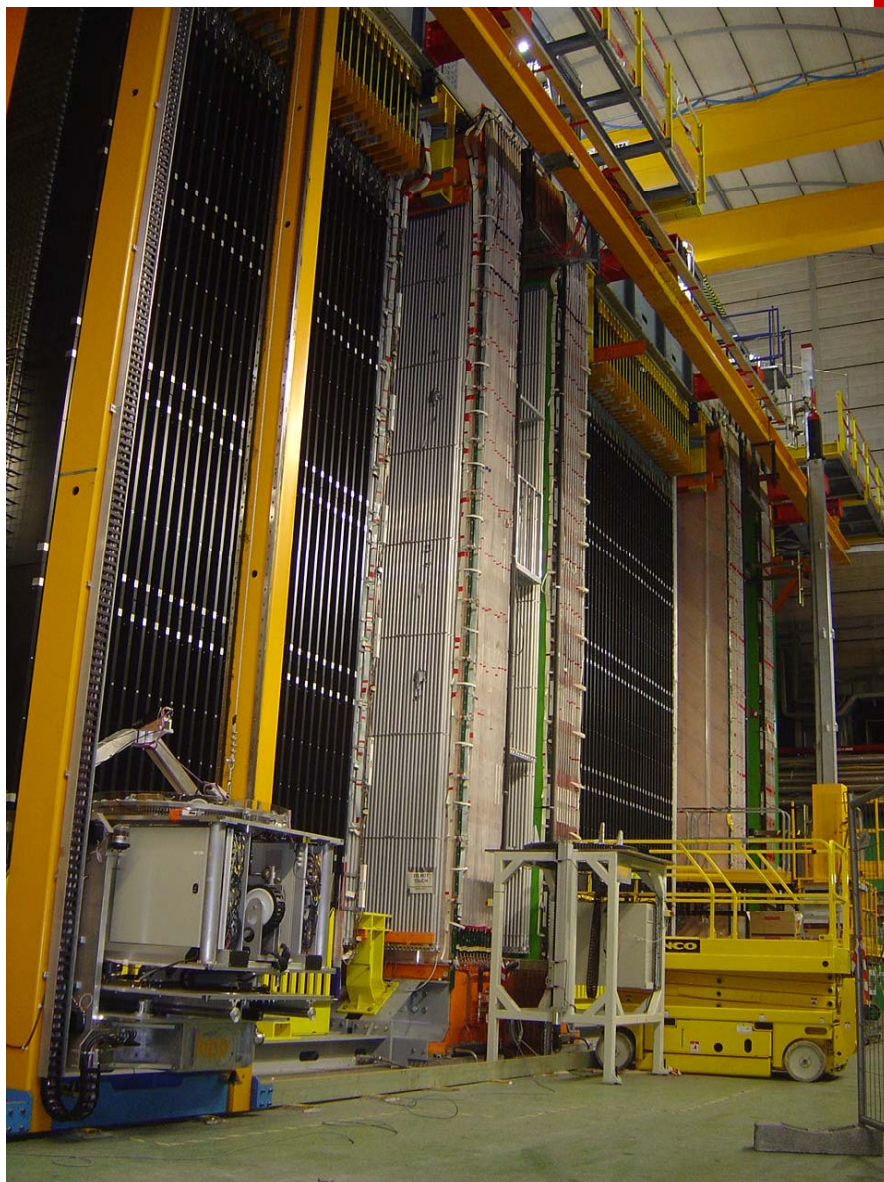




OPERA – статус и перспективы эксперимента

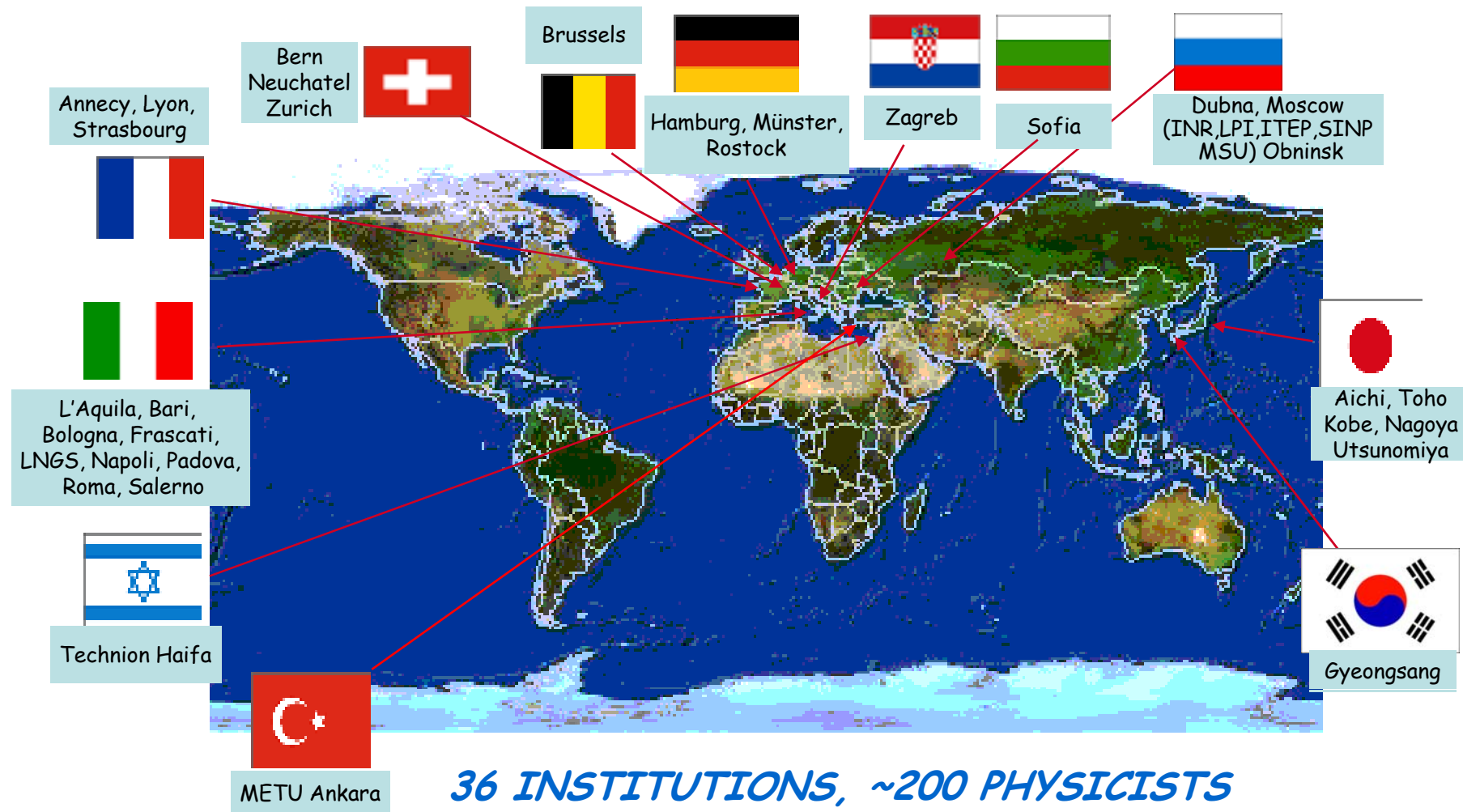


Ю.А.Горнушкин (ОИЯИ)

- Цели эксперимента
- Детектор
- Сегодняшний статус
- Дальнейшие перспективы



The OPERA collaboration

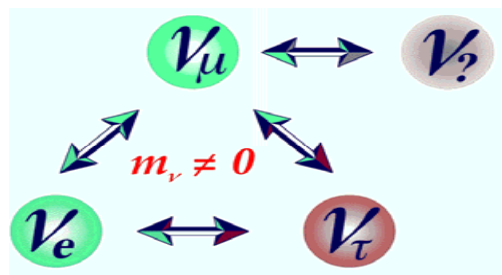




50 лет ν осцилляциям



Бруно Понтекорво

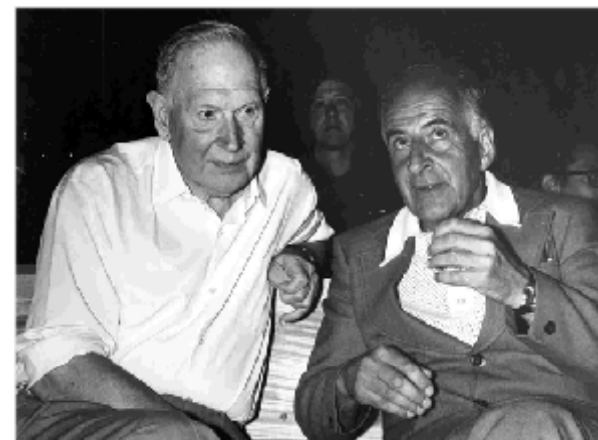


MNSP

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu1} & U_{\mu2} & U_{\mu3} \\ U_{\tau1} & U_{\tau2} & U_{\tau3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

В результате 50-летних поисков, исследований и экспериментов с

- Солнечными нейтрино
- Атмосферными нейтрино
- Нейтрино от реакторов и
- ускорительных нейтрино



Существование нейтринных осцилляций окончательно подтверждено



Цели ускорительных нейтринных экспериментов

- Подтверждение осцилляций, наблюдаемых в атмосферном секторе
- Точное измерение параметров Δm^2_{32} и $\sin^2(2\theta_{23})$
- Определение участвующих в осцилляциях типов нейтрино - непосредственное наблюдение ν_τ
- Поиск рождения ν_e для определения неизвестных элементов PMNS

K2K MINOS

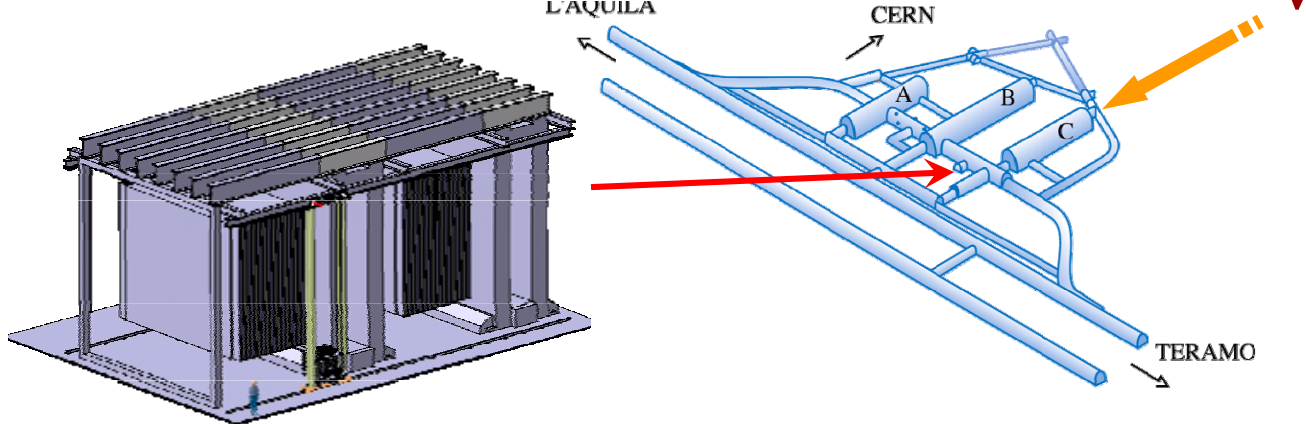
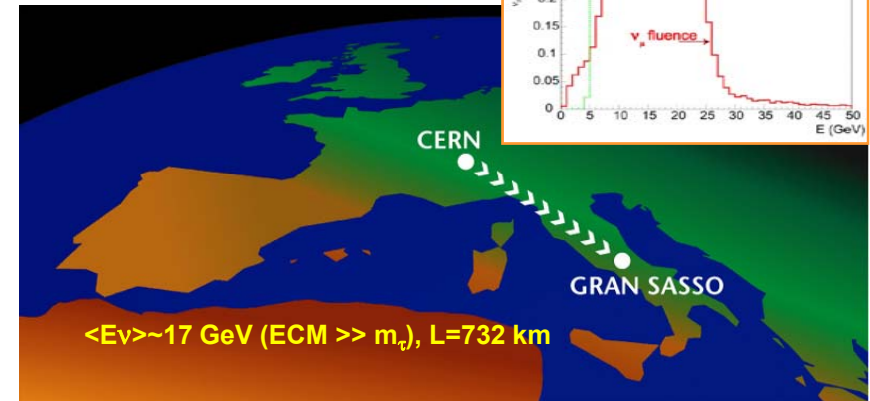
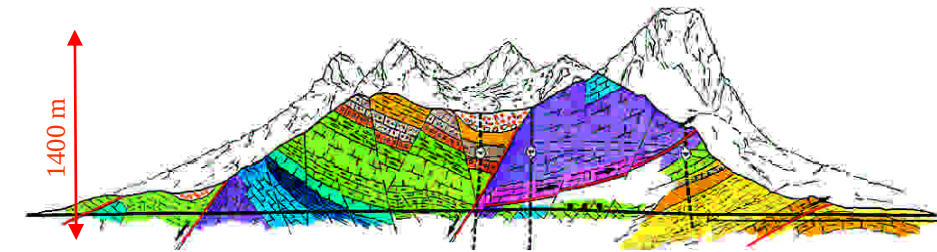
OPERA

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) \approx \sin^2(2\theta_{23}) \sin^2(2\theta_{13}) \sin\left(\frac{\Delta m^2_{31} L}{4E_\nu}\right)$$



Эксперимент OPERA

- Direct search for $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ oscillations by looking at the appearance of ν_τ in a pure ν_μ beam to explain atmospheric neutrinos anomaly and results of K2K and MINOS.
- Search for the subdominant $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillations for Θ_{13} measurement



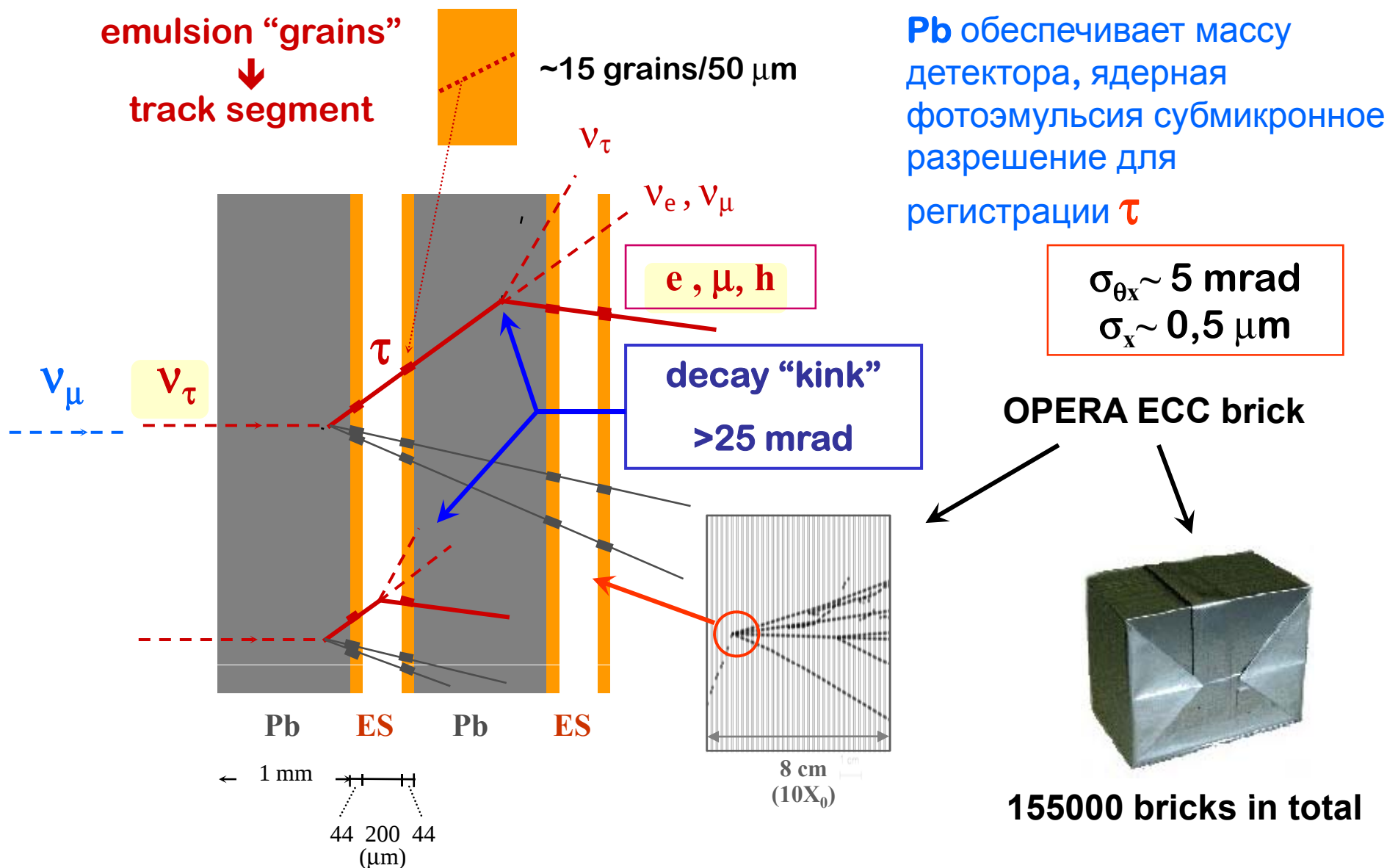
4.5×10^{19} pot/year

ν_μ CC / kton	2900
ν_μ NC / kton	875
$\langle E \rangle_\nu$ (GeV)	17
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu$	0.85 %
ν_μ / ν_μ	2.1 %
ν_τ prompt	negligible

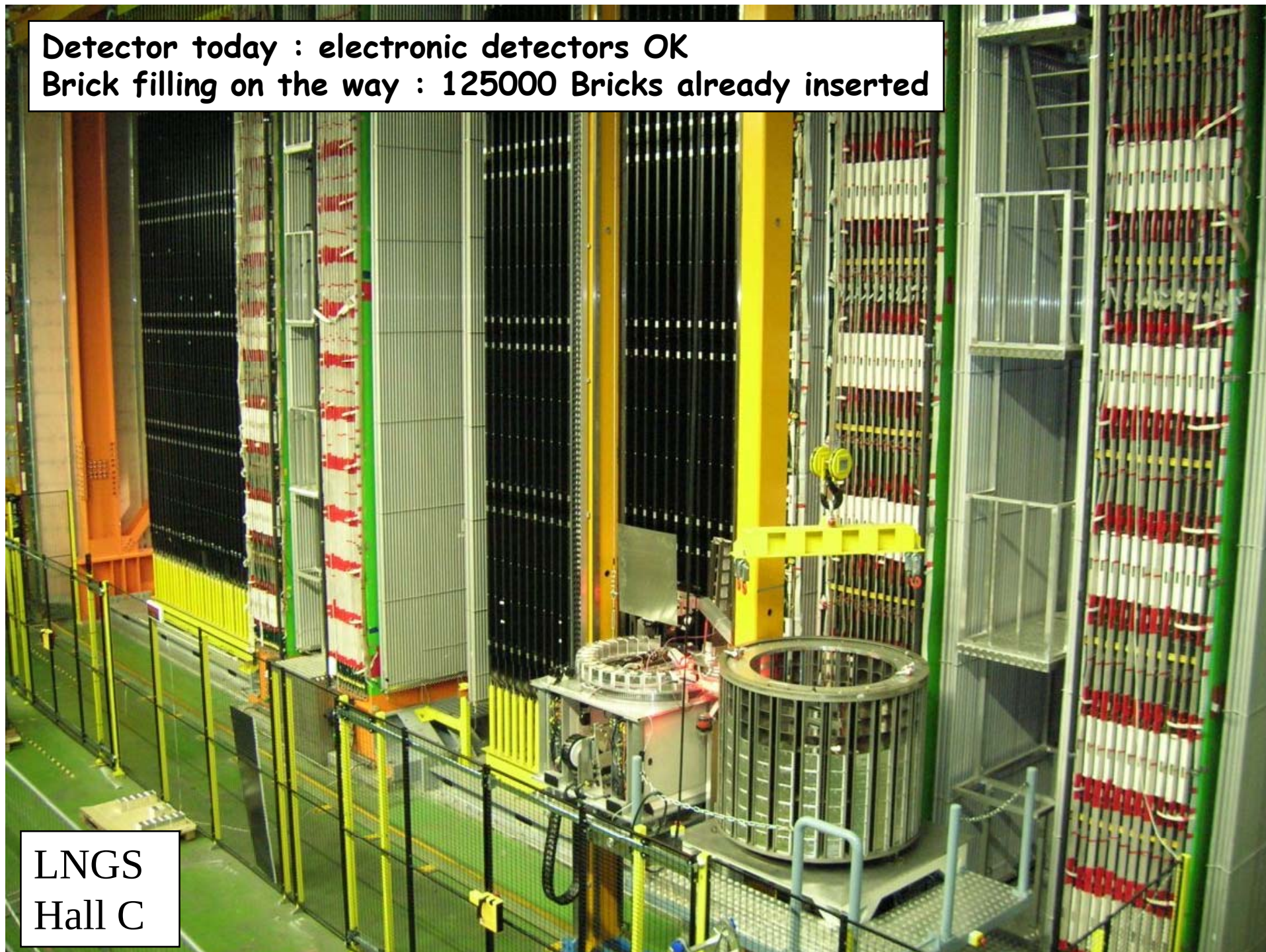
Детектор должен быть одновременно очень массивным для регистрации ν и обладать микронным разрешением для регистрации распада τ лептонов - ECC



Схема регистрации ν_τ в EСС



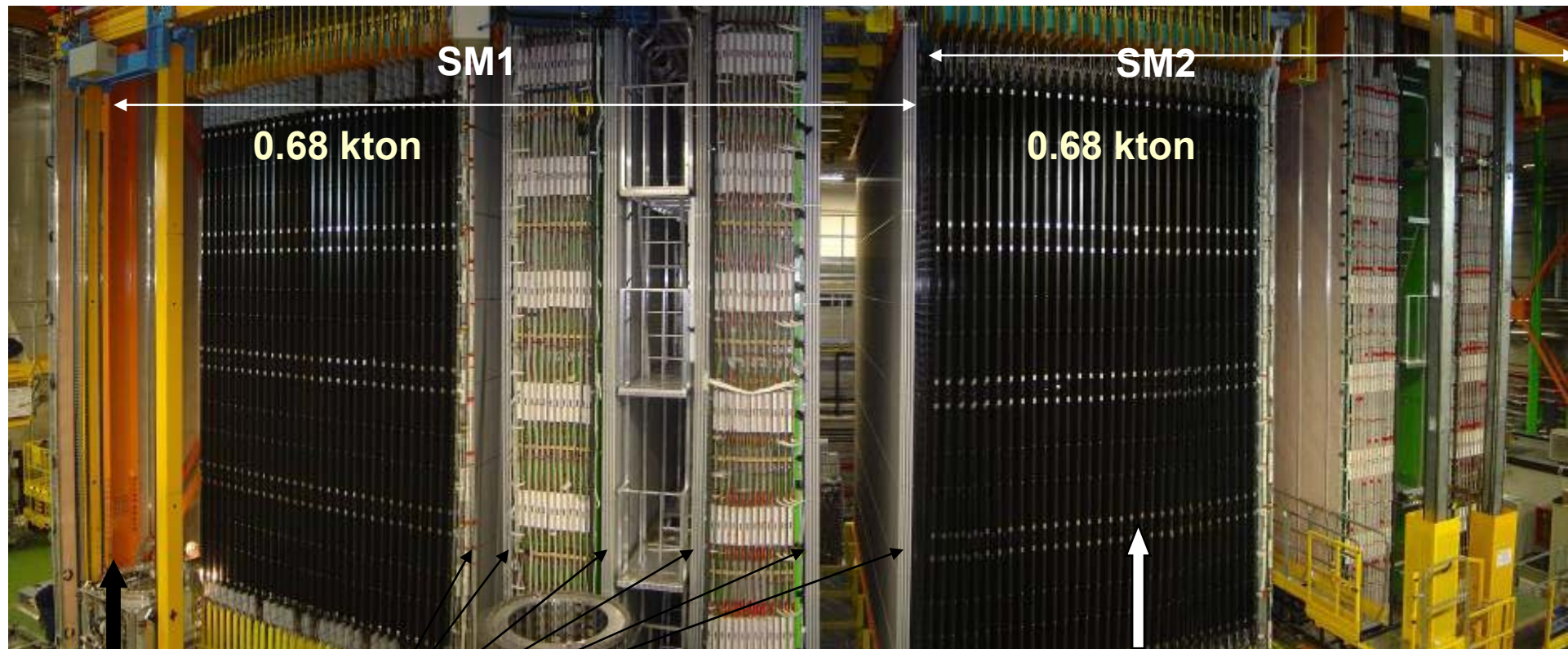
Detector today : electronic detectors OK
Brick filling on the way : 125000 Bricks already inserted



LNGS
Hall C



The OPERA detector



Veto plane
(RPC)

High precision tracker
• 6 4-fold layers of drift tubes

Instrumented dipole magnet
• 1.53 T
• 22 XY planes of RPC in both arms

Muon spectrometer ($8 \times 10 \text{ m}^2$)

Target and Target Tracker (6.7 m^2)

- Target : 77500 bricks, 29 walls
- Target tracker : 31 XY doublets of 256 scintillator strips + WLS fibres + multi-anodes PMT for
 - Brick selection
 - Calorimetry

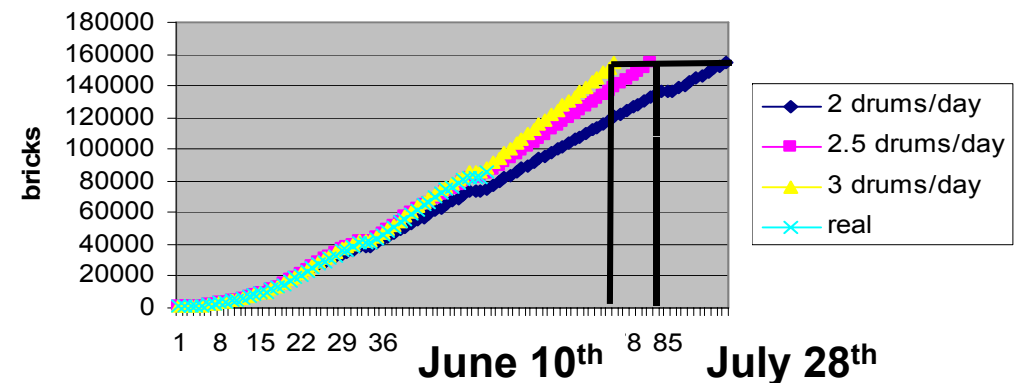
Status of brick production



Detector filling in progress,
~125000 bricks inserted

- $9 \cdot 10^6$ emulsions & lead plates
- 155 000 bricks to be produced
- production rate ~ **700/day**

brick production/filling



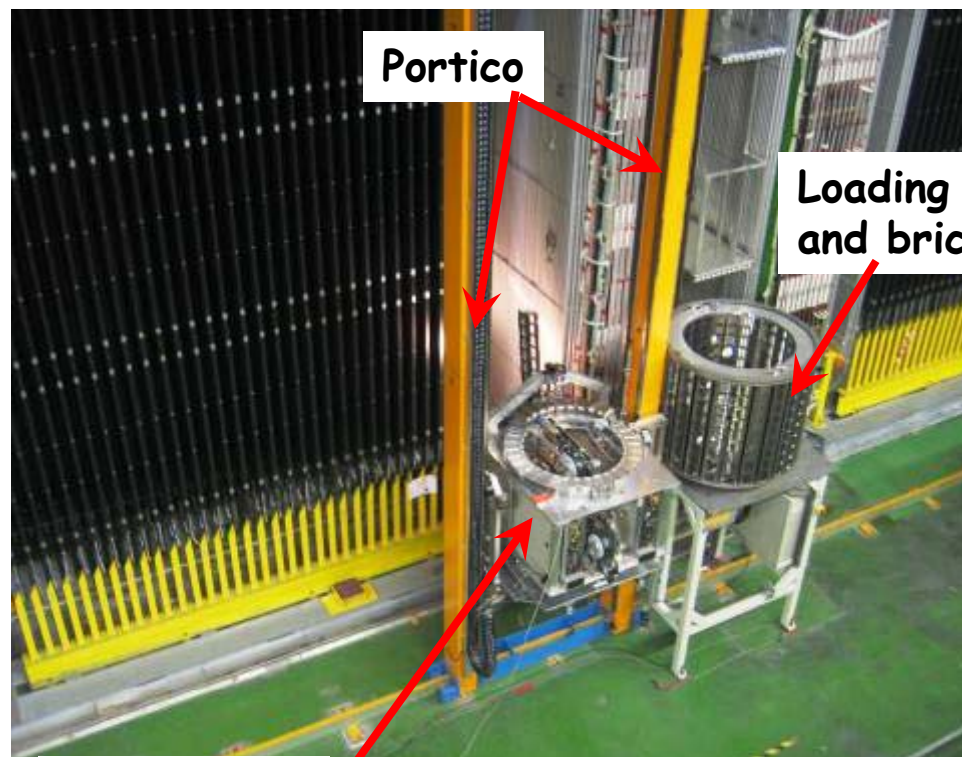


Brick Insertion & Extraction



Tagged bricks will be extracted every day
→ quasi *online* experiment

*Spatial precision ≈ 0.1 mm
on ranges ≈ 10 m) using
digital camera vision*



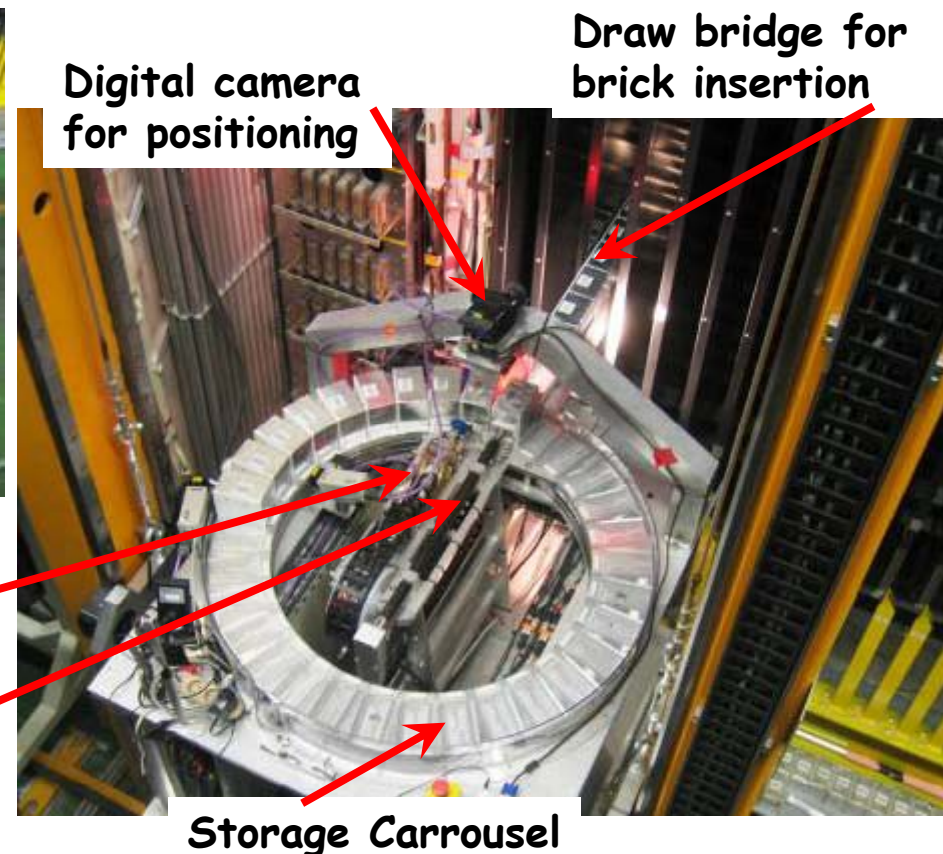
Portico

Loading station
and brick drum

Manipulating
platform

Vacuum sucker vehicle
to retrieve bricks

Electric jack to
insert bricks



Digital camera
for positioning

Draw bridge for
brick insertion

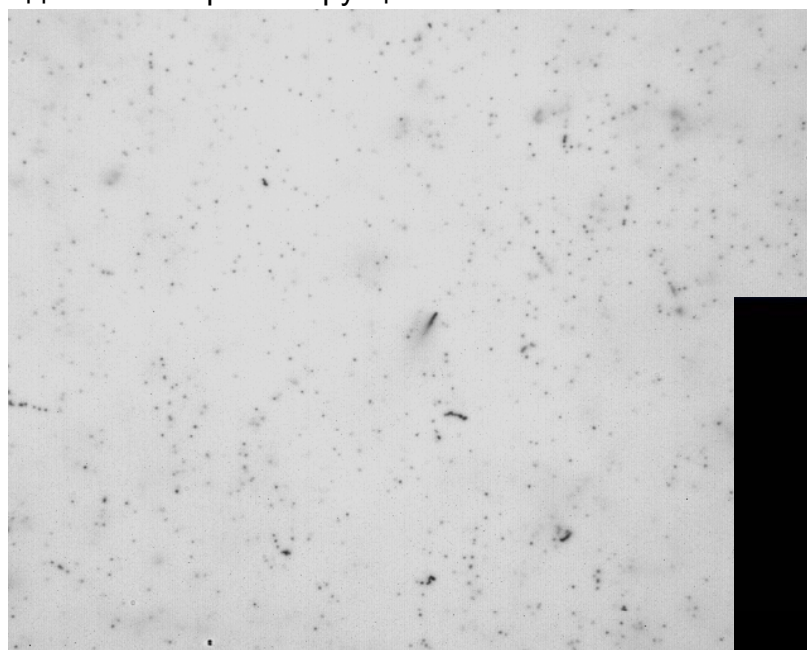
Storage Carrousel



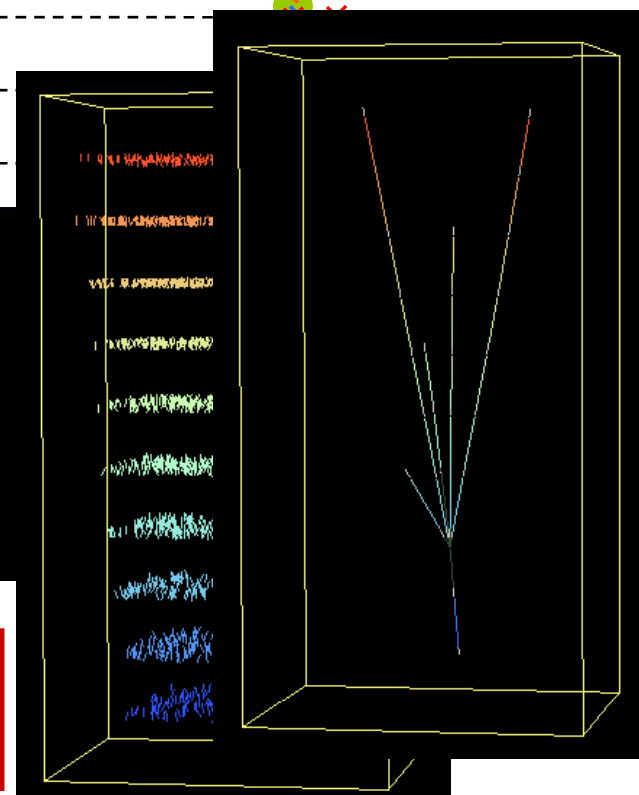
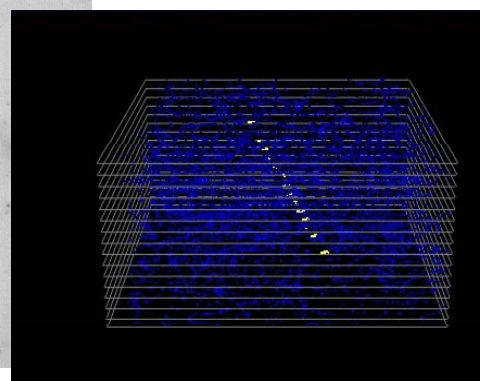
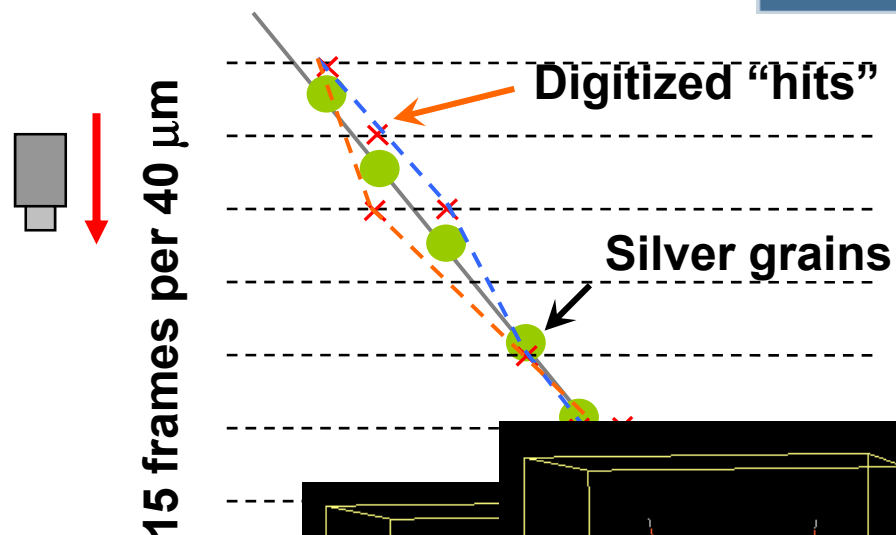
Принцип автоматического сканирования



Перемещением объектива по Z и ограничением глубины резкости до 3-4 μm изображение в эмульсии вырезается на разной глубине и регистрируется видеокамерой со скоростью до 4kfps, изображение обрабатывается спецпроцессором и оцифровывается. Из отдельных зерен восстанавливаются микротреки, которые сшиваются для полной реконструкции события



200 μm



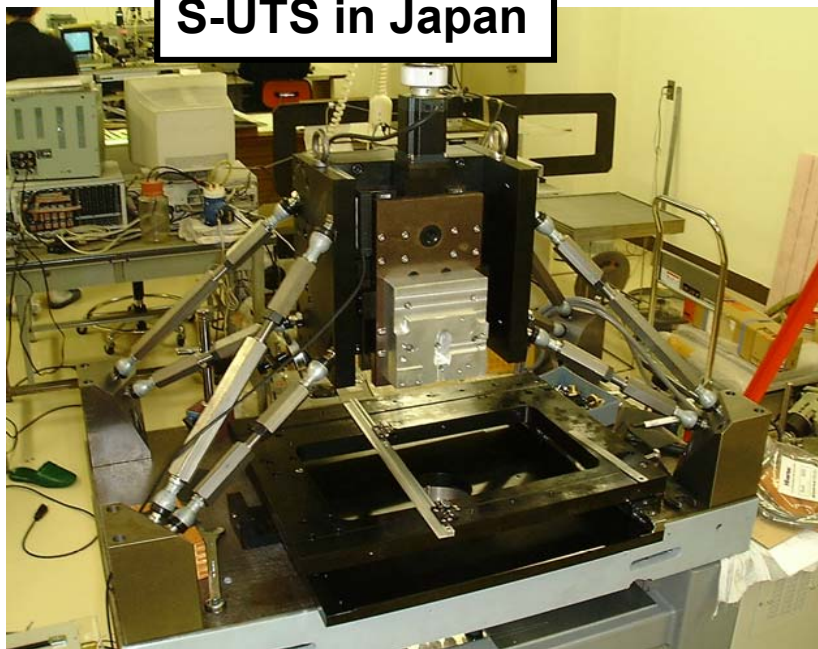
Измерение импульса по многократному рассеянию α Pb
 dE/dx для π/μ разделения при низких энергиях
Высокая точность электронной идентификации, измерение энергии



Сканирующие системы ОПЕРА



S-UTS in Japan



Very powerful system embodying longtime experience of Nagoya U. group:

Dedicated hardware with track finding **algorithms hard coded** (image preprocessor, track recognition processor), **very fast custom CMOS camera (4kfps)**

Scanning speed of 40 cm²/h

ESS in Europe

Based on commercial components, easy to reproduce
Software algorithms

20 cm²/h scanning speed achieved



Both systems demonstrate:

~0.3 μm spatial resolution

~ 2 mrad angular resolution

~ 95% base track detection efficiency

~40 system installed in Japan and Europe



The European Scanning System

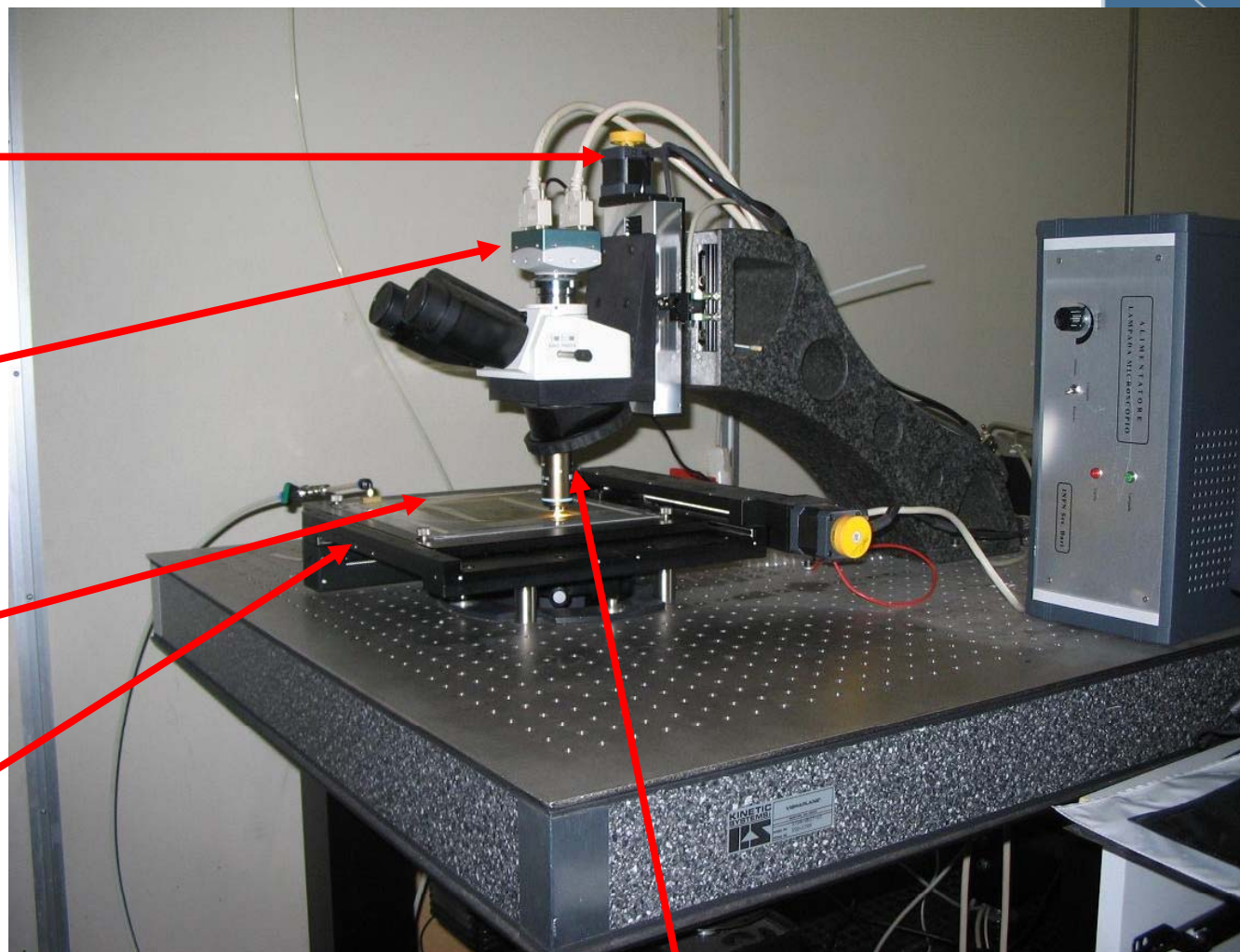


Z stage (Micos)
0.05 μm nominal
precision

CMOS camera
1280 $\times$ 1024 pixel
256 gray levels
376 frames/sec
(Mikrotron MC1310)

Emulsion Plate

XY stage (Micos)
0.1 μm nominal
precision



Illumination system, objective (Oil 50 $\times$ NA 0.85)
and optical tube (Nikon)

**В настоящее время ОИЯИ монтирует ESS и примет участие
в сканировании и поиске тау-нейтрино**



Этапы подготовки эксперимента



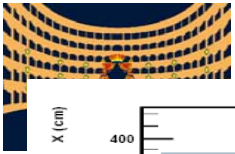
May 2006: полный запуск электронных детекторов

Aug 2006: Запуск CNGS, технический сеанс, при $0.76 \cdot 10^{18}$ pot набрано **319** нейтринных взаимодействий в скальном грунте, веществе детекторов

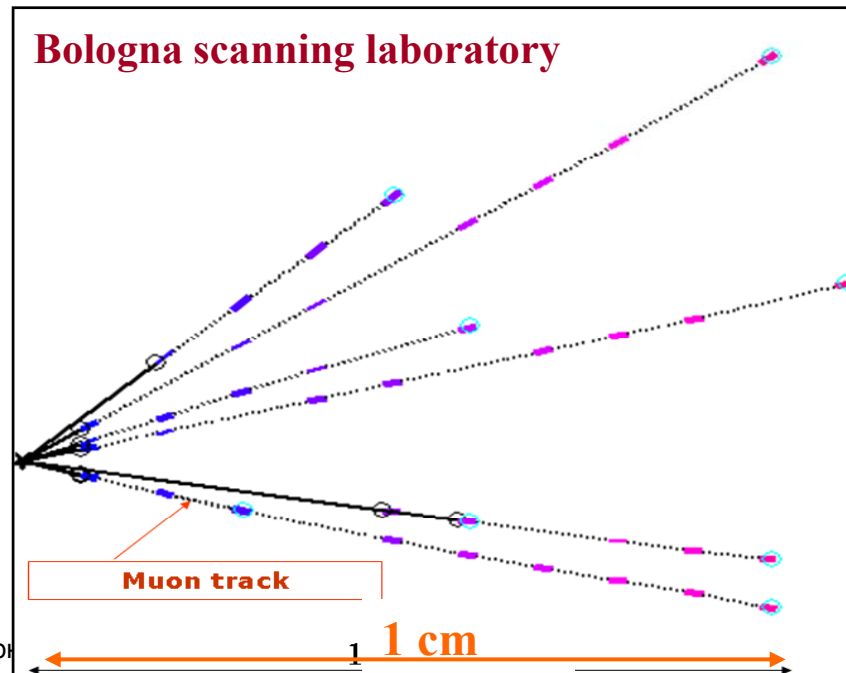
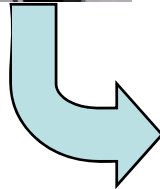
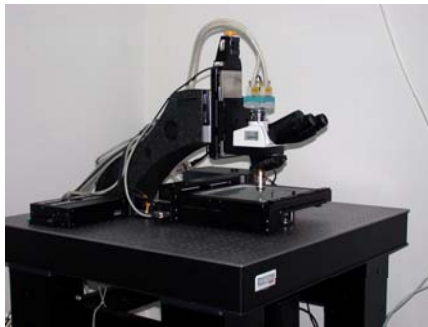
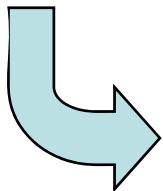
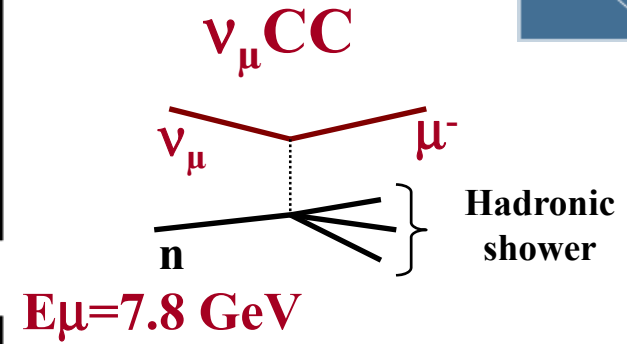
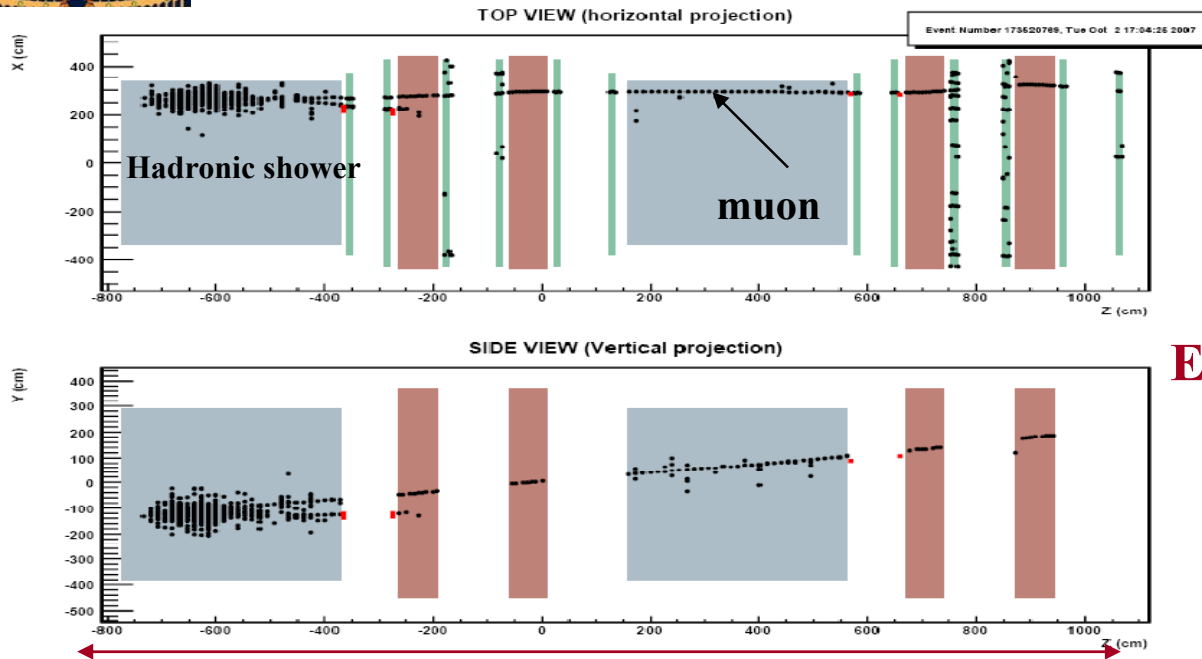
Oct 2006: начало производства кирпичиков

Oct 2007: короткий физический сеанс (~40% мишени)
 $0.82 \cdot 10^{18}$ pot

38 событий зарегистрировано в мишени

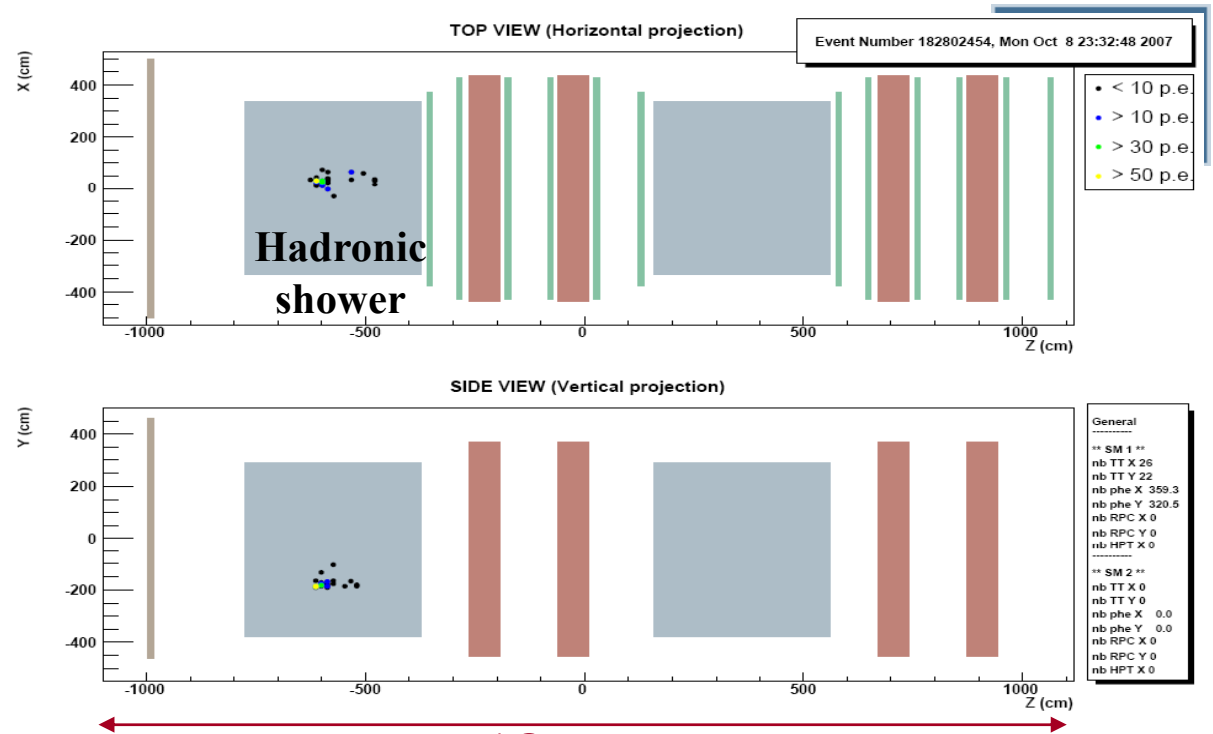
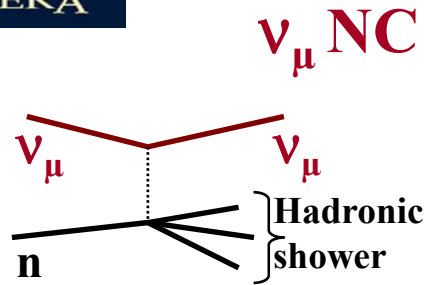


First OPERA neutrino event located in brick (October 2nd 2007)

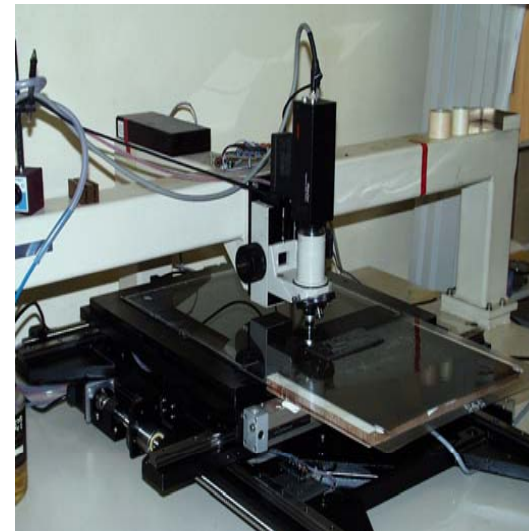
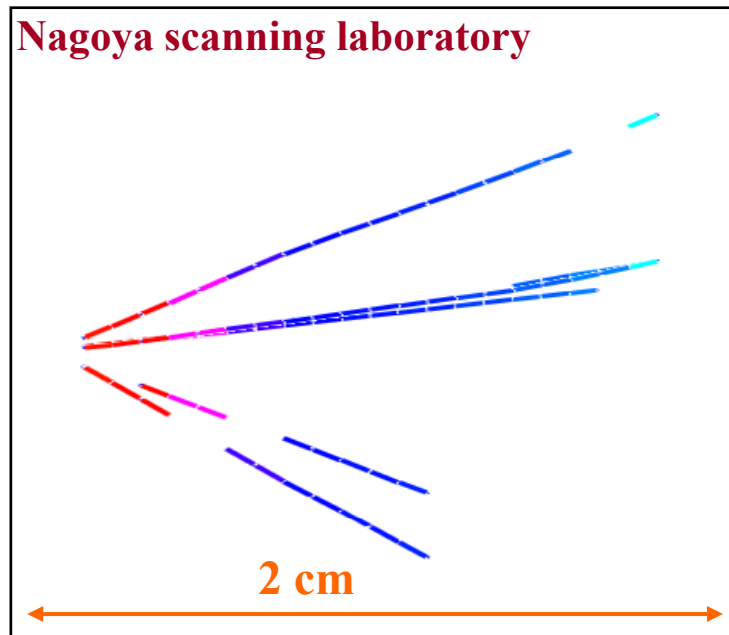


15 May 2008

Ю.А.Горп



18 m

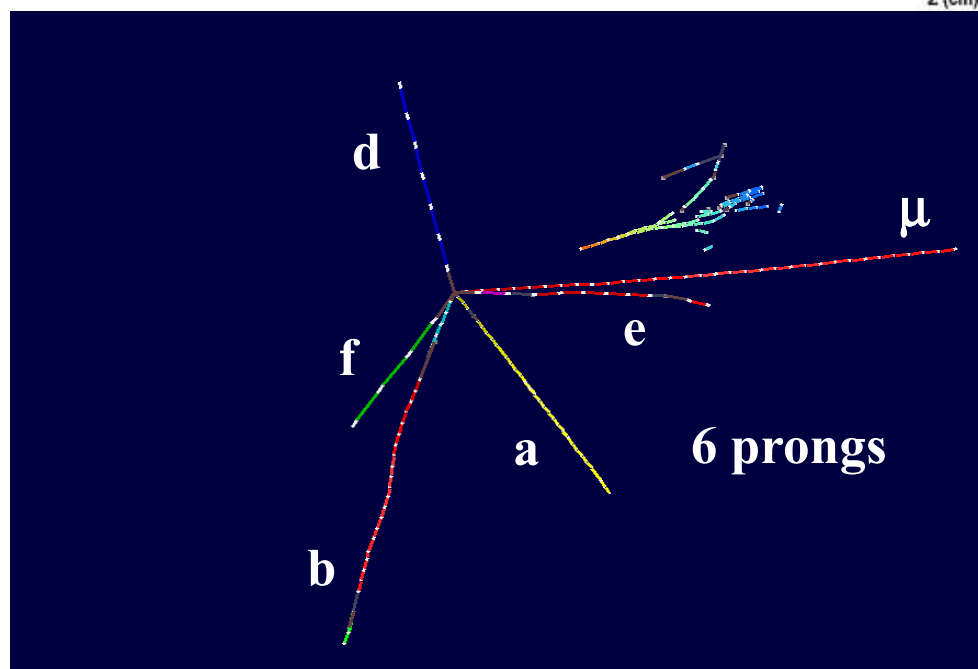
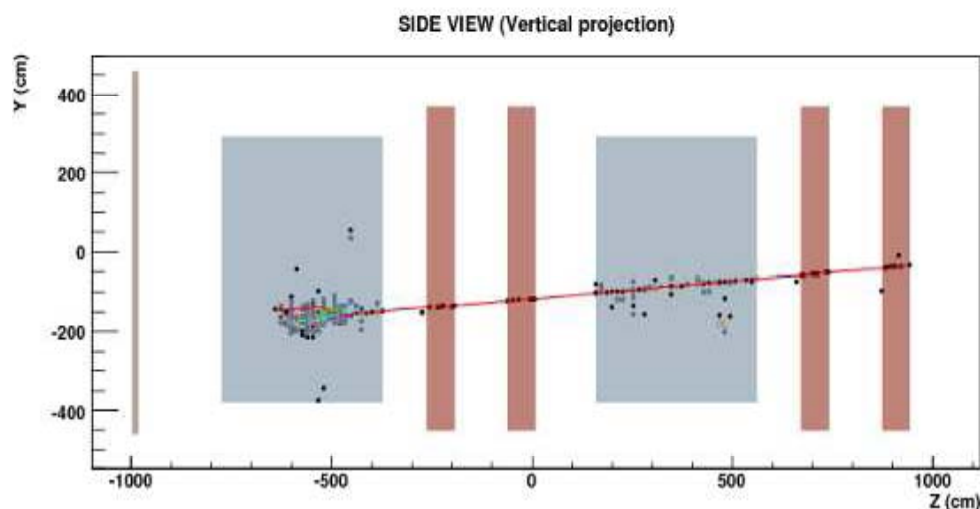


15 May 2008

Ю.А.Г орнушкин «Марковские чтения»



EVENT ID 178969961



Tk	Slope	CS tk	Stop	IP (μm)
A	-0.028,0.095	6	57	5.2
B	-0.114,0.143	(7?)	57	0.3
C	0.091,0.009		57	6.2
D	-0.166,-0.342		32	21.4
E	0.127,0.075		35	16.4
F	-0.370,0.430		28	15.3
Shower	0.019,-0.006	2,8	38	-



Этапы подготовки эксперимента



May 2008: 125000 кирпичиков установлено (~80%)

Jun 2008: OPERA заполнение детектора завершено.
Начало полномасштабного сеанса набора данных
Ожидается около $3 \cdot 10^{19}$ рот за 147 дней работы
SPS и около **2000 событий**



Ожидаемое число событий ν_τ

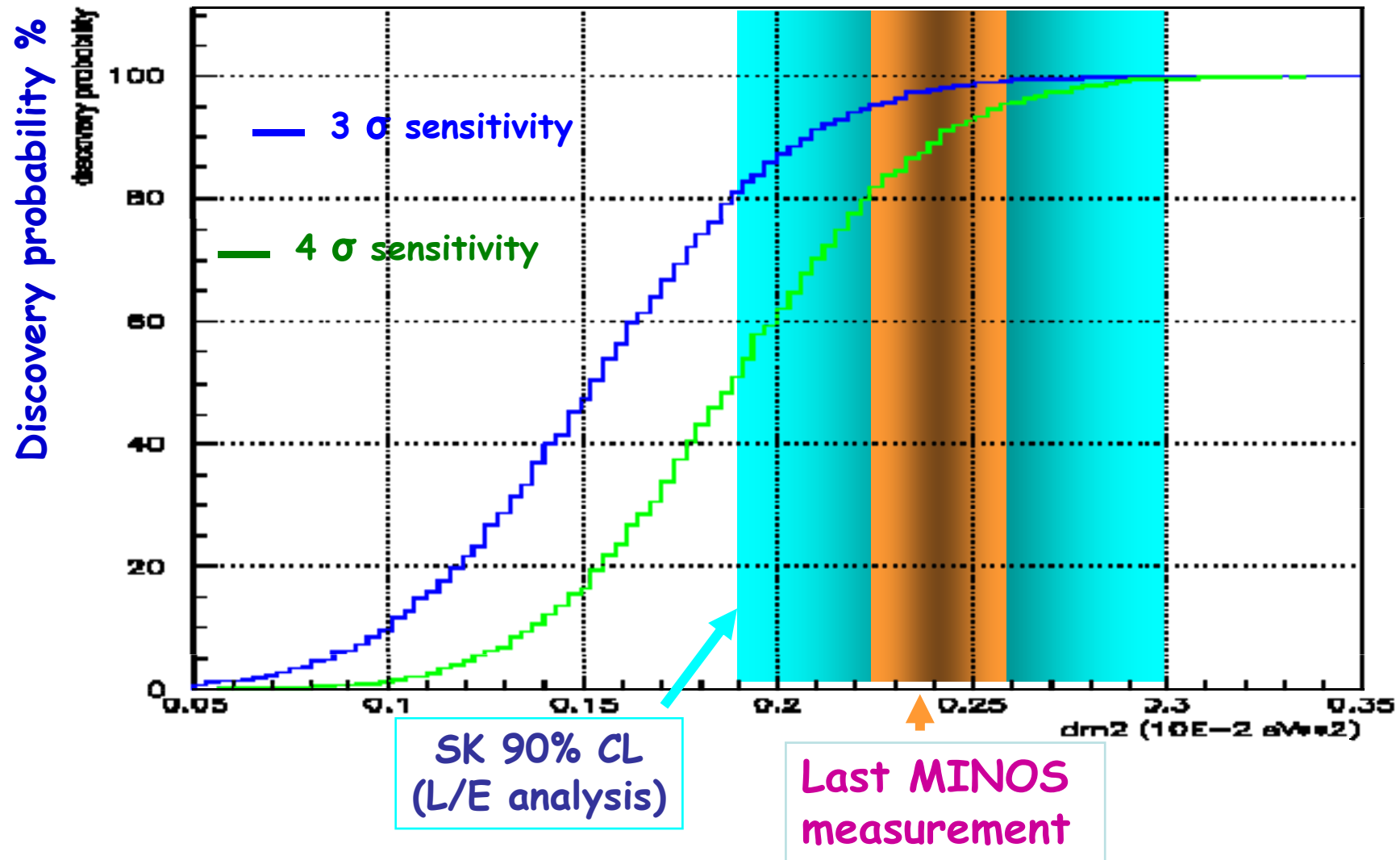


- 5 years CNGS data taking ($4.5 \cdot 10^{19}$ pot/year)
- 1.35 ktons target mass

τ^- decay channels	Signal @ Δm^2 (Full mixing)		Background
	$2.5 \times 10^{-3} \text{ (eV}^2\text{)}$	$3.0 \times 10^{-3} \text{ (eV}^2\text{)}$	
$\tau^- \rightarrow \mu^-$	2.9	4.2	0.17
$\tau^- \rightarrow e^-$	3.5	5.0	0.17
$\tau^- \rightarrow h^-$	3.1	4.4	0.24
$\tau^- \rightarrow 3h$	0.9	1.3	0.17
ALL	10.4	15.0	0.76



Чувствительность OPERA





Заключение



- **Все этапы подготовки эксперимента полностью завершены:**

- Запущен нейтринный пучок ЦЕРН-Гран Сассо
- Запущены все электронные детекторы, все параметры (эффективность, разрешение) полностью соответствуют ожидаемым
- Созданы сканирующие станции с высокой эффективностью и производительностью, отвечающей ожидаемому числу событий
- Изготовлено и установлено в детектор 80% элементов мишени (полное заполнение к июню)
- Роботы-манипуляторы готовы к ежедневному извлечению «кирпичиков» мишени, а химическая лаборатория к проявлению находящейся в них эмульсии
- Программы и алгоритмы позволяющие эффективно идентифицировать вершину события с помощью системы целеуказания электронных детекторов проверены в сеансе 2007 года
- Эффективность ЕСС и методов поиска вершины события в эмульсии с помощью сканирующих станций как в Японии, так и в Европе успешно проверены на событиях отладочного сеанса 2007 года.

• **Коллаборация ждет начала первого большого физического сеанса, который начнется через месяц и, возможно, подарит первое событие ν_τ !**



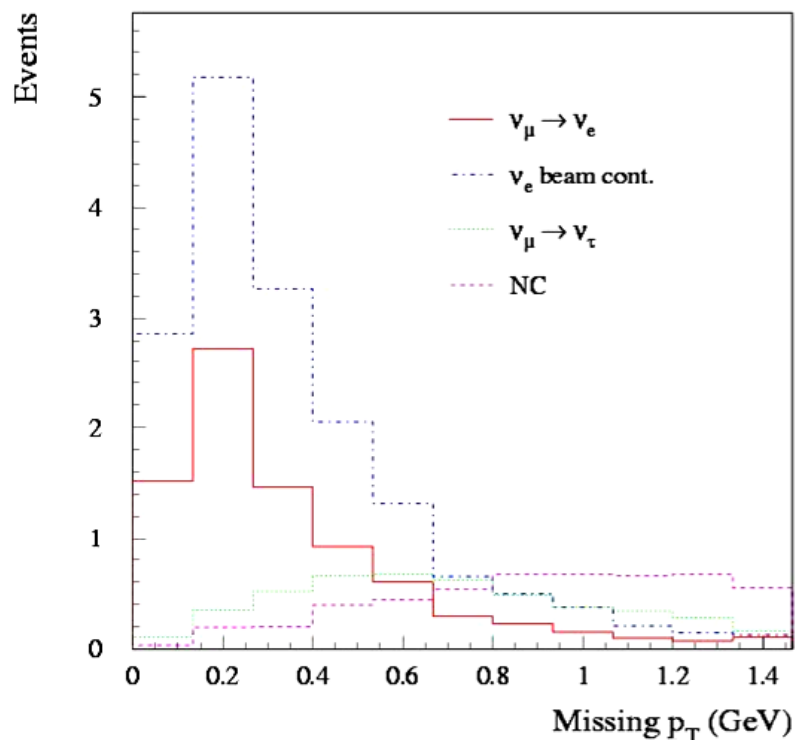
OPERA sensitivity to θ_{13}



(by-product $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$)

By fitting simultaneously the E_e , missing p_T and E_{vis} distributions: sensitivity $\sim 90\%$

Limits at 90% C.L. on $\sin^2 2\theta_{13}$ and θ_{13}
($\Delta m_{23}^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$; $\sin^2 \theta_{23} = 1$)



Experiment	$\sin^2 2\theta_{13}$	θ_{13}
CHOOZ	< 0.14	$< 11^\circ$
MINOS	< 0.06	$< 7.1^\circ$
OPERA 5 yr	< 0.06	$< 7.1^\circ$
JHF 5 yr	< 0.006	$< 2.5^\circ$



Some history

Despite :

- CNGS postulated in 1979
- Kamiokande result in 1988

European physicists have limited the accelerator ν program inside the fence of CERN, arguing on:

Confusing experimental results

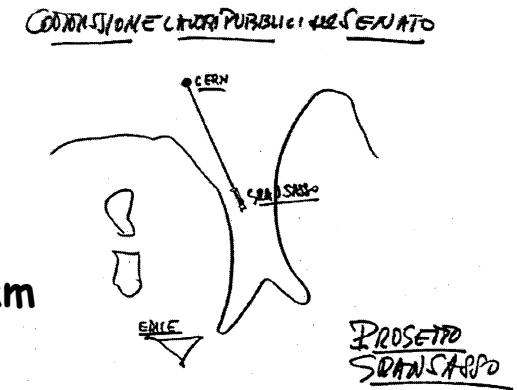
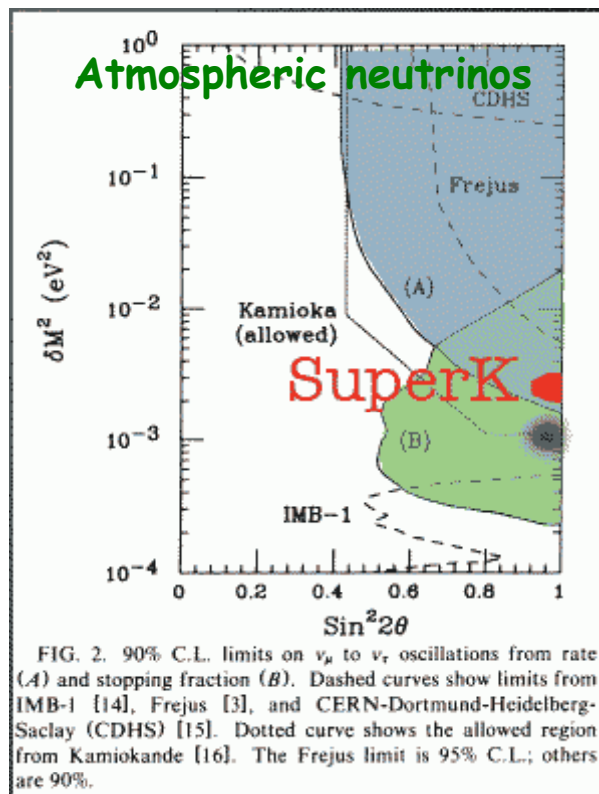


Figure 1.1.1: Sketch by A. Zichichi, 1979



+ LSND ...

Strong theoretical arguments:

- J. Ellis et al. (CERN-TH-6569-92)
- G. Altarelli et al. (Neutrino Telescope)

Typical Theorist's View ca. 1990

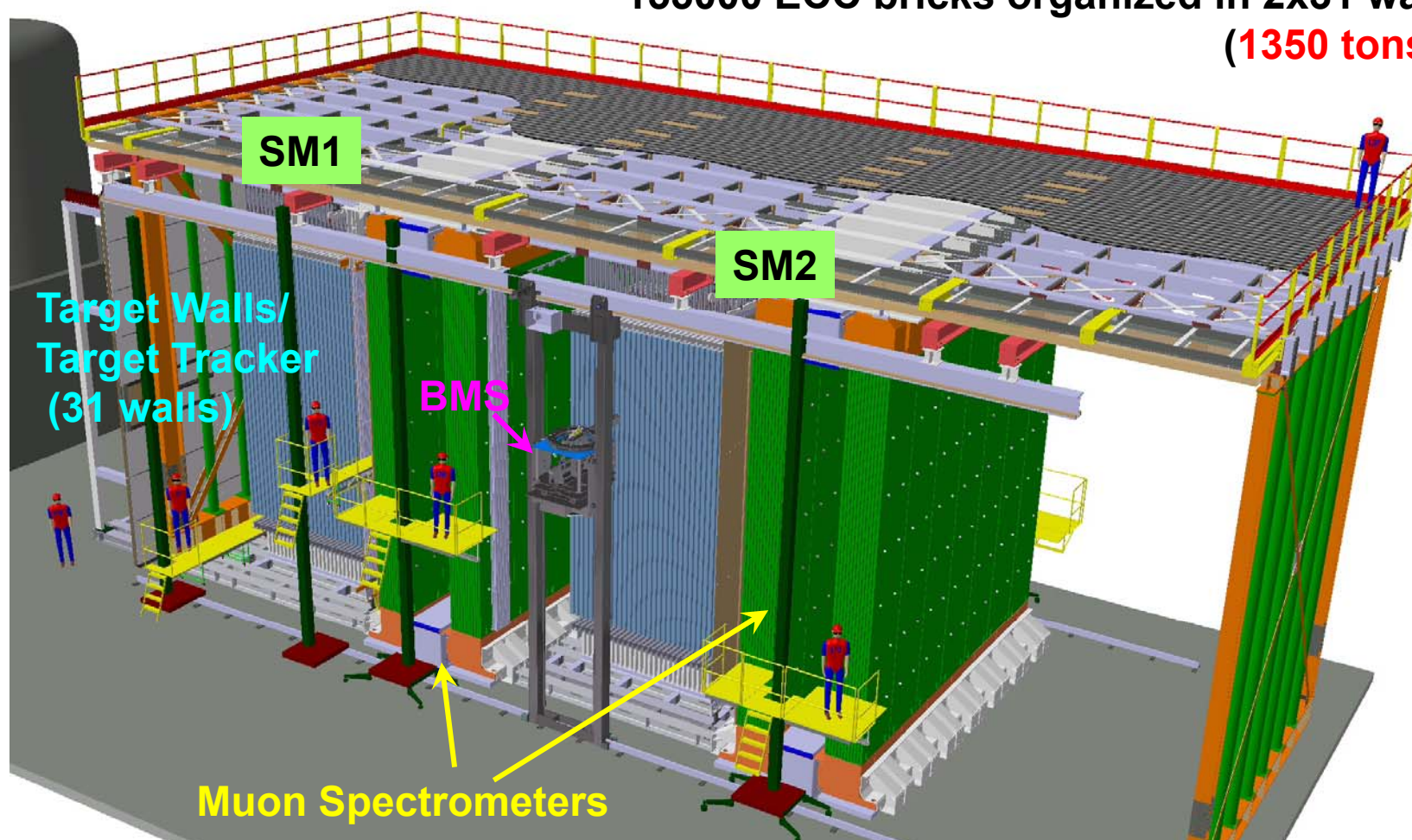
- Solar Neutrino Problem must be solved by **Small Angle MSW** solution because it is so **beautiful**
- Important scale for oscillation is **$\Delta m^2 \sim 10-100 \text{ eV}^2$** because it is **cosmologically relevant**
- θ_{23} must be about **$\theta_{23} \sim V_{cb} \approx 0.04$**
- atmospheric neutrino anomaly must **go away** because it requires large mixing angle



OPERA detector



155000 ECC bricks organized in 2x31 walls
(1350 tons)



TT provides an identification of the ECC brick
where neutrino interaction took place.
MS provides muon momentum and its sign