Физика на елементарните частици

в катедра Атомна Физика

Що е то?

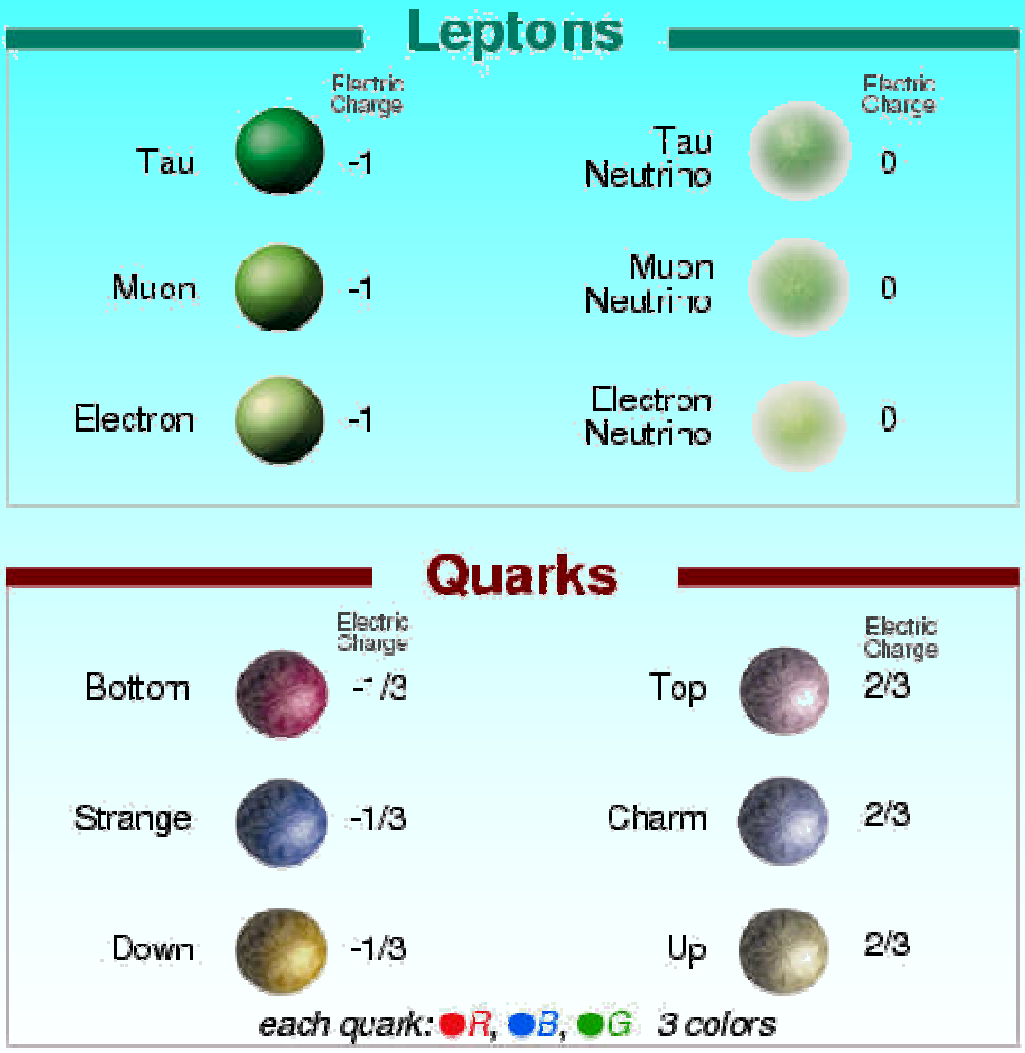
Физика на елементарните частици

Опитва се да отоговори на на два фундаментални въпроса

-Кои са елементарните съставящи на материята?

-Кои са фундаменталните сили контролиращи тяхното поведение?

Фундаментални частици в СМ

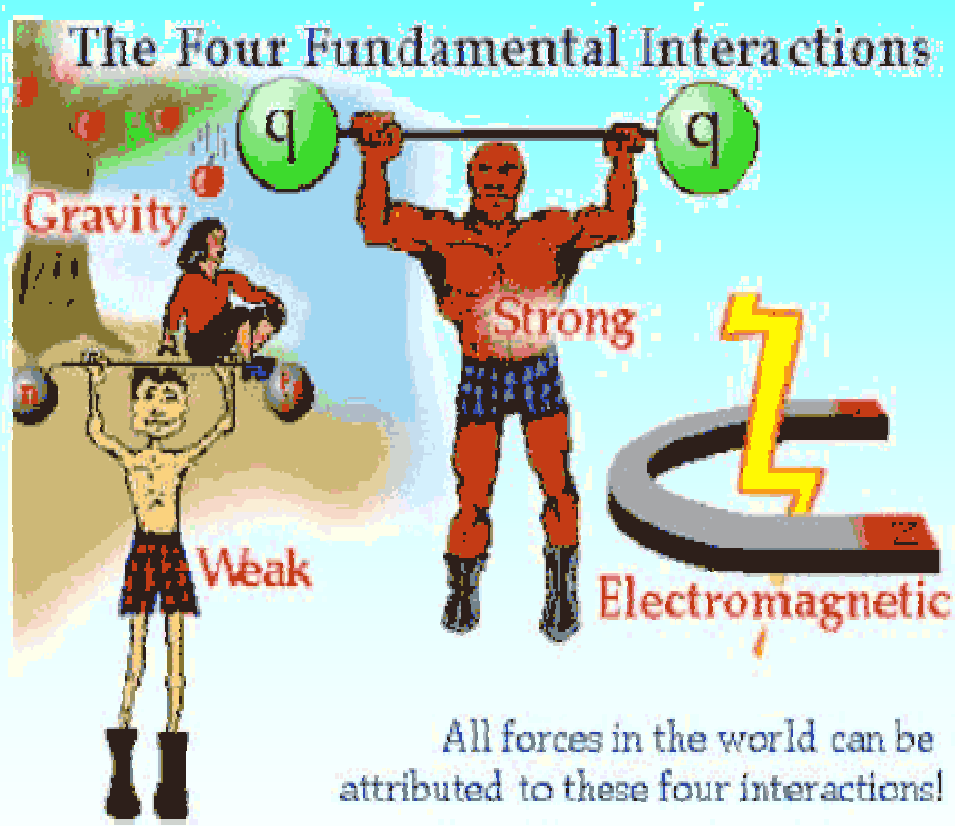


The particle drawings are simple artistic representations

Взаимодействия

How are the composite objects held together ?

by forces



Стандартен модел - преносители

В КТП – локалната инвариатност на $\mathscr{L}$ дефинира взаимодействията

Електромагнитни взаимодействия:	γ
Квантова електродинамика	(QED) U(1)
В Стандартния модел	
QED + Слаби взаимодействия:	γ , Z^0, $W^\pm$
Електрослаби взаимодействия	$SU(2)_L \otimes U(1)_Y$
Силни взаимодействия	**8 Gluons**
Квантова хромодинамика	(QCD) $SU_c(3)$

Спонтанно нарушение на симетрията

В стандартния модел масата се генерира чрез

Спонтанно нарушение на симетрията (**SSB**) – Механизъм на Higgs

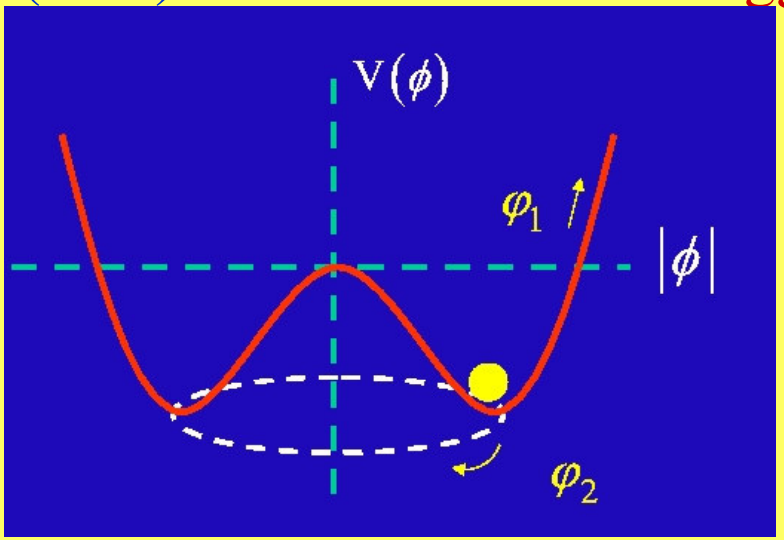
Въвежда се скаларен дублет

Лангранжианът е инвариантен

Вакуумът е изроден –

Избор на вакуум - води до СНС

$SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_Q$



Взаимодействията с бозоните и фермионите индуцират масса за тях

Цена - нова частица **H-boson** – търси се!!!

Фундаментални частици


WANTED
Higgs
GREAT REWARD
STOCKHOLM

Проверка на СМ

- Силни взаимодействия
  - ✓ Асимптотична свобода – $\alpha(Q^2)$
  - ✓ Удържане на кварките – адронизация
  - ✓ Ниско енергетични модели
- Електро-слаби взаимодействия
  - ✓ Структура на слабото взаимодействие (V-A)
  - ✓ Асиметрия ляво –дясно
  - ✓ Асиметрия материя – антиматерия CP – нарушение
- Неутринна физика
  - ✓ Маси на неутрината
  - ✓ Осцилации на неутрината

NA49

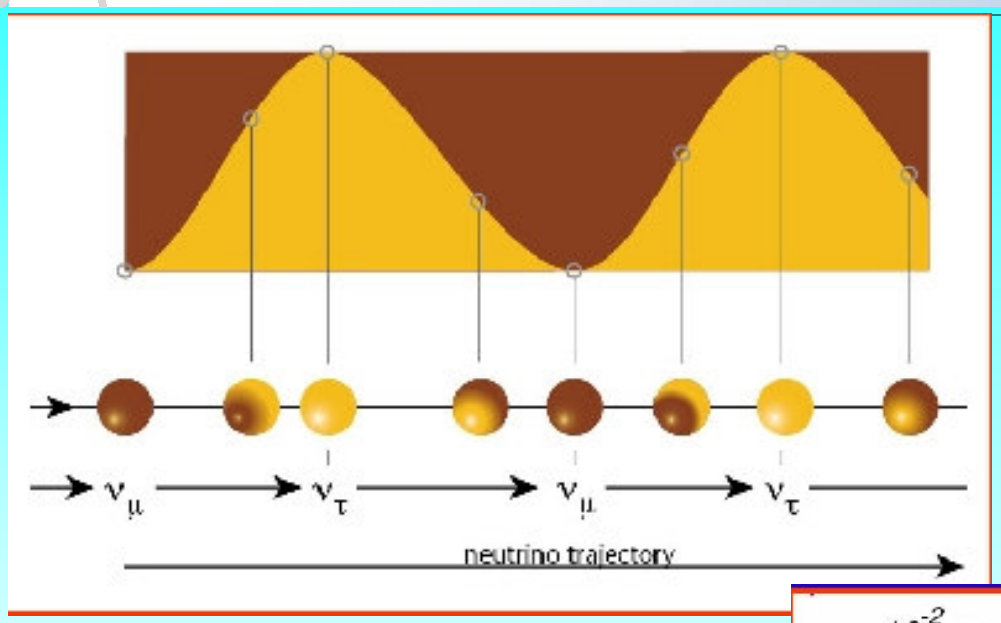
HYPERON

NA48

GEM

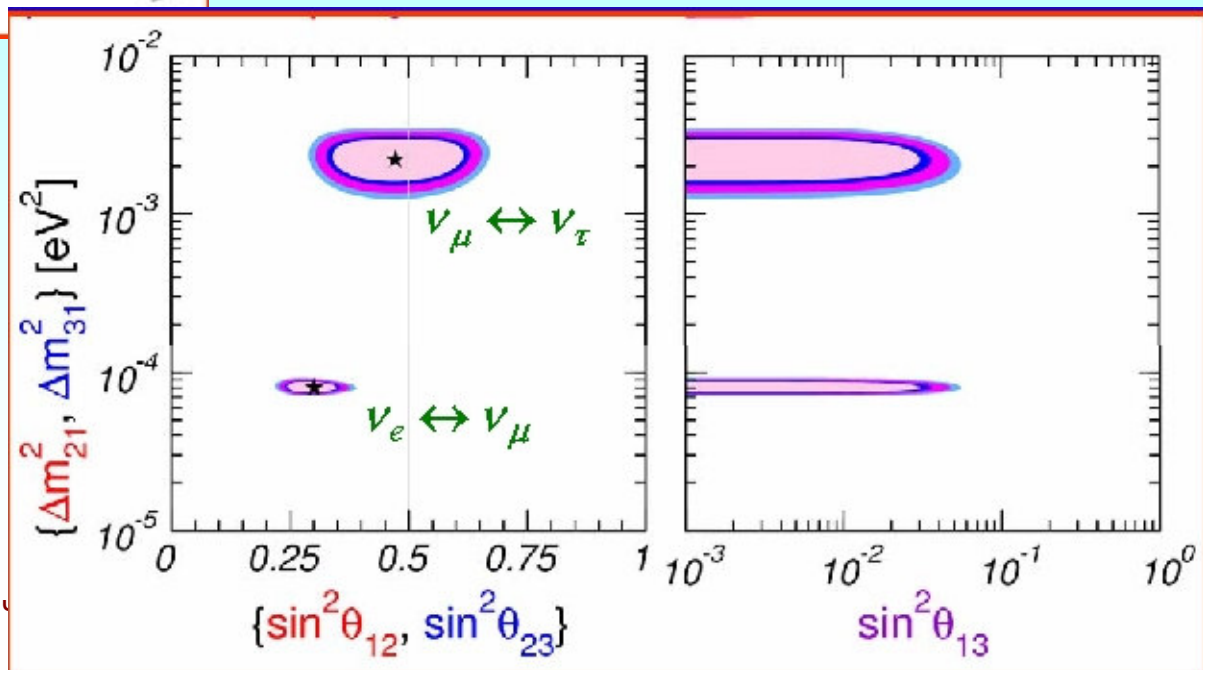
NA48

Маса и осцилации на неутриното



Ако ν имат маси, е възможно да се смесват и да осцилират

Осцилации се наблюдават експериментално



Проверка на СМ

- Силни взаимодействия
  - ✓ Асимптотична свобода – $\alpha(Q^2)$
  - ✓ Удържане на кварките – адронизация
  - ✓ Ниско енергетични модели
- Електро-слаби взаимодействия
  - ✓ Структура на слабото взаимодействие (V-A)
  - ✓ Асиметрия ляво –дясно
  - ✓ Асиметрия материя – антиматерия CP – нарушение
- Неутринна физика
  - ✓ Маси на неутрината
  - ✓ Осцилации на неутрината

NA49

HYPERON

NA48

GEM

NA48

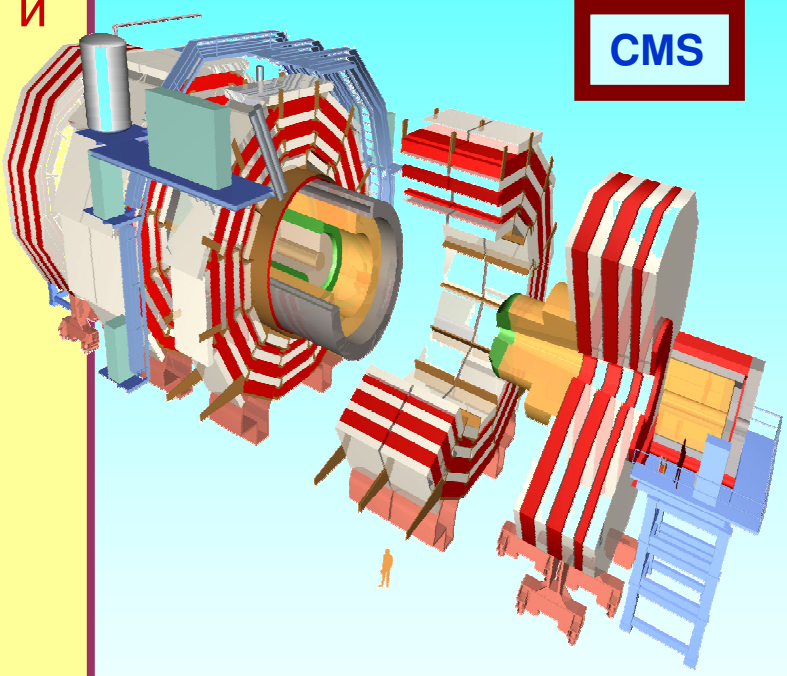
CHORUS

HARP

MICE

Проблеми на СМ

- Маси на преносителите на взаимодействия и материалните полета
- 15 допълнителни параметъра
- Защо 3 поколения
- Асиметрия между ляво и дясно
- Нарушение на CP инвариантността т.е. материя – антиматерия
- Higgs – бозон – експериментално наблюдение
- Масси на неутриното – смесване на неутриното
- Йерархия на масите

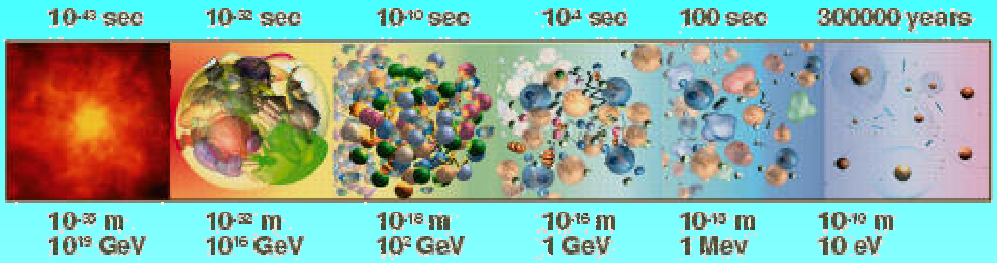


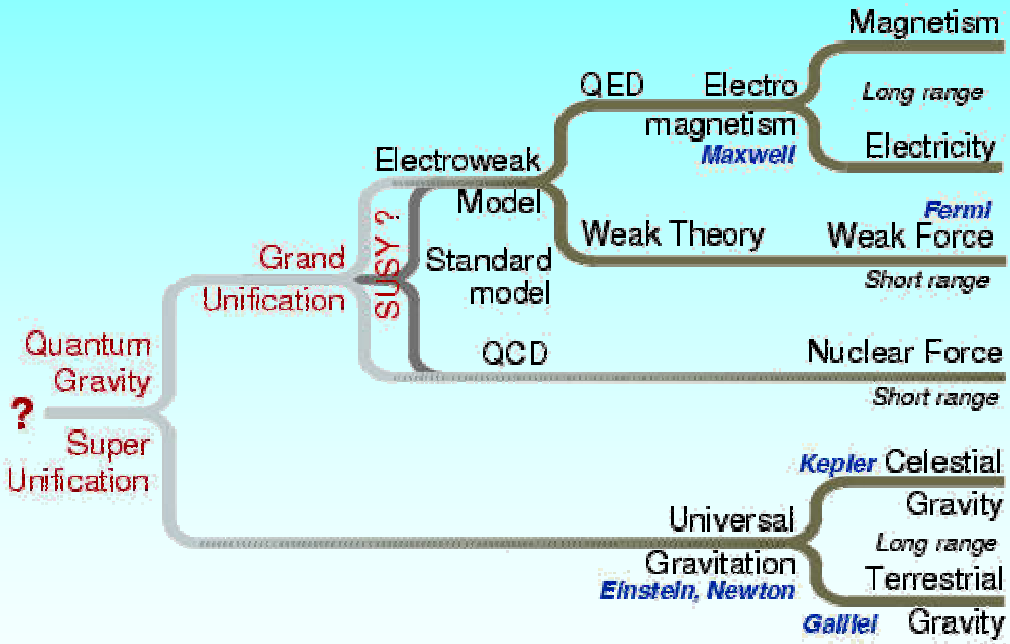
NA48/3

MICE

Гравитация – свойства на пространство - времето

Единно описание на взаимодействията





Theories:

STRINGS? RELATIVISTIC/QUANTUM CLASSICAL

Суперсиметрия

Как да ги обединим?

Гравитация - пространство-време

Електрослаби - вътрешна симетрия

Силни - вътрешна симетрия

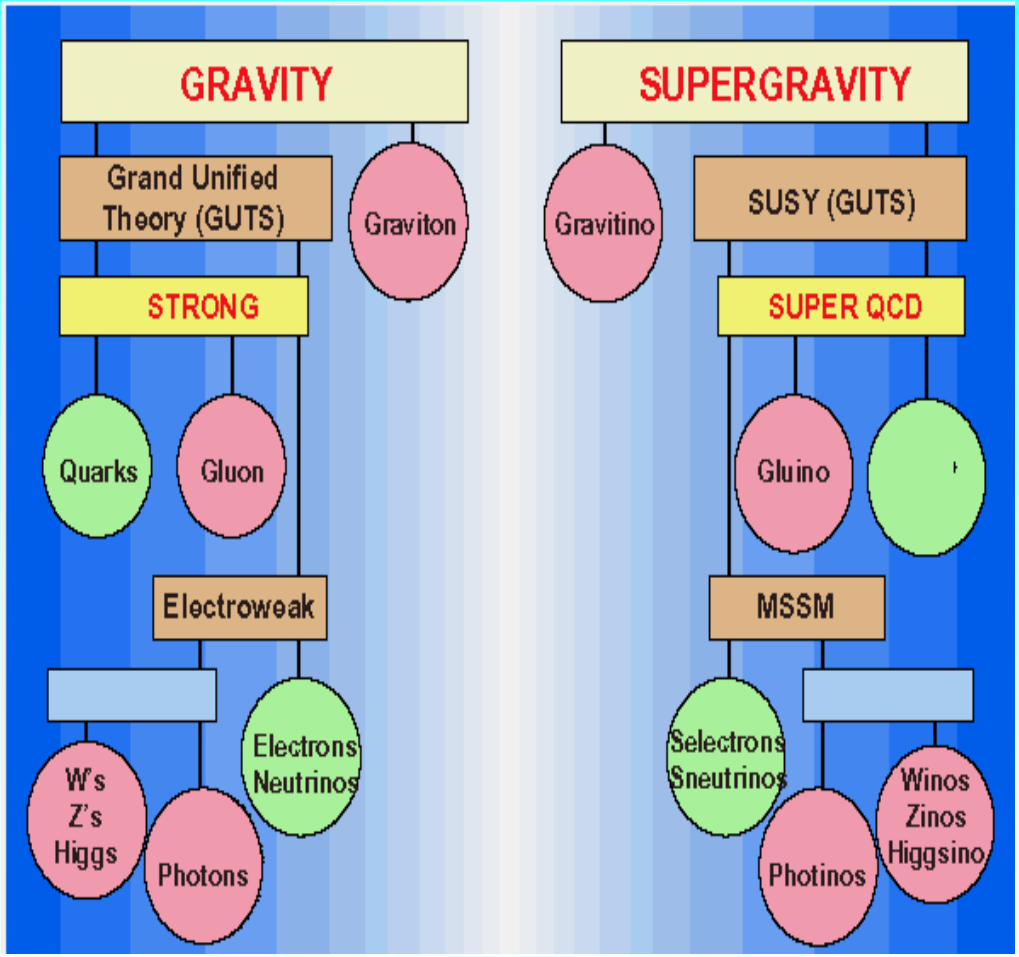
Суперсиметрия – симетрия между бозони и фермиони

Работи добре, но

Цена: много нови частици!

На всякя фундаментална частица – партньор със спин 0

На всеки преносител – спин 1/2



Колко мерно е пространство – времето?

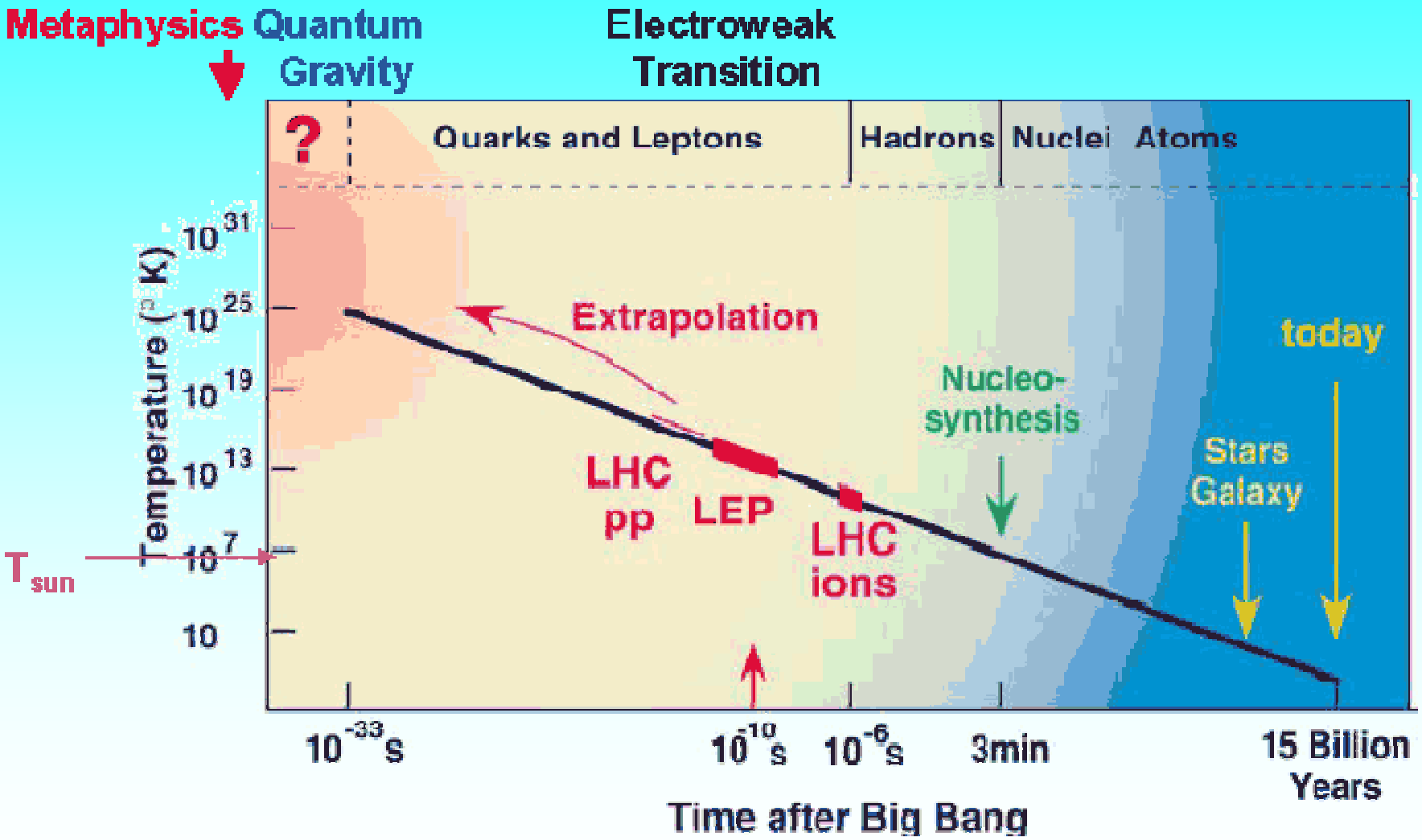
Models with extra dimensions can

- unify all interactions
- solve the hierarchy problem
- link String Theory to Standard Model
- make Quantum Gravity and String Theory accessible at LHC
  like Prometeus made the divine fire accessible for people

Perhaps it is only a dream...

But I wish you and me this dream to come true!

Назад към началото

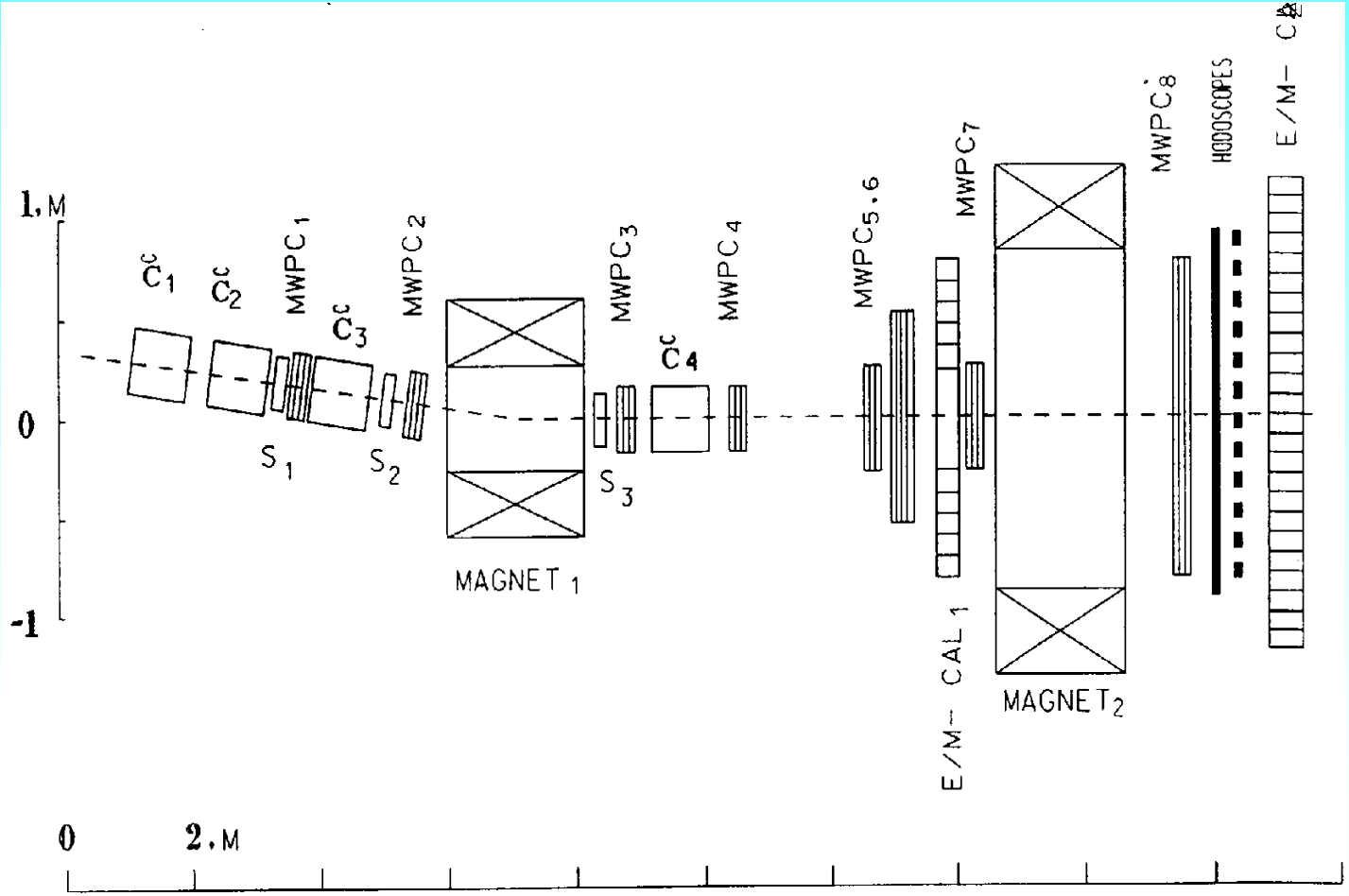


Има ли почва у нас?

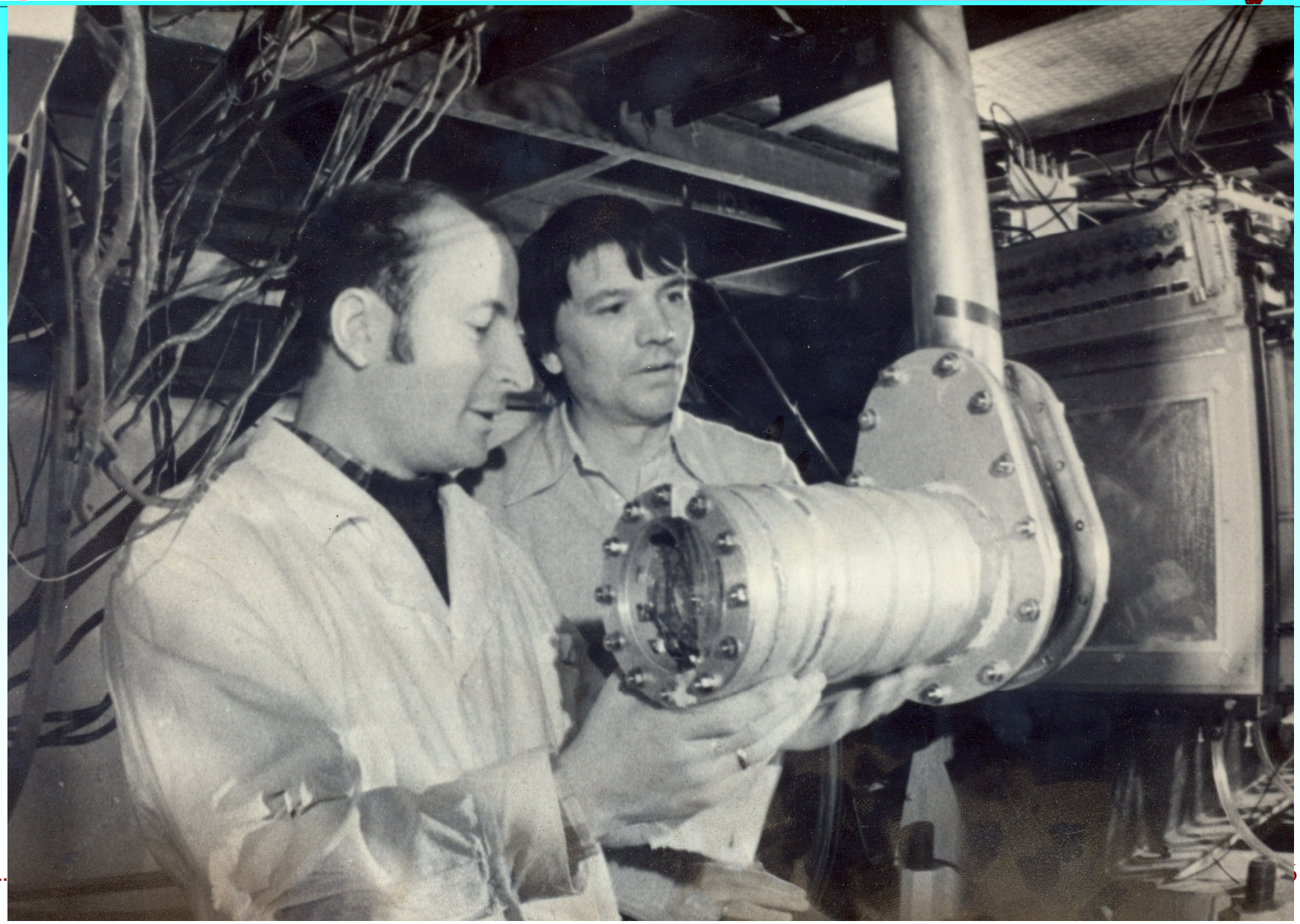
История

Като обикновенно по идея на Цветан Бончев

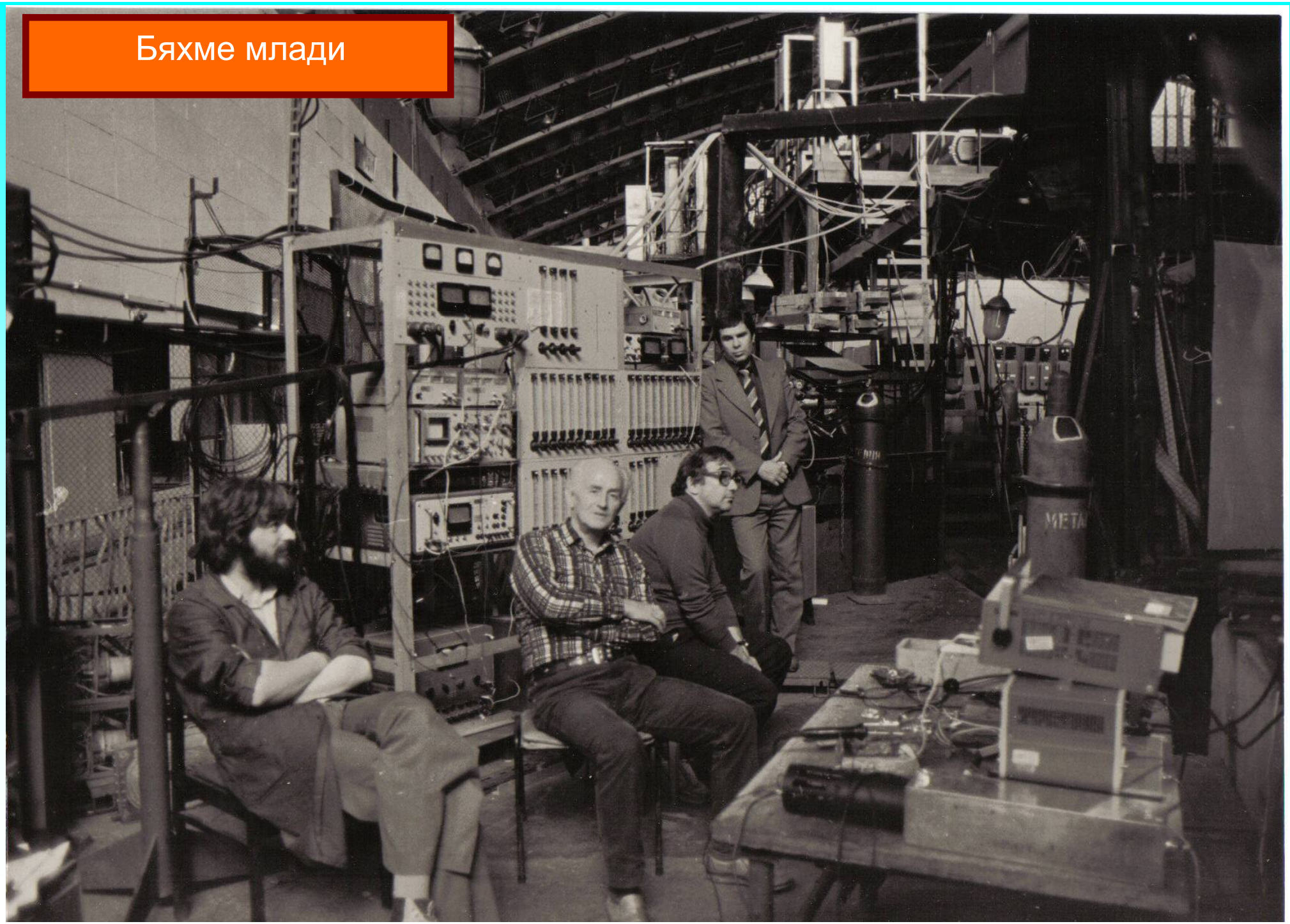
Участие в експеримента HYPERON на Серпуховския ускорител - 1977



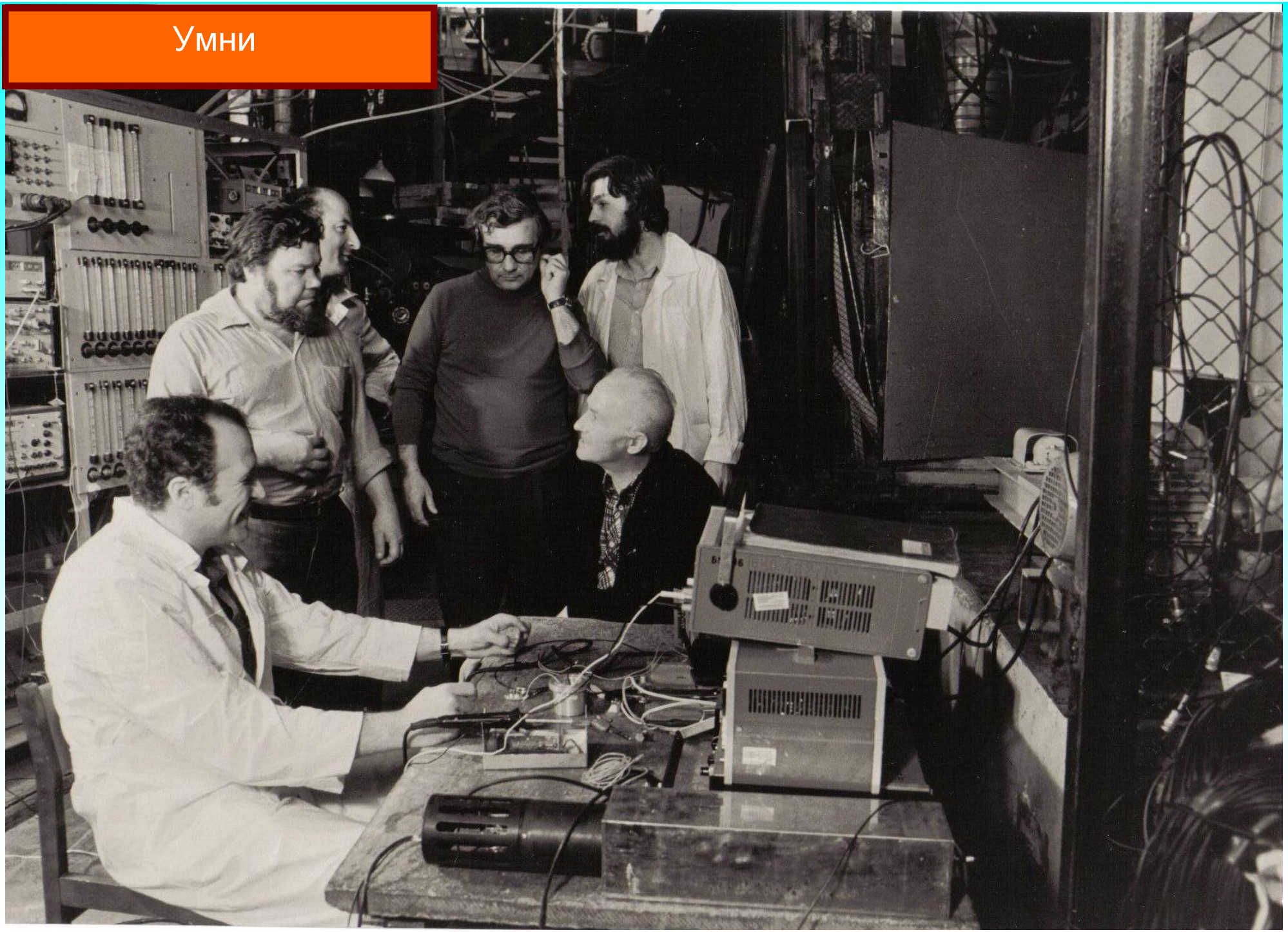
Той беше пръв!



Бяхме млади



Умни



Красиви

HYPERON

- Черенковски многоканални броячи
- Електромагнитен калориметър (радиатор от оловно стъкло)
- Анализ на данни
- Monte-Carlo симулации
- Зарядово обменни реакции
- Адрон ядрени взаимодействия,
- Разпади на заредени К-мезони (от 1985 г.)

За пръв се наблюдават ефекти на екраниране на цвета в адрон – ядрени взаимодействия

Настояще

NA48 Experiment

NA48 data

1997	ε'/ε run	$K_L + K_S$	
1998	ε'/ε run	$K_L + K_S$	
1999	ε'/ε run $K_L + K_S$		K_S Hi. Int.
2000	K_L only	K_S High Intensity	
	NO Spectrometer		
2001	ε'/ε run $K_L + K_S$		K_S High Int.
2002	K_S High Intensity		
2003	$K^\pm$ High Intensity		
2004	$K^\pm$ High Intensity		

NA48: **1997 – 2001**

- Direct CP violation $(\mathrm{Re}(\epsilon'/\epsilon))$
- K_L **decays** (e.g. $K^0_{e3} \to |V_{us}|$)

NA48/1: **2000, 2002**

- High-intensity run for rare K_S **decays.**
- **Hyperon decays** (Ξ^0, Λ) $(\to |V_{us}|)$
- Neutral K_S decays (2000)

NA48/2: **2003 – 2004**

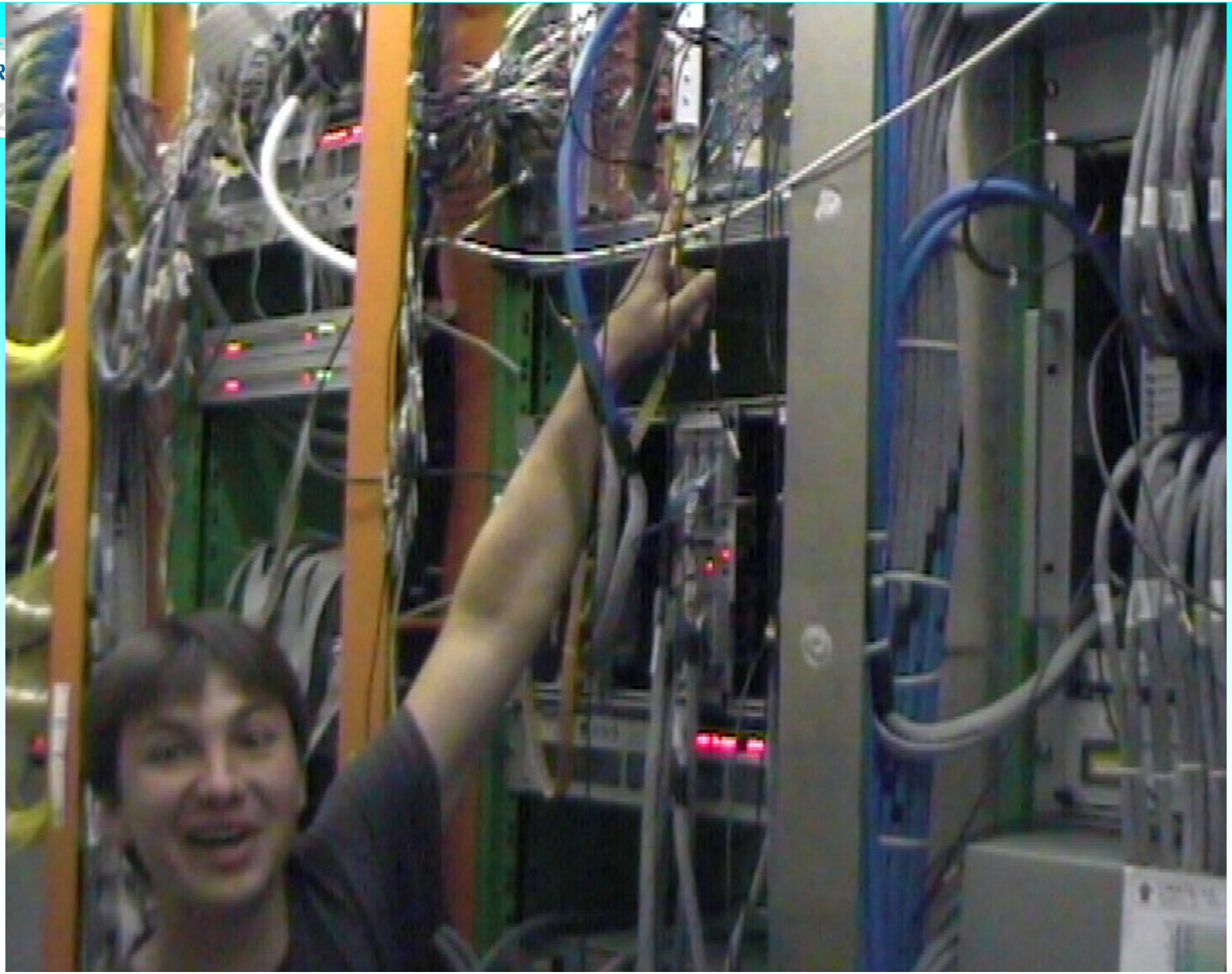
- Search for direct CPV in $K^\pm$ **decays.**
- Rare decays
  $(K_{e4}, K^+ \to \pi^+ e^+ e^-, K^+ \to \pi^+ \gamma\gamma, \ldots)$
- Semileptonic decays $(K^+_{e3} \to |V_{us}|)$

NA48 experiment

NA48 experiment

- Идентификация на типа на частиците (π, e) – Невронна мрежа – 10^6 $
- Пълна отгооворност за софтуера за анализ и симулация на експеримента
- Лидиращи позиции в изучаването на полулептонни разпади
- Измерване на V_{us}
- Изследване на редки разпади

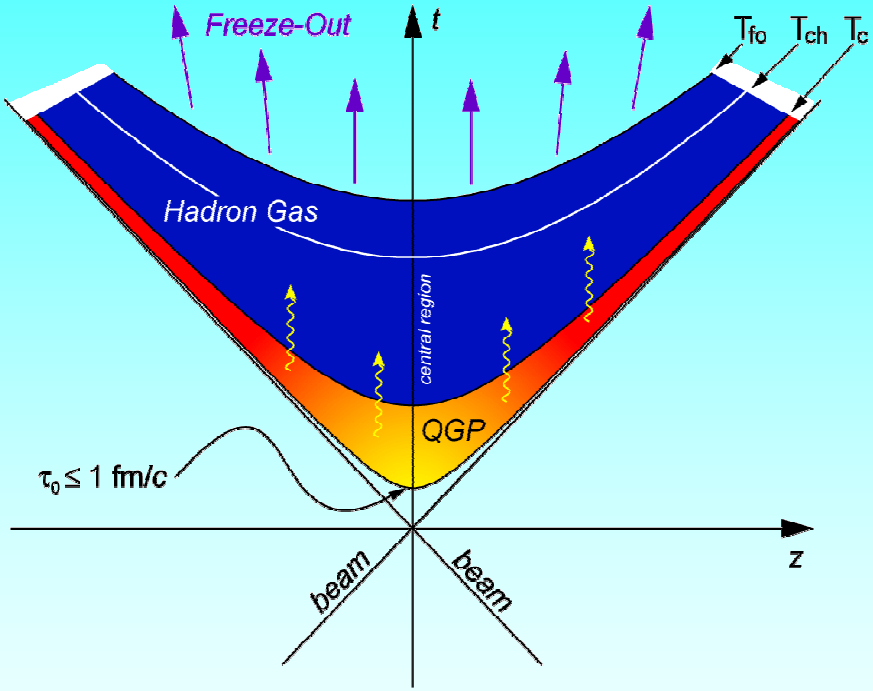
За пръв се наблюдава директно CP-нарушение
За пръв път се наблюдават разпадите
$K^0_S \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ $K^0_S \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$
Най-прецизно измерване на ...



NA49 Experiment

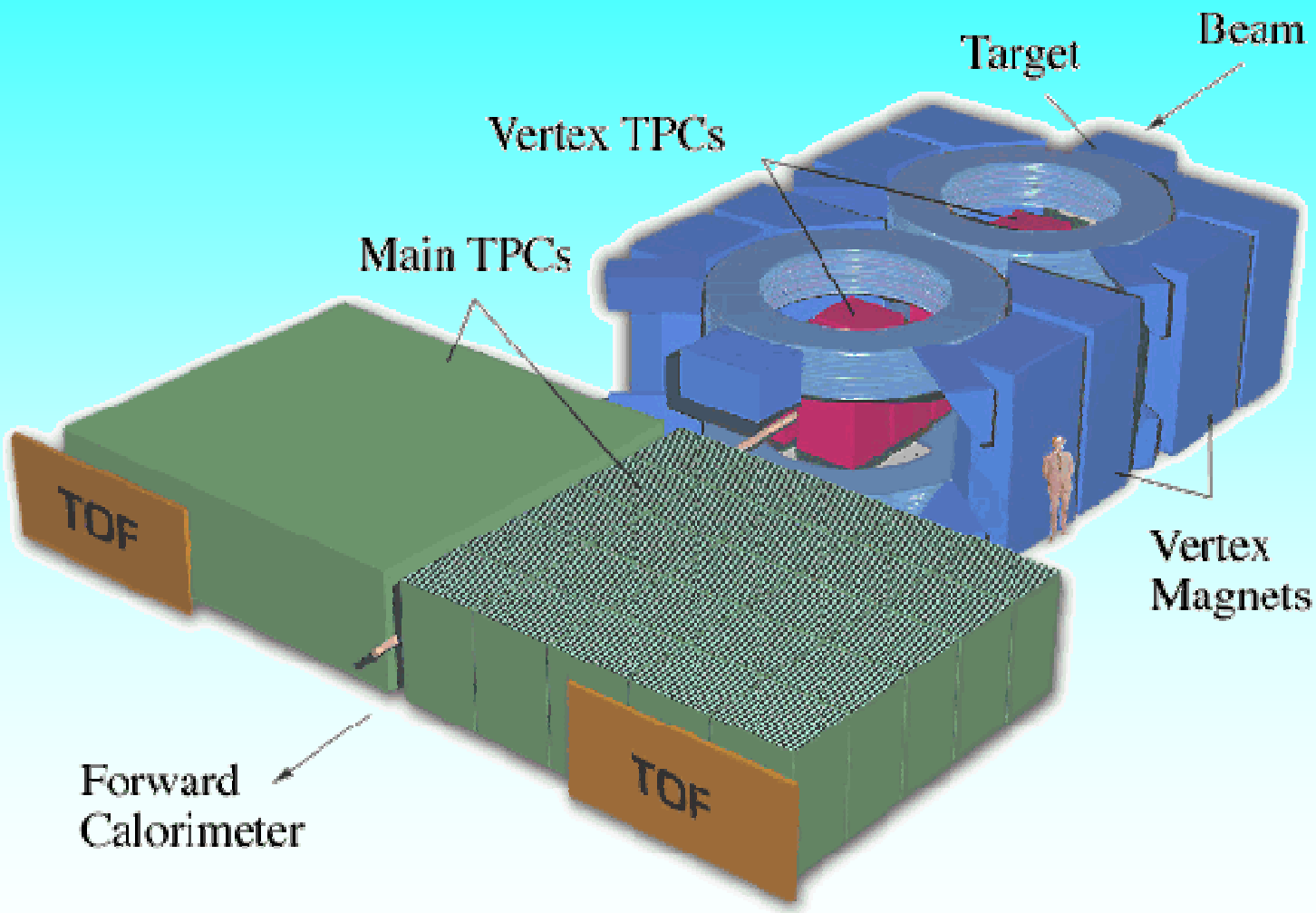
NA49

- Основна цел на експеримента
  - Наблюдение на кварк-глуонна плазма при енергийте на ускорителя SPS (20-158 A-GeV)
- Набор на данни - до 2002
- Анализ на данни – няколко години повече

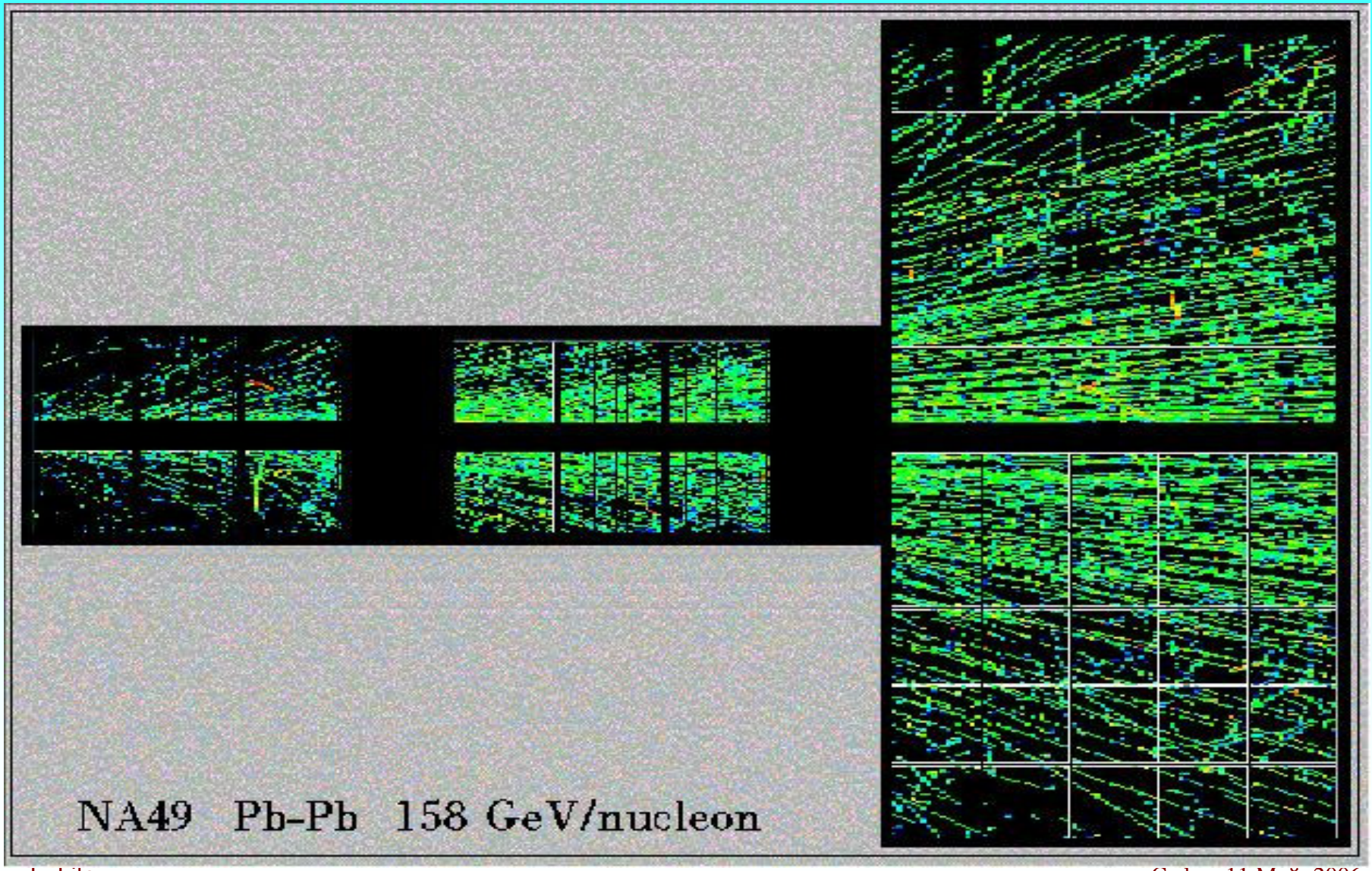


- ✓Калибровка на време-проекционните камери
- ✓Набор на данни
- ✓Разработка на софтуер и анализ на данни

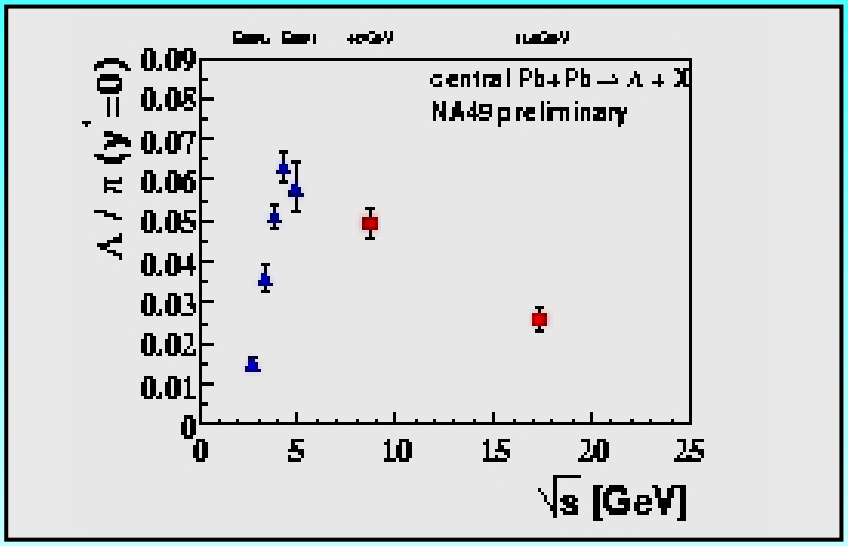
NA49 setup


Target
Beam
Vertex TPCs
Main TPCs
TOF
Vertex
Magnets
Forward
Calorimeter
TOF

NA49 PbPb event

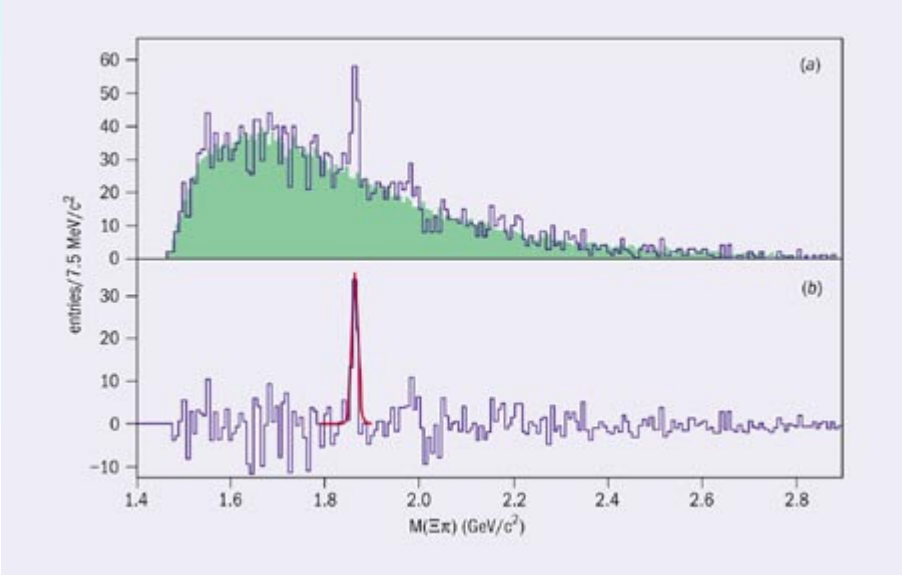


NA49



За първи път се наблюдават ясни указания за преход от свързано състояние към кварк – глуонна плазма при E=40 GeV

За първи път се наблюдава екзотичен барион I = 3/2, който представлява свързано петкварково състояние



CHORUS

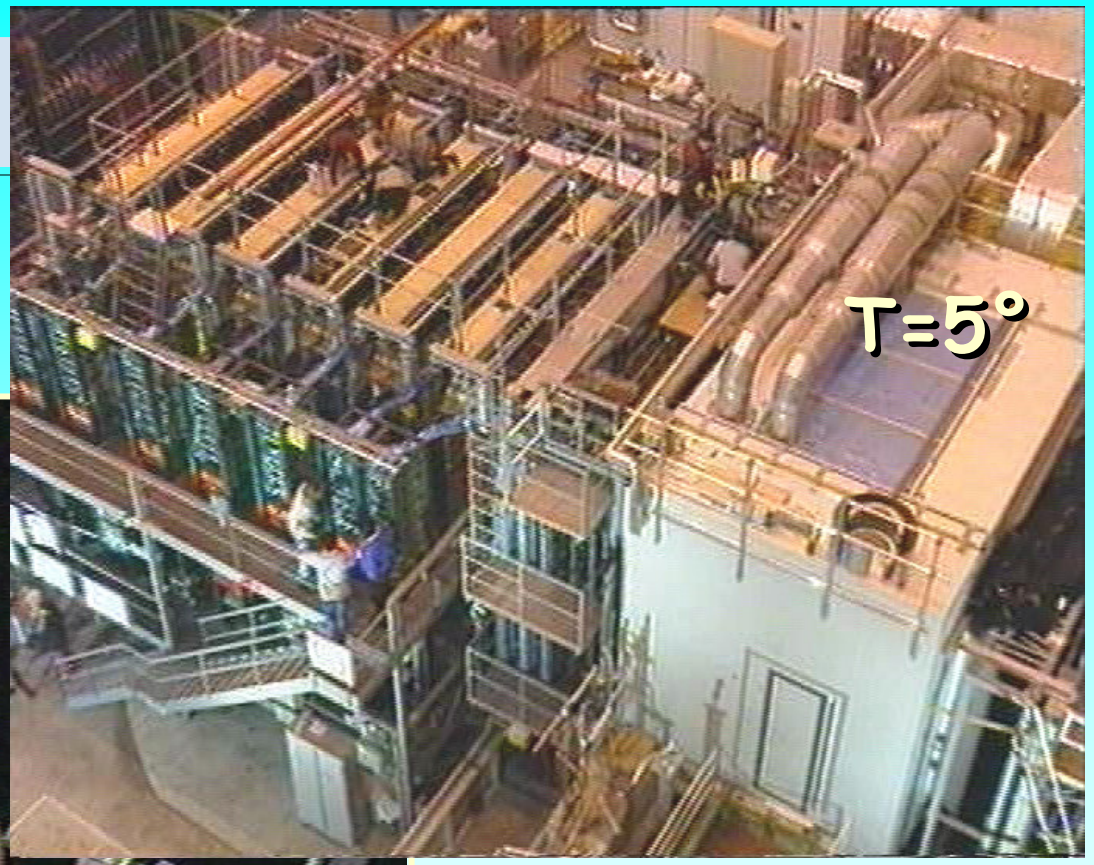
CHORUS

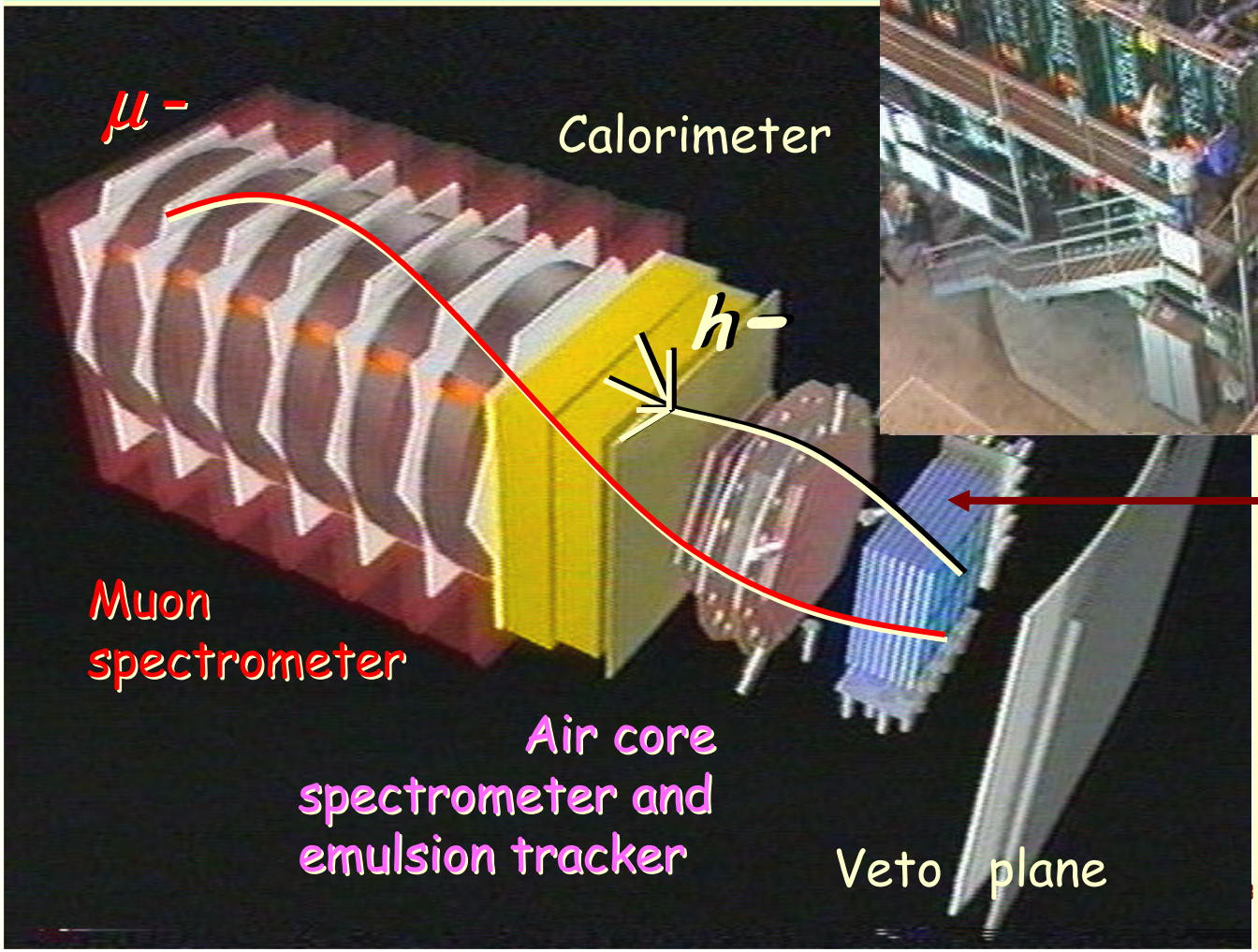
- Основна цел на експеримента
  - Наблюдение на осцилации на неутрино $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$
  - Наблюдение на ν_τ
  - Изследване на физиката на очарованите кварки
- Набор на данни 1994 – 1997
- Анализ на данни 1, 2 години още

- ✓Поддръжка и експлоатация на детектора
- ✓Разработка на софтуер и анализ на данни

CHORUS detector

Nucl. Instr. Meth A 401 (1997) 7





770 kg emulsion target and scintillating fibre tracker

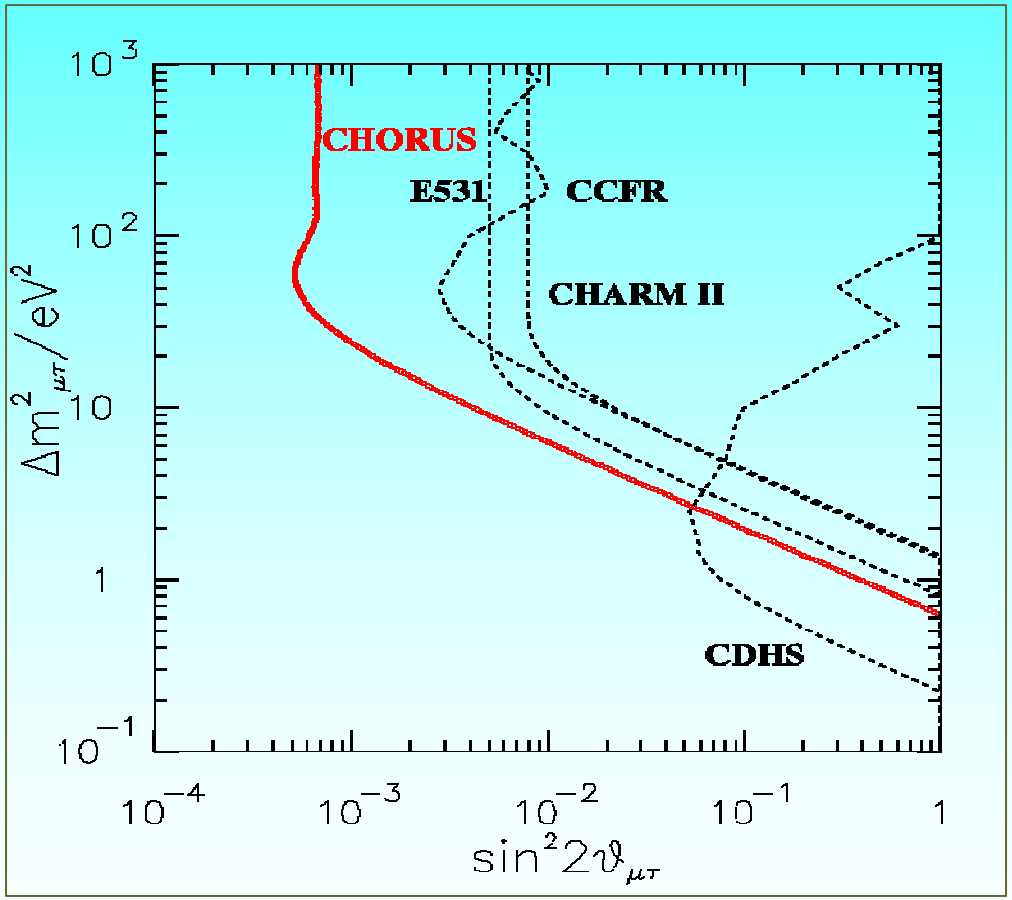
Граница за $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ осцилации

не наблюдава ν_τ взаимодействия

$$P_{\mu\tau} = \sin^2 2\theta_{\mu\tau} \cdot \sin^2\left(\frac{1.27 \cdot \Delta m^2_{\mu\tau} \cdot L}{E}\right)$$

Горна граница за вероятността за $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ осцилации

Ред прецизни измервания на свойствата на очаровани мезони



Неутринна фабрика

- 50% $\bar{\nu}_\mu$ 50% ν_e ➡ small beam systematics … but charge required
- High energy beam ➡ small cross section systematics
- A wide variety of studies are possible:

and also: $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\mu$ $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_\tau$

Atmospheric osc.

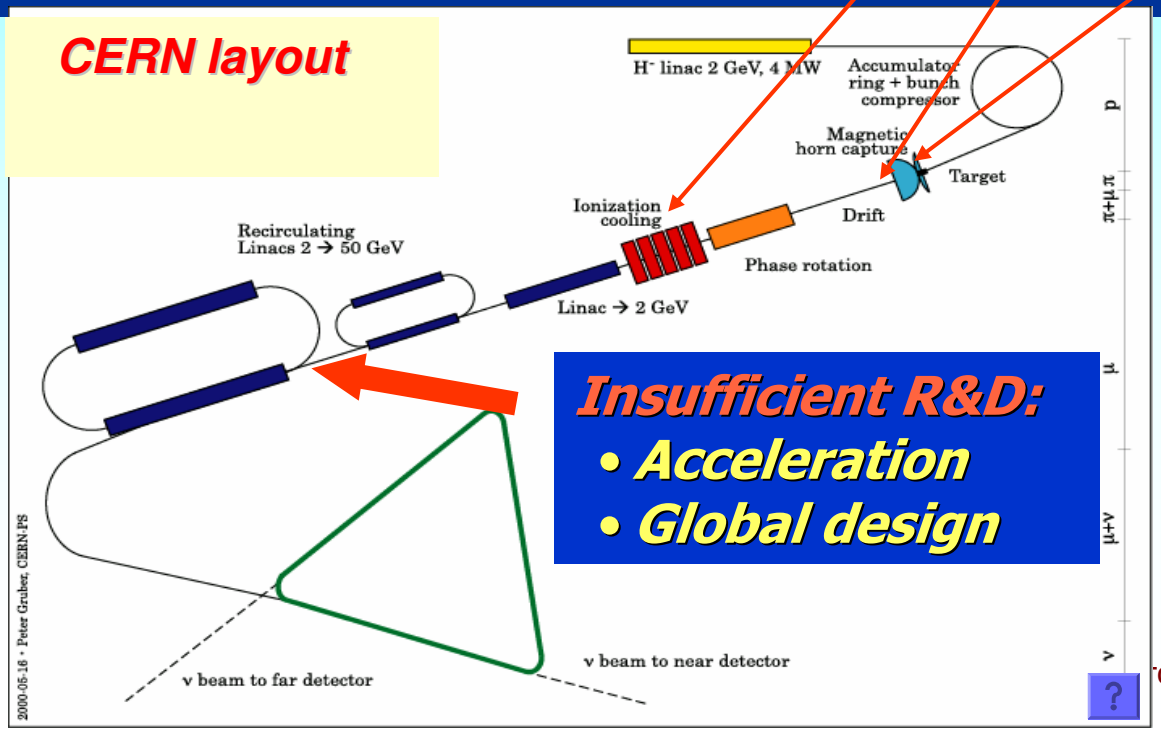
unitarity $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$ — **silver**

CP violation $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ — **golden**

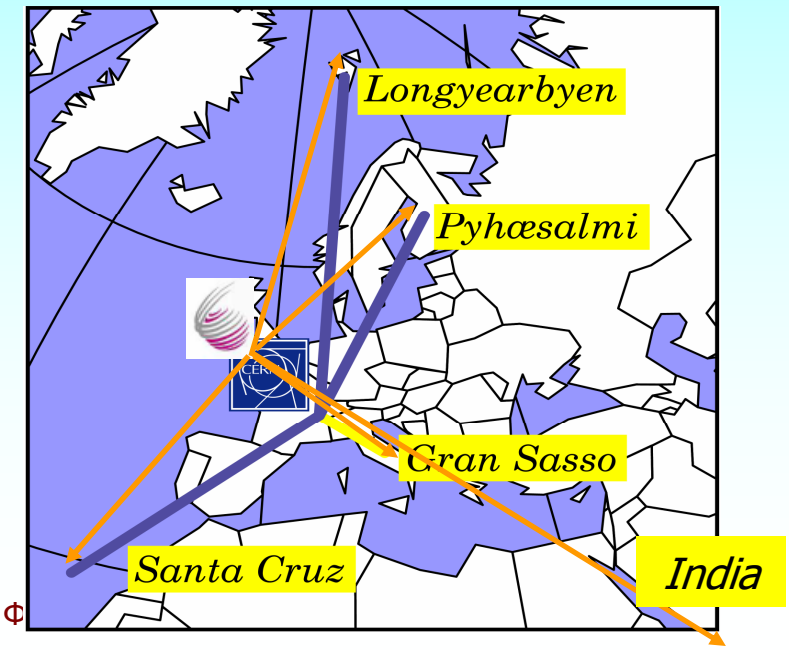
T, CPT $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ — **bronze**

- Challenging ➡ Ongoing R&D: *MICE, HARP, MERIT*

CERN layout



Insufficient R&D:
- ***Acceleration***
- ***Global design***



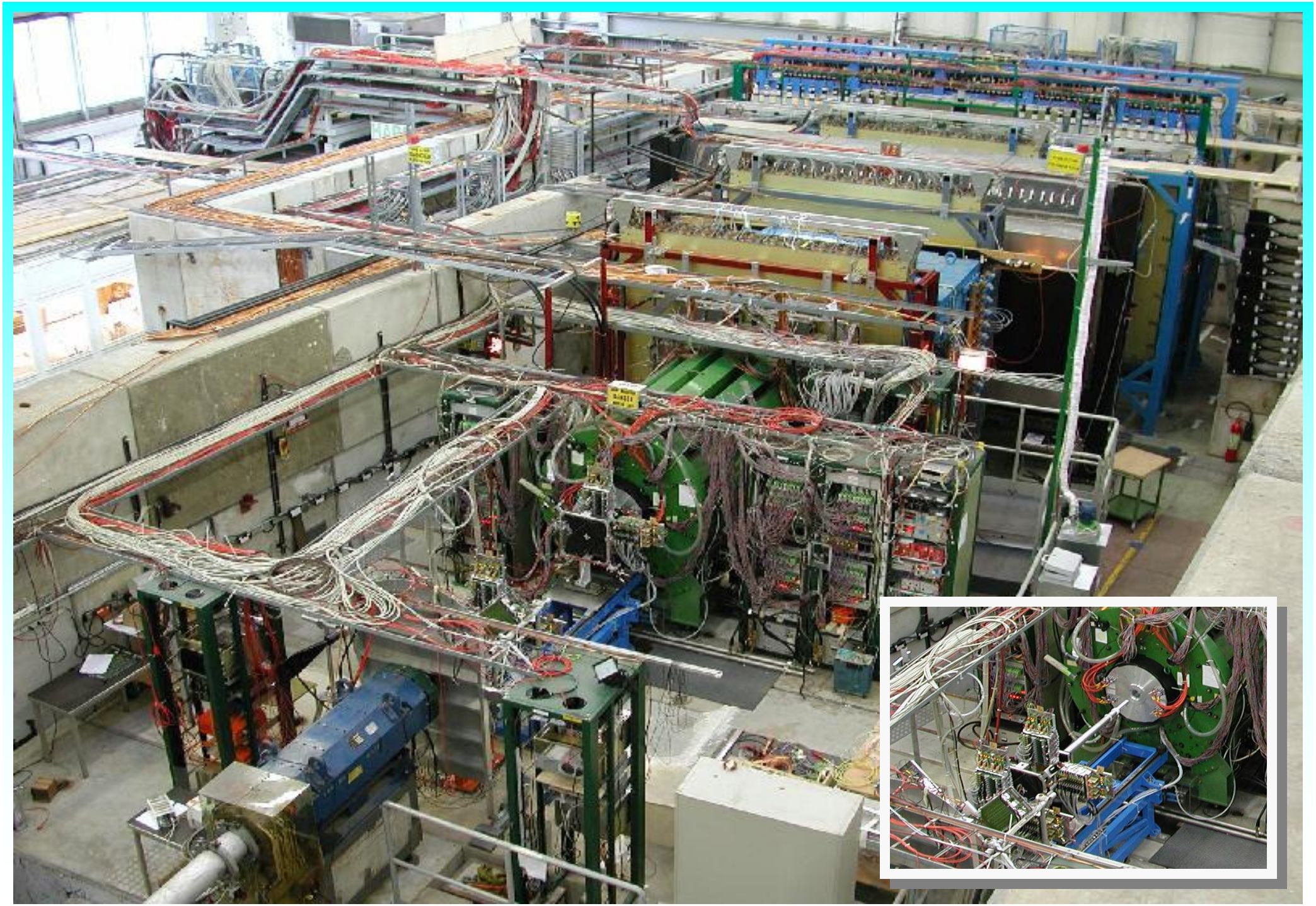
омна Ф

HARP

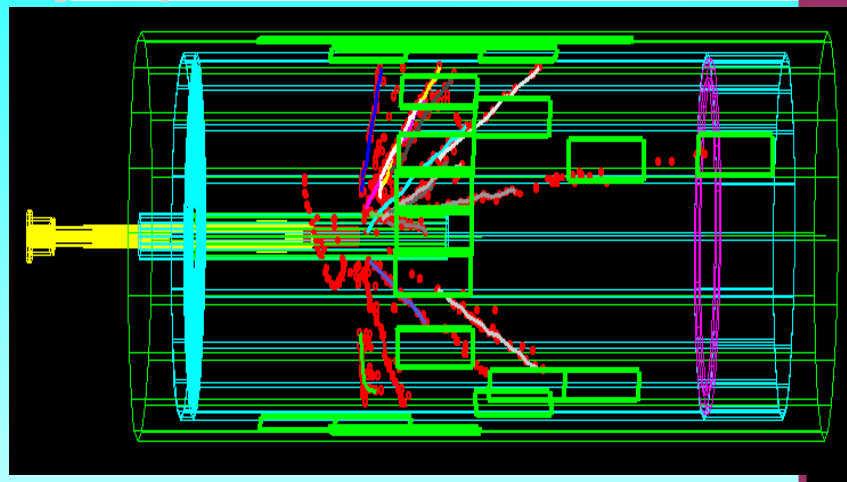
HARP

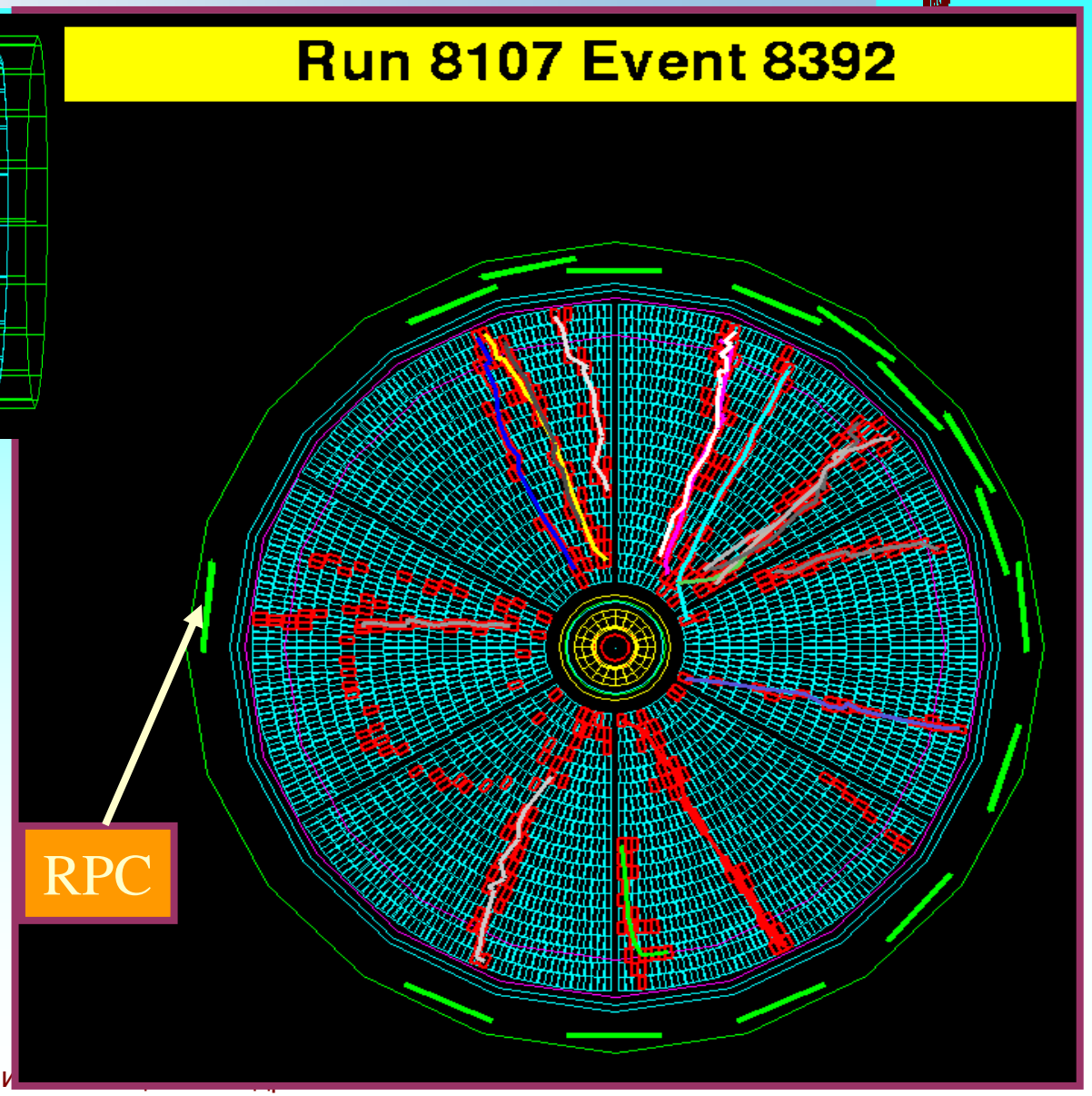
- Цел на експеримента
  - Измерване на сеченията за раждане на адрони
  - По-добро разбиране на потока атмосферни неутрино
  - Оптимизация на раждането на пиони за бъдещата неутринна фабрика
- Набор на данни 2001 -2002

- ✓Конструиране, калибровка и експлоатация на RPC
- ✓Система за контрол на качеството на газовата смес (Черенковски броячи)
- ✓Тригерна система - ~ 100 VME активни сплитери
- ✓Набор на данни
- ✓Разработка на софтуер и анализ на данни



HARP

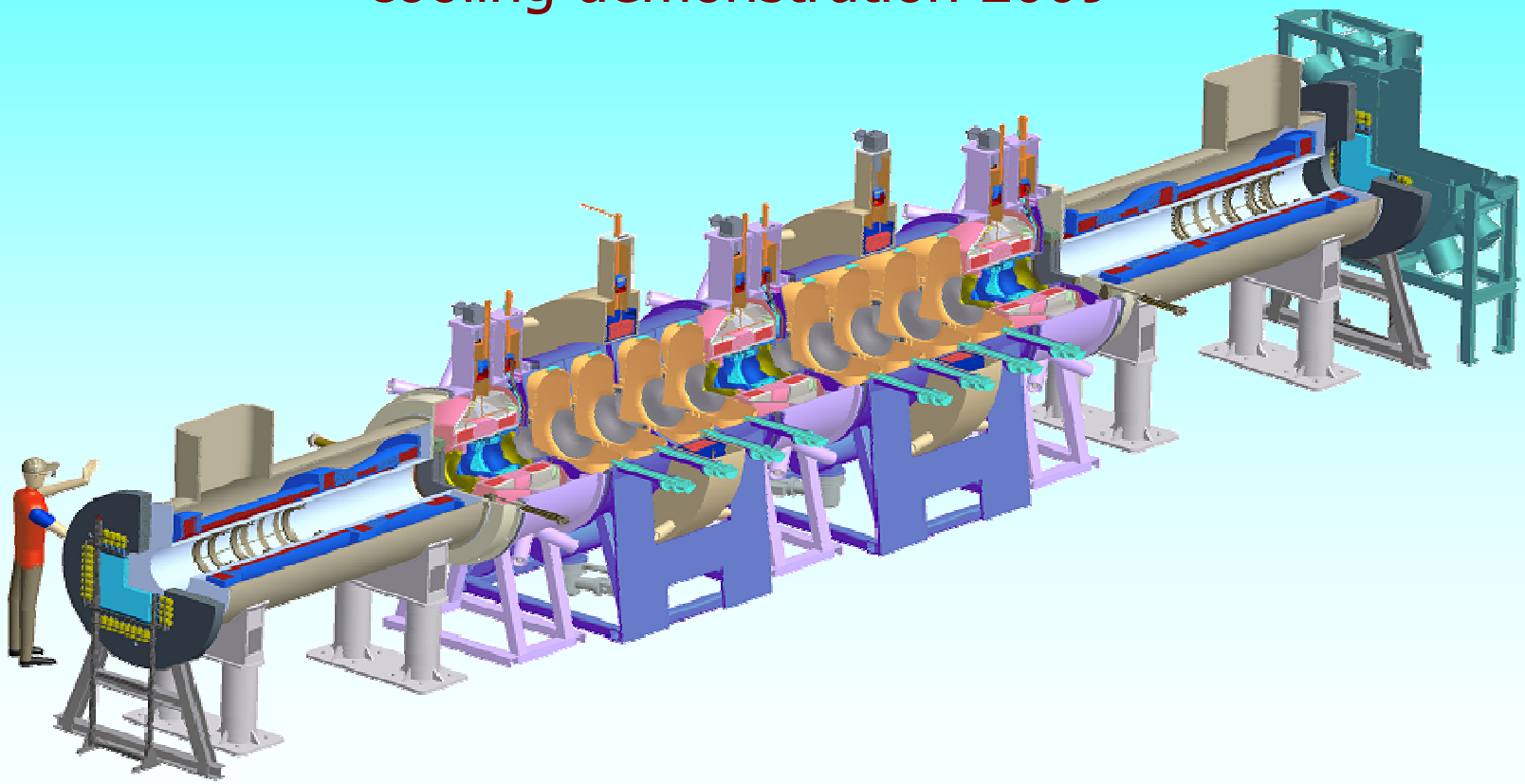




Публикувани първите резултати по измерване на сеченията за раждане на пиони

MICE

MICE @ RAL: first data 2007
cooling demonstration 2009

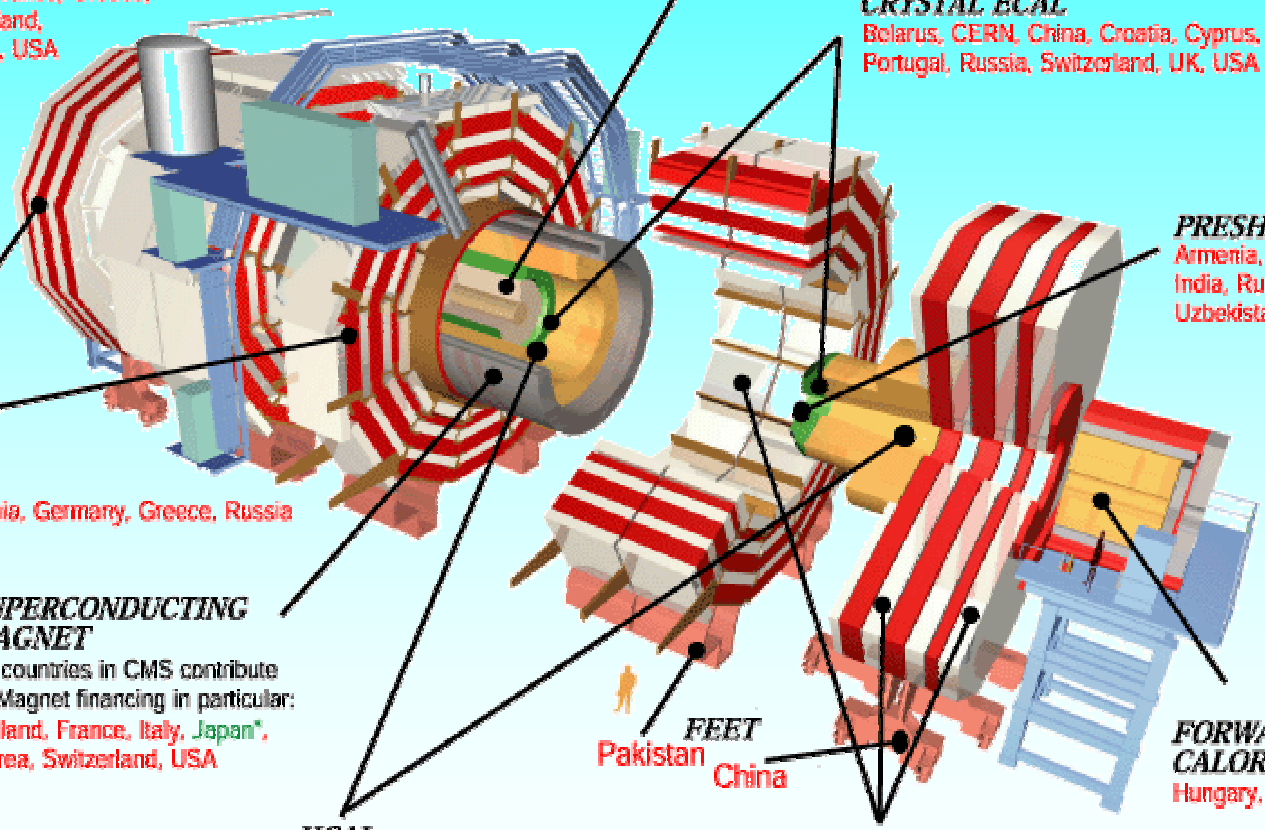


Експеримент CMS


LHC

CMS Detector

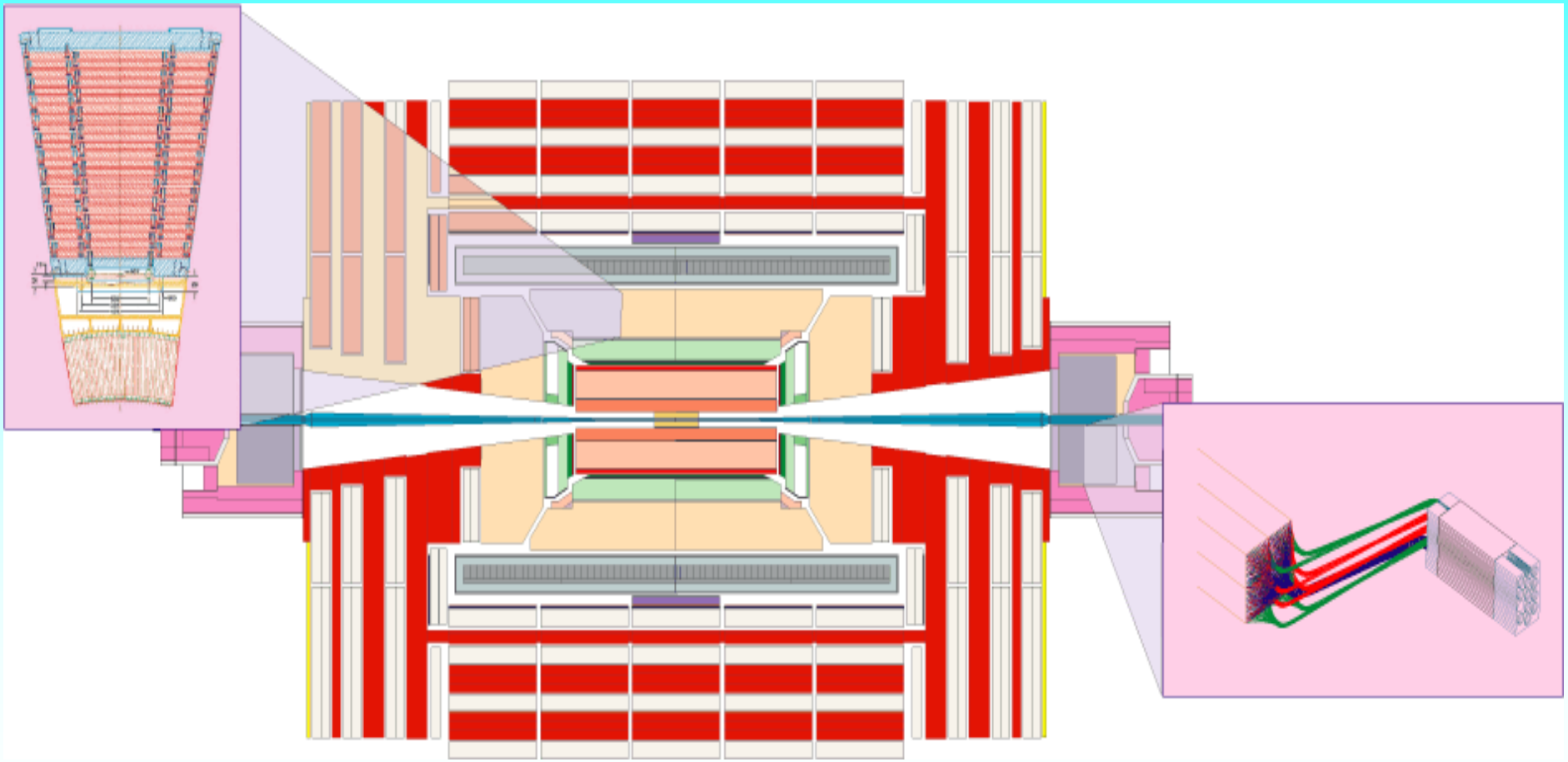
31 Nations, 150 Institutions, 1870 Scientists



Total weight	:	**12500 T**
Overall diameter	:	**15.0 m**
Overall length	:	**21.5 m**
Magnetic field	:	**4 Tesla**

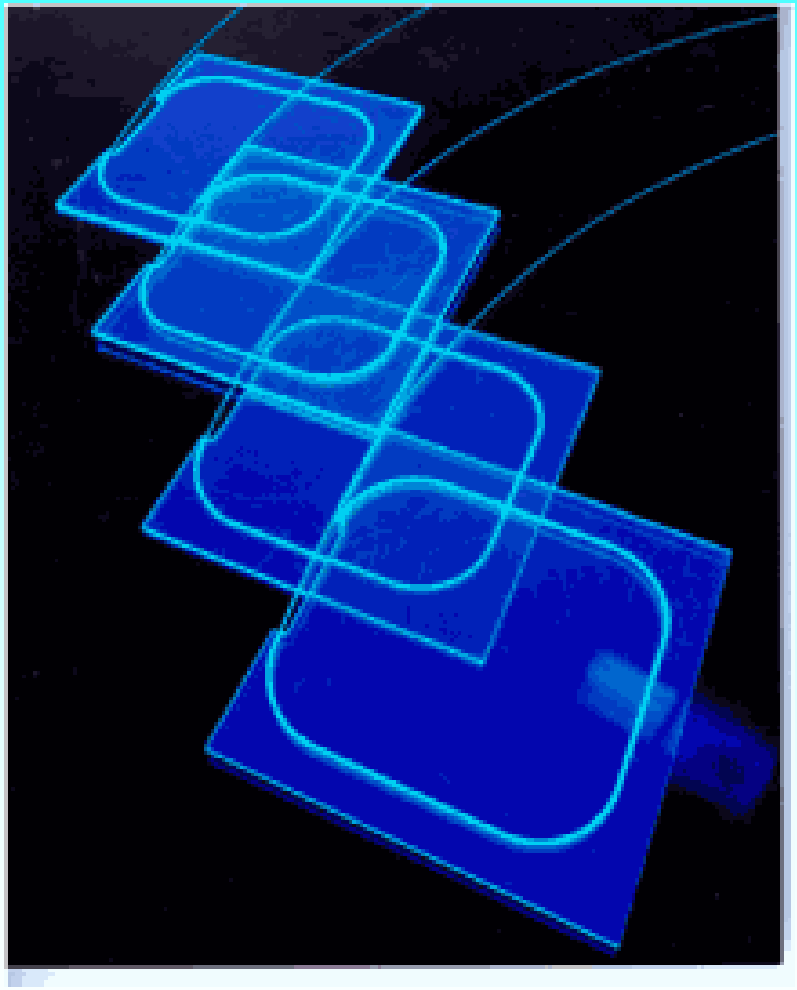
* Only through industrial contracts

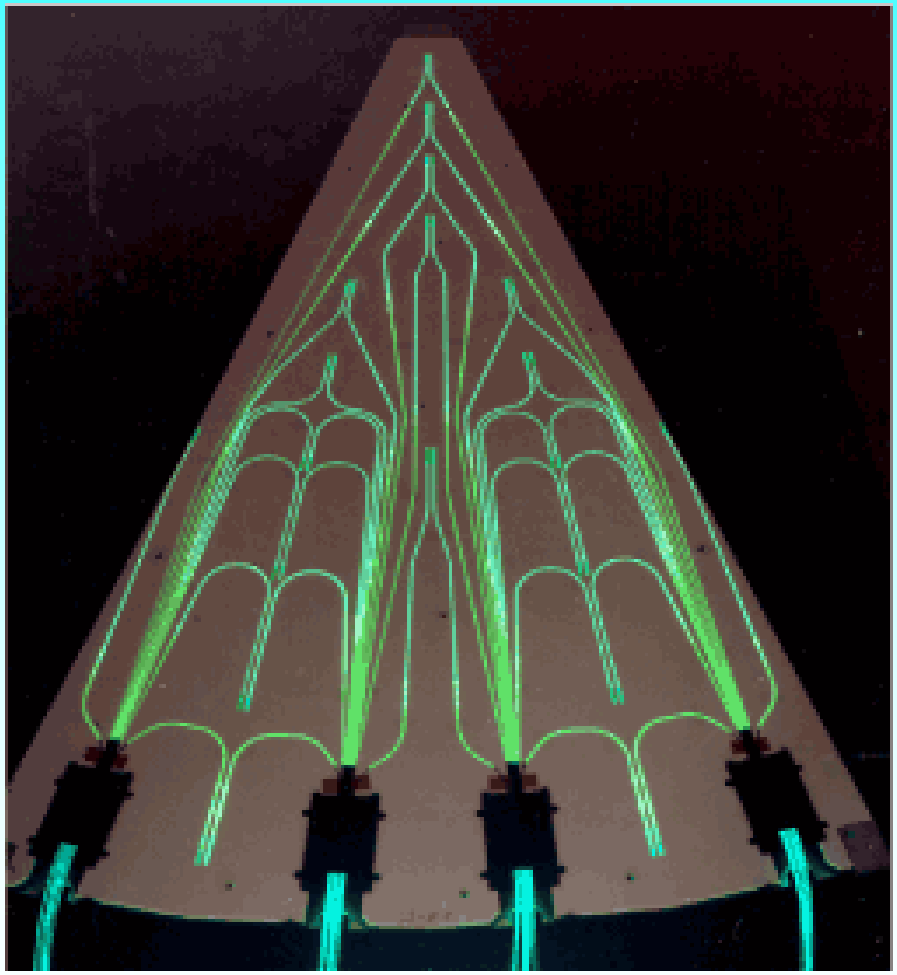
Адронен калориметър



HCAL цилиндричен сектор

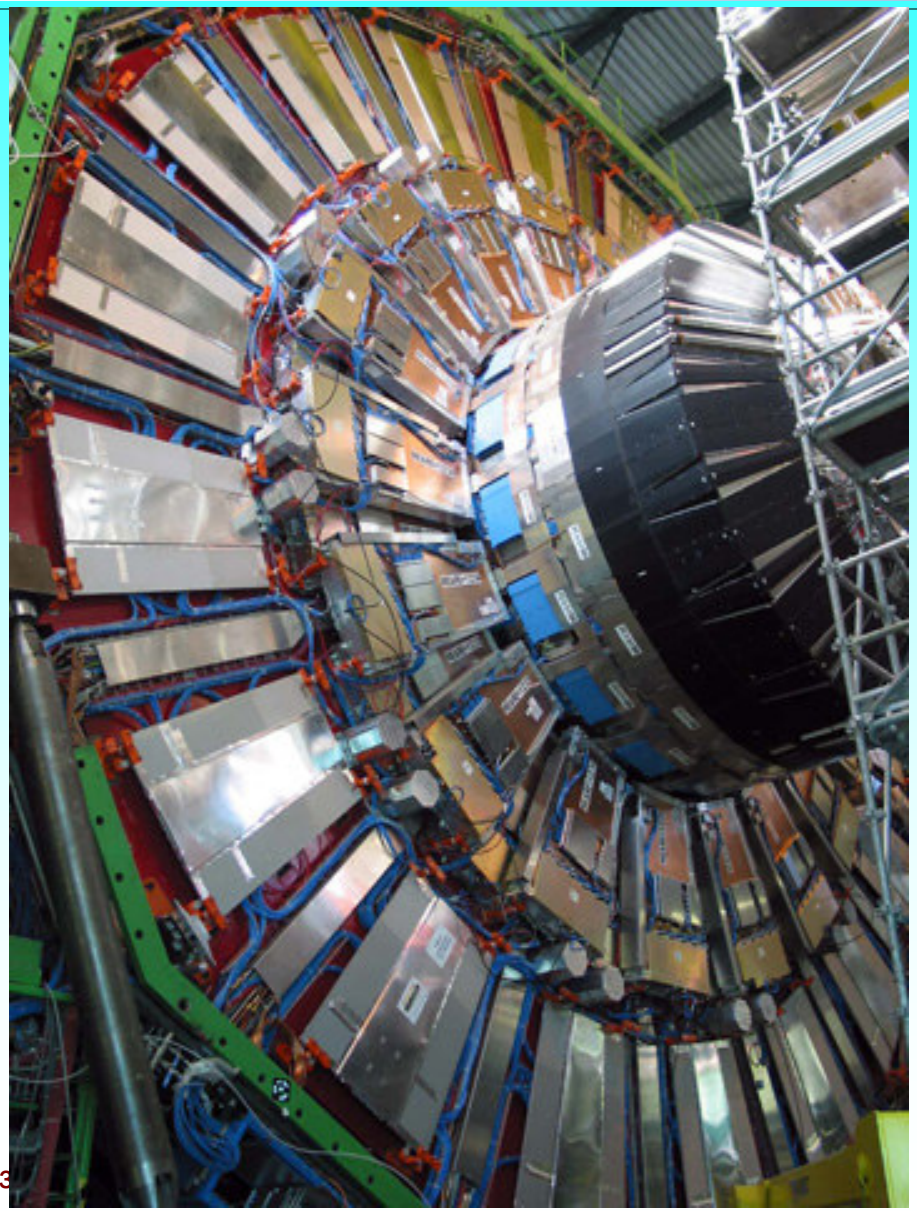
HCAL сцинтилатори



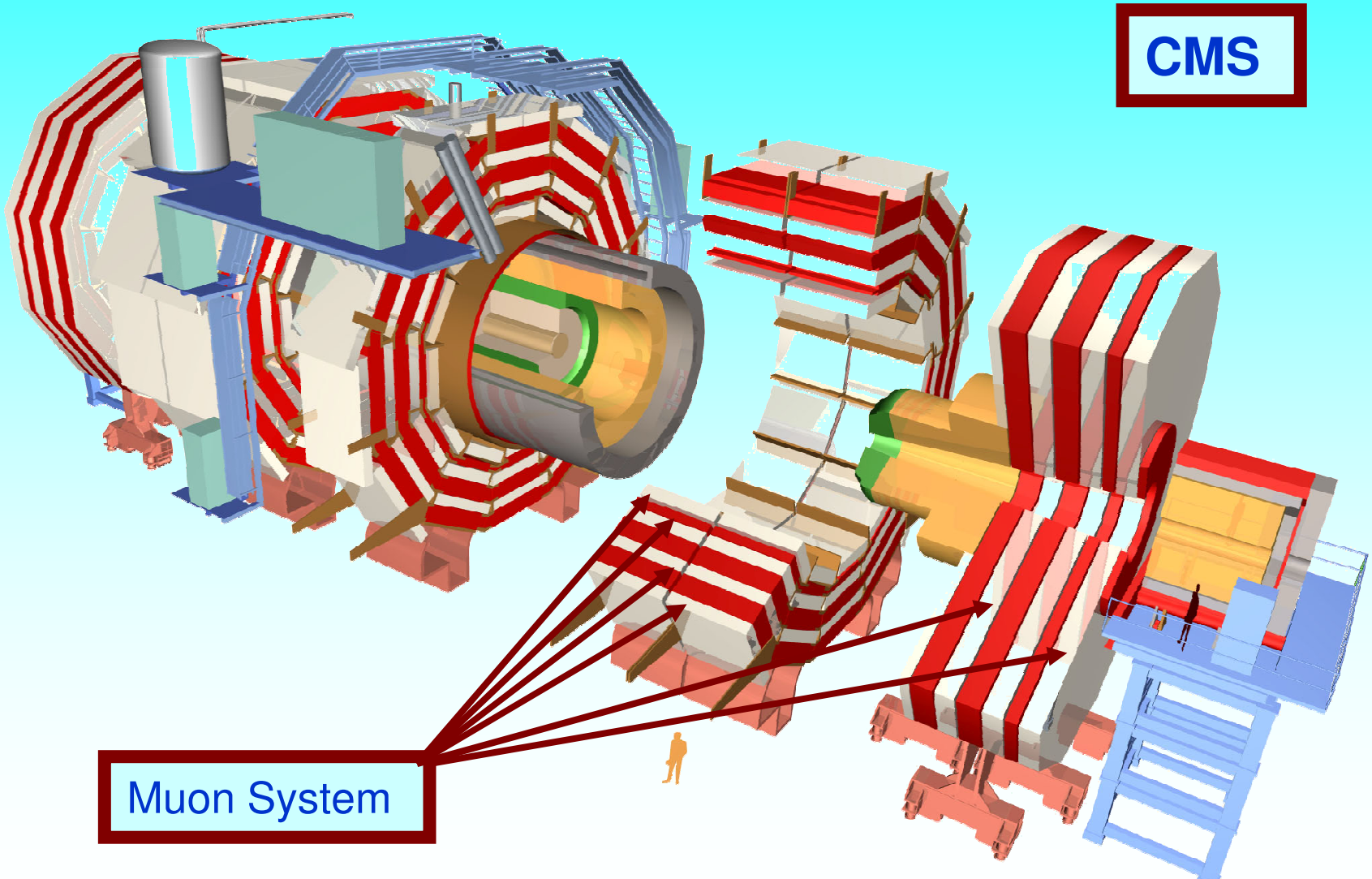


HCAL цилиндрична част

HCAL – затваряща част

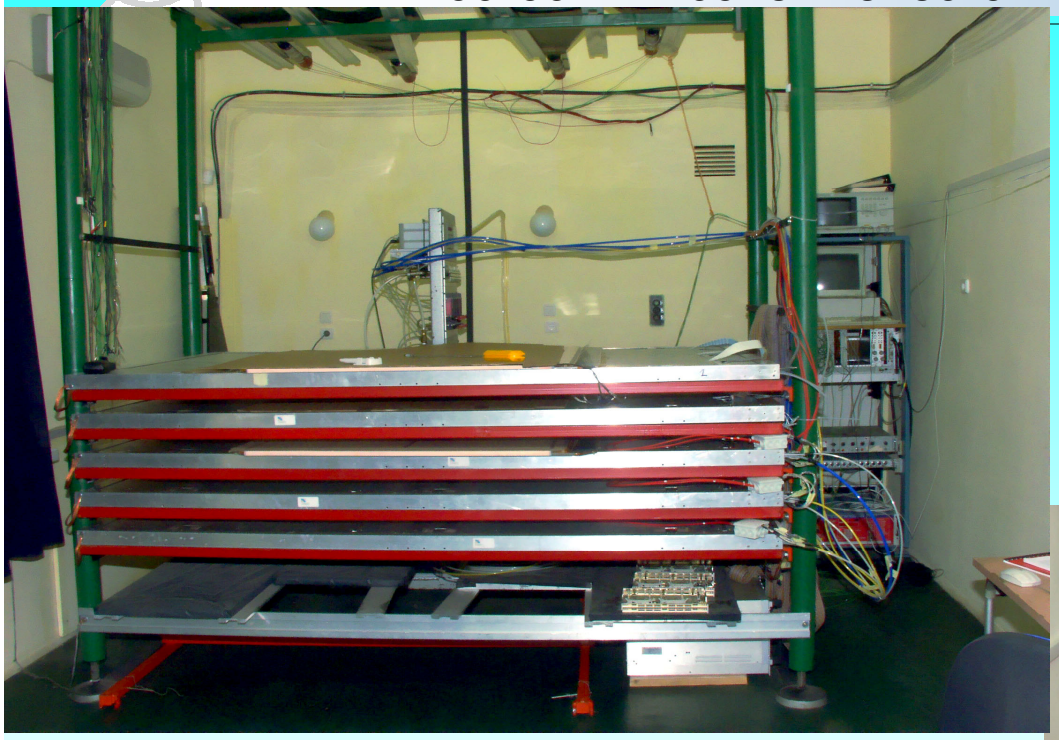


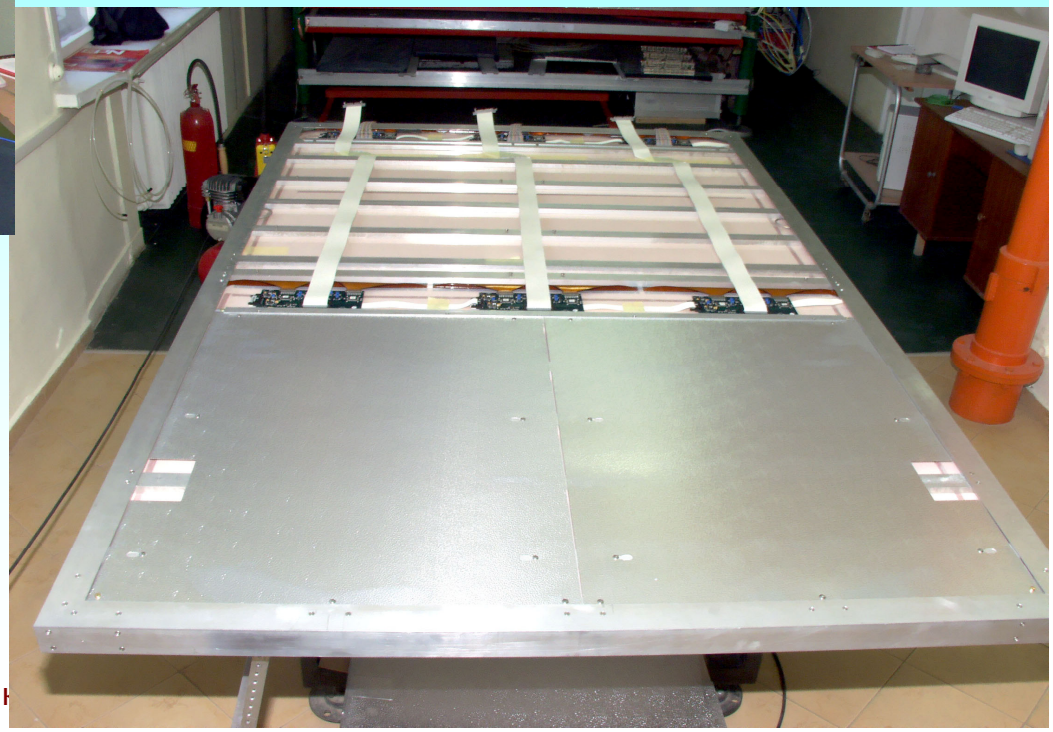
CMS: мюонна система



Камери със съпротивителна плоскост

София: маса за сглобяване на камери със съпротивителна плоскост и мюонен телескоп





Реконструиране на мюонни следи

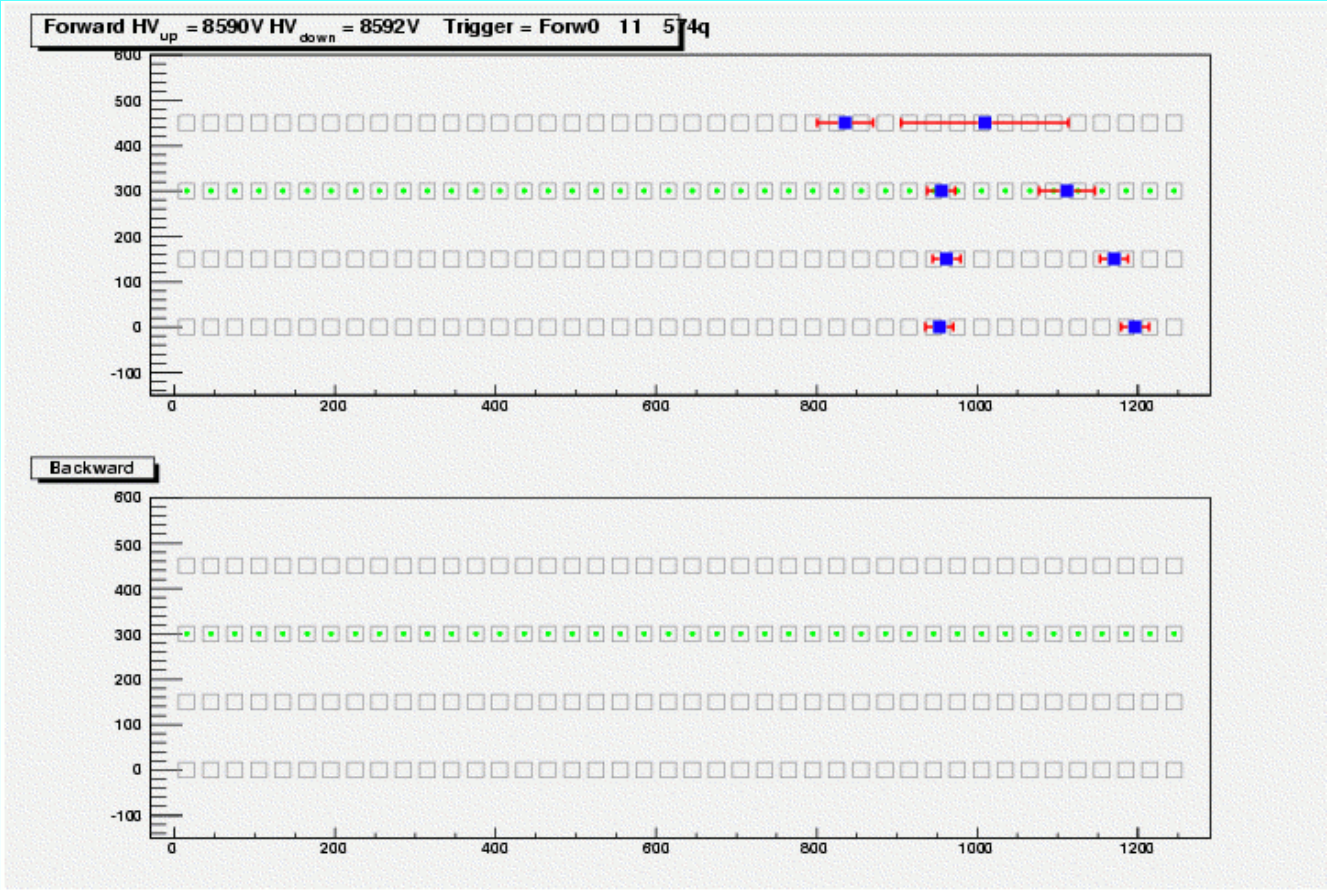
Брой камери = 4

Избор на тестова станция

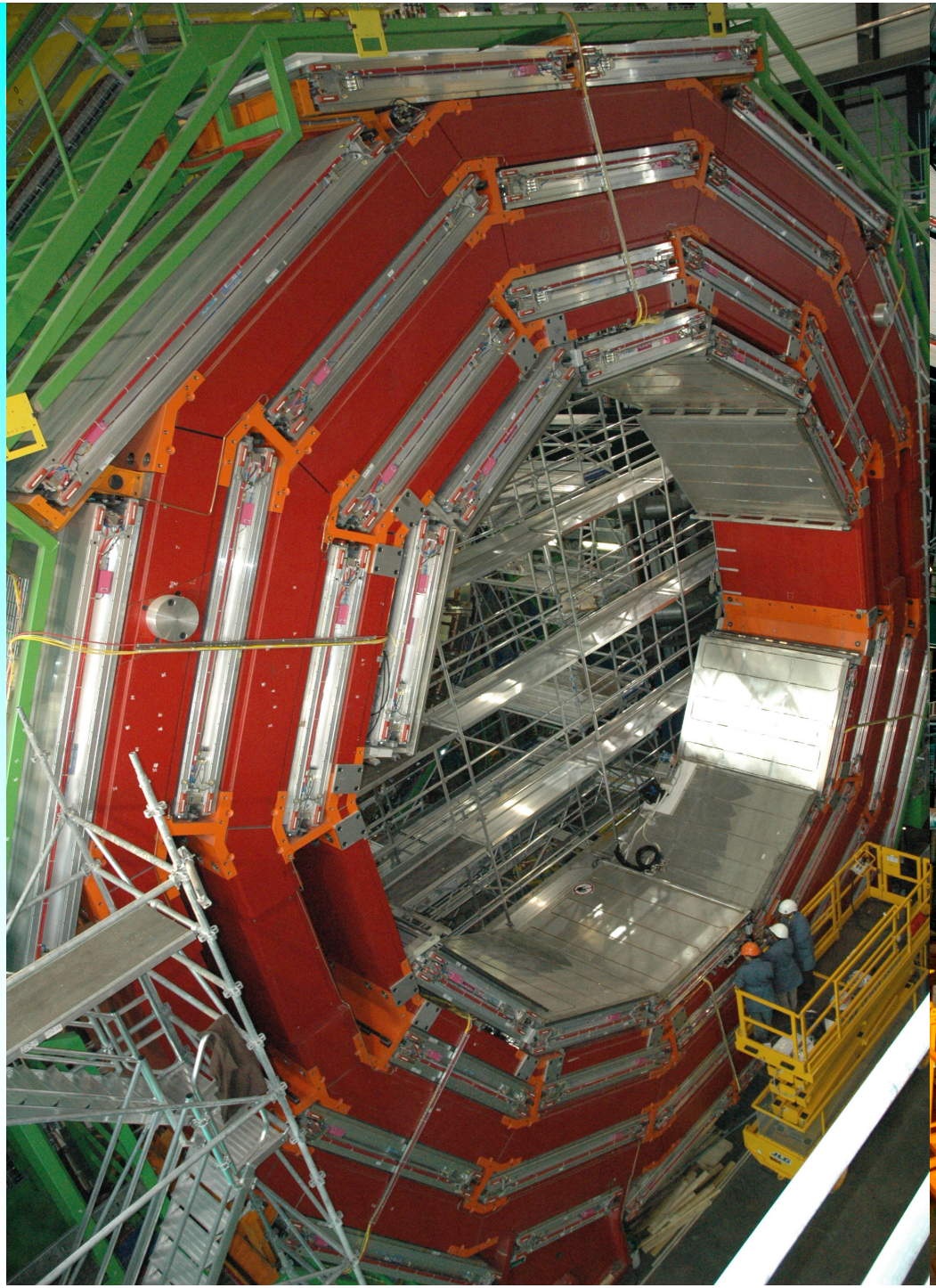
3 съвместими клъстера в рефените станции, точно по един във всяка, с големина ≤ 7

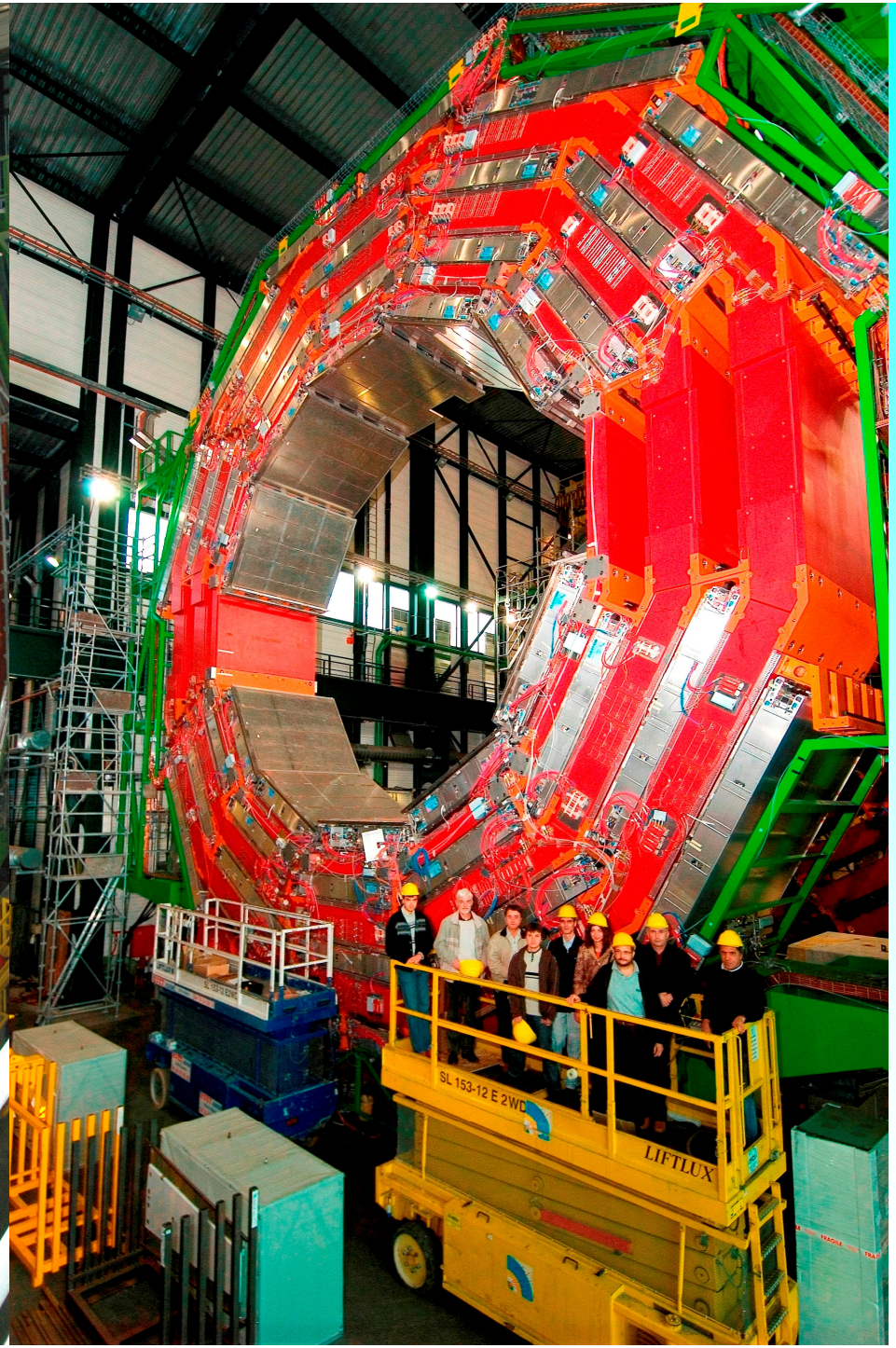
Реконструиране на мюонната следа

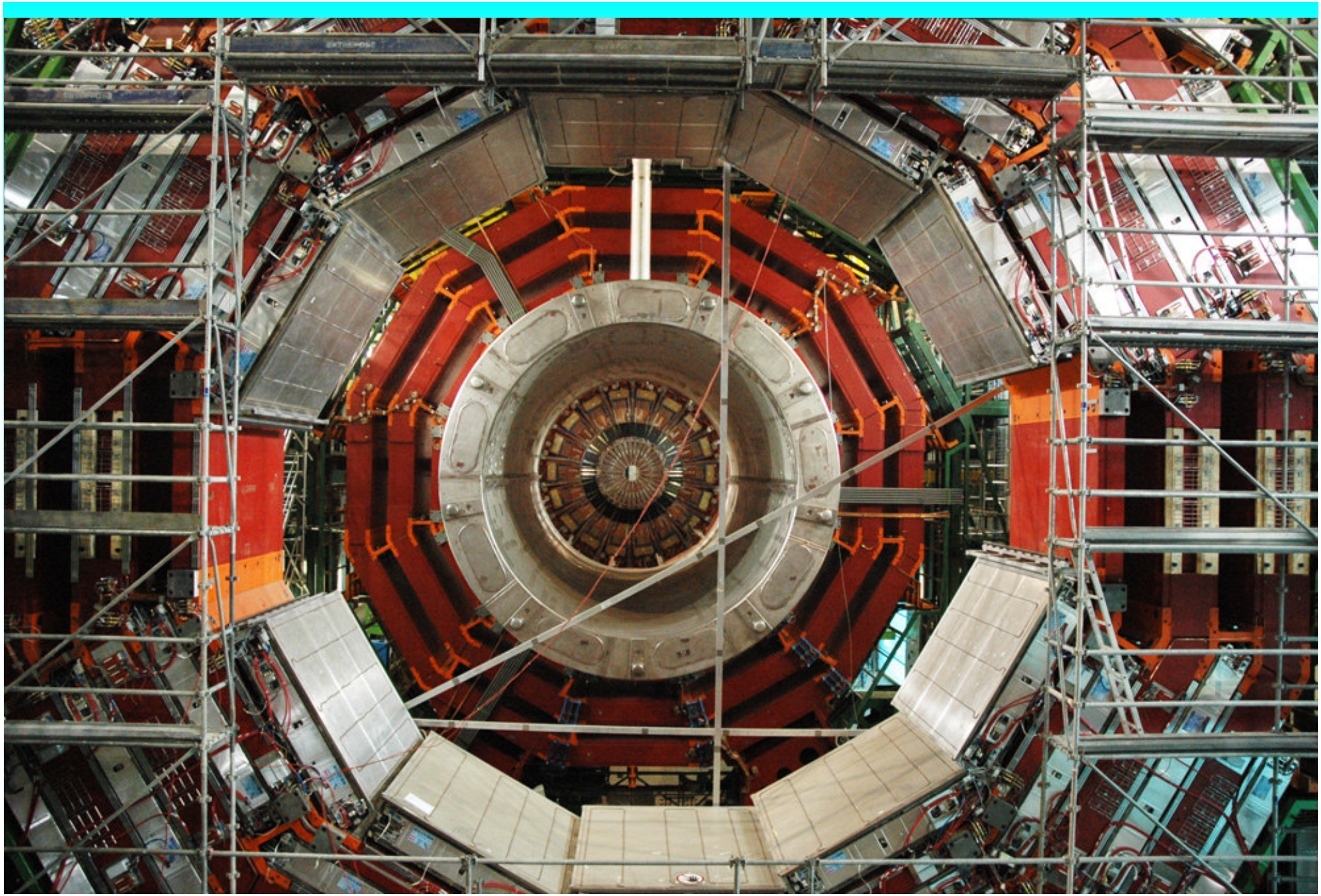
Камерата се счита за ефективна, ако в нея има клъстер съвместим със следата



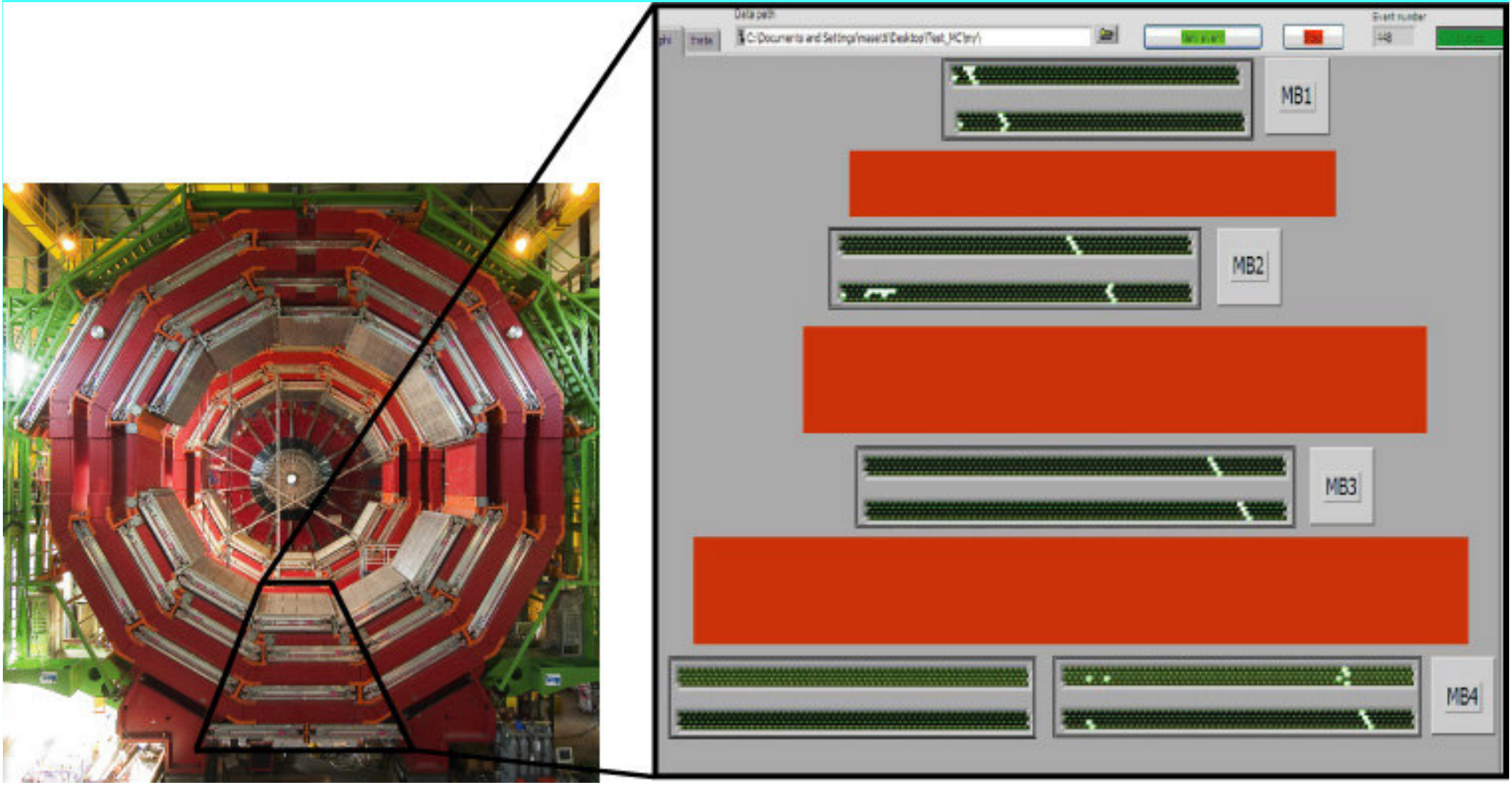

first chambers installed – June 2005




SL 153-12 E 2WD
LIFTLUX

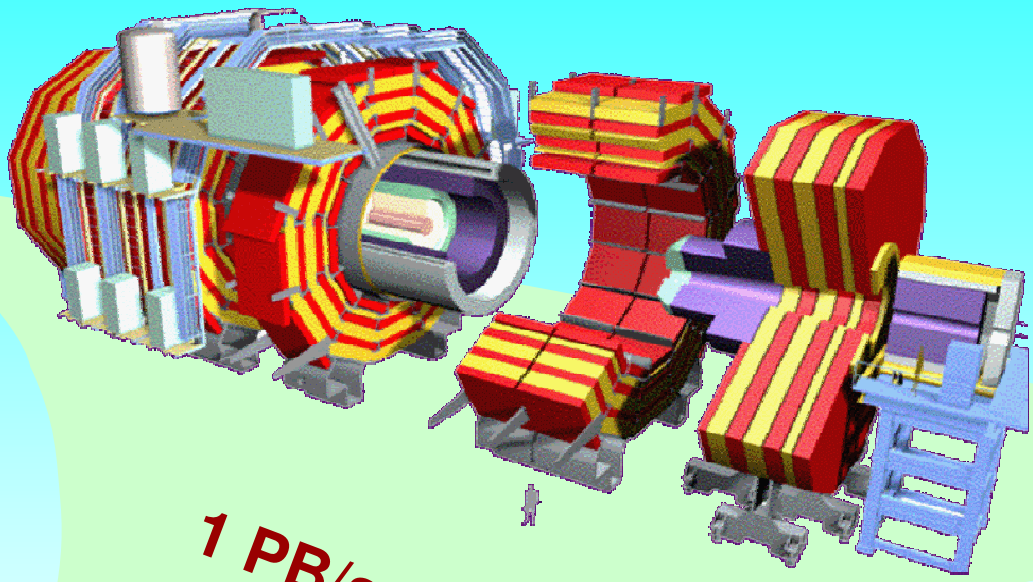


CMS Muon system



Grid

Grid



1 PB/sec

Филтриране в реално време:
Подбор на интересните събития
и компресия на данните

1 PB за година

Какво е Grid

- World Wide Web
  - позволява споделяне на информация
- Grid
  - споделяне на информация
  - споделяне на
    - ✓изчислителен ресурс
    - ✓дисково пространство (съхранение на информация)
    - ✓софтуер

Лаборатория по Grid технологии и ФЕЧ

Кои сме ние?

Групата по Физика на елементарните частици

Състав

Щат - 6

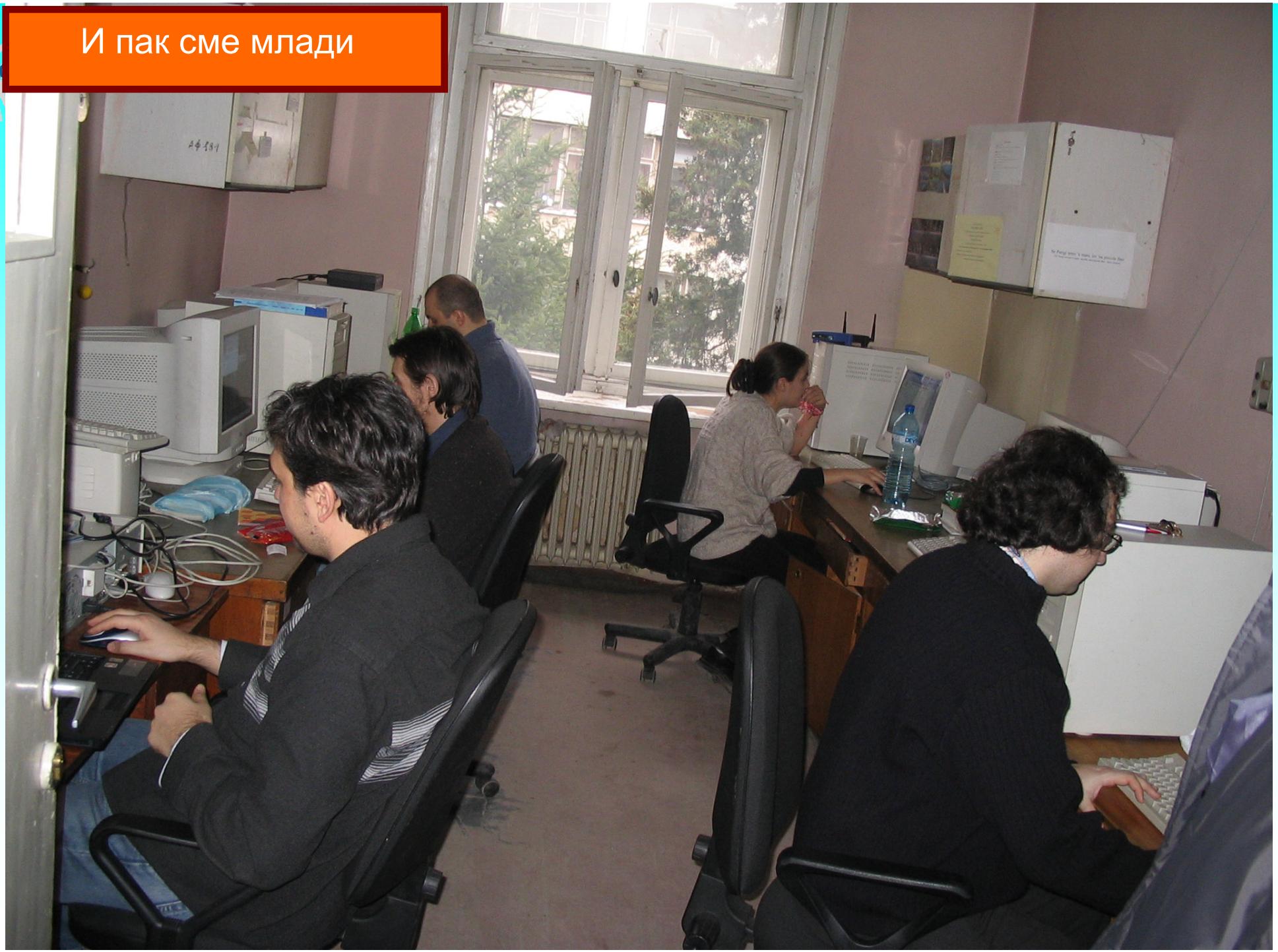
Докторанти – 10

Студенти – 5

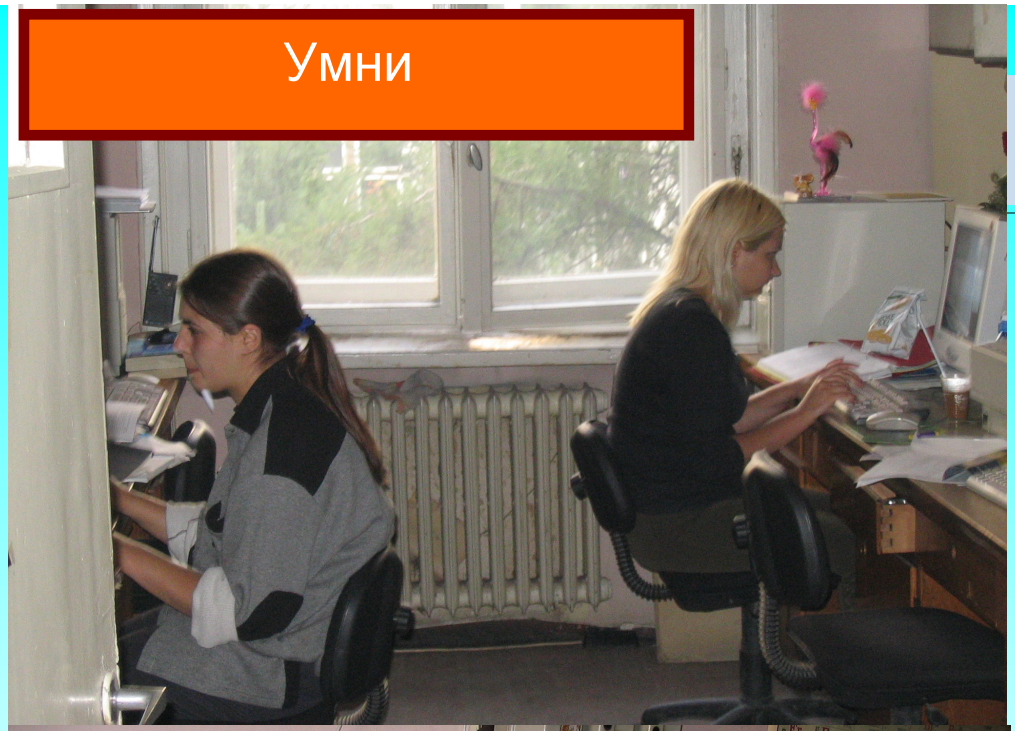
Общо 21 човека

Публикации – над 200

И пак сме млади



Умни



Красиви

Бъдеще

Светло!!!