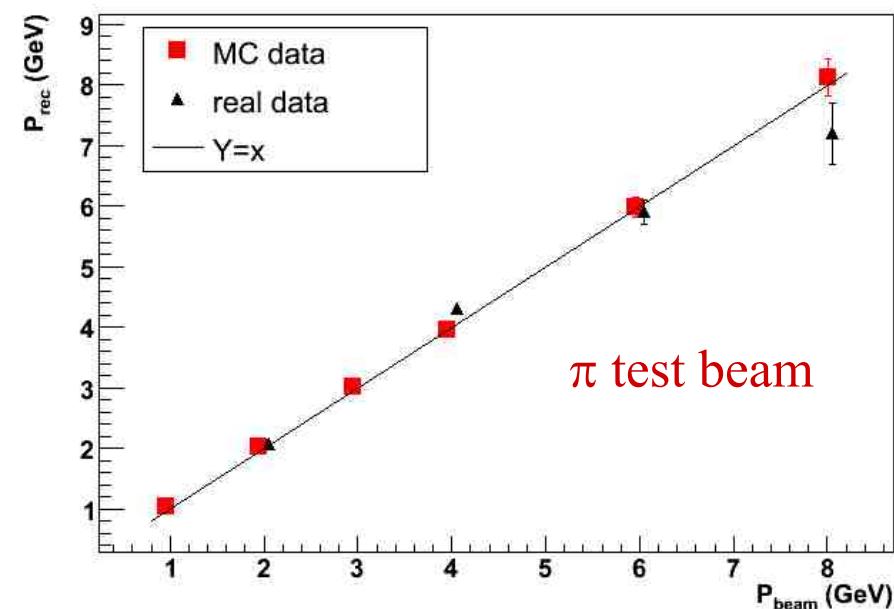
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

ИЗМЕРЕНИЯ Impact parameter



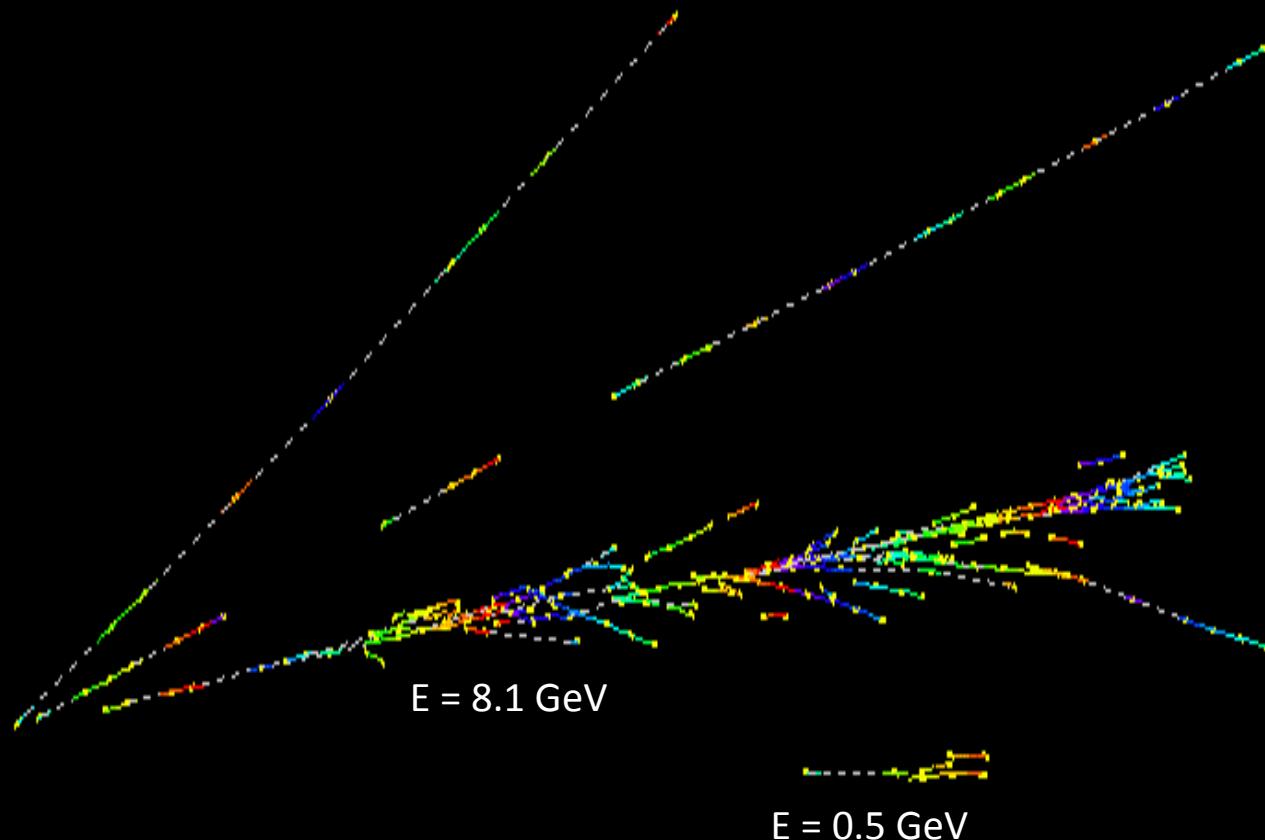
Измерения момента: Multiple Coulomb Scattering...

...в lead/emulsion film сборке и
сравнение с измерениями
электронных детекторов



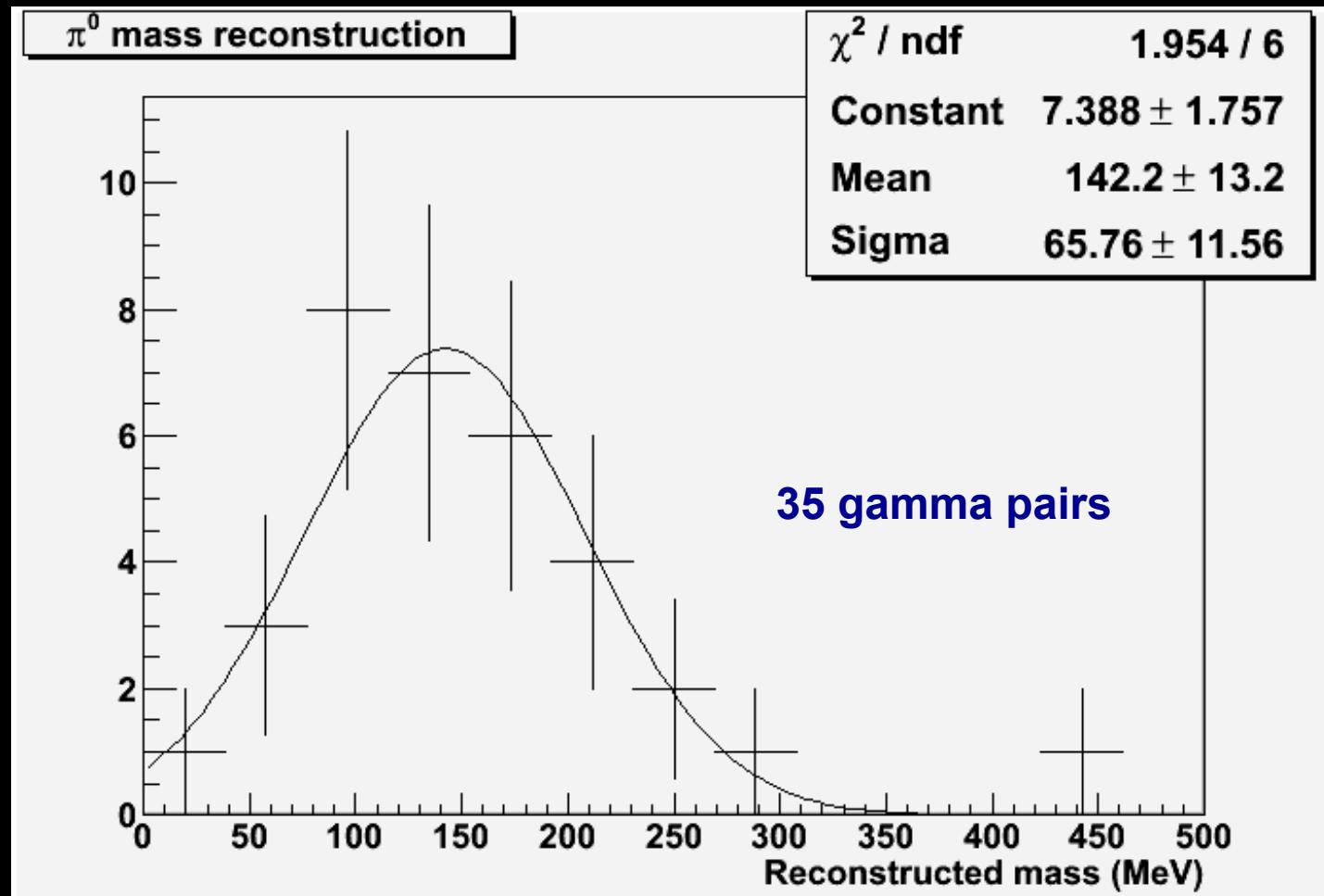
Детектирование γ -квантов и определение массы π^0 мезона

2 EM showers give a reconstructed mass ~ 160 MeV



Энергия ЕМ ливня измеряется по каскадной
кривой и методом многократного рассеяния

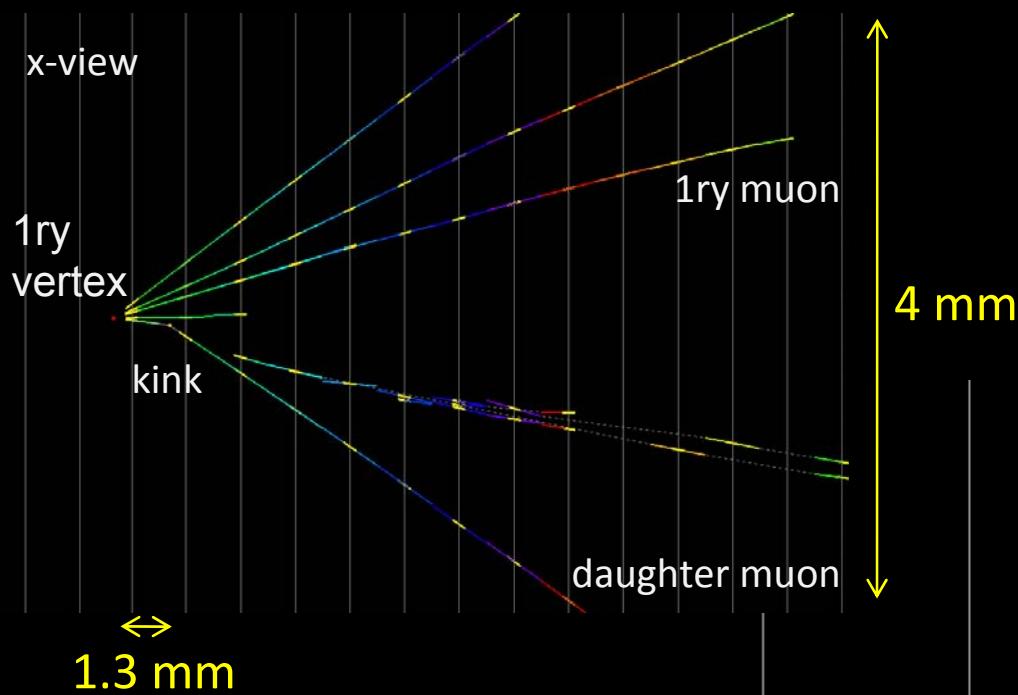
Определение массы π^0 мезона (эксп. данные)



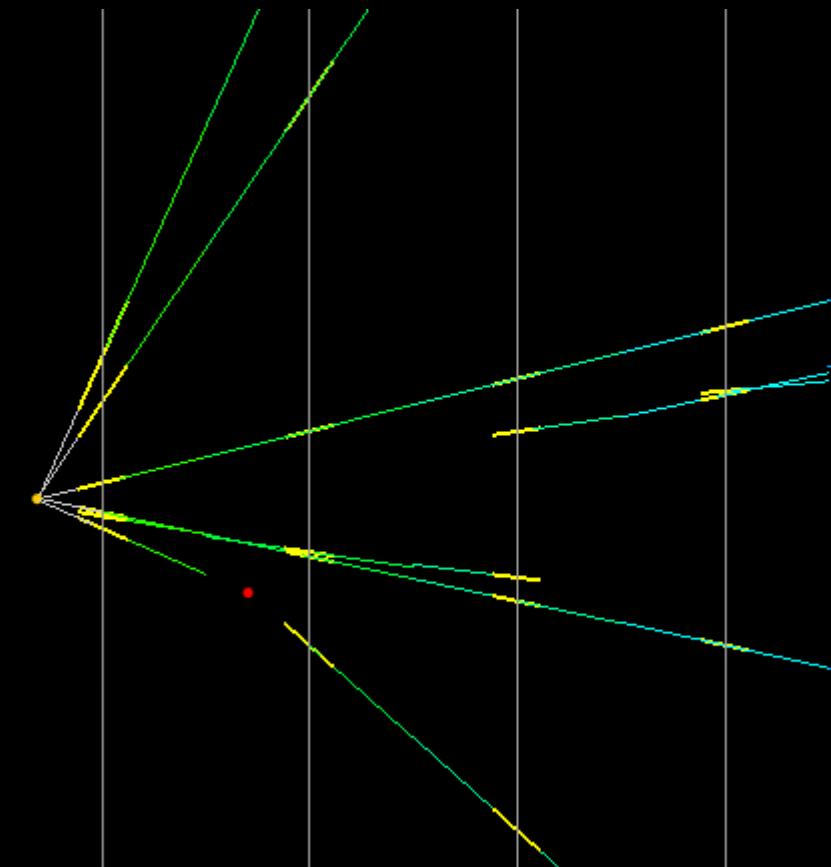
1 σ mass resolution: $\sim 45\%$

СОБЫТИЯ с ЧАРМОМ

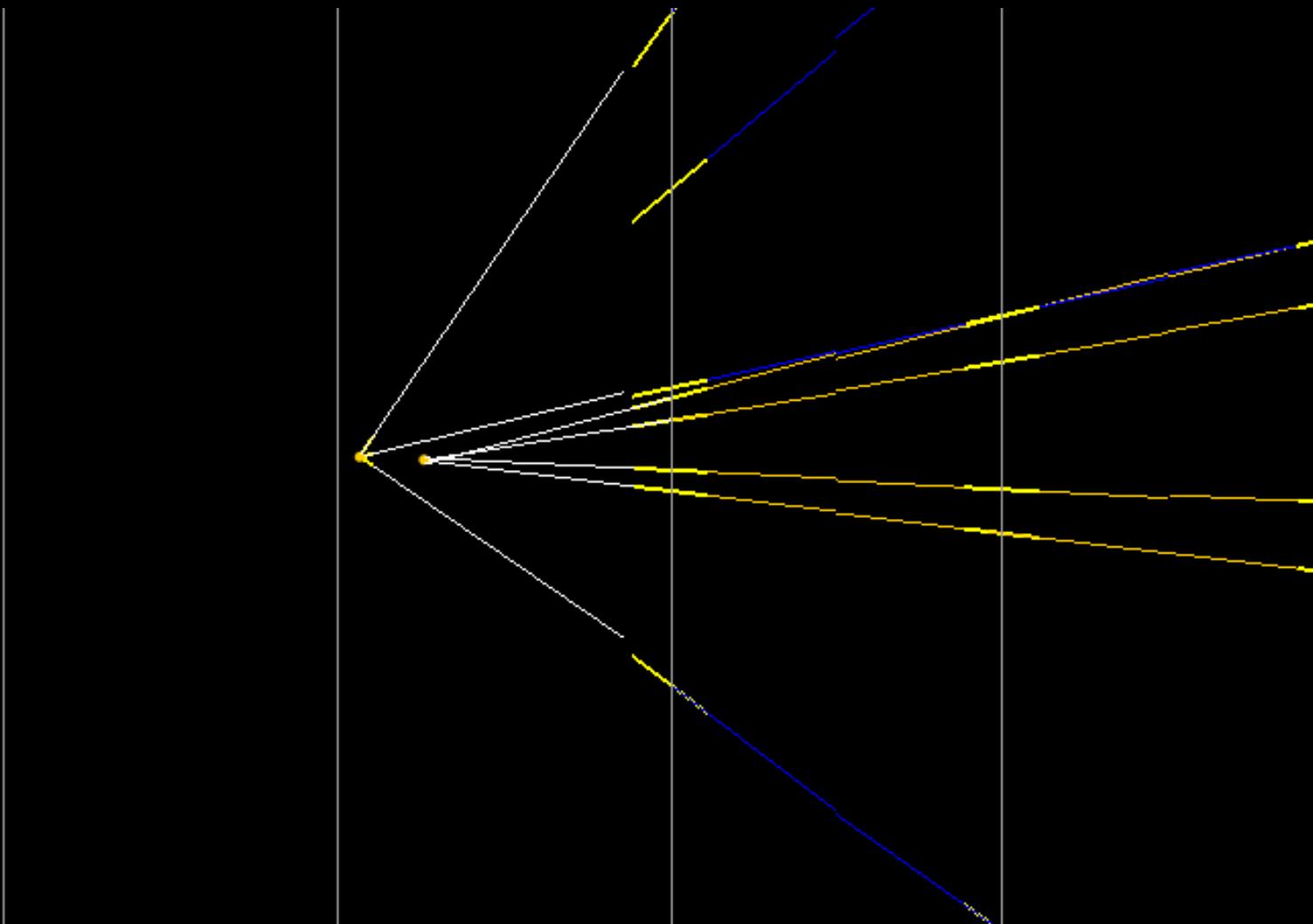
Charm candidate event (dimuon)



flight length: 1330 microns
kink angle: 209 mrad
IP of daughter: 262 microns
daughter muon: 2.2 GeV/c
decay Pt: 0.46 GeV/c



Charm candidate event (4-prong)



D₀ hypothesis: F.L.: 313.1 μm, φ : 173.2°, invariant mass: 1.7 GeV

Основные условия отбора для событий с чармом:

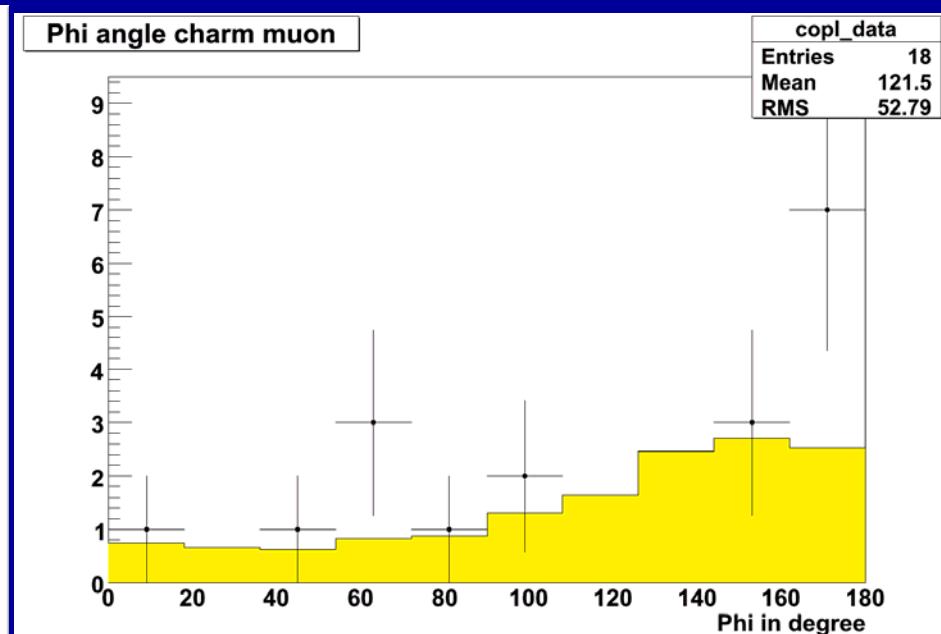
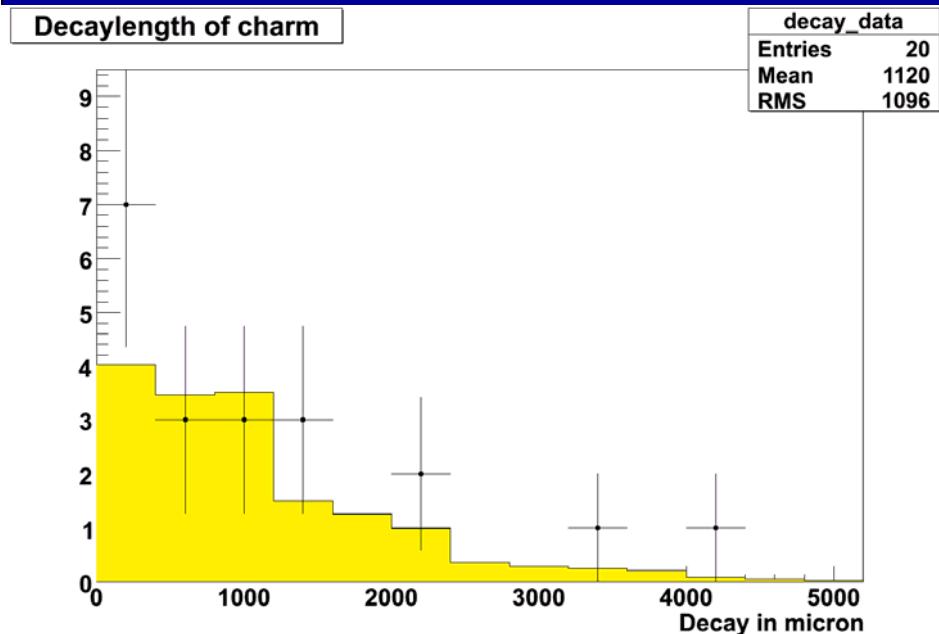
- $P_{\text{daughter}} > 2.5 \text{ GeV}/c$, kink $P_t > 0.5 \text{ GeV}/c$ (for kink events)
- looser cuts for multi-prong events

30 charm candidate events selected by the kinematical cuts,

3 of them with 1-prong kink topology.

Expected: 24.0 ± 2.9 out of which 0.80 ± 0.22 with kink topology. Expected BG: ~2 events (loose cuts: work in progress to reduce BG)

Examples of distributions:

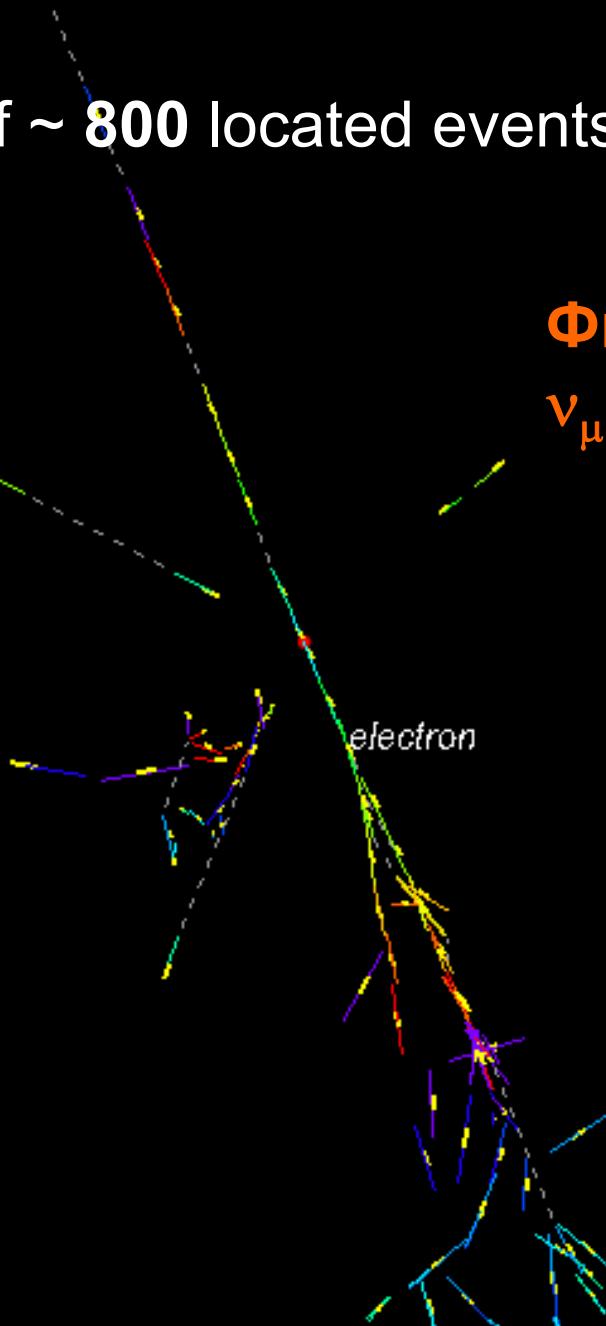


ДРУГИЕ ИНТЕРЕСНЫЕ СОБЫТИЯ

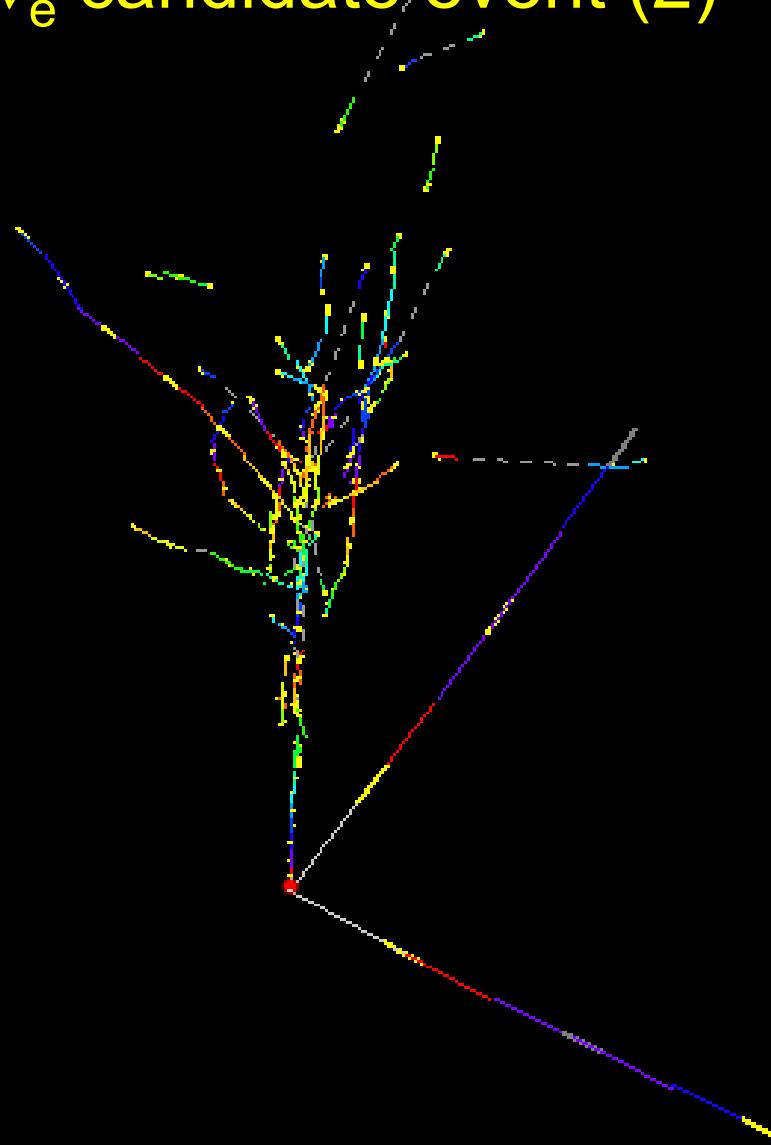
Событие ν_e candidate

From a subsample of ~ 800 located events we detected **6 ν_e** candidates

Физика: изучение:
 ν_μ - ν_e oscillations

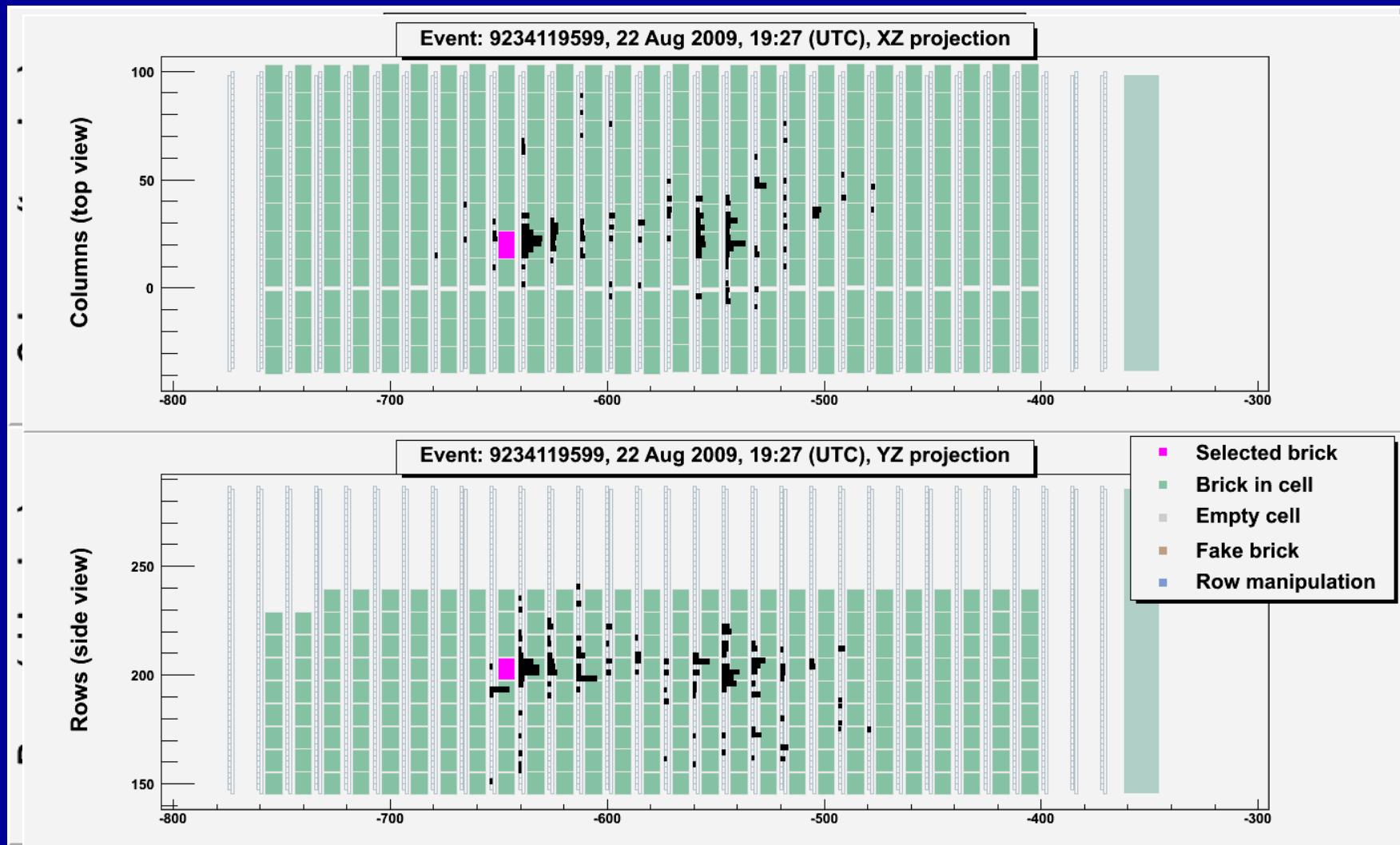


ν_e candidate event (2)



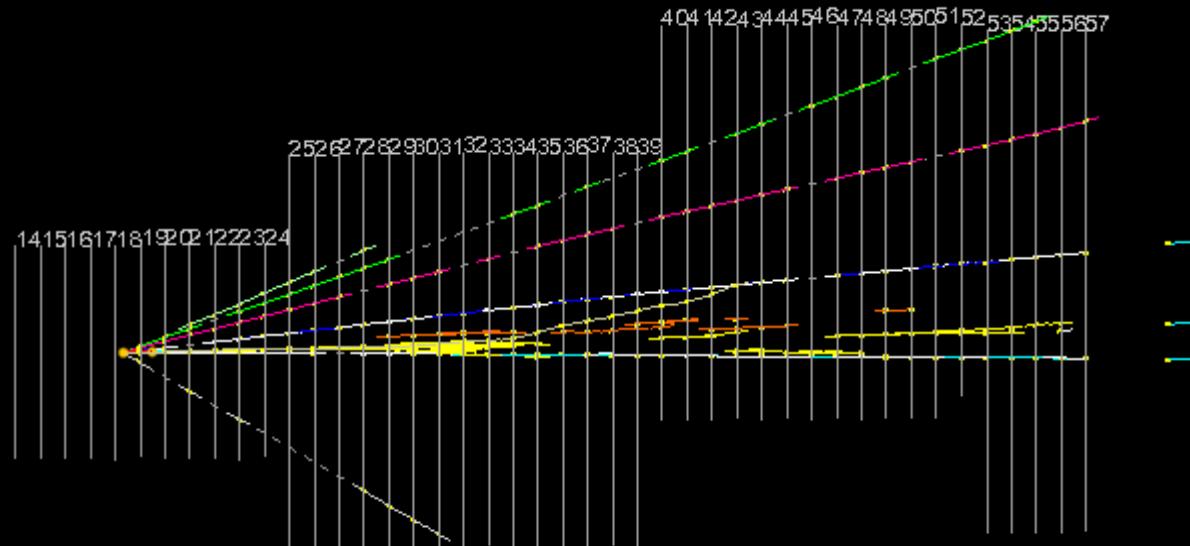
ОЧЕНЬ ИНТЕРЕСНОЕ СОБЫТИЕ...

Событие(мюона нет) 9234119599, 22.08.2009, 19:27 (электронные детекторы)

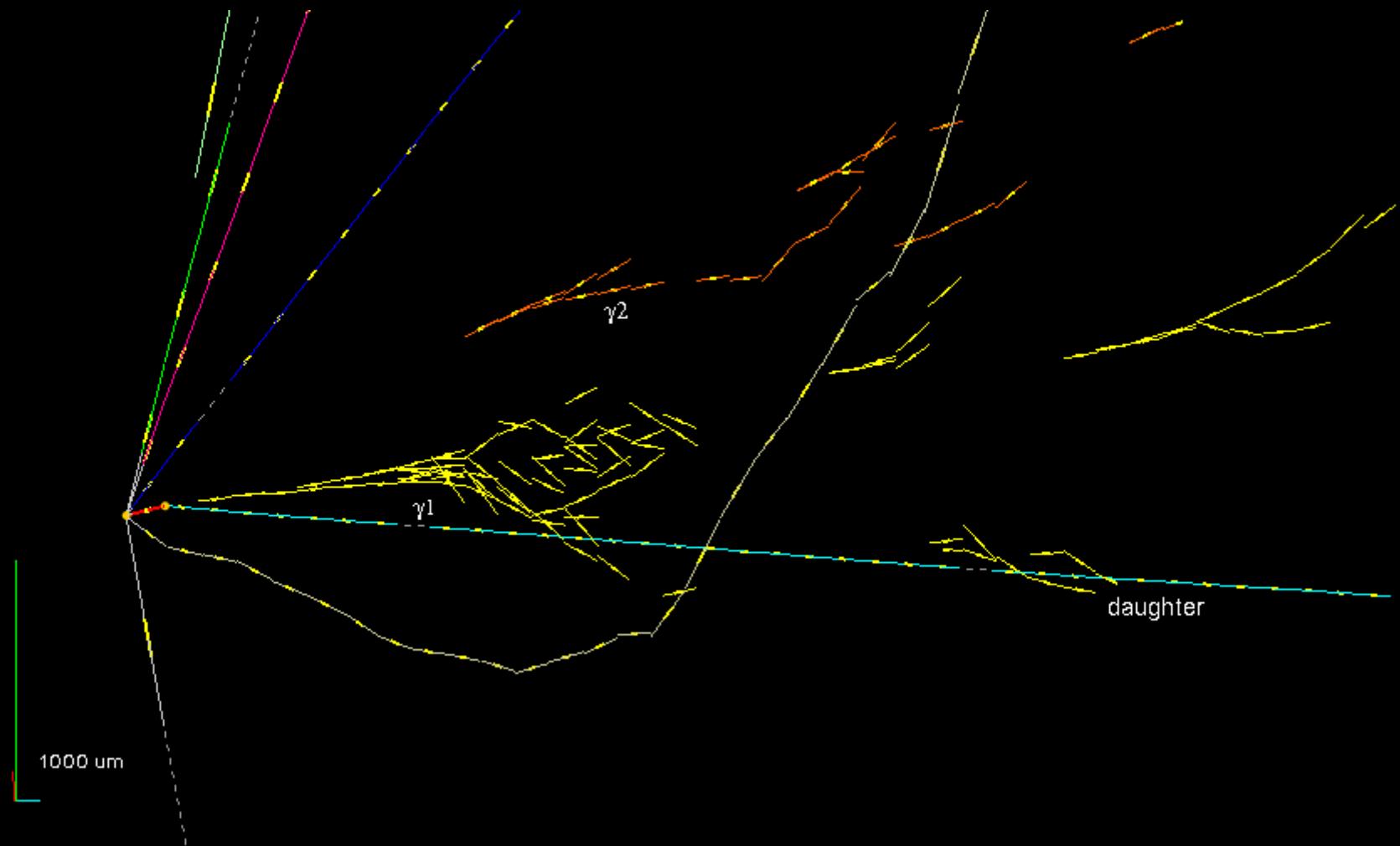


Локализация вершины

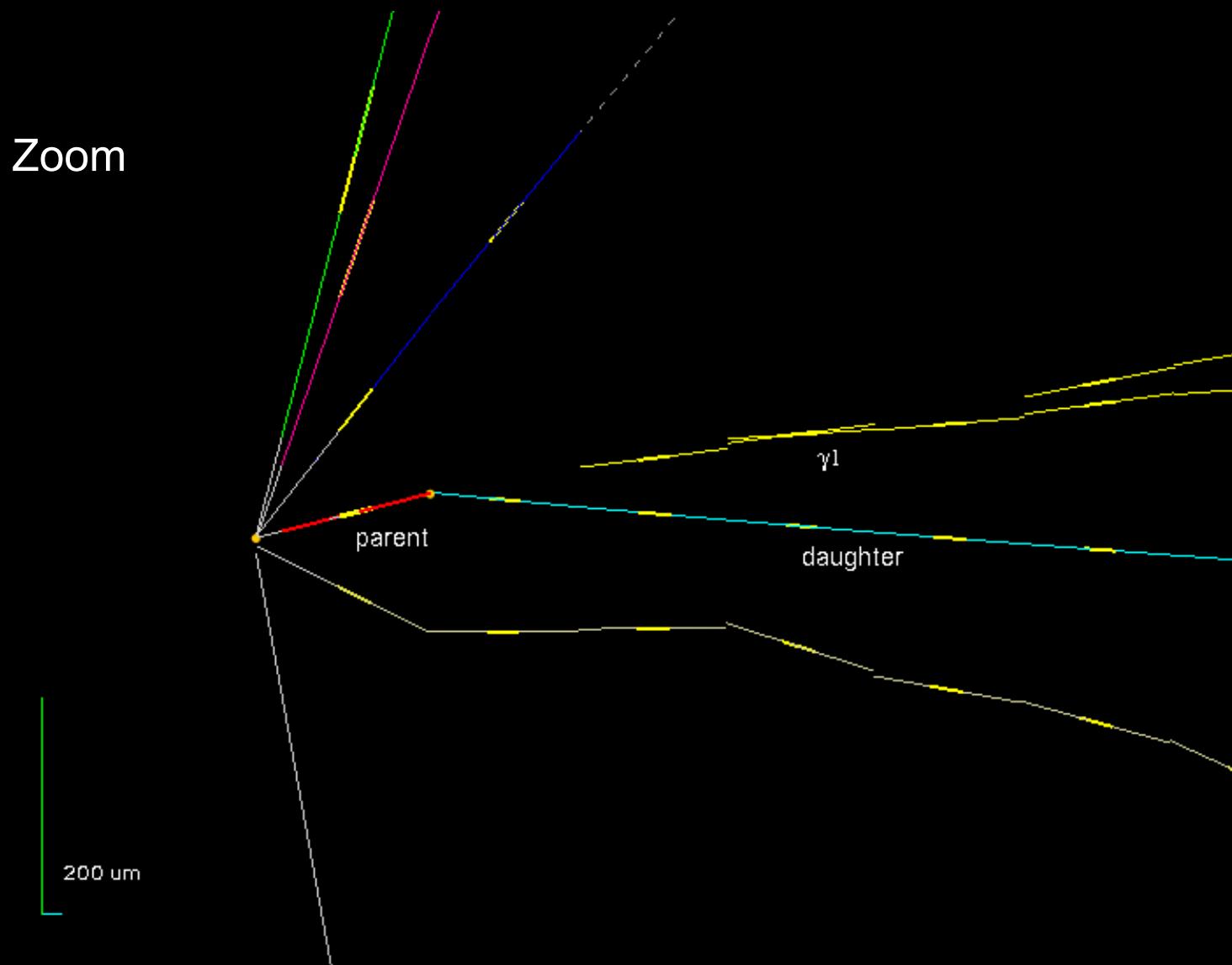
Сканирование большой площади
Полная реконструкция адронов и гамма-
квантов



Реконструкция события (1)

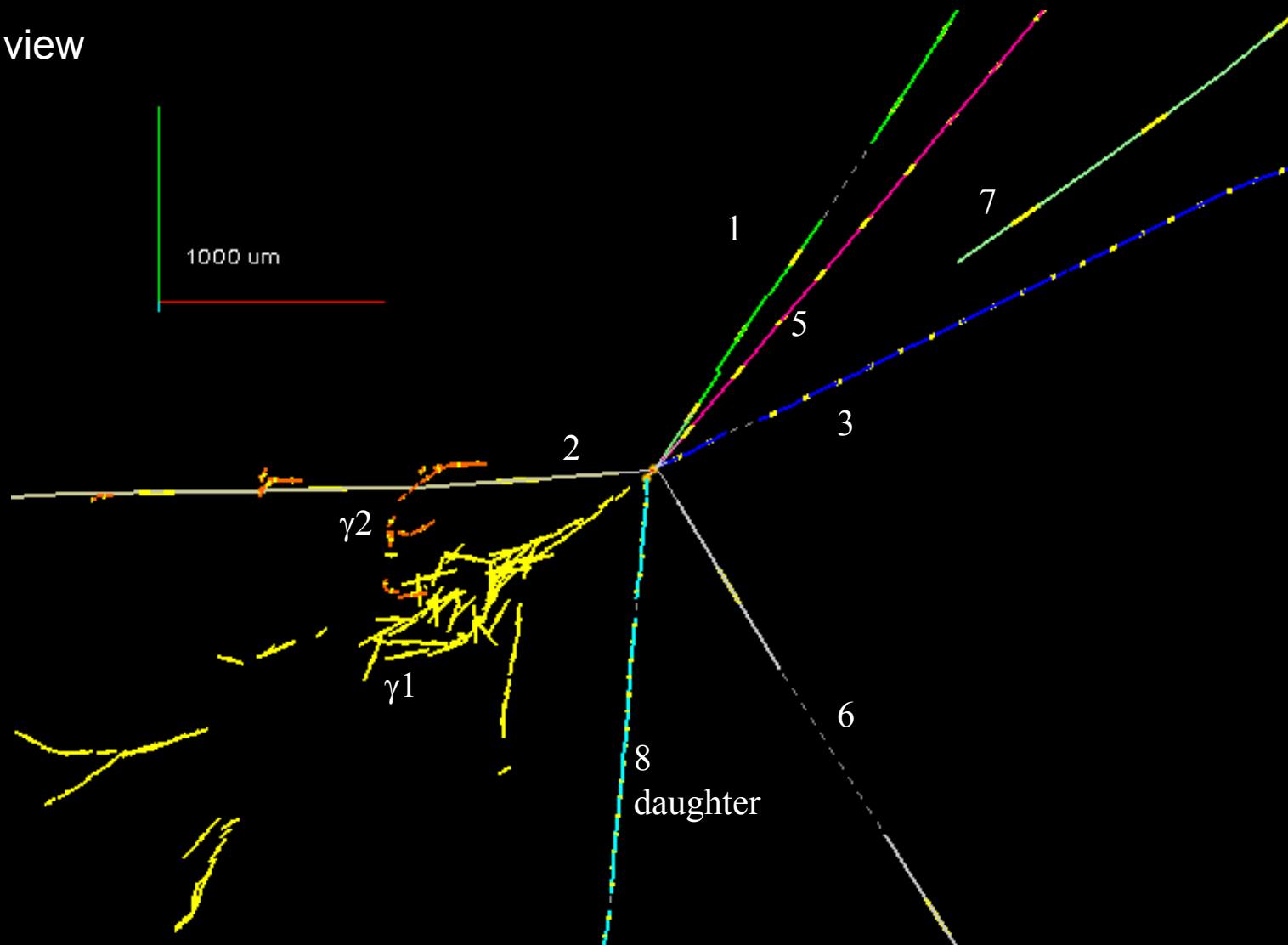


Реконструкция события (2)



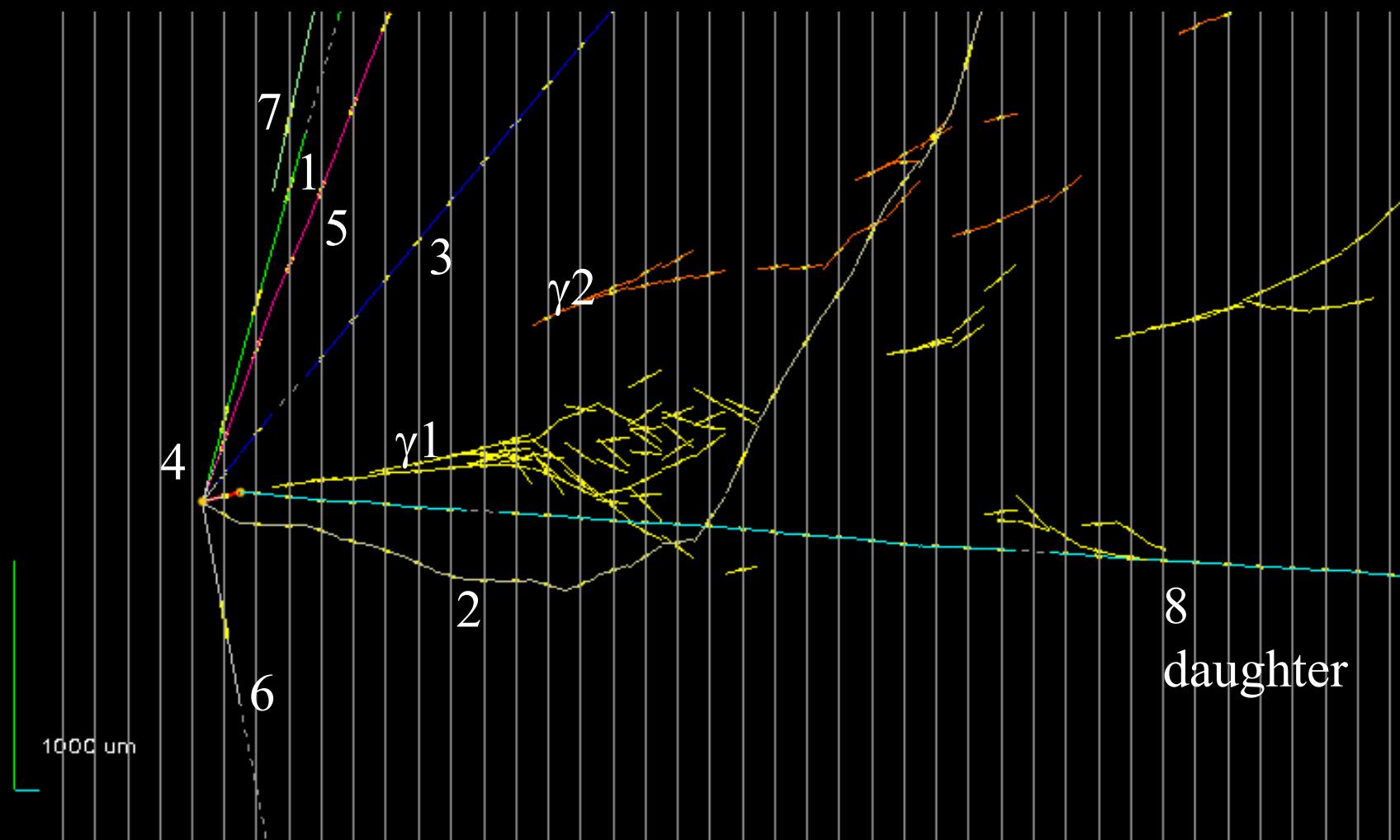
Особенности топологии (1)

Beam view

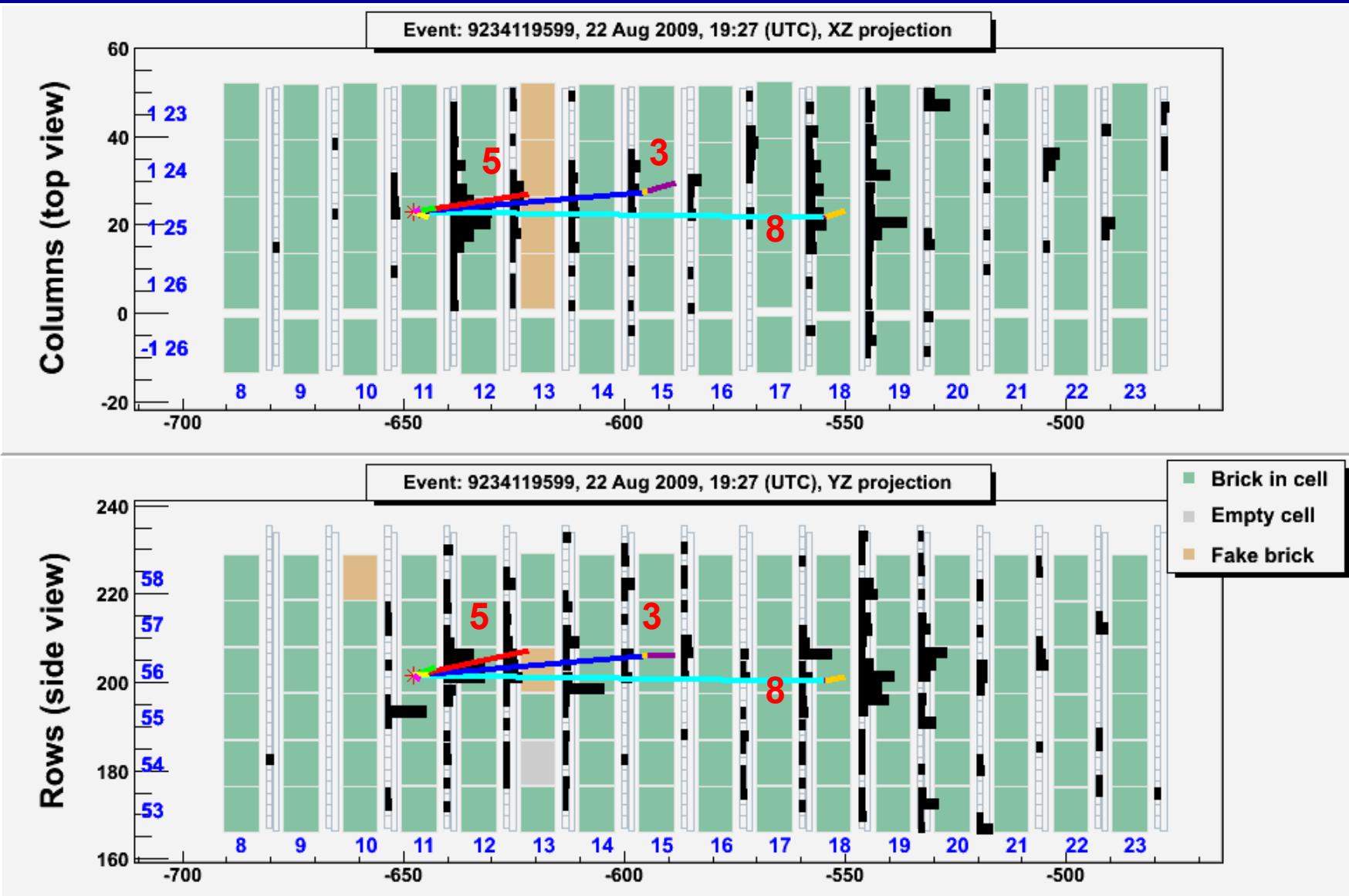


Особенности топологии (2)

Side view



Треки из вершины прослеживаются (через несколько блоков), чтобы исключить присутствие мюона. Оставшаяся вероятность ν_μ CC event (из-за возможности не зарегистрировать мюон под большим углом) ~1%. “Nominal” значение 5% предполагается.

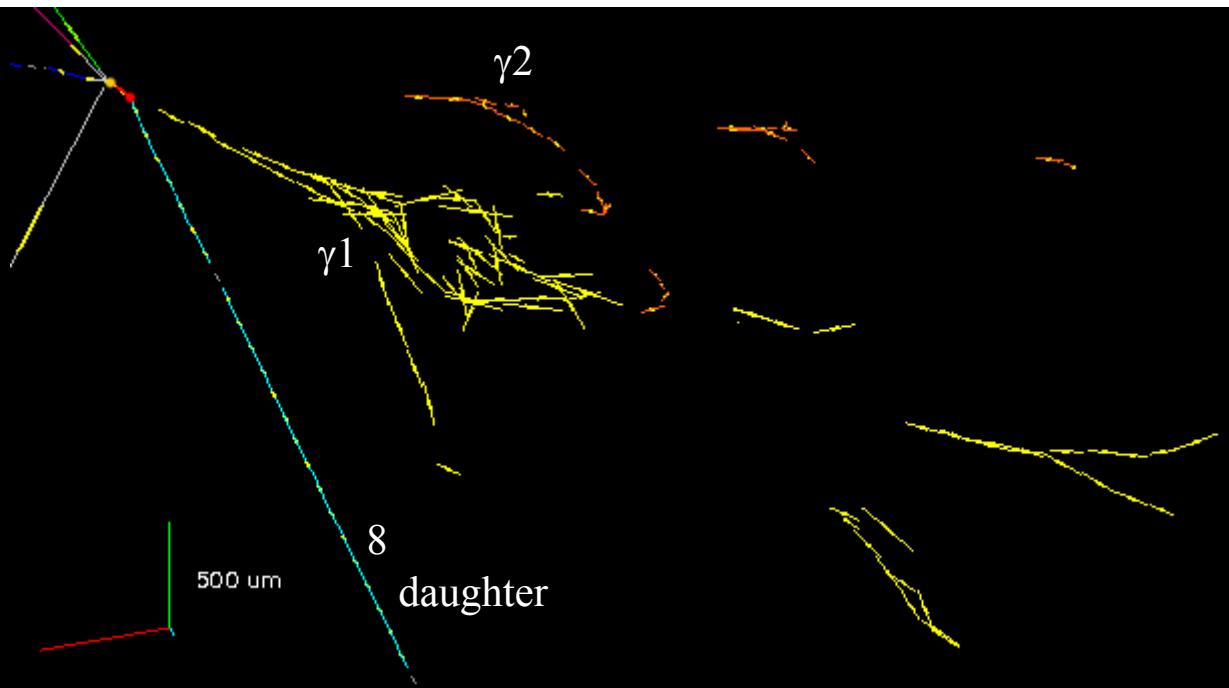


АНАЛИЗ

Стандартный подход эксперимента OPERA использовался при анализе события - кандидата на адронный распад таона:

- kink имеет место внутри 2-х слоев свинцовых пластин, расположенных глубже вершины первичного взаимодействия
- kink angle больше 20 mrad
- импульс «дочерней» частицы $> 2 \text{ GeV}/c$
- поперечный импульс «дочерней» частицы $P_t > 600 \text{ MeV}/c, 300 \text{ MeV}/c$, если 1 гамма-квант может быть отнесен к точке распада
- недостающий P_t в точке первичного взаимодействия $\leq 1 \text{ GeV}/c$
- азимутальный угол между направлением результирующего импульса адронов и направлением трека «parent» частицы $> \pi/2 \text{ rad}$

регистрация γ -квантов



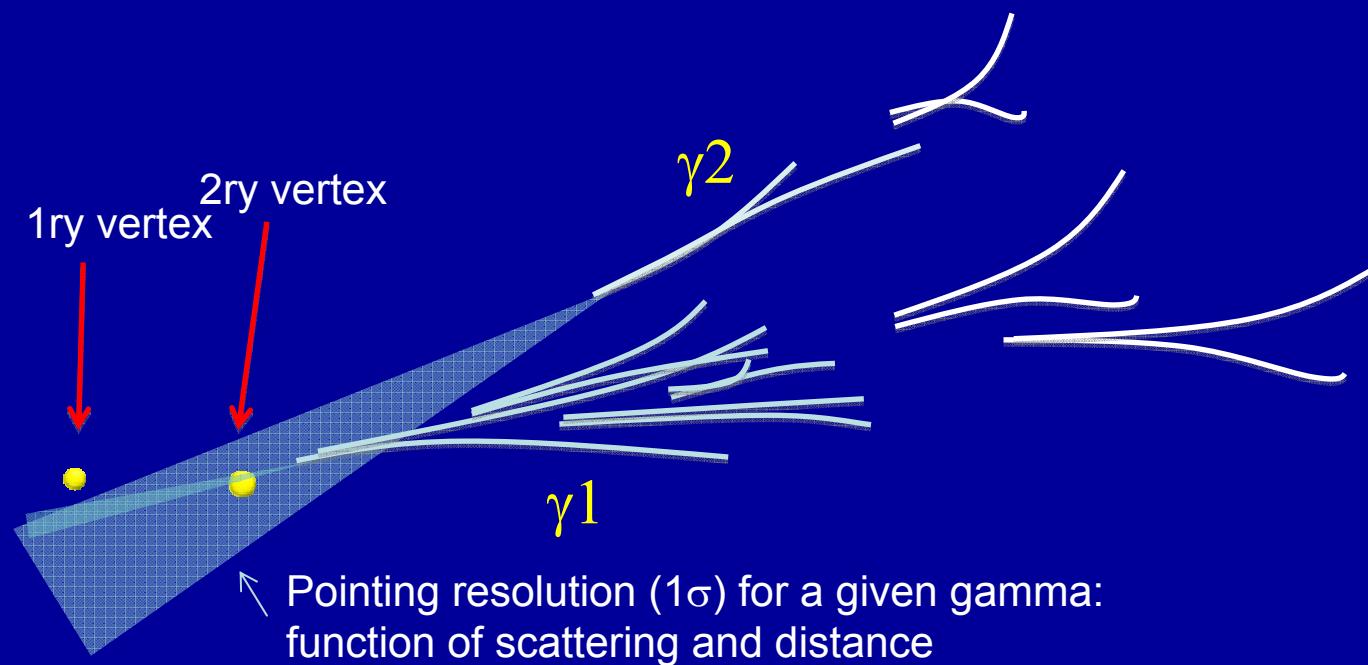
- полная радиационная длина : $6.5 X_0$
- поиск γ -квантов выполнялся во всем сканированном объеме
- тщательная визуальная проверка

	Distance from 2ry vertex (mm)	Energy (GeV)
1^{st} γ	2.2	$5.6 \pm 1.0 \pm 1.7$
2^{nd} γ	12.6	$1.2 \pm 0.4 \pm 0.4$

«ПРИВЯЗКА» γ -КВАНТОВ К ВЕРШИНАМ

	Distance from 2ry vertex (mm)	IP to 1ry vertex (μm) <resolution>	IP to 2ry vertex (μm) <resolution>	Prob. of attach. to 1ry vtx*	Prob. of attach. to 2ry vtx*	Attachment hypothesis
1 st γ	2.2	45.0 <11>	7.5 <7>	<10 ⁻³	0.32	2ry vertex
2 nd γ	12.6	85.6 <56>	22 <50>	0.10	0.82	2ry vertex (favored)

* probability to find an IP larger than the observed one



Кинематические переменные

- Кинематические переменные определялись усреднением двух наборов измерений параметров треков
- Предполагалось, что: γ_1 и γ_2 относятся ко 2^{ой} вершине

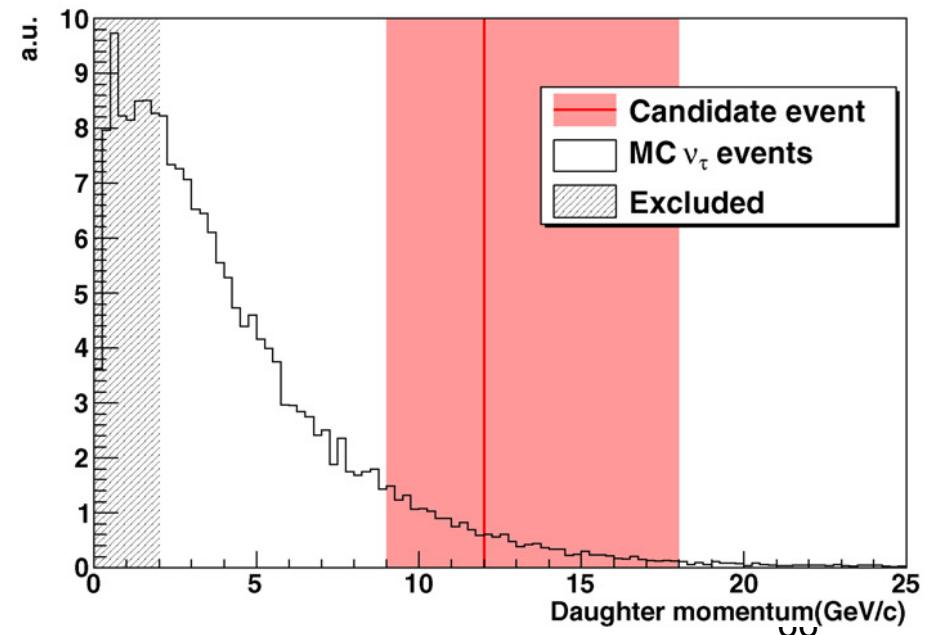
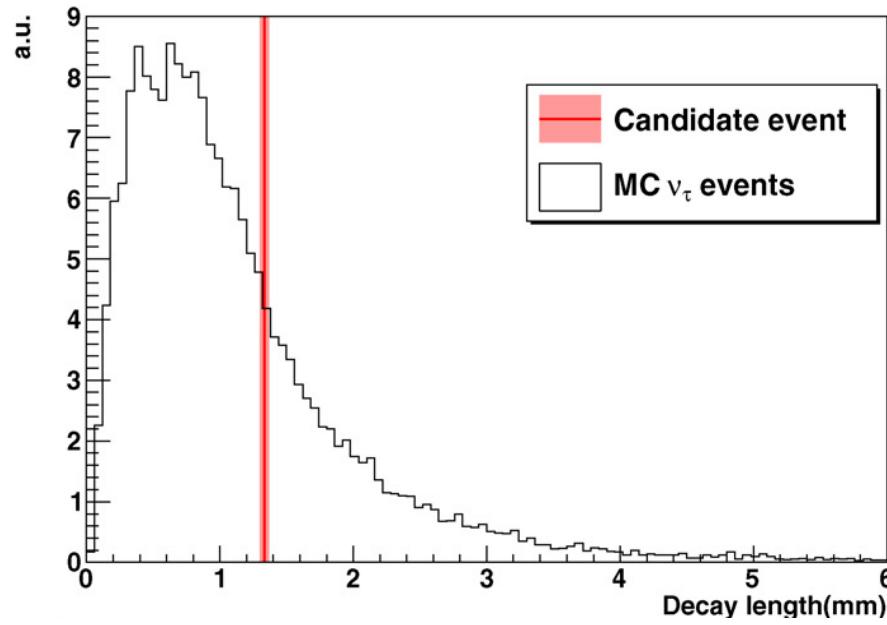
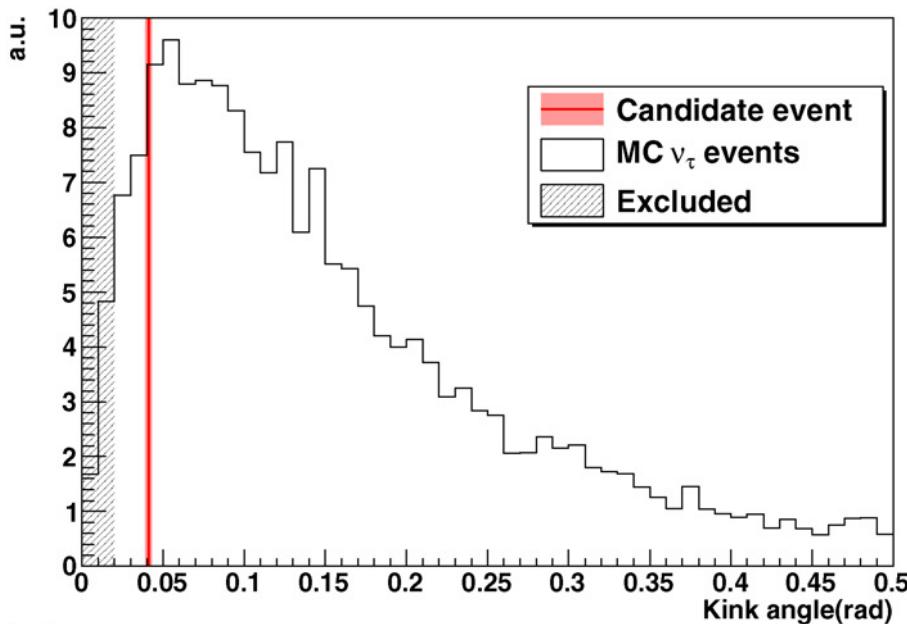
VARIABLE	AVERAGE
kink (mrad)	41 ± 2
decay length (μm)	1335 ± 35
P daughter (GeV/c)	12^{+6}_{-3}
Pt daughter (MeV/c)	470^{+230}_{-120}
missing Pt (MeV/c)	570^{+320}_{-170}
φ (deg)	173 ± 2

Средние значения использовались в дальнейшем кинематическом анализе

Неопределенность Pt из-за неопределенности привязки $\gamma_2 < 50$ MeV

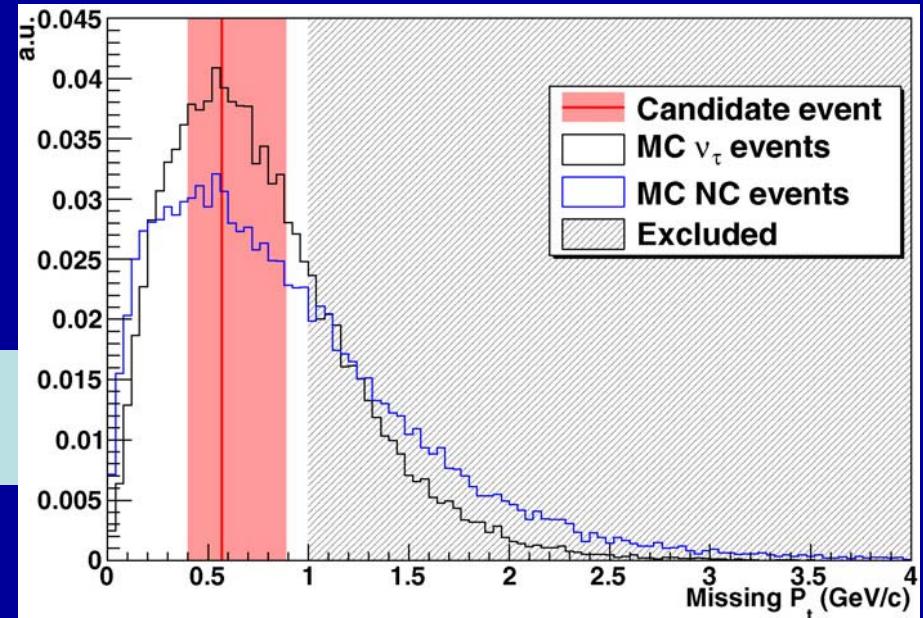
Характеристики топологии распада

red bands: values for the “interesting” event with uncertainties

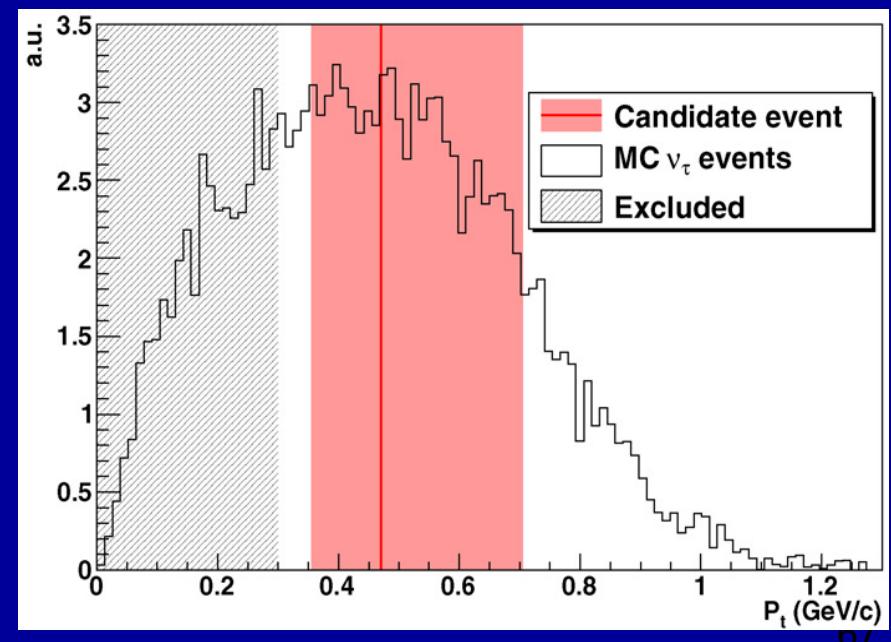


Кинематические ограничения

Отбраковка NC событий с большими missing Pt (neutrino)



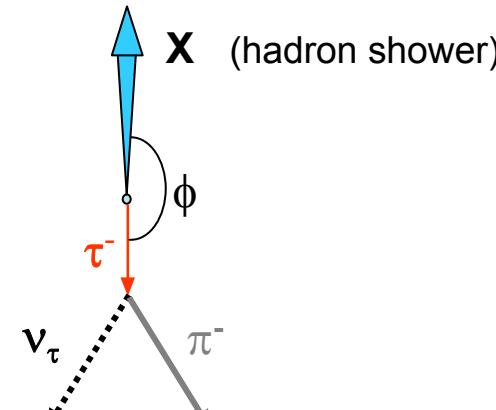
Отбраковка hadron interactions



Азимутальный угол между направлением результирующего импульса адронов и направлением трека «parent» частицы

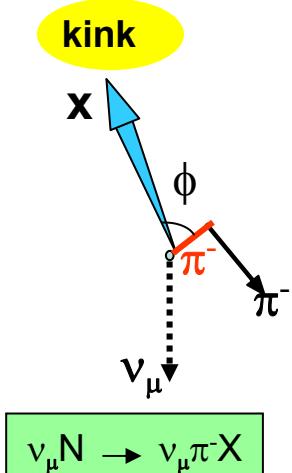
**Signal :
ϕ =180°**

τ-decay

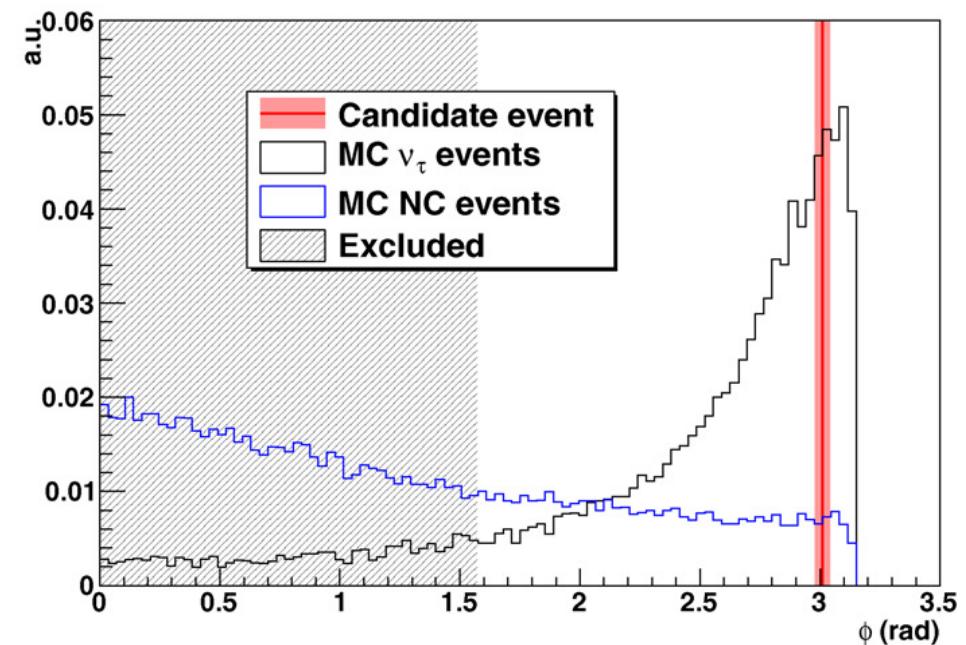
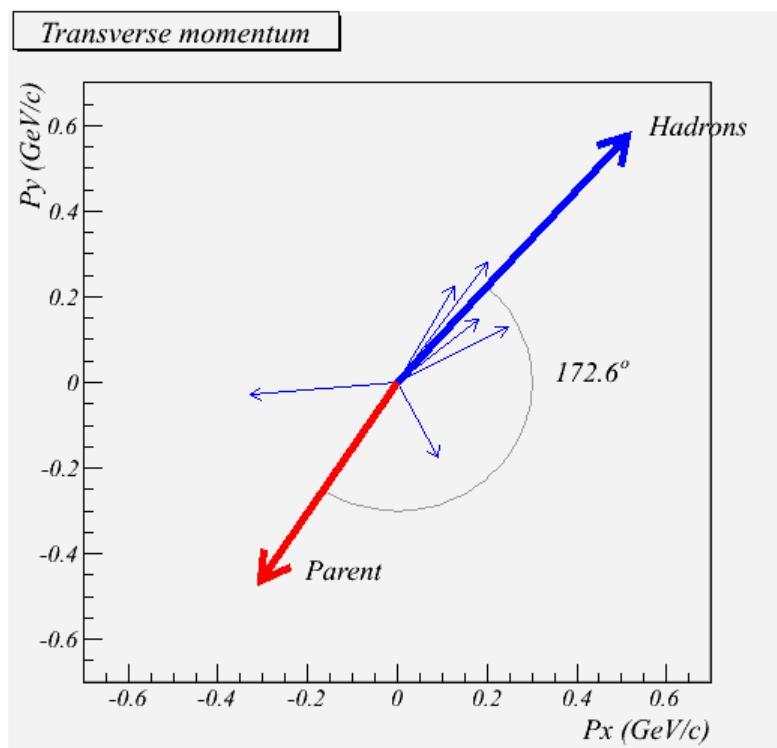


$\nu_\tau N \rightarrow \tau^- X$

**BG:
small ϕ**



$\nu_\mu N \rightarrow \nu_\mu \pi^- X$



Природа события и реконструкция инвариантной массы

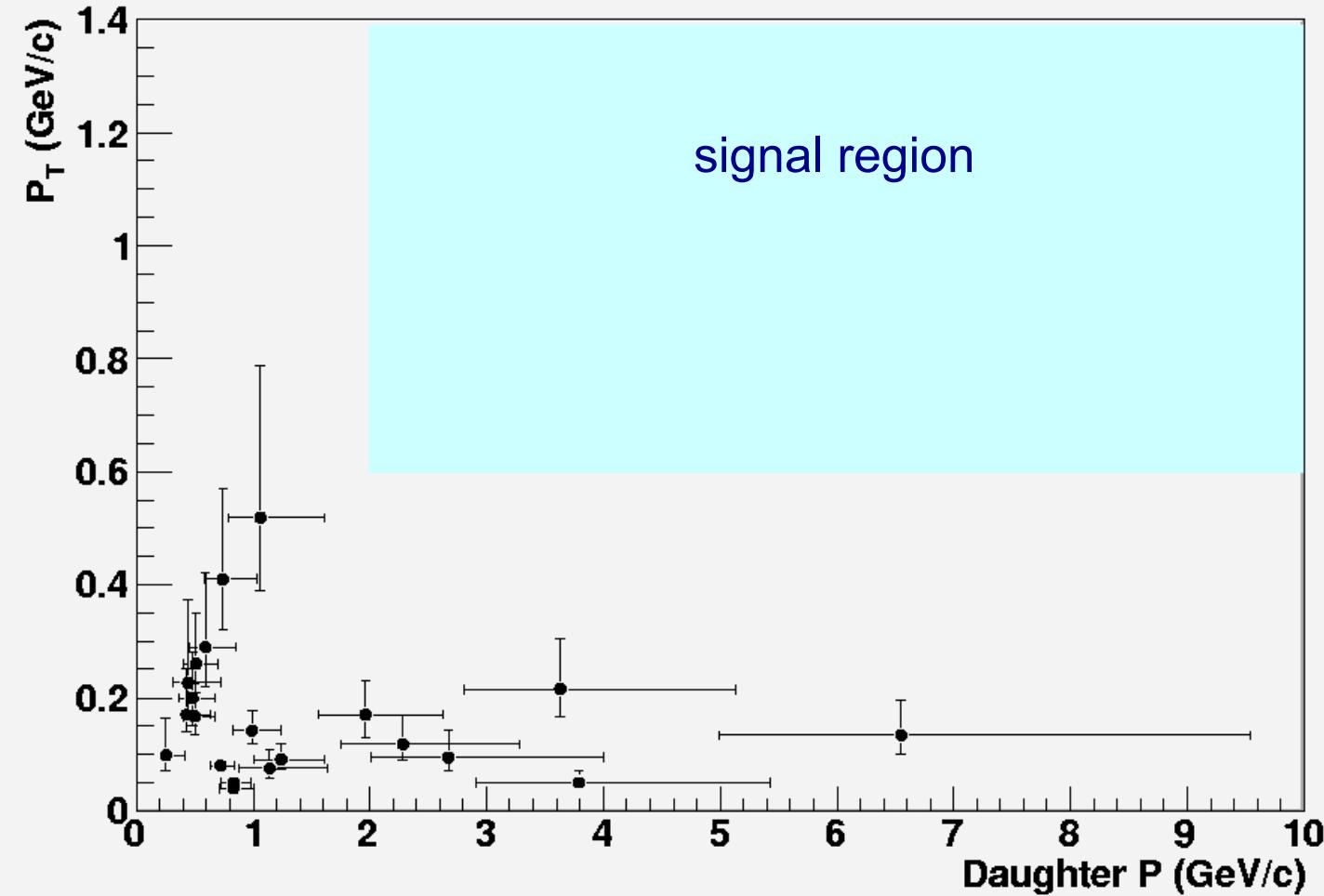
- После применения всех «cuts», при наличии хотя бы одного гамма-кванта, относящегося ко вторичной вершине, подтвердилась гипотеза кандидата распада $\tau \rightarrow \text{1-prong hadron decay mode}$.
- Инвариантная масса двух зарегистрированных гамма квантov согласуется с массой π^0 (см. таблицу).
- Инвариантная масса системы $\pi^- \gamma \gamma$ по значению сравнима (см. таблицу) с массой ρ (770). Канал с ρ проявляется в 25% случаев распада $\tau : \tau \rightarrow \rho (\pi^- \pi^0) \nu_\tau$.

π^0 mass	ρ mass
$120 \pm 20 \pm 35$ MeV	$640^{+125}_{-80} {}^{+100}_{-90}$ MeV

Источники фона

- Прямые ν_τ $\sim 10^{-7}/\text{CC}$
 - Распад чармированных частиц, возникающих в ν_e взаимодействиях $\sim 10^{-6}/\text{CC}$
 - Двойное образование чарма $\sim 10^{-6}/\text{CC}$
 - Распад чармированных частиц, возникающих в ν_μ взаимодействиях $\sim 10^{-5}/\text{CC}$
 - Повторные взаимодействия адронов $\sim 10^{-5}/\text{CC}$

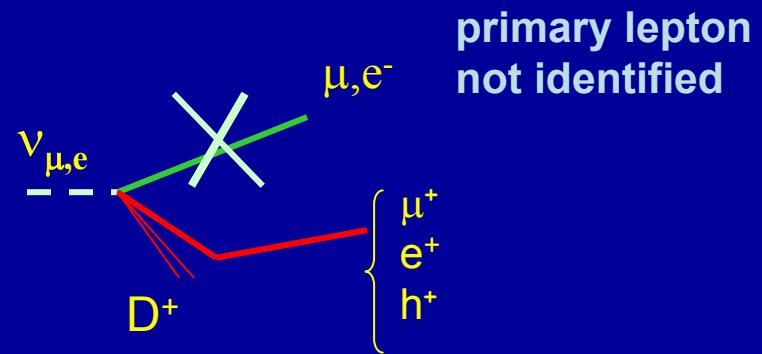
Hadronic interaction, 1-prong



- no events in the signal region
- 90% CL upper limit of 1.54×10^{-3} kinks/NC event
- the number of events outside the signal region is confirmed by MC (within the ~30% statistical accuracy of the measurement)

ФОН ОТ СОБЫТИЙ С ЧАРМИРОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Charmed particles have similar decay topologies to the τ



- charm production in CC events represents a background source to all tau decay channels
- this background can be suppressed by identifying the primary lepton
→ ~ 95% muon ID
- for the 1-prong hadronic channel 0.007 ± 0.004 (syst) background events are expected for the analyzed statistics
- further charm BG reduction is under evaluation by implementing the systematic follow-down of low energy tracks in the bricks and the inspection of their end-range, as done for the “interesting” event. For the latter we have 98-99% muon ID efficiency.

Статистическое рассмотрение

Мы наблюдали 1 событие в адронном канале распада τ -лептона (1-prong hadron τ decay channel), с оценками фона ($\sim 50\%$ погрешность для каждой компоненты) :

0.011 событий (повторные взаимодействия адронов)

0.007 событий (charm)

0.018 \pm 0.007 (syst) событий (на 1-prong hadron τ decay channel)



Если рассматривать все моды распада τ : 1-prong hadron, 3-prongs + 1-prong μ +1-prong e :

0.045 \pm 0.020 (syst) событий total BG

(здесь мы складываем ошибки линейно)

Рассматривая только 1 канал распада(the 1-prong hadron channel), вероятность наблюдать 1 соб. из-за флюктуаций фона -- 1.8%, со статистической значимостью 2.36 σ при наблюдении первого события кандидата на взаимодействие ν_τ в эксперименте OPERA.

Если рассматривать все каналы распада τ , которые принимаются к рассмотрению, вероятность наблюдать 1 событие при наличии флюктуаций фона --4.5%. Это соответствует статистической значимости 2.01 σ .

Приняв, что $\Delta m^2_{23} = 2.5 \times 10^{-3}$ эВ² и имеет место полное смещивание, мы предположили:

0.54 ± 0.13 (syst) v_t СС событий среди всех возможных каналов распада таона и

0.16 ± 0.04 (syst) v_t СС событий в канале распада с рождением 1 адрона мы наблюдаем одно событие.

Этот результат позволяет определить с 90% CL вероятностью $\Delta m^2_{23} > 7.5 \times 10^{-3}$ эВ² (при полном смещивании).

Заключение

- Эксперимент OPERA начатый в 2006 году успешно накапливает статистику.
- Обработка экспериментального материала с использованием методов автоматизированного сканирования и поиска вершин взаимодействия и точек распада успешно продолжается.
- Получены события, топология которых указывает на существование распадных процессов. Среди этих событий могут быть первые кандидаты на распад таона.
- Зарегистрировано событие без мюона, указывающее на распад t по адронному каналу с 1 адроном, Для уменьшения вклада фона накладывались кинематические ограничения. Это событие - первый кандидат на регистрацию νt нейтрино в эксперименте OPERA

Data analysis

In my opinion, this achievement is the indication of the approach that must be “the norm” for the future of OPERA:

Focused joint effort and fruitful collaboration between experts on scanning, data analysis, electronic detectors, editors, where each issue is attacked from several sides, with an efficient coordination based on well planned goals.

To large extent, this is what is being currently done in large HEP collaborations



Observation of a first ν_τ candidate event in the OPERA experiment in the CNGS beam

N. Agafonova^a, A. Aleksandrov^b, O. Altinok^c, M. Ambrosio^d, A. Anokhina^e, S. Aoki^f, A. Ariga^g, T. Ariga^g, D. Autiero^h, A. Badertscherⁱ, A. Bagulya^b, A. Bendhalb^j, A. Bertolin^k, M. Besnier^{l,i}, D. Blick^m, V. Boyarkin^a, C. Bozzaⁿ, T. Brugière^h, R. Brugnera^{k,o}, F. Brunet^l, G. Brunetti^{h,p}, S. Buontempo^d, A. Cazes^h, L. Chaussard^h, M. Chernyavsky^b, V. Chiarella^q, N. Chon-Sen^r, A. Chukanov^s, R. Ciesielski^k, F. Dal Corso^k, N. D'Ambrosio^t, Y. Declais^h, P. del Amo Sanchez^l, G. De Lellis^{u,c}, M. De Serio^v, F. Di Capua^d, A. Di Crescenzo^{a,d}, D. Di Ferdinando^w, N. Di Marco^x, A. Di Giovanni^t, S. Dmitrievsky^s, M. Dracos^r, D. Duchesneau^l, S. Dusini^k, T. Dzhatdoev^e, J. Ebert^m, O. Egorov^y, R. Enikeev^a, A. Ereditato^g, L.S. Espositoⁱ, J. Favier^l, T. Ferber^m, R.A. Fini^v, D. Frekers^z, T. Fukuda^{aa}, V. Galkin^a, A. Garfagnini^{k,o}, G. Giacomelli^{p,w}, M. Giorgini^{p,w}, J. Goldberg^{ab}, C. Göllnitz^m, D. Golubkov^y, L. Goncharova^b, Y. Gornushkin^s, G. Grella^h, F. Grianti^{at,q}, A.M. Guler^c, C. Gustavino^t, C. Hagner^m, K. Hamada^{aa}, T. Hara^f, M. Hierholzer^m, K. Hoshino^{aa}, M. Ieva^v, H. Ishida^{ad}, K. Ishiguro^{aa}, K. Jakovcic^{af}, C. Jollet^r, F. Juger^g, M. Kamiscioglu^c, J. Kawada^g, M. Kazuyama^{aa}, S.H. Kim^{ae,2}, M. Kimura^{ad}, N. Kitagawa^{aa}, B. Klicek^{af}, J. Knuesel^z, K. Kodama^{ag}, M. Komatsu^{aa}, U. Kose^{k,o}, I. Kreslo^g, H. Kubota^{aa}, C. Lazzaroⁱ, J. Lenkeit^m, I. Lippi^k, A. Ljubicic^{af}, A. Longhin^{k,o}, G. Lutter^g, A. Malgin^a, G. Mandrioli^w, K. Mannai^j, A. Marotta^{d,z}, J. Marteau^h, T. Matsuo^{ad}, V. Matveev^a, N. Mauri^{p,w}, E. Medinaceli^w, F. Meisel^g, A. Meregaglia^r, P. Migliozzi^d, S. Mikado^{ad}, S. Miyamoto^{aa}, P. Monacelli^x, K. Morishima^{aa}, U. Moser^g, M.T. Muciaccia^{v,ah}, N. Naganawa^{aa}, T. Naka^{aa}, M. Nakamura^{aa}, T. Nakano^{aa}, Y. Nakatsuka^{aa}, D. Naumov^g, V. Nikitina^t, K. Niwa^{aa}, Y. Nonoyama^{aa}, S. Ogawa^{ad}, A. Olchevsky^s, T. Omura^{aa}, G. Orlov^{b,4}, V. Osedlo^e, M. Paniccia^q, A. Paoloni^q, B.D. Park^{ae}, I.G. Park^{ae}, A. Pastore^{v,ah}, L. Patrizii^w, E. Pennacchio^h, H. Pessard^{l,*}, V. Pilipenko^z, C. Pistillo^g, N. Polukhina^b, M. Pozzato^p, K. Pretzl^g, P. Publichenco^e, F. Pupilli^x, J.P. Repellin^{am}, R. Rescigno^h, T. Roganova^e, H. Rokujo^g, G. Romanoⁿ, G. Rosa^{ai}, I. Rostovtseva^y, A. Rubbia^l, A. Russo^{u,d,5}, V. Ryasny^a, O. Ryazhskaya^a, Y. Sakatani^{aa}, O. Sato^{aa}, Y. Sato^{aj}, A. Schembri^t, W. Schmidt-Parzefall^m, H. Schroeder^{ak}, L. Scotto Lavina^{d,b}, A. Sheshukov^s, H. Shibuya^{ad}, S. Simone^{v,ah}, M. Sioli^{p,w}, C. Sirignanoⁿ, G. Sirri^w, J.S. Song^{ae}, M. Spinetti^q, L. Stanco^k, N. Starkov^b, M. Stipcevic^{af}, T. Straussⁱ, P. Strolin^{u,d}, K. Suzuki^{aa}, S. Takahashi^{aa}, M. Tenti^{p,w}, F. Terranova^q, I. Tezuka^{aj}, V. Tioukov^d, P. Tolun^c, A. Trabelsi^l, T. Tran^h, S. Tufanli^c, P. Vilain^{al}, M. Vladimirov^b, L. Votano^q, J.-L. Vuilleumier^g, G. Wilquet^{ll,*}, B. Wonsak^m, V. Yakushev^a, C.S. Yoon^{ae}, J. Yoshida^{aa}, T. Yoshioka^{aa}, Y. Zaitsev^y, S. Zemskova^s, A. Zghiche^l, R. Zimmermann^m

^a INR – Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 119-327 Moscow, Russia

^b LPF – Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, 119-19991 Moscow, Russia

^c METU – Middle East Technical University, TR-06532 Ankara, Turkey

^d INFN Sezione di Napoli, I-80125 Napoli, Italy

^e (MSU SINP) Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, 119-59921 Moscow, Russia

^f Kobe University, J-657-8501 Kobe, Japan

^g Albert Einstein Center for Fundamental Physics, Laboratory for High Energy Physics (LHEP), University of Bern, CH-3012 Bern, Switzerland

^h IPNL, Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS/IN2P3, F-69622 Villeurbanne, France

ⁱ ETH Zurich, Institute for Particle Physics, CH-8093 Zurich, Switzerland

^j Unité de Physique Nucléaire et des Hautes Energies (UPNHE), Tunis, Tunisia

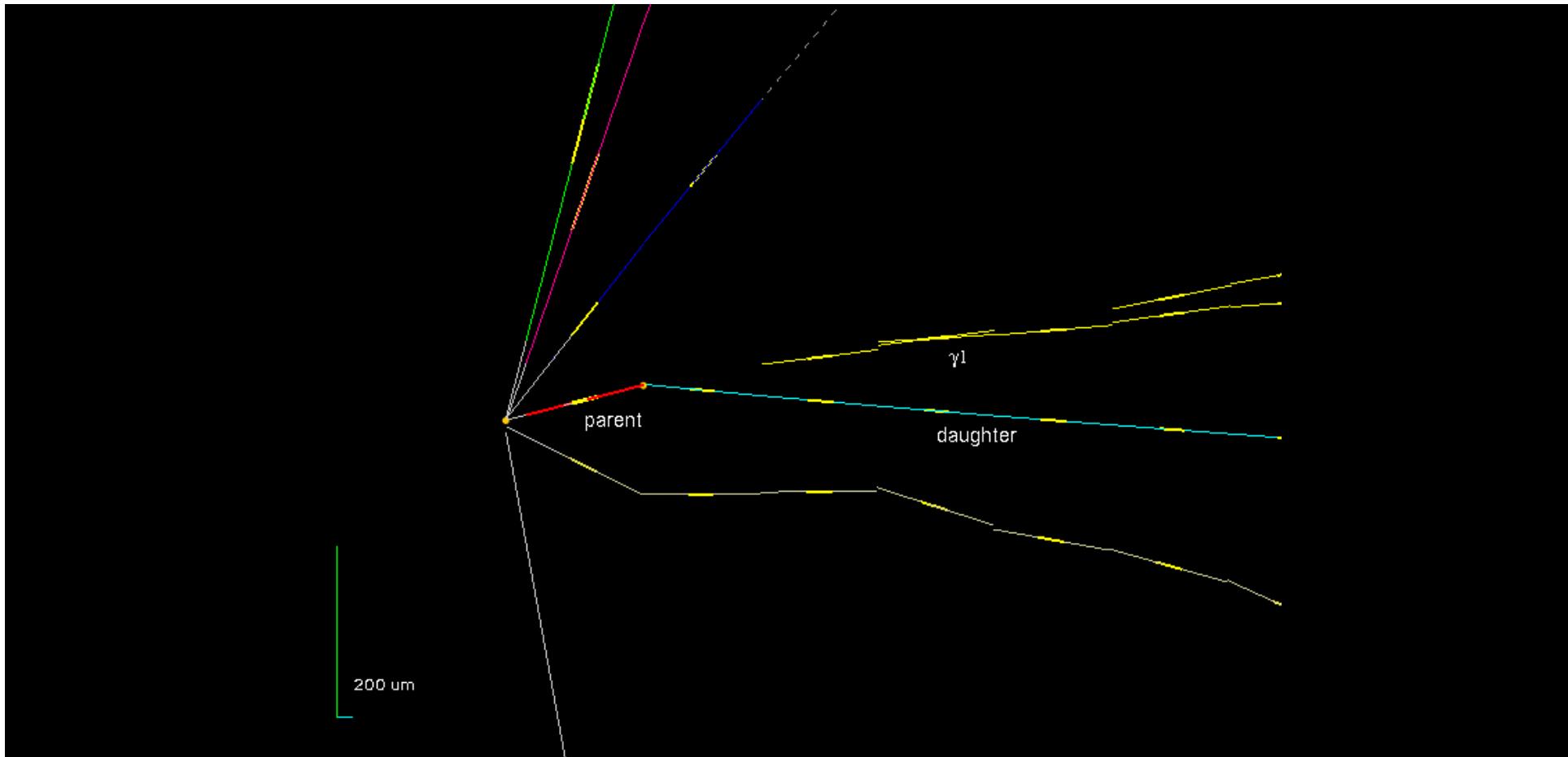
^k INFN Sezione di Padova, I-35131 Padova, Italy

^l LAPP, Université de Savoie, CNRS/IN2P3, F-74341 Annecy-le-Vieux, France

^m Hamburg University, D-22761 Hamburg, Germany

ⁿ Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno and INFN 'Gruppo Collegato di Salerno', I-84084 Fisciano, Salerno, Italy

^o Dipartimento di Fisica dell'Università di Padova, 35131 I-Padova, Italy



...СПАСИБО за внимание!