



Въведение в Комплекса Ускорители на ЦЕРН и Системи за Тяхното Управление

*Александър Христов,
Зорница Захариева*

CERN, Accelerators Sector
Beams Department, Controls Group

Bulgarian Engineering Teachers Program

06.10.2015



Съдържание

- ➔ Част 1 – Комплексът от ускорители в ЦЕРН
- ➔ Част 2 – Преглед на управлението на ускорителите



Предизвикателството на микроскопичното

- ➔ Ускорители на елементарни частици - пътешествие в микро-света
- ➔ Откриването на суб-атомни частици е работа за гиганти



Ускорители на елементарни частици

- ➔ Придават скорост и увеличават енергията на сноп от частици с помощта на електрически полета, които ускоряват частиците и същевременно ги фокусират и насочват с помощта на магнитни полета
- ➔ Кръгови ускорители
- ➔ Линейни ускорители



Комплексът от ускорители – в началото ...

➔ 1954 – зелените поляни край Женева



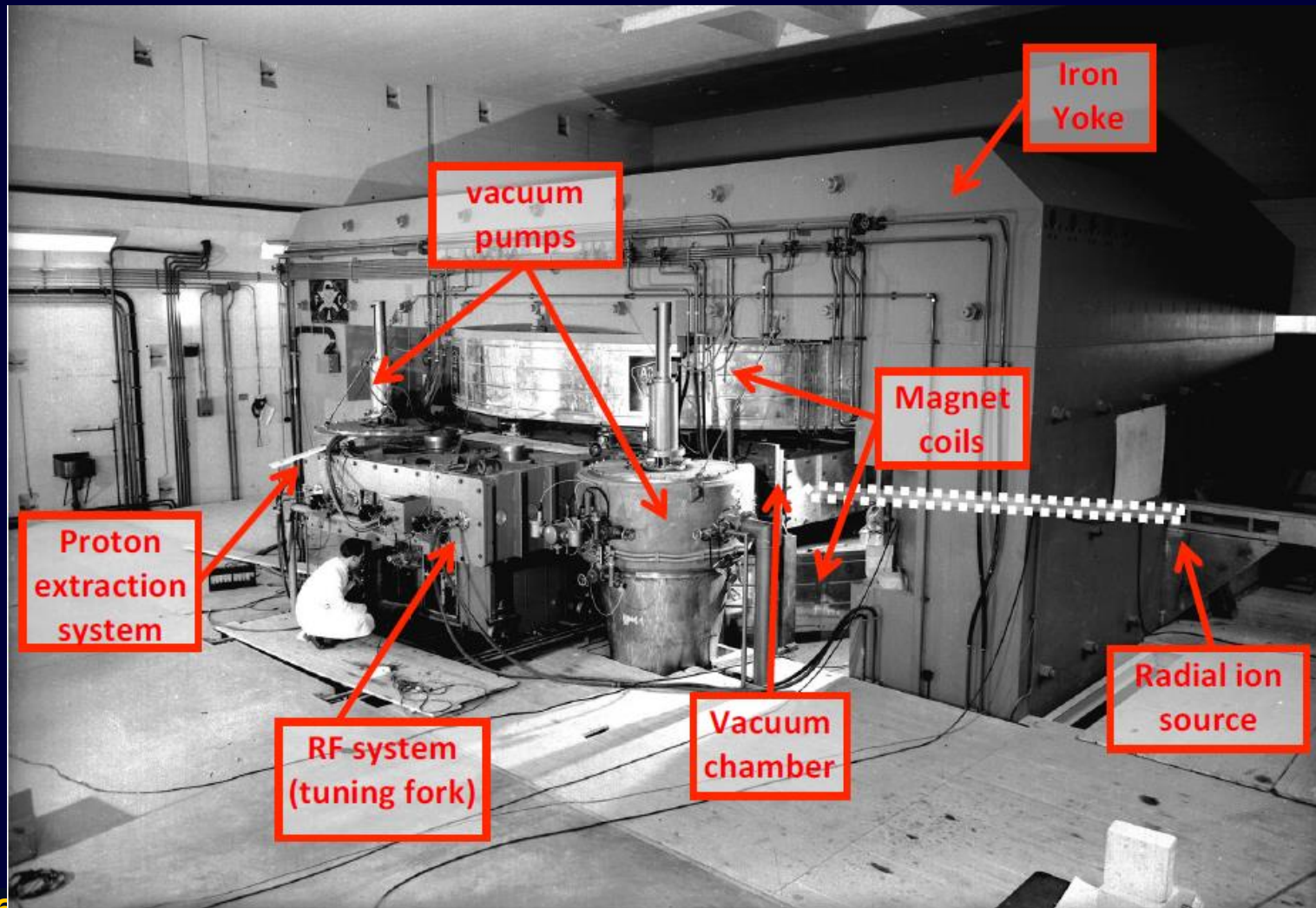
Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 1957 – първият ускорител е пуснат в експлоатация
 - ⇒ 600 MeV Synchrocyclotron (SC)
 - ⇒ Енергийните параметри на SC са предложени от Енрико Ферми
 - ⇒ Дизайнът на SC е започнат през 1953 (преди CERN да бъде поставен до Женева)
 - ⇒ Изграждането на SC започва през 1954
 - ⇒ SC е пуснат в експлоатация 1957
 - ⇒ Експерименталната програма започва през Април 1958



Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 1967 – 1990 – захранва ISOLDE
- ➔ Synchrocyclotron - спрян след 33 години служба през 1990



Комплексът от ускорители – важни събития

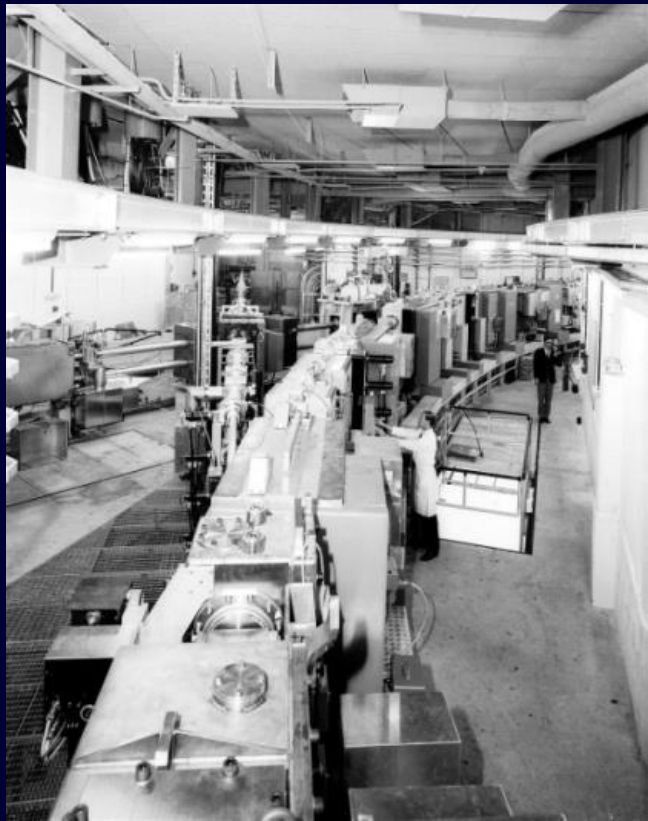
- ➔ 1959 – Proton Synchrotron (PS) е пуснат в експлоатация
 - ⇒ Първият синхротрон на CERN
 - ⇒ По това време (1959) това е най-мощния ускорител в света
 - ⇒ Изграден е от 277 електромагнита с конвенционално охлаждане, включващи 100 диполни магнита
 - ⇒ Най-старият, все още действащ ускорител в CERN



Комплексът от ускорители – важни събития

➔ Proton Synchrotron (PS)

- ➔ Между 1970 и 1976 подава снопове от мюон неутрино за Gargamelle Bubble Chamber
- ➔ Довежда до доказване съществуването на слаби неутрални токове (weak neutral currents) 1973



Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 1976 – Super Proton Synchrotron (SPS) е пуснат в експлоатация



- ➔ 1984 – Nobel prize winners Carlo Rubia & Simon van der Meer (W & Z bosons)



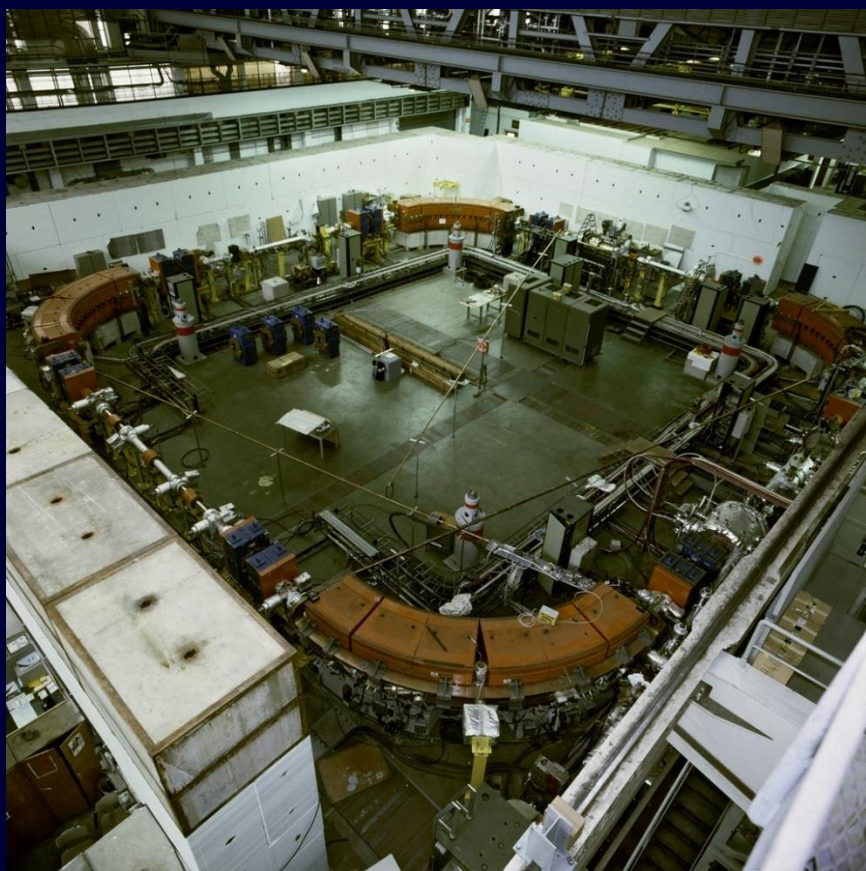
Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 1989 – Large Electron-Positron (LEP) е пуснат в експлоатация
 - ⇒ 1985 започват изкопните дейности по тунела
 - ⇒ 5176 магнита и 128/288 ускоряващи кухни
 - ⇒ ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL детектори
 - ⇒ 91 GeV / 1995 - 209 GeV



Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ Low Energy Antiproton Ring (LEAR)
- ➔ 1995 – anti-hydrogen (Walter Oelert)
 - ➔ Съществуването на анти-частици е предположение изказано от Пол Дирак през 1920

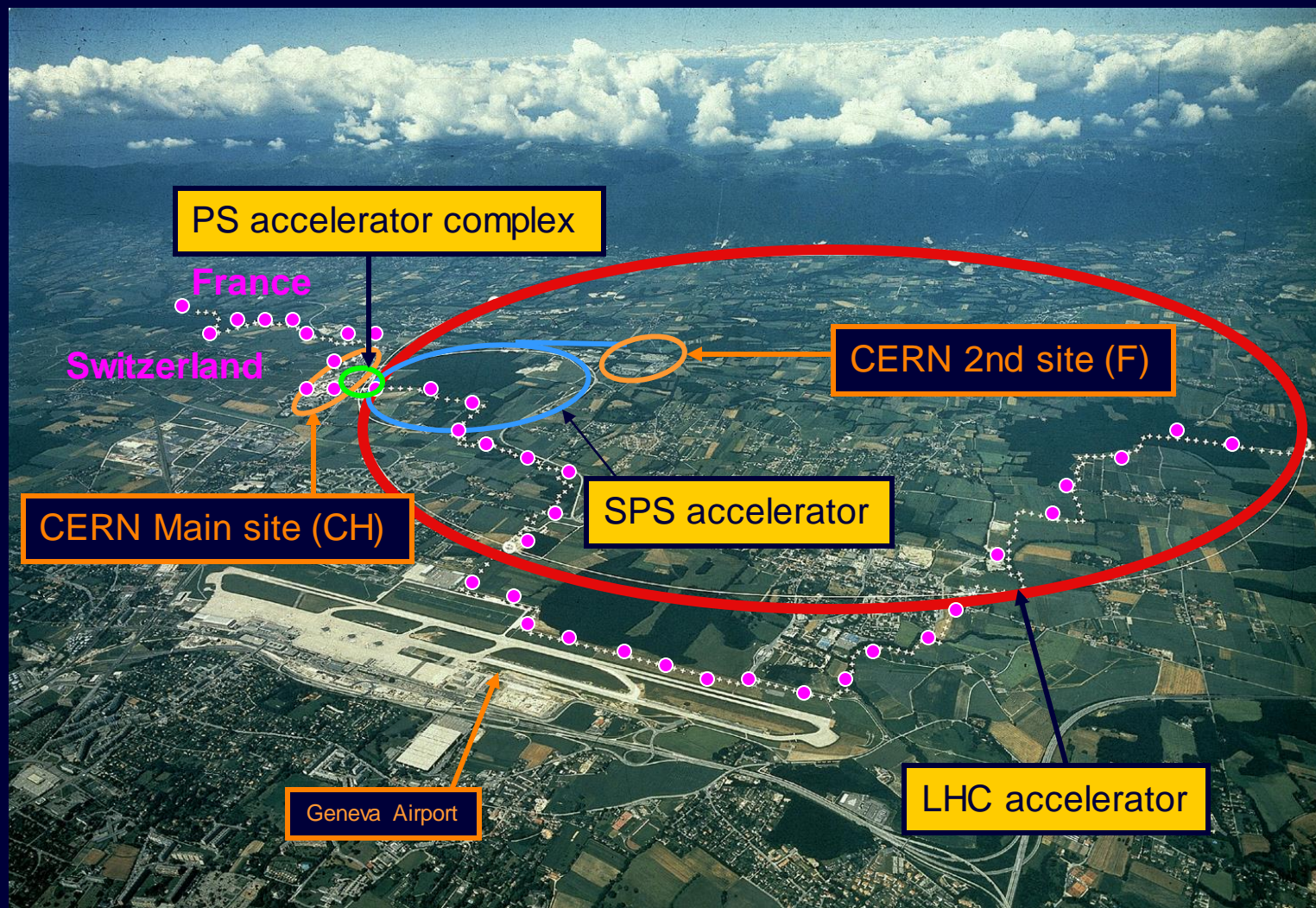


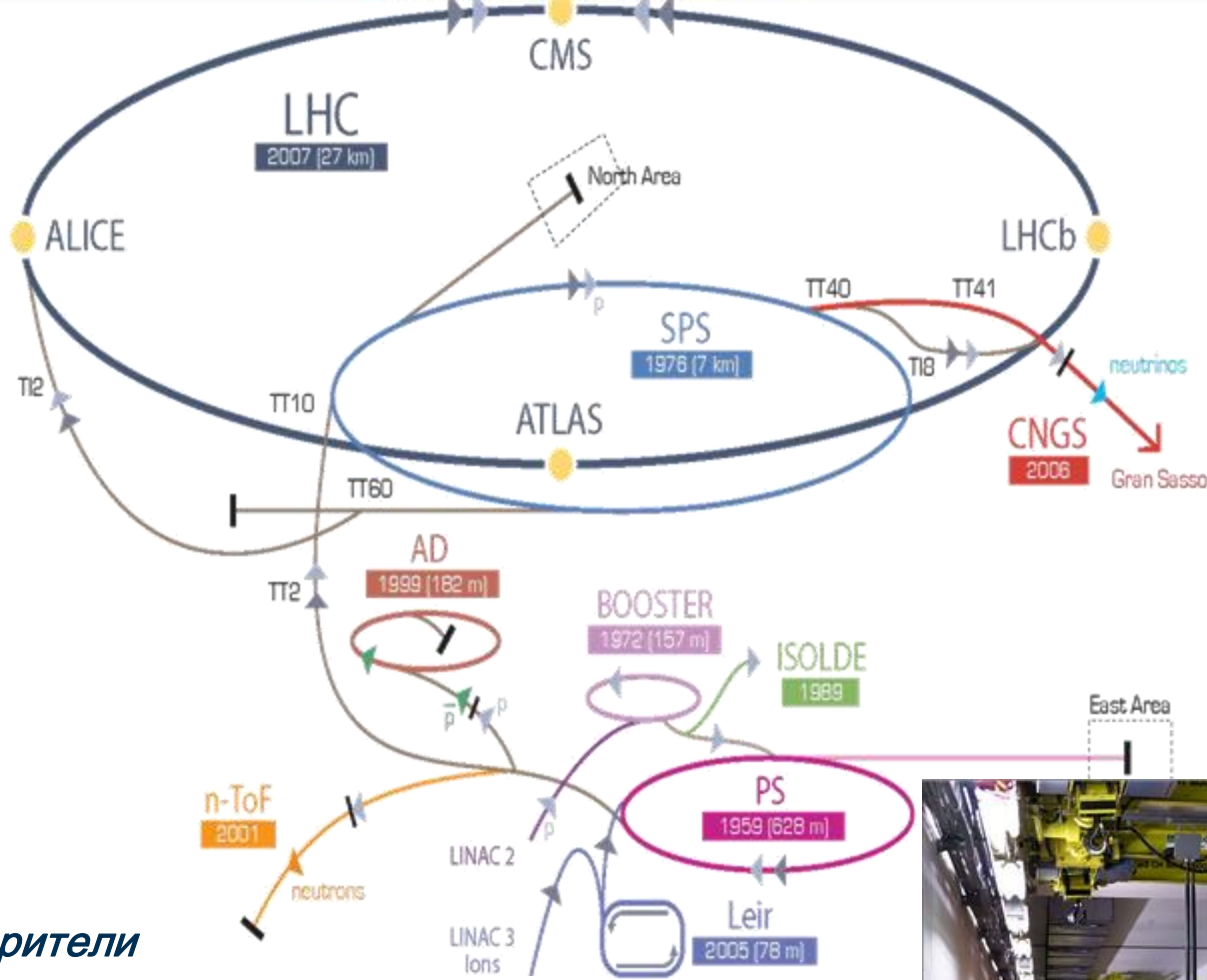
ЦЕРН – в днешно време

➔ Най-големият комплекс от ускорители в света



ЦЕРН – Комплекс от ускорители





LINAC 2



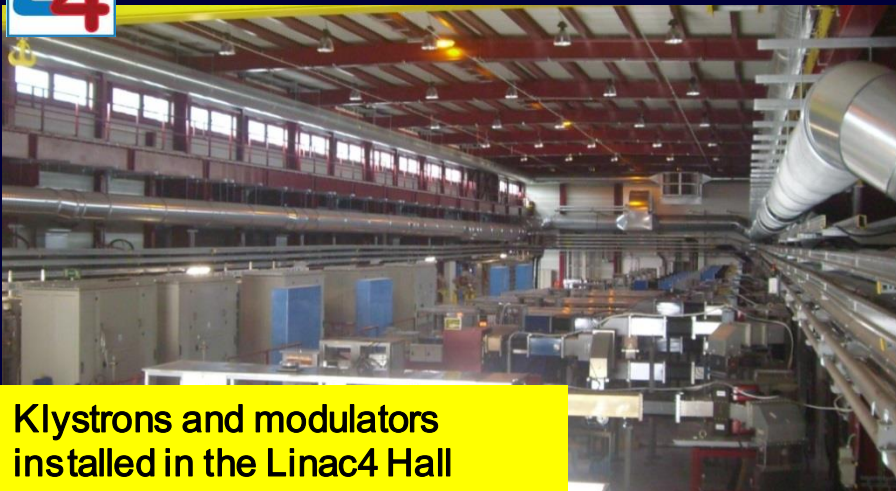
Ускорители

- LHC – Голям Адронен Колайдер
- SPS – Супер Протонен Синхротрон
- PS – Протонен Синхротрон
- AD – Антипротонен деселератор
- CTF3 – Тестов Стенд за Експеримента CLIC
- CNGS – Неутринен сноп от ЦЕРН за Гран Сасо
- ISOLDE – Установка за изучаване на Ядрени Изотопи
- LEIR – Пръстен за Йони с Ниски Енергии
- LINAC 2 – Линеен Ускорител 2
- N-TOF – Неутрона Установка

Снопове:

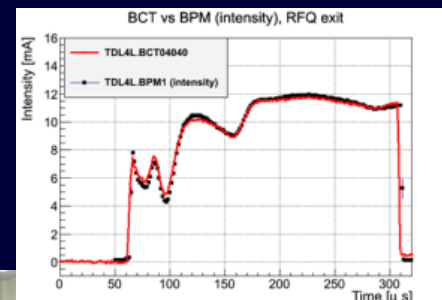
- ▶ Протони
- ▶ Йони
- ▶ Неутрони
- ▶ Антипротони
- ▶ Неутрина
- ▶ Електрони

Linac4

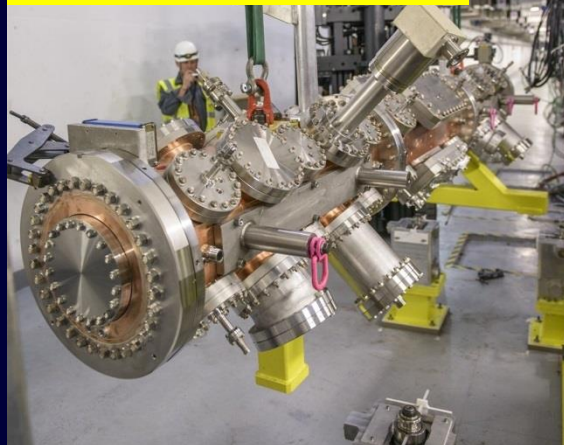


Klystrons and modulators installed in the Linac4 Hall

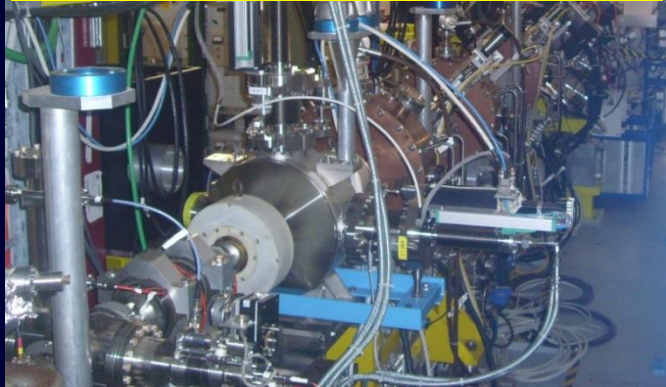
A cheering crowd celebrating the first beam accelerated by the RFQ on the Test Stand (13.3.13)



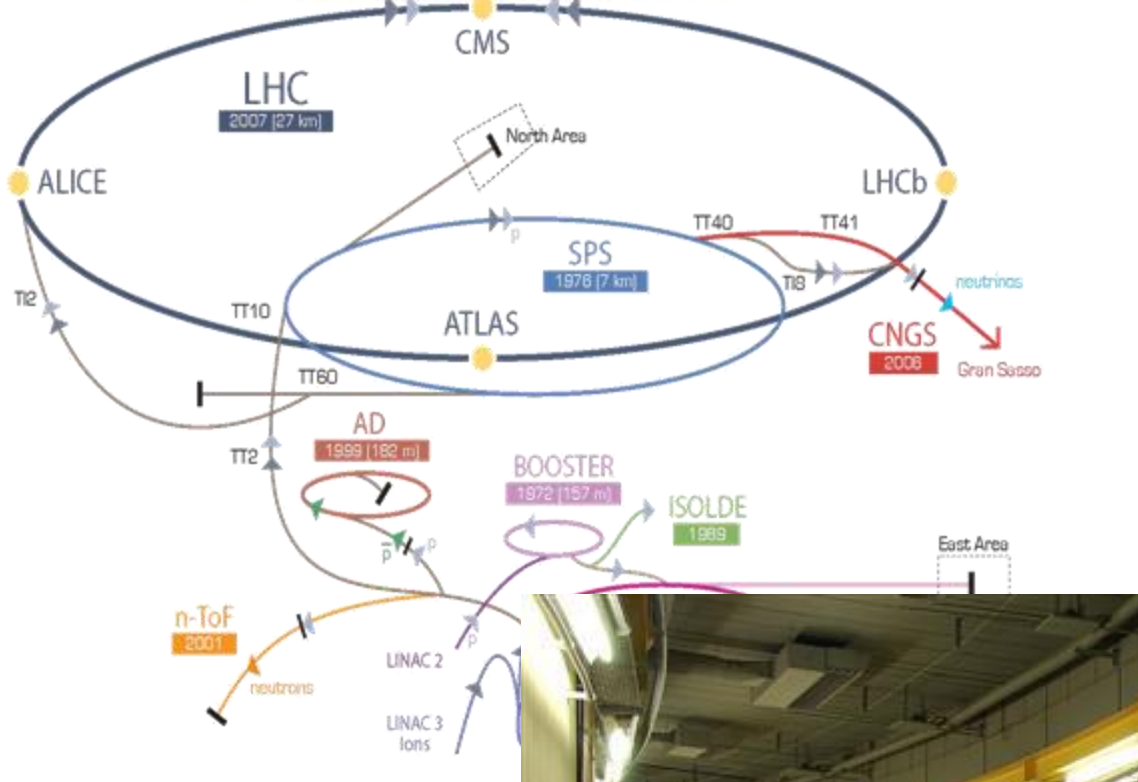
The RFQ installed in its final location in the tunnel, 25.6.13



7.11.2013: ready for 3 MeV beam tests in the tunnel!

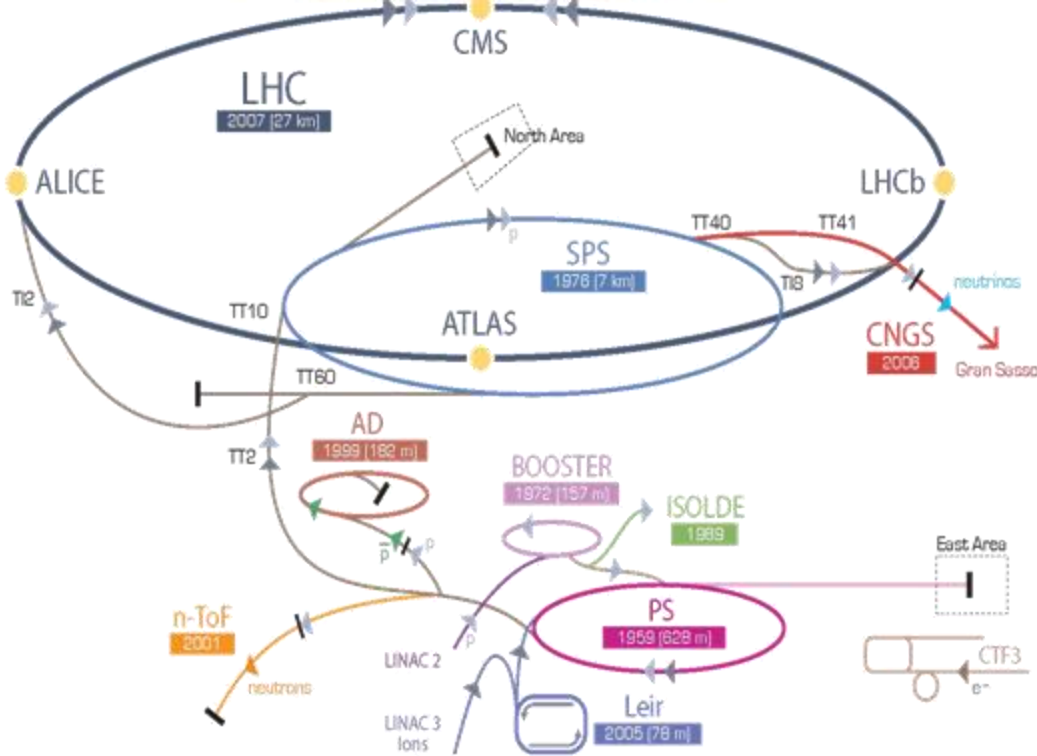


Open Days 2013: 2'500 visitors!



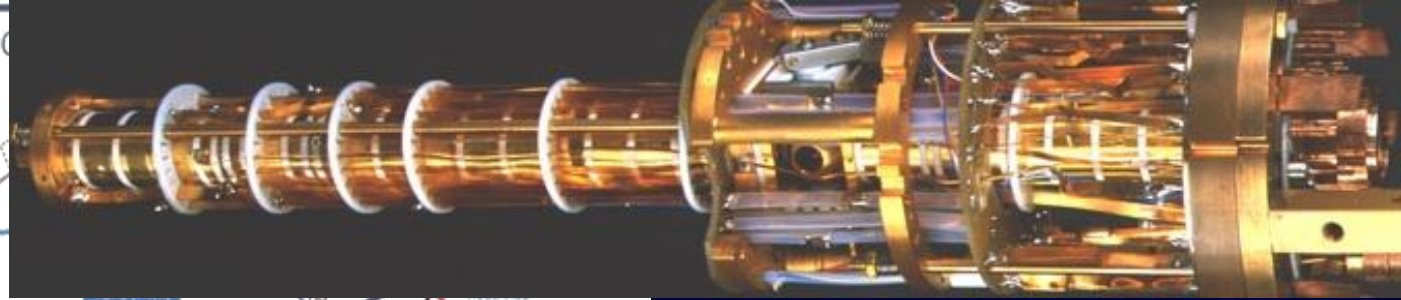
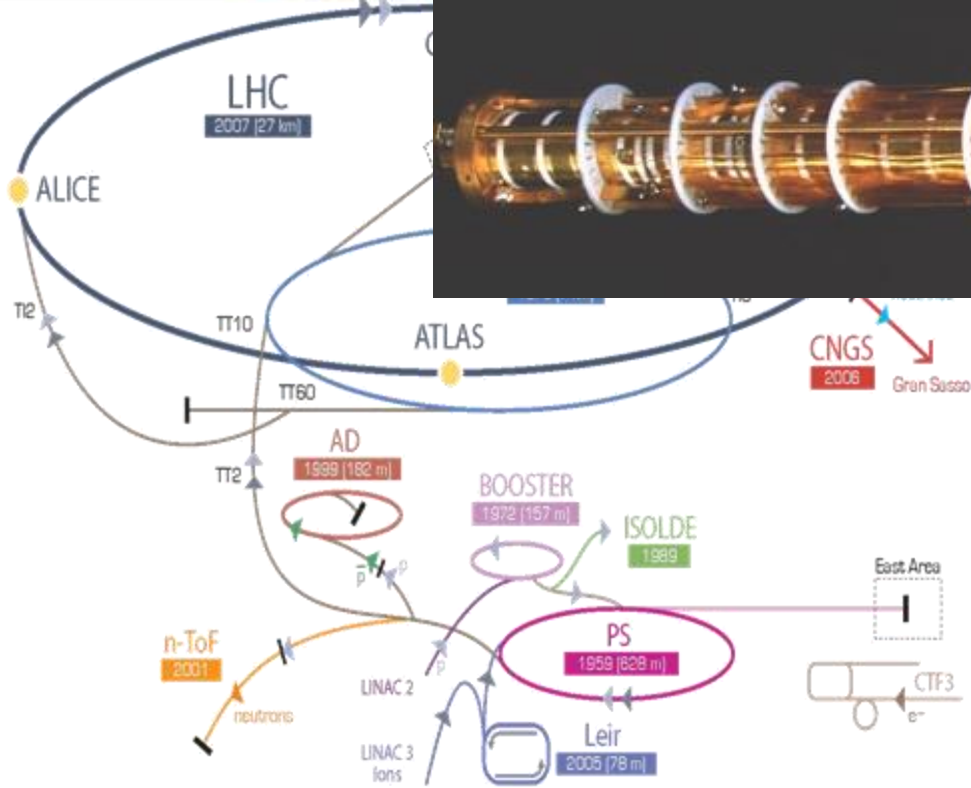
➔ Booster





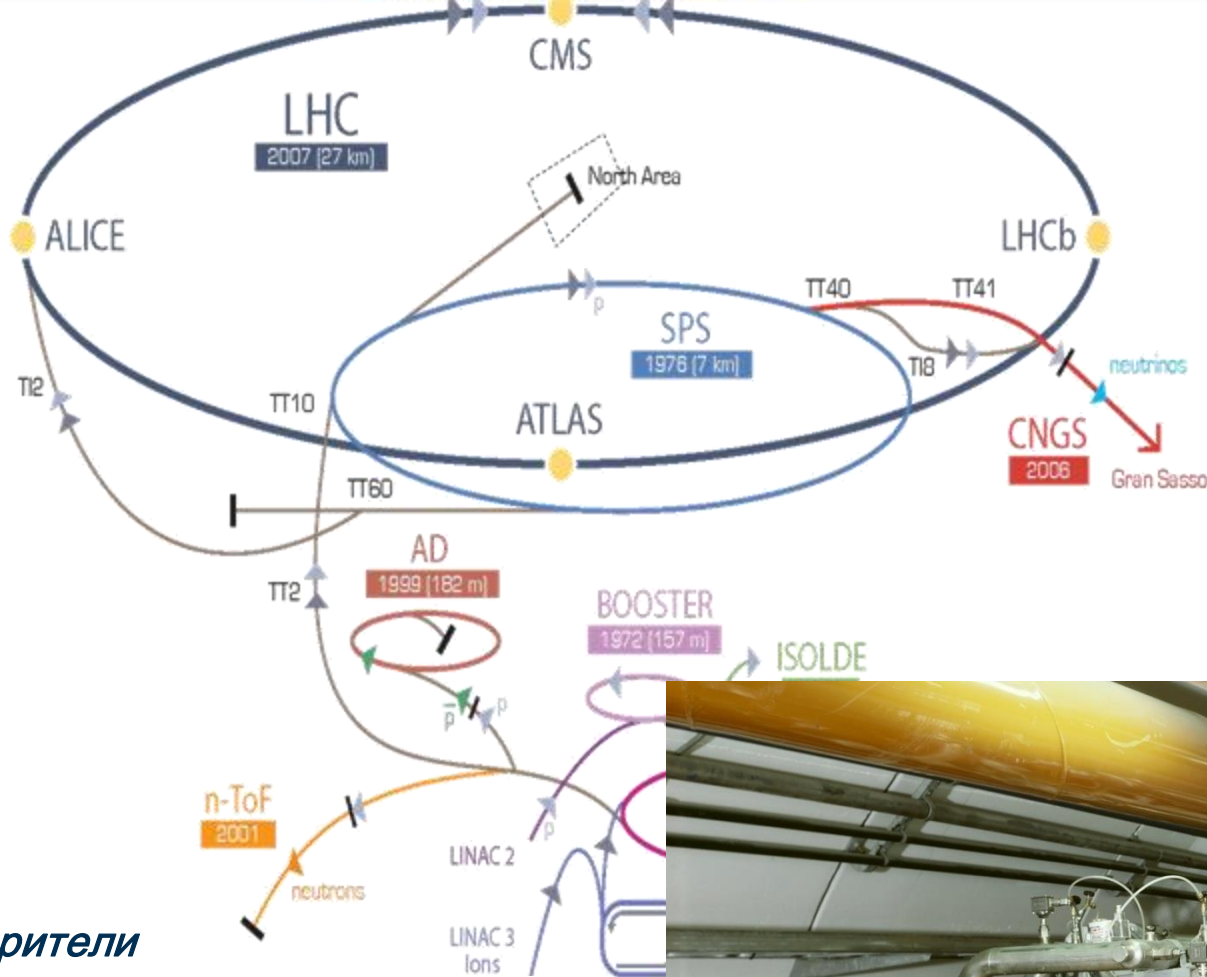
➡ Proton Synchrotron (PS)



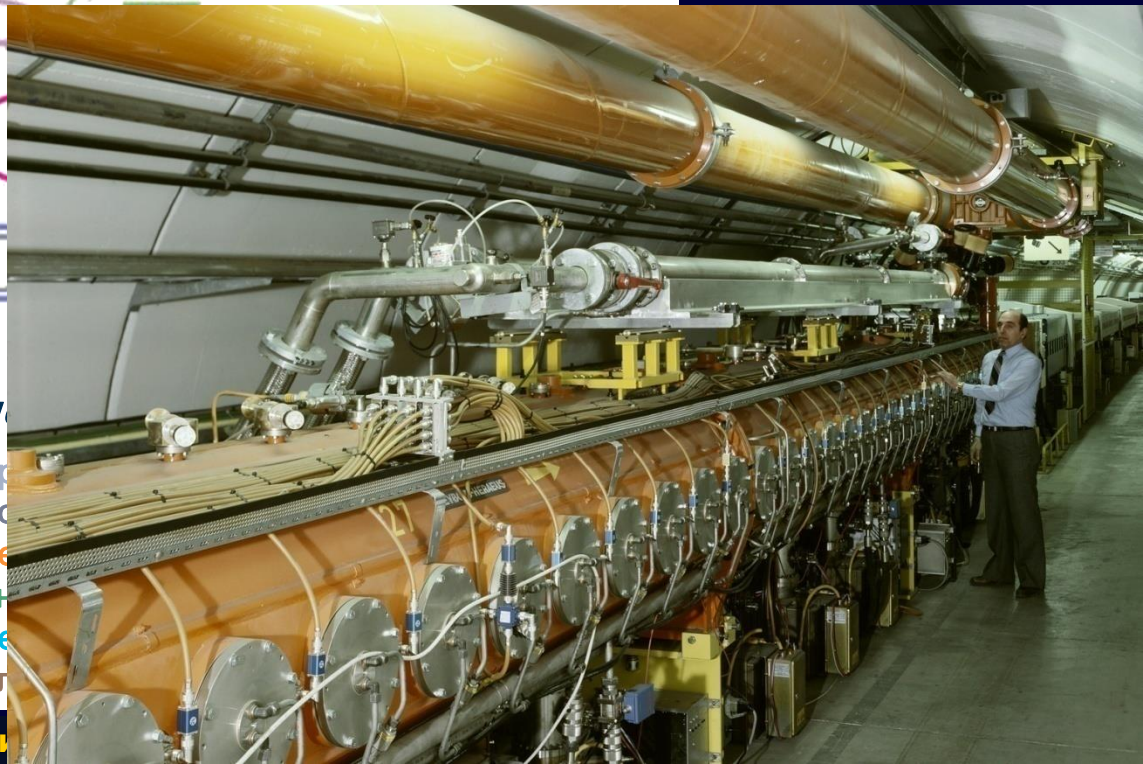


➡ Antiproton Decelerator (AD)





➔ Super Proton Synchrotron (SPS)

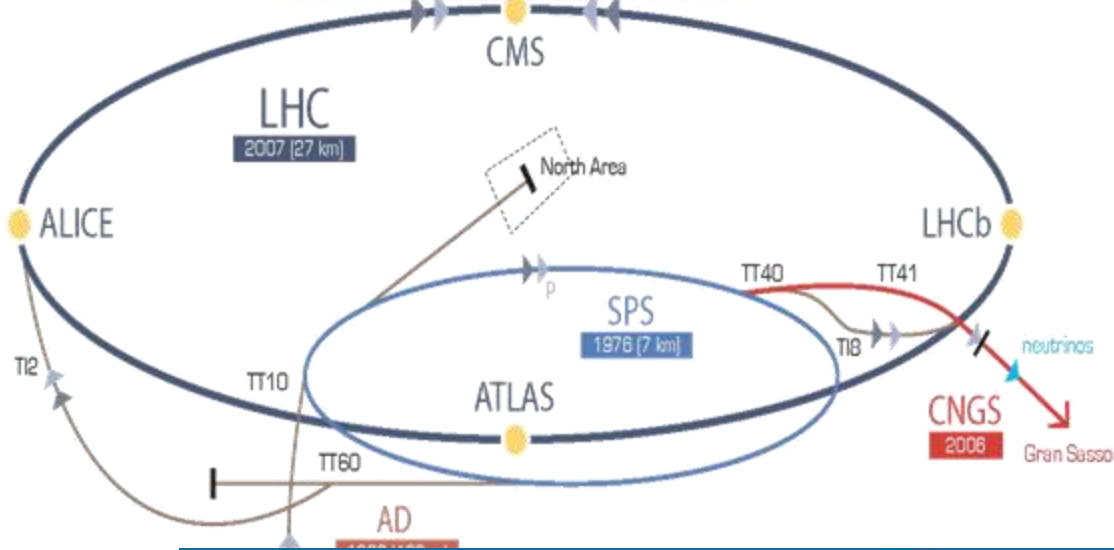


Ускорители

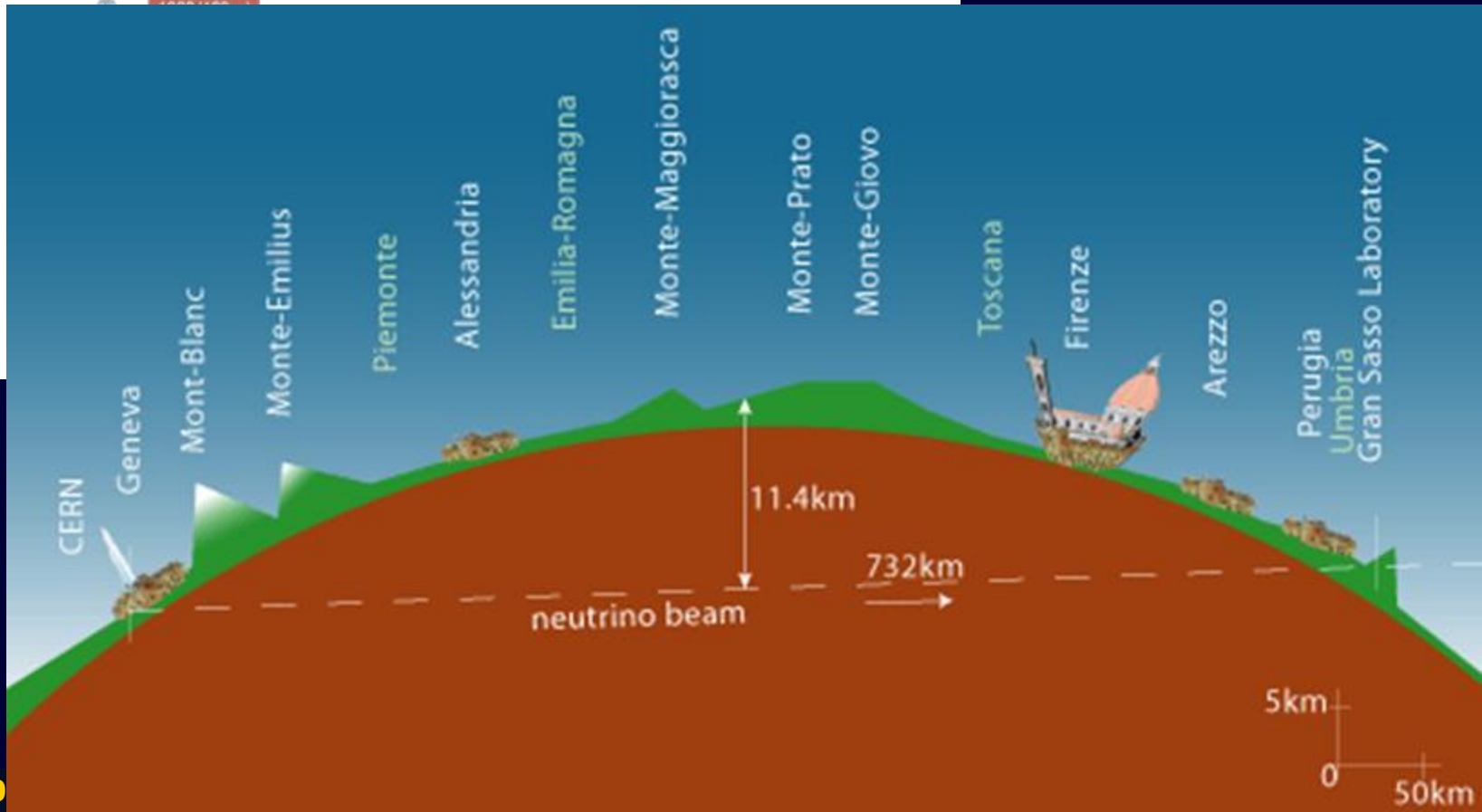
- LHC – Голям Адронен Колайдер
- SPS – Супер Протонен Синхротрон
- PS – Протонен Синхротрон
- AD – Антипротонен деселератор
- CTF3 – Тестов Стенд за Експеримента CLIC
- CNGS – Неутринен сноп от ЦЕРН за Гран Сасо
- ISOLDE – Установка за изучаване на Ядрени Изотопи
- LEIR – Пръстен за Йони с Ниски Енергии
- LINAC 2 – Линеен Ускорител 2
- N-TOF – Неутрона Установка

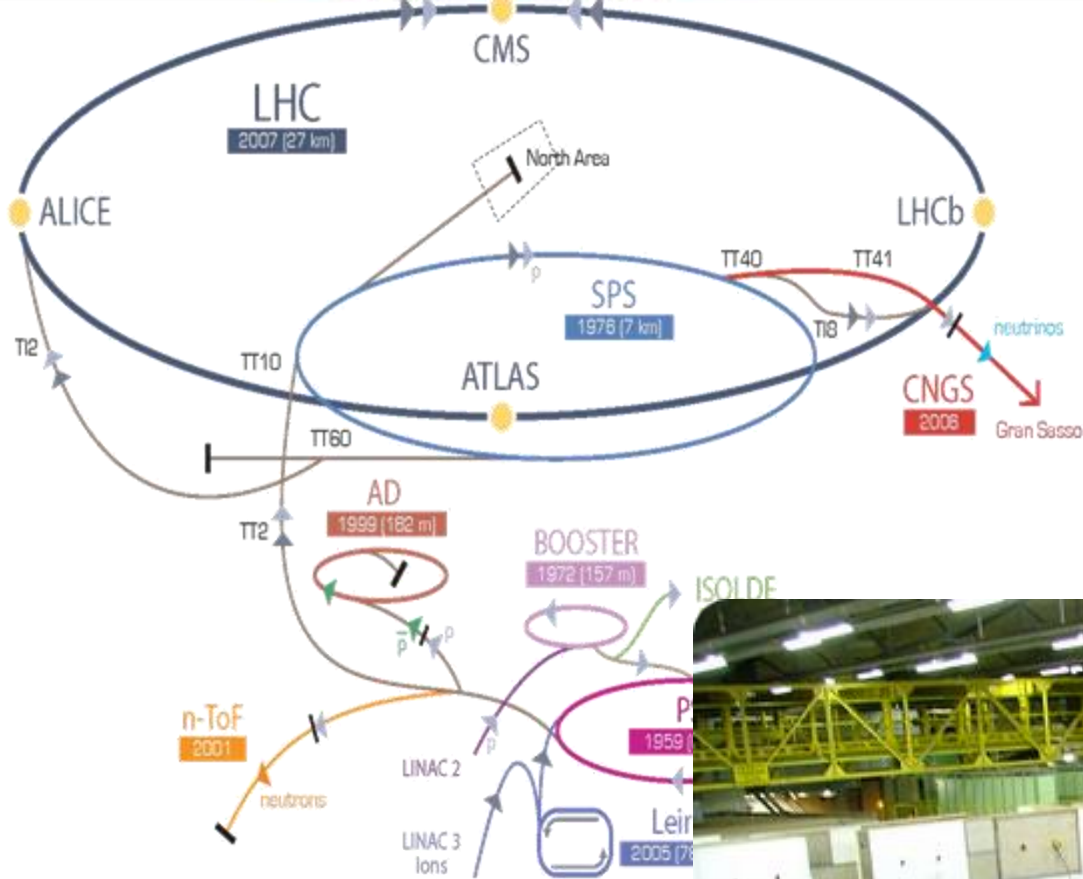
Синхротрони

- ▶ Пр
- ▶ Й
- ▶ Н
- ▶ А
- ▶ Н
- ▶ Е



➔ CERN
Neutrino to
Gran Sasso
(CNGS)





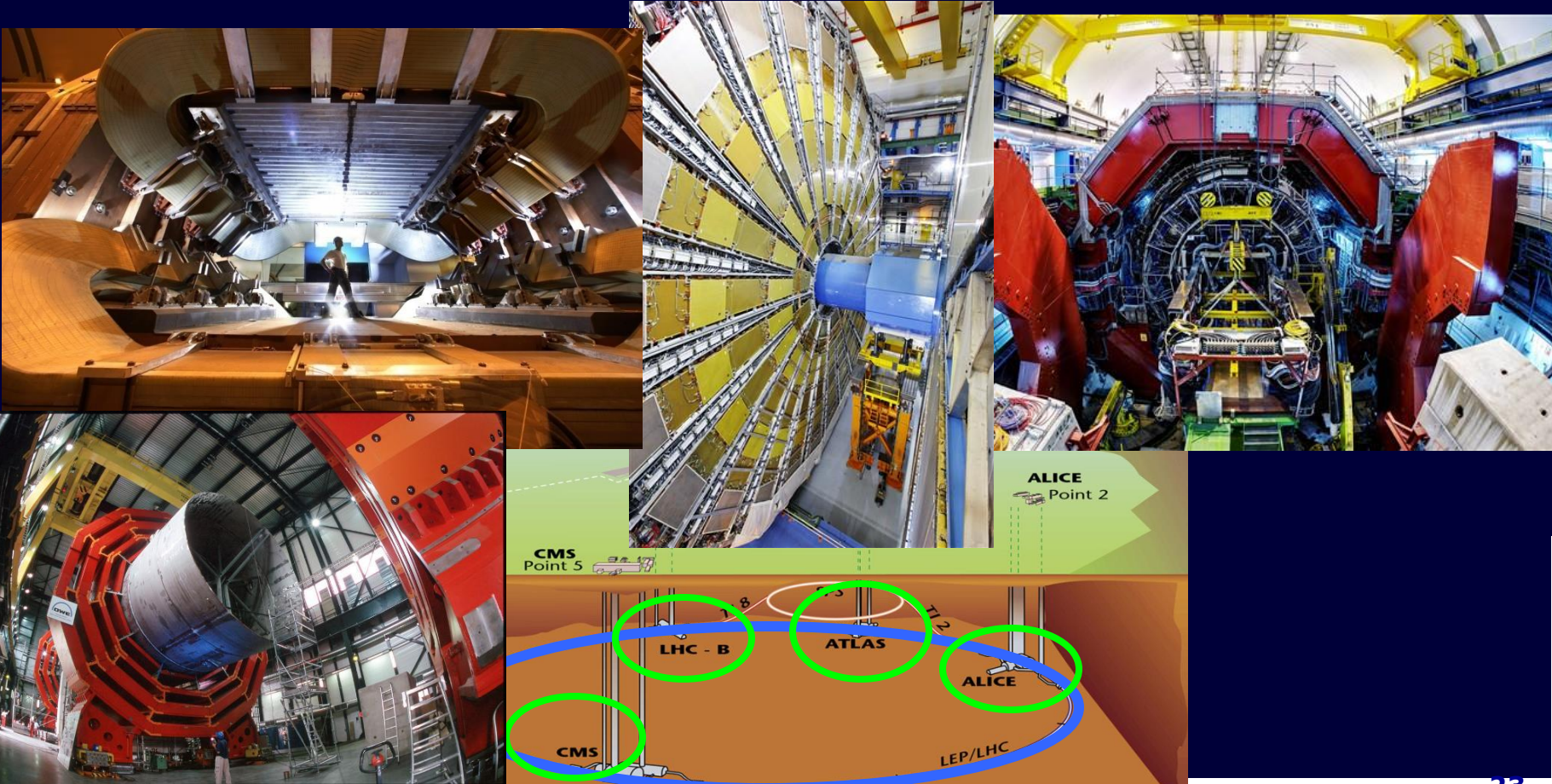
➡ Low Energy
 ➡ ~~High Energy~~
 (LEIR)



Големият Адронен Колайдер - LHC

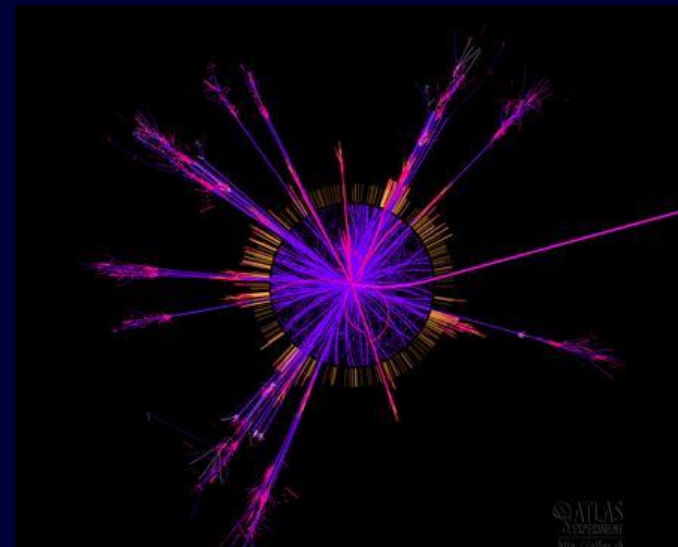
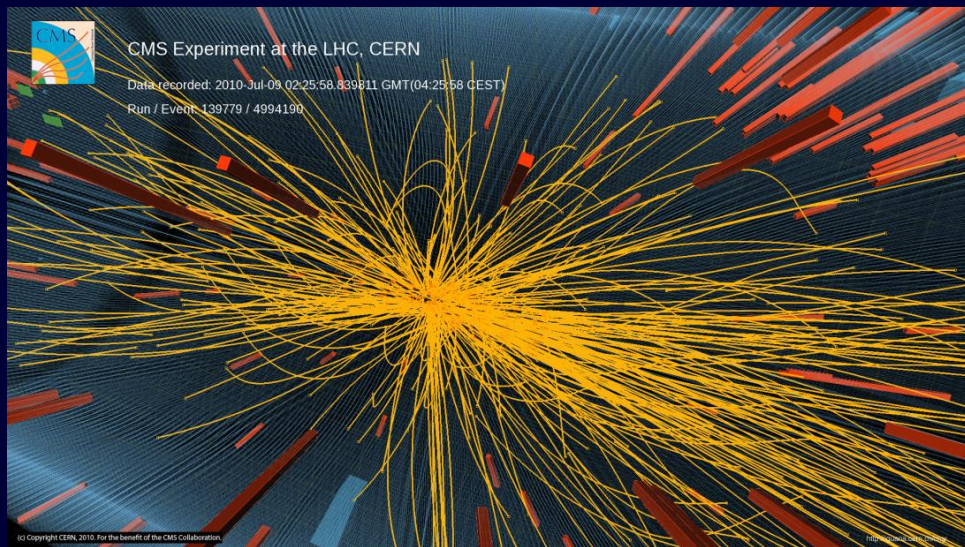


- ➡ Най-мощния инструмент някога създаван за изследване на елементарни частици
- ➡ Най-големият ускорител в света - 27km , 100m под земната повърхност
- ➡ 4 подземни каверни съдържащи огромни детектори



Големият Адронен Колайдер (LHC)

- ➔ Най-бързата “писта” на планетата
 - ➔ Сноп от протони обикалят в LHC 11 245 пъти/s
 - ➔ 16 microns диаметър на сечението на снопа от частици
 - ➔ 99.9999991% от скоростта на светлината
 - ➔ 600 милиона сблъсъка в секунда
- ➔ Сноп от частици с най-високи енергийни нива в света – 4 TeV (7TeV)
- ➔ Висока степен на вакуум (ultra-high vacuum – 10^{-13} atm)



Магнитни Модули в LHC

- ➔ Приблизително 10 000 магнита
 - ⇒ 1232 dipoles, 15м дължина, 8.4 Tesla , 11 700 A
 - ⇒ 392 quadrupoles, 5-7м дължина
- ➔ Енергия в магнитите : 10 GJ или 2.5 тона TNT
- ➔ Работещ при температура малко над абсолютната нула (1.9 K)



Магнитно – Криостатен Монтаж & Тест

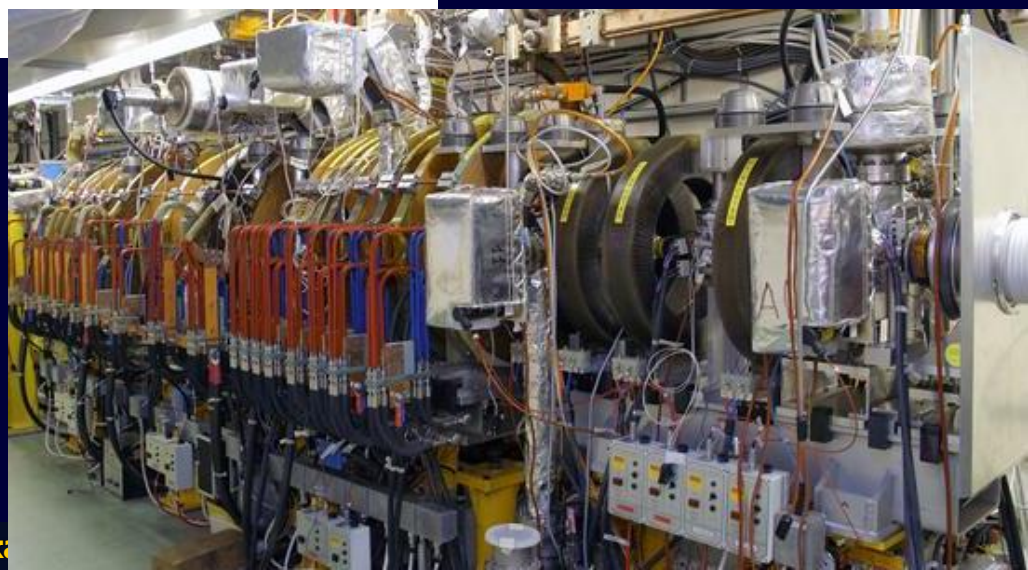
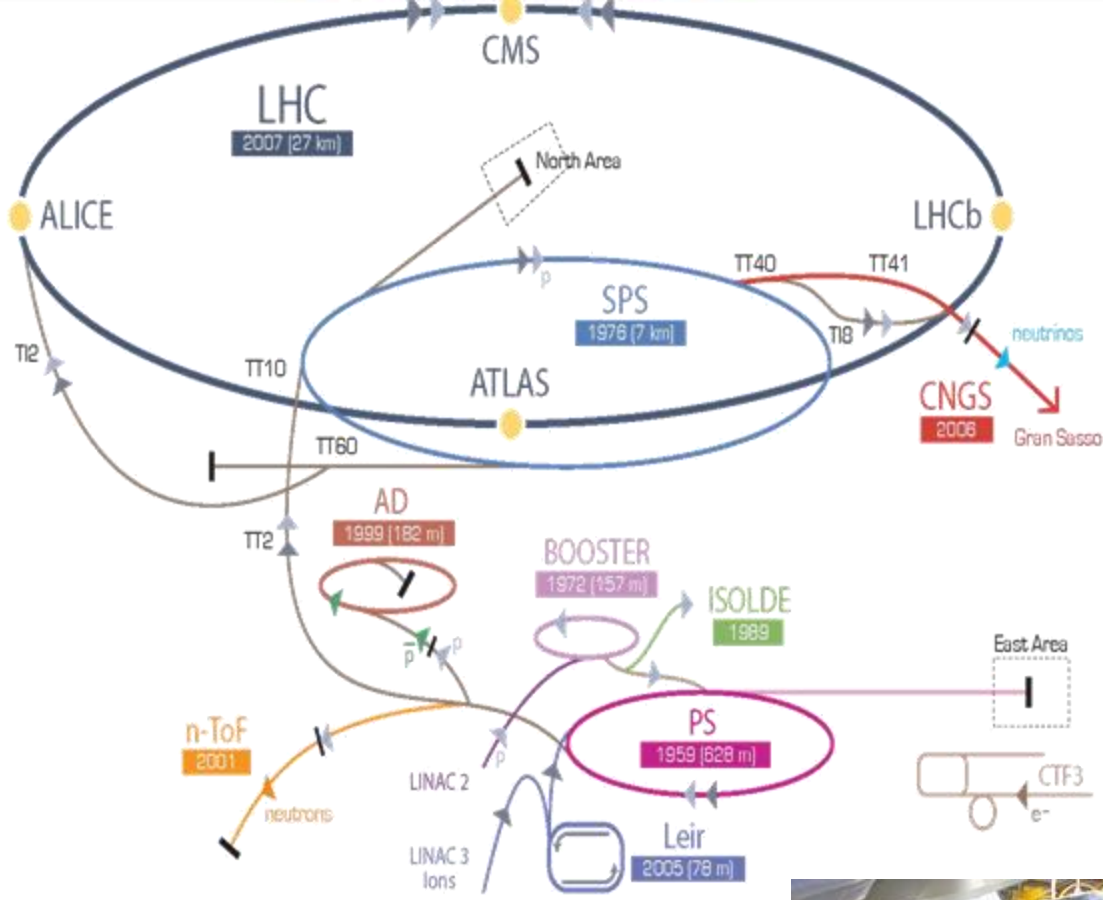




Магнитна инсталация

LHC – откриване на Higgs частицата!



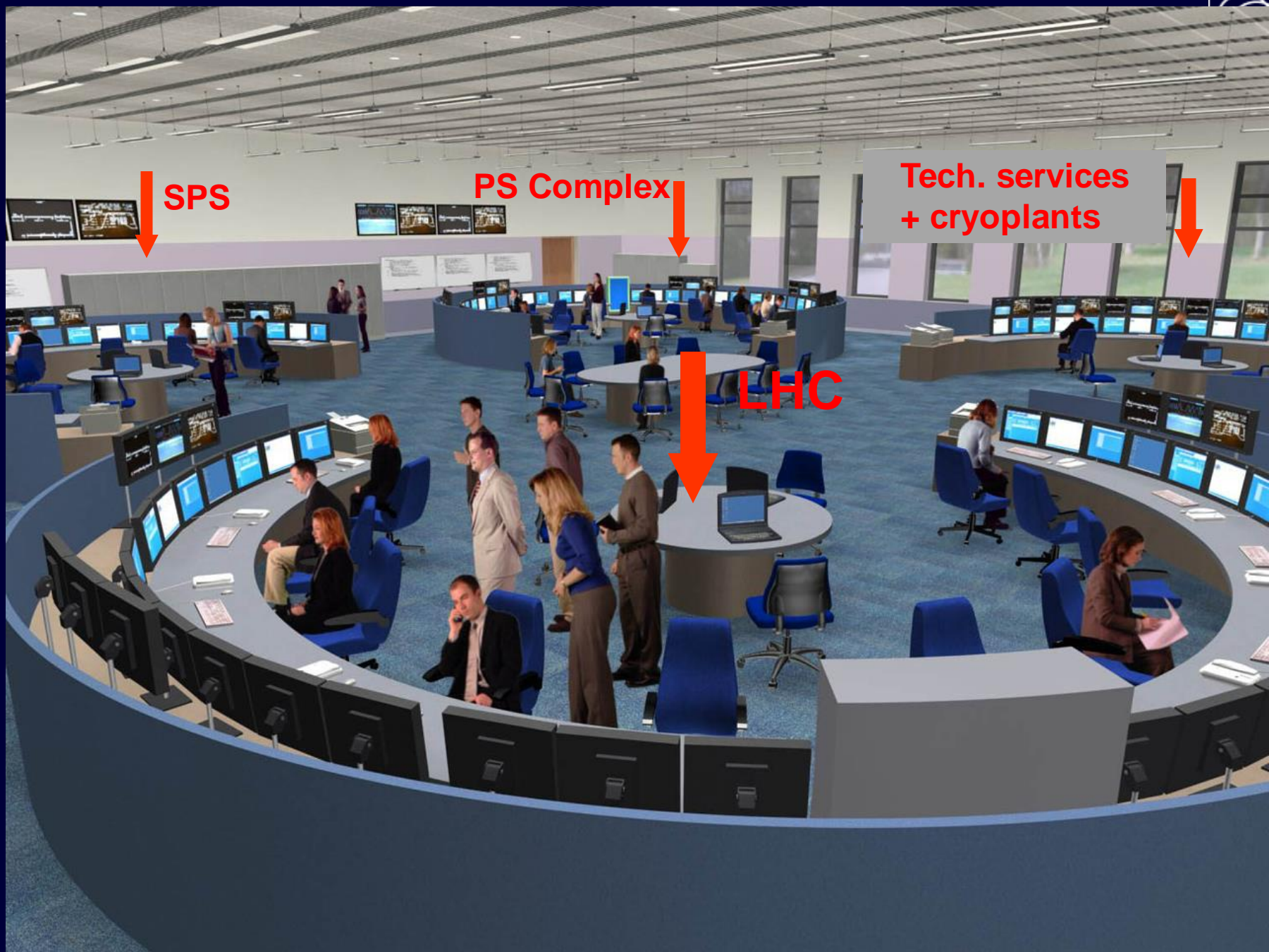


➡ CLIC Test Facility (CTF3)

Център за управление

- ⇒ Единен център за управление (ССС) на
 - ⇒ Всички ускорители
 - ⇒ Цялата техническа инфраструктура и криогенни инсталации
- ⇒ Изграден на мястото на центъра за управление на SPS (LEP) ускорителя на територията на френската част на CERN (Prévessin)
- ⇒ Всички ускорители се управляват от СССР от 2006г.





SPS

PS Complex

Tech. services
+ cryoplants

LHC

Центърът за управление



Най-горен слой - слой за визуализиране



Междинен слой - сървъри



Базисен слой



Устройства които трябва да се управляват – магнити и др.

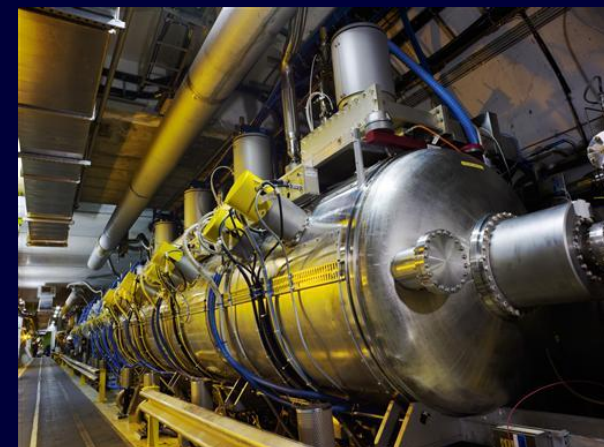
Основни съставни части на ускорител (LHC)

- ➔ Приблизително 10 000 магнита
 - ➔ 1232 dipoles, 15м дължина, 8.4 Tesla , 11 700 A
 - ➔ 392 quadrupoles, 5-7м дължина
- ➔ Енергия в магнитите : 10 GJ или 2.5 тона TNT
- ➔ Работещ при температура малко над абсолютната нула (1.9 K)

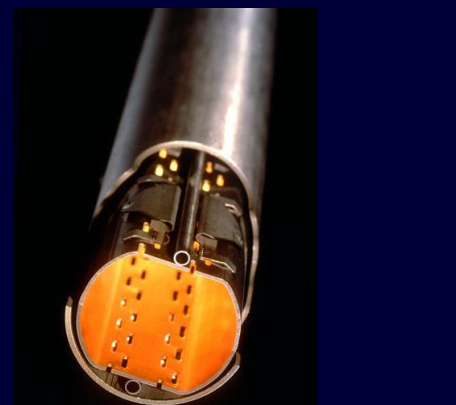


Основни съставни части на ускорител

- ➔ Високо честотни камери (RF cavities)
/ 400MHz, 4.5K /



- ➔ Вакуумни системи
/ 10^{-13} atm /



Основни съставни части на ускорител

⇒ Криогенни инсталации

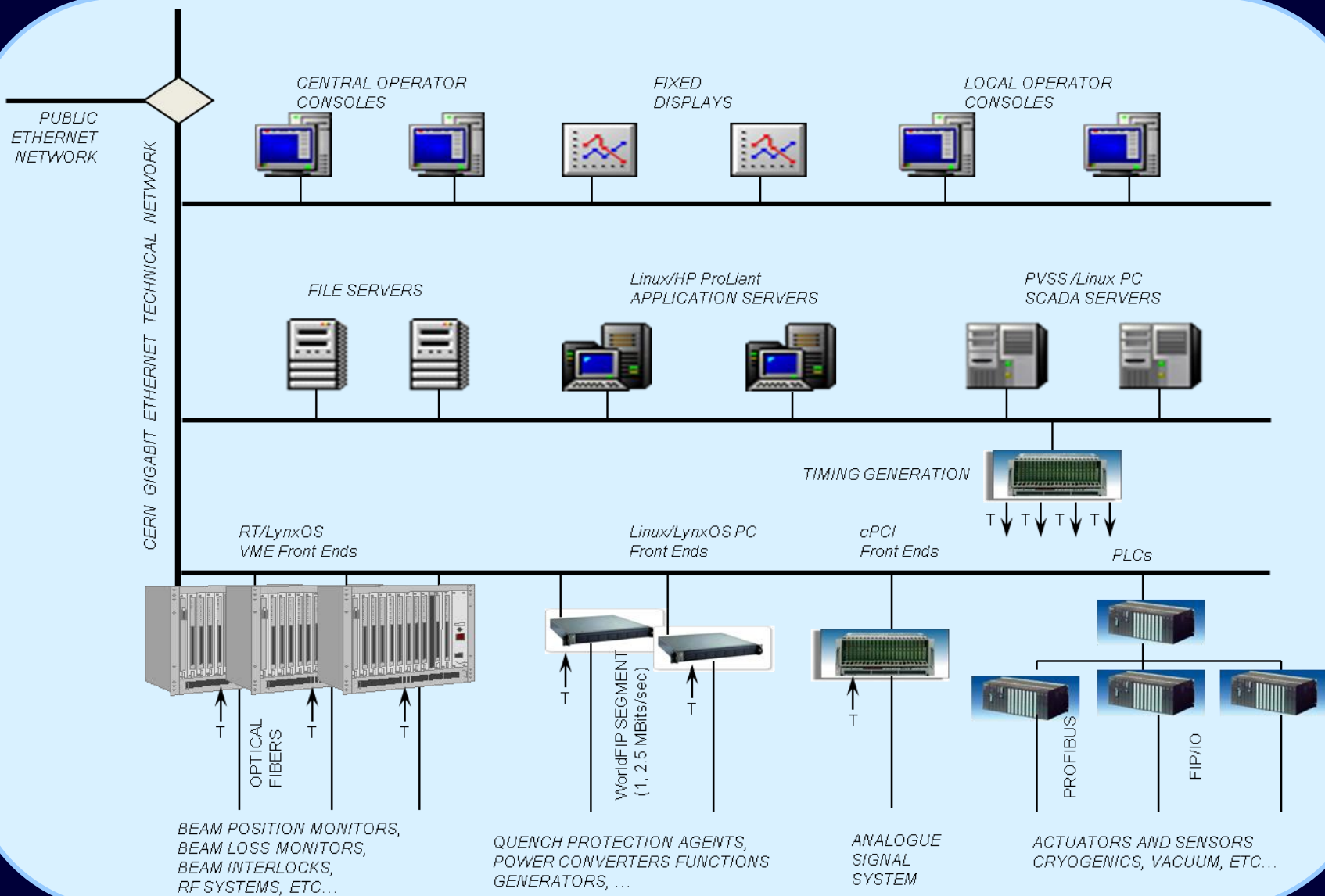
- -193.2°C (80 K)
- -271.3°C (1.9 K)

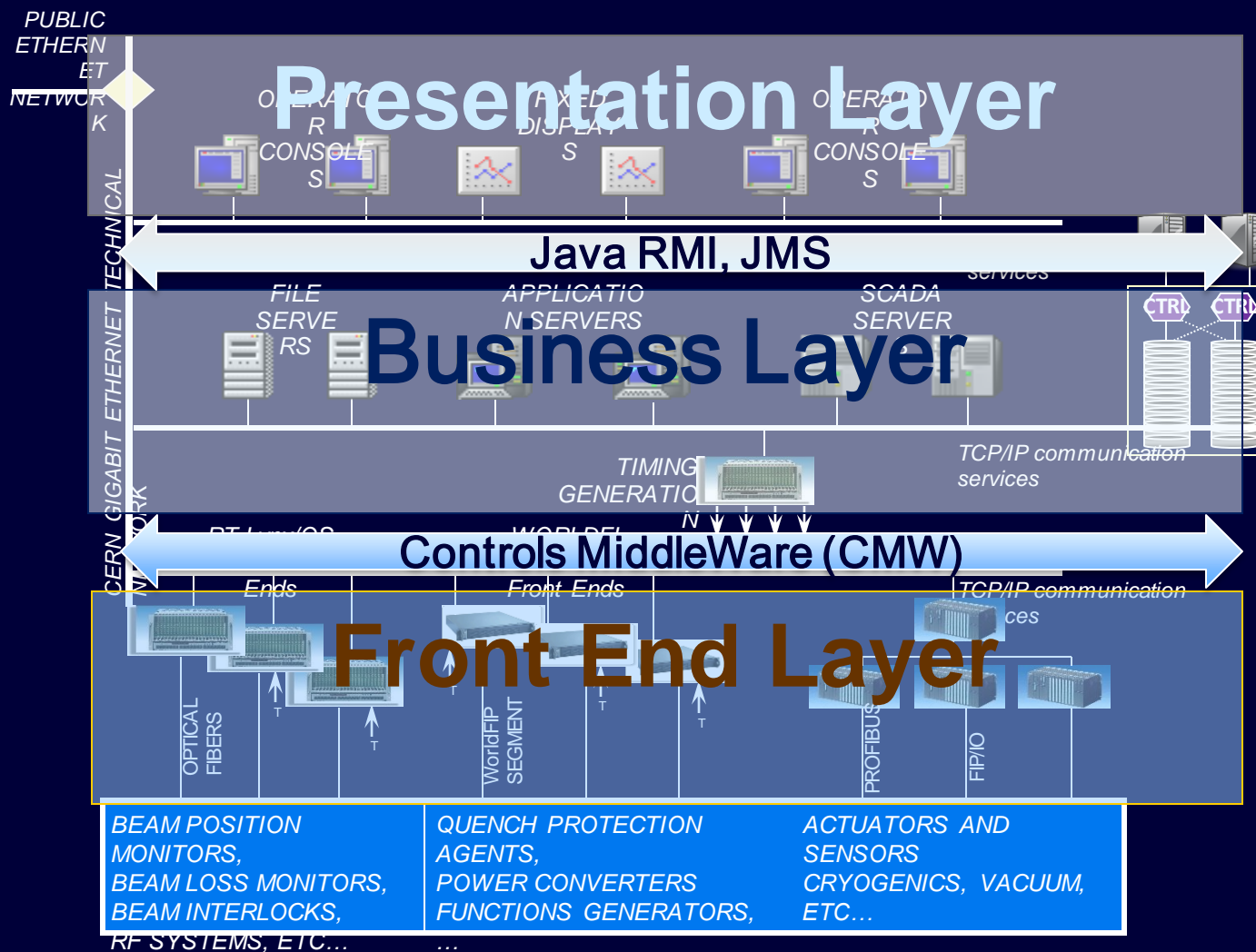


⇒ Електро трансформатори и захранващи устройства

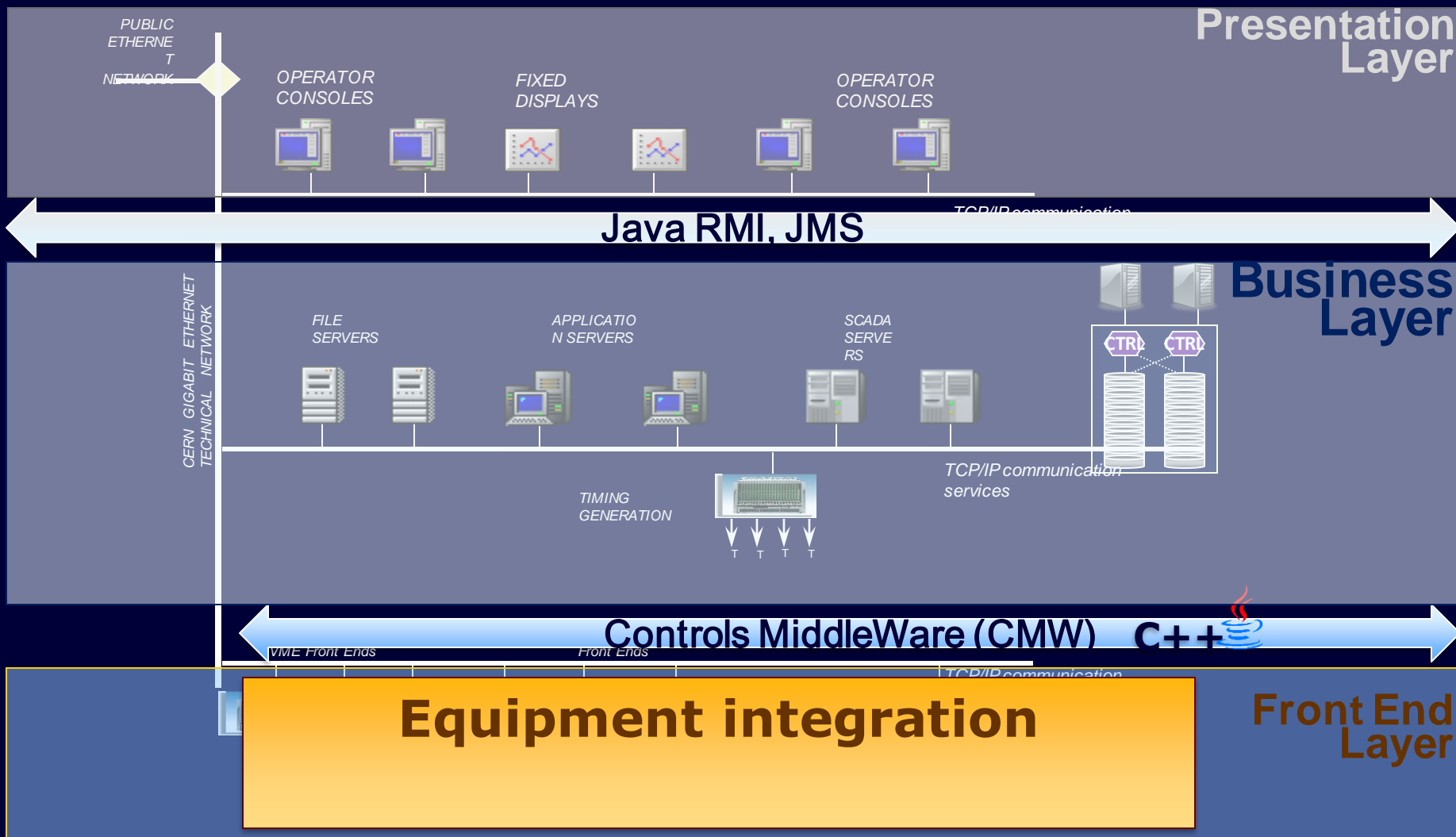


Хардуерна инфраструктура на системите за управление





Хардуерна инфраструктура на системите за управление

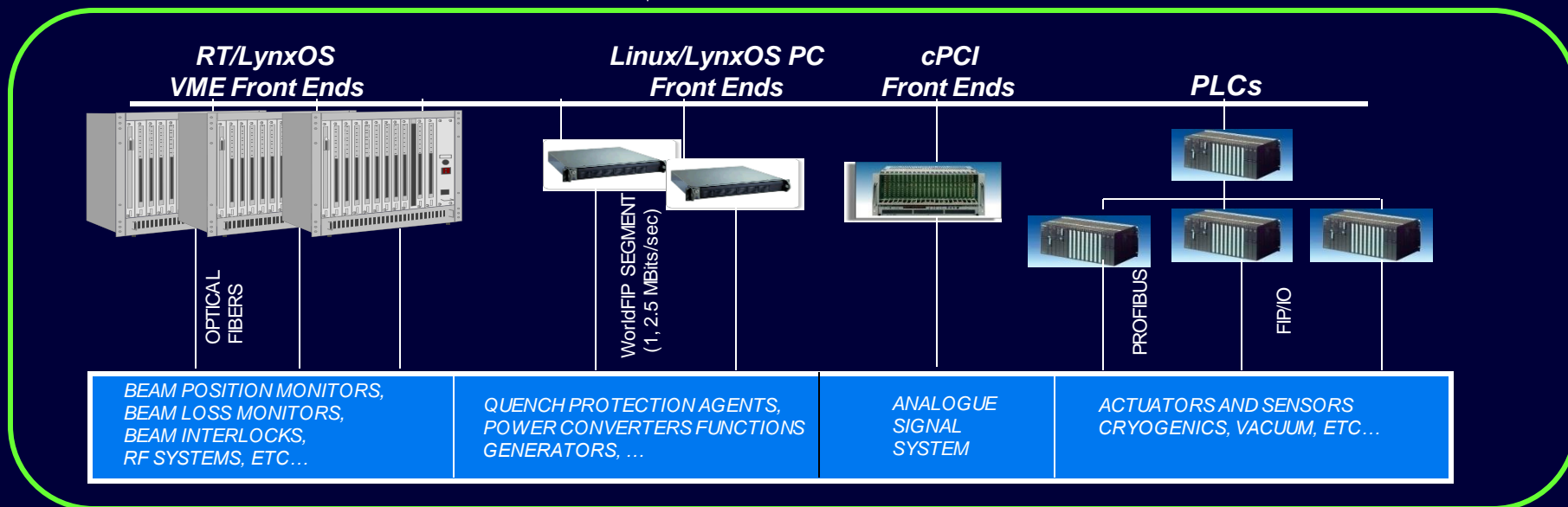


Базисен слой

Най-горен слой - слой за визуализиране



Междинен слой - сървъри



Open Source Hardware

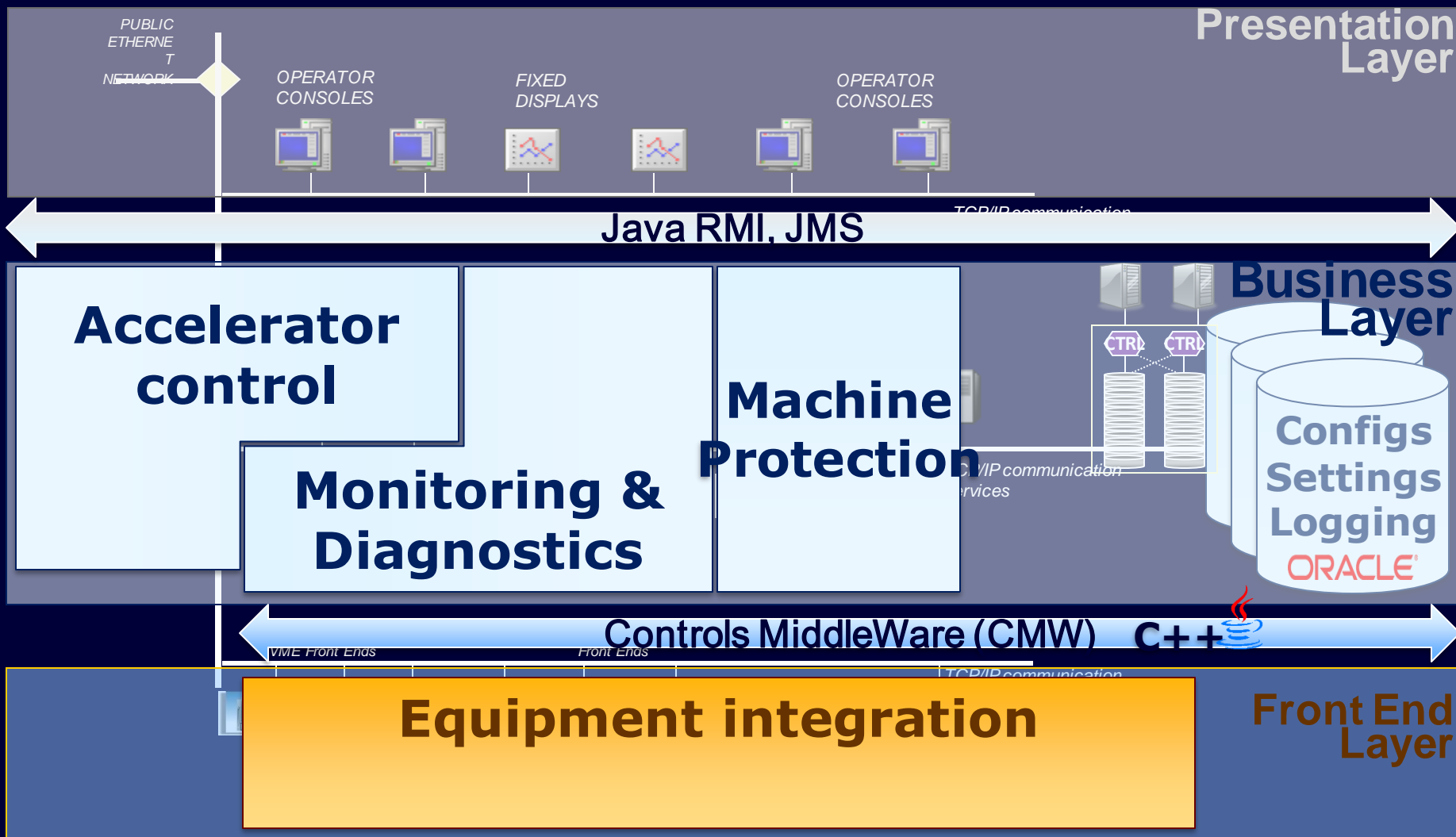


- ⇒ Предложение направено от CERN (BE/CO)
- ⇒ Вдъхновено от Open-Source Software
 - ⇒ Дизайнът и документацията за всяка една платка са достъпни за всички
 - ⇒ Подобрява се дизайна
 - ⇒ Трансфер на знание
 - ⇒ Няма „vendor-lock“



www.ohwr.org





Междинен слой

Най-горен слой

FILE SERVERS
DATABASE SERVERS



Linux/HP ProLiant
APPLICATION SERVERS



PVSS/Linux
SCADA SERVERS

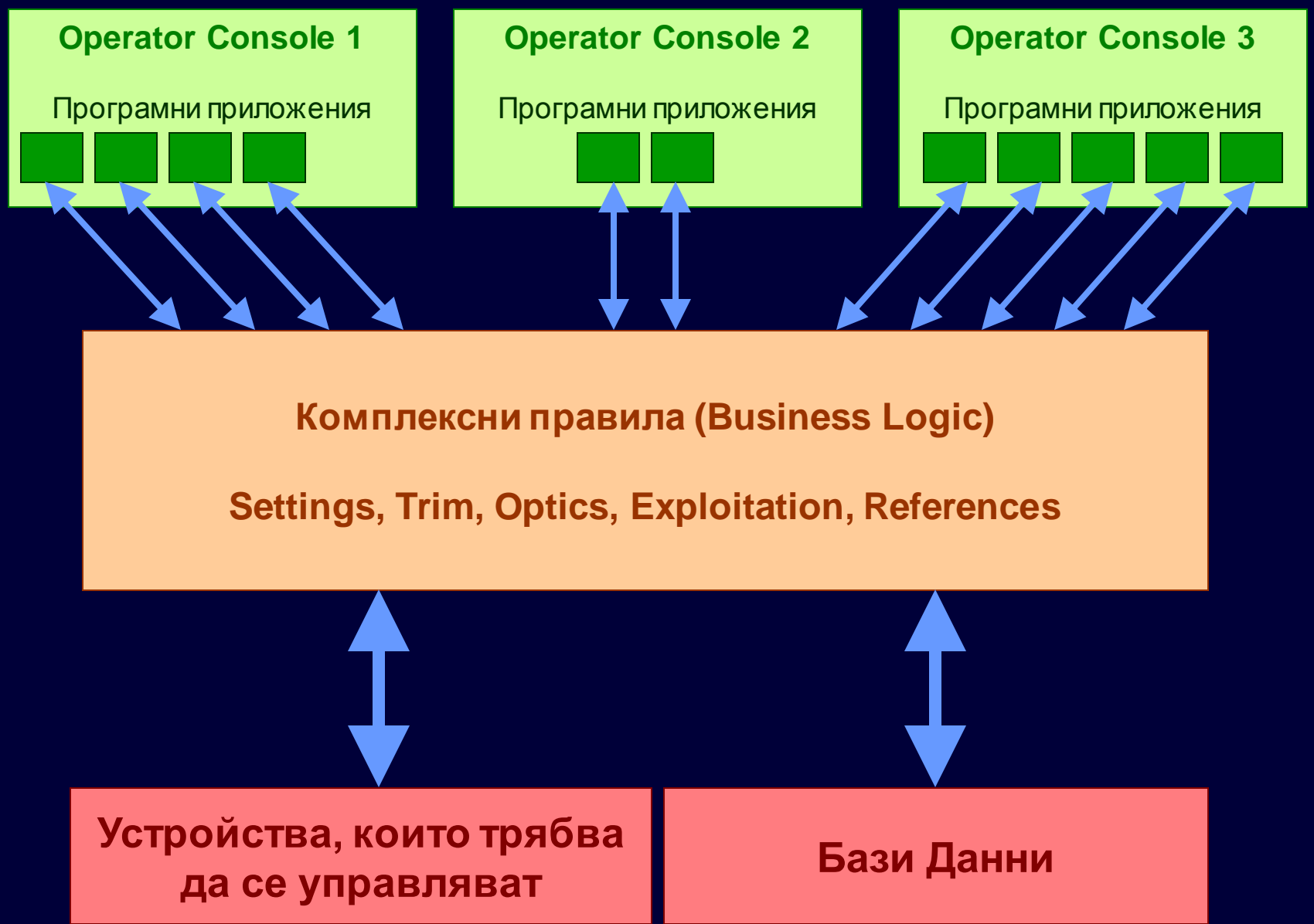


TIMING GENERATION



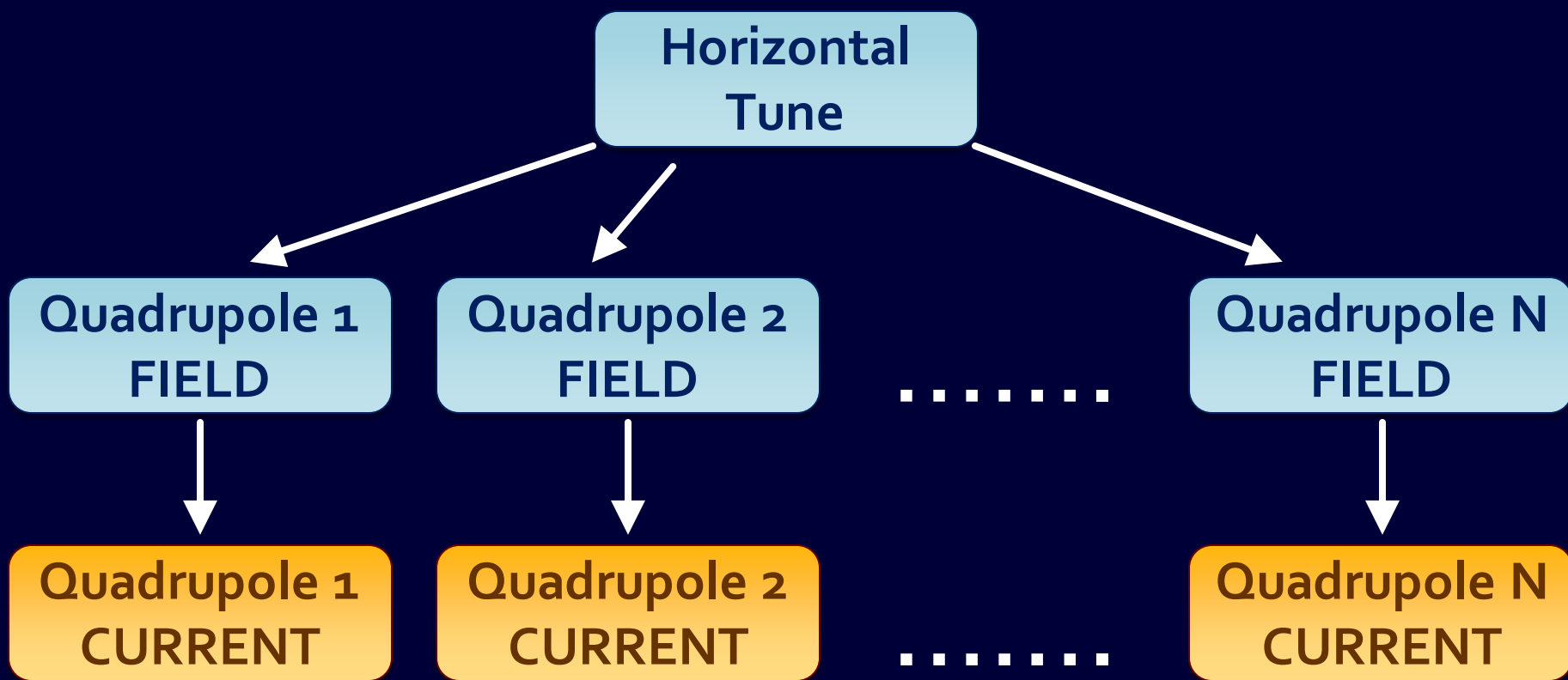


Софтуерна архитектура за управление на LHC



Комплексни правила (Business Logic)

- „Превежда“ параметри от управлението на ускорителите от високо ниво



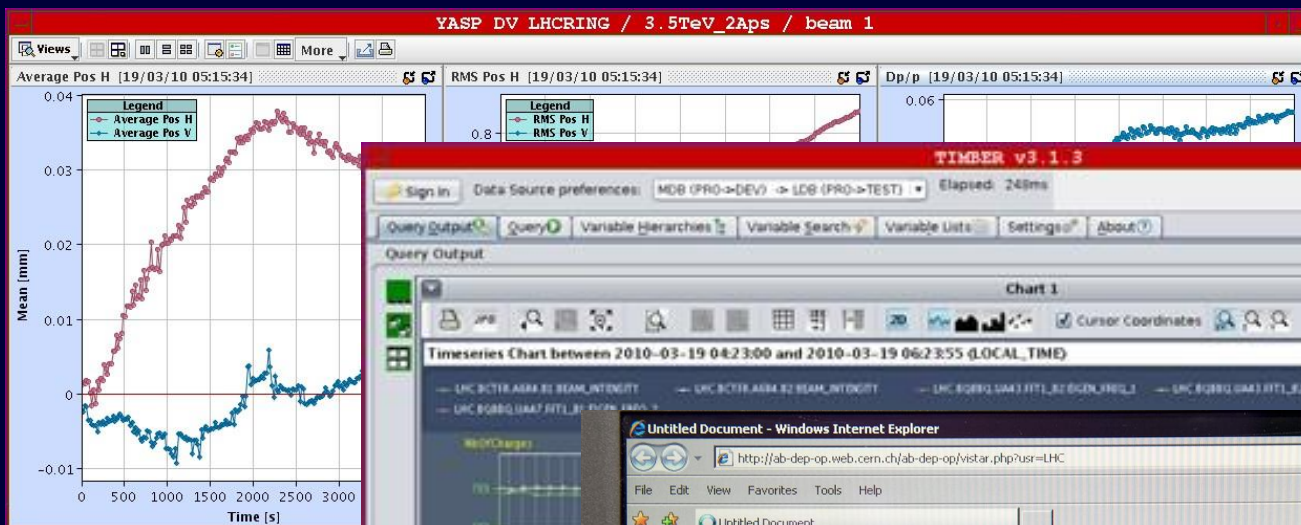
Fixed Displays



Operational Consoles



Слой за визуализиране



TIMBER v3.1.3

Query Output

Chart 1

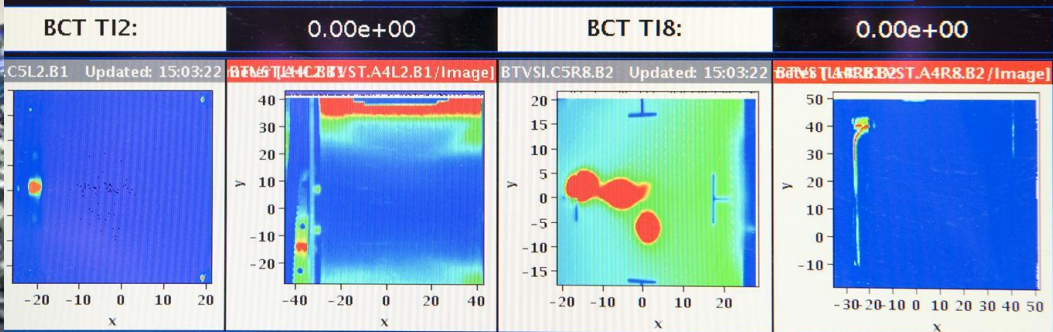
Timeseries Chart between 2010-03-19 04:23:00 and 2010-03-19 06:23:55 (LOCAL TIME)

Web browser: http://ab-dep-op.web.cern.ch/ab-dep-op/vistar.php?usr=LHC

10-09-2008 15:03:39

BEAM SETUP: INJECTION PROBE BEAM

TED T12 position:	BEAM	TED T18 position:	BEAM
TDI P2 gaps/mm	upstream: 29.83	downstream: 30.16	
TDI P8 gaps/mm	upstream: 29.98	downstream: 30.00	



ments 10-09-2008 15:03:08 :



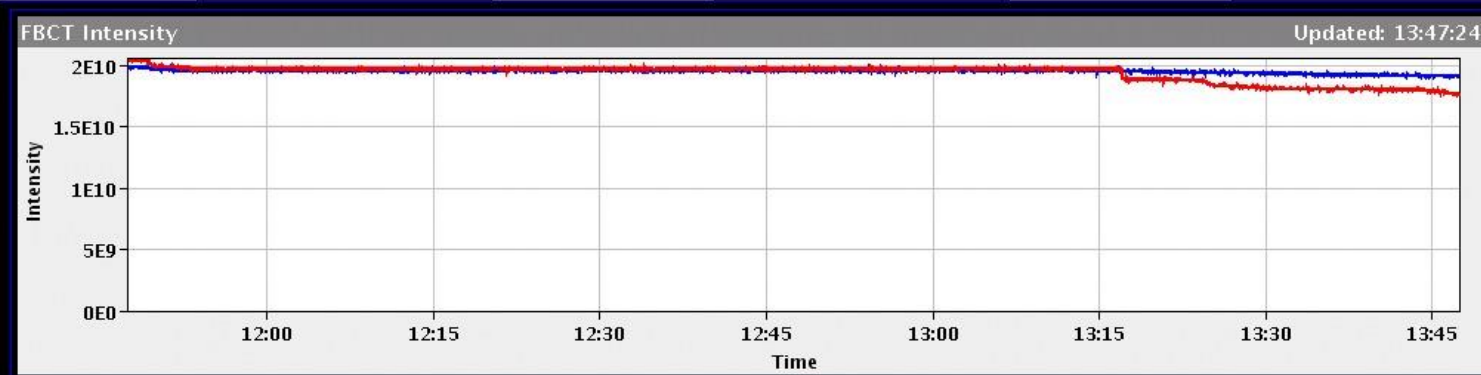
Слой за визуализиране

<http://op-webtools.web.cern.ch/op-webtools/vistar/vistars.php?usr=LHC1>

LHC Page1 Fill: 1005 E: 3500 GeV 30-03-2010 13:47:24

PROTON PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy: 3500 GeV I(B1): 1.74e+10 I(B2): 1.65e+10



Comments 30-03-2010 13:22:57 :

Stable beams!

BIS status and SMP flags

B1 B2

Link Status of Beam Permits	true	true
Global Beam Permit	true	true
Setup Beam	true	true
Beam Presence	true	true
Moveable Devices Allowed In	true	true
Stable Beams	true	true

LHC Operation in CCC : 77600, 70480

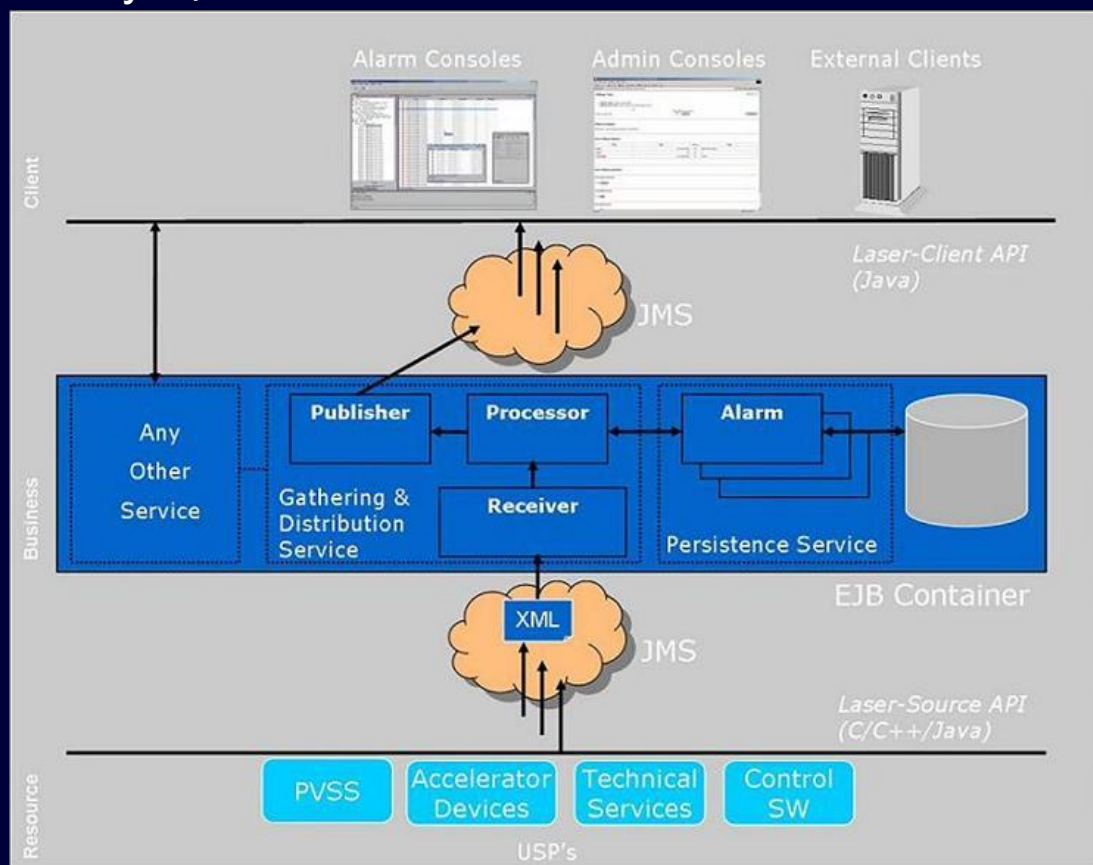
PM Status B1 **ENABLED** PM Status B2 **ENABLED**

Защита на ускорителите

- ⇒ Алармена система
- ⇒ Система интерлок на захранване
- ⇒ Система интерлок на снопове
- ⇒ Система Post Mortem
- ⇒ Система Quench Protection
- ⇒ Други

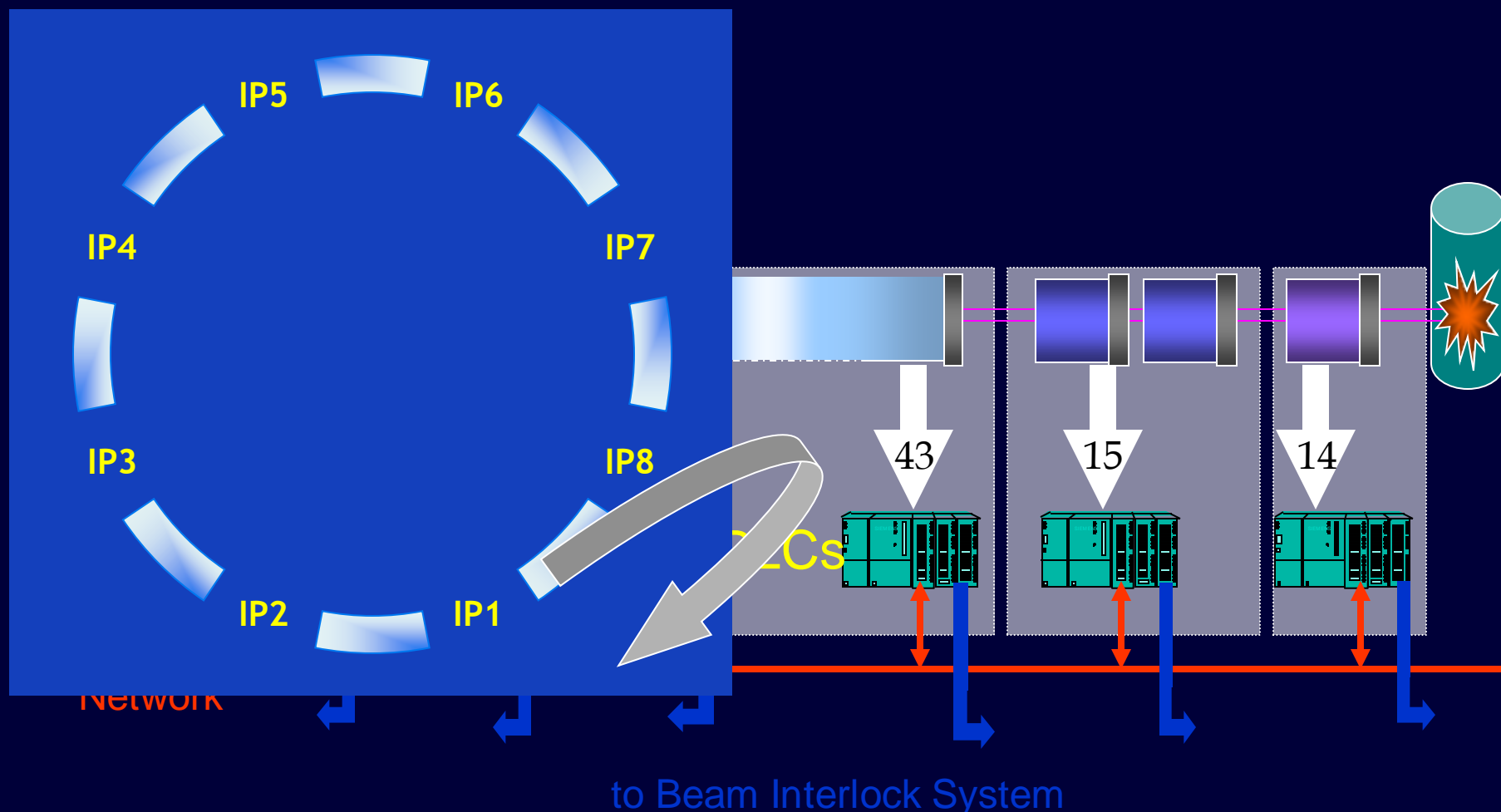
Алармена система

- ➔ Използва се при работа на всички ускорители и на техническата инфраструктура
 - ➔ Над 180 000 дефиниции на аларми
 - ➔ Предоставя събирането, анализа, разпространението и архивирането на данни при проблемни ситуации



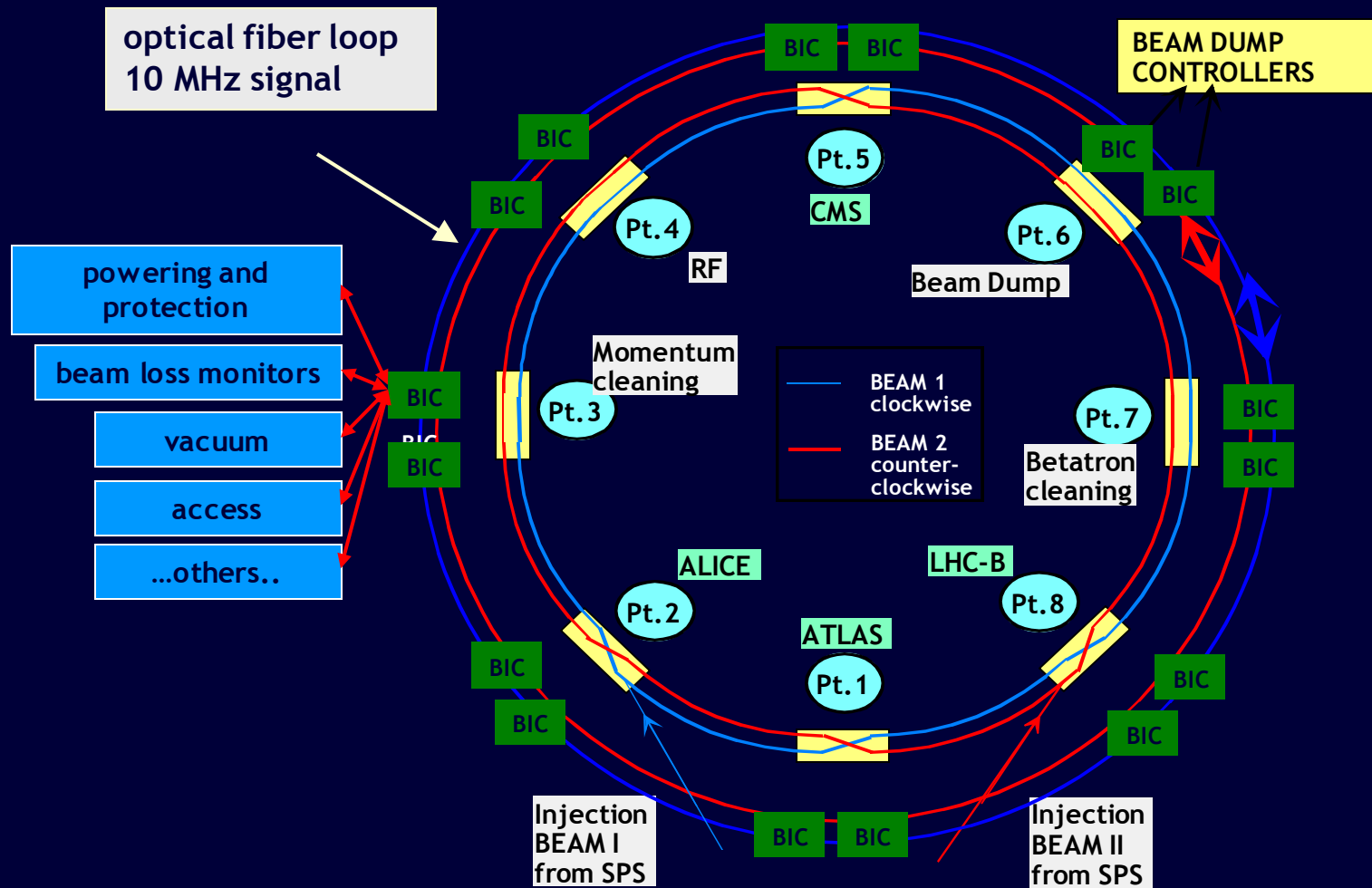
Система интерлок на захранване

- ➔ Система при критични ситуации в LHC
- ➔ Защита на 1612 електрически вериги и ~ 10 000 магнита



Система интерлок на снопове

➔ Система при критични ситуации в LHC



Система Post Mortem

- ⇒ Задействане автоматично (когато има интерлок) или ръчно
 - ⇒ Не се допуска лъч в LHC, ако РМ системата не е готова

- ⇒ Събиране на данни (няколко GB) от
 - съоръжения
 - QPS, PIC, алармената система и др.
 - други подадени сигнали
 - конзолите на операторите

- ⇒ Анализ
 - ⇒ Структурирано сортиране на причини и следствия

PROTON PHYSICS: INJECTION PHYSICS BEAM

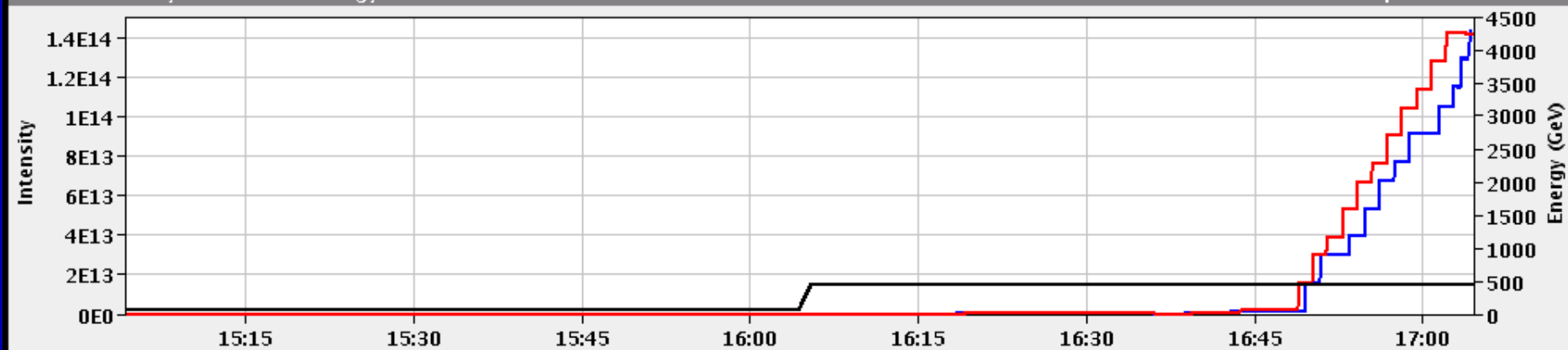
BCT TI2: 7.78e+13 **I(B1):** 1.42e+14 **BCT TI8:** 0.00e+00 **I(B2):** 1.43e+14

TED TI2 position: **BEAM** **TDI P2 gaps/mm** up: 10.68 down: 9.23

TED TI8 position: **BEAM** **TDI P8 gaps/mm** up: 9.49 down: 9.53

FBCT Intensity and Beam Energy

Updated: 17:04:31



Comments 13-04-2012 16:47:56 :

fill with 1092b

BIS status and SMP flags

B1 B2

Link Status of Beam Permits	false	false
Global Beam Permit	true	true
Setup Beam	false	false
Beam Presence	true	true
Moveable Devices Allowed In	false	false
Stable Beams	false	false

PM Status B1

ENABLED

PM Status B2

ENABLED



Слой за визуализиране

LHC Page1

Fill: 1005

E: 3500 GeV

30-03-2010 13:47:24

PROTON PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy:

3500 GeV

I(B1):

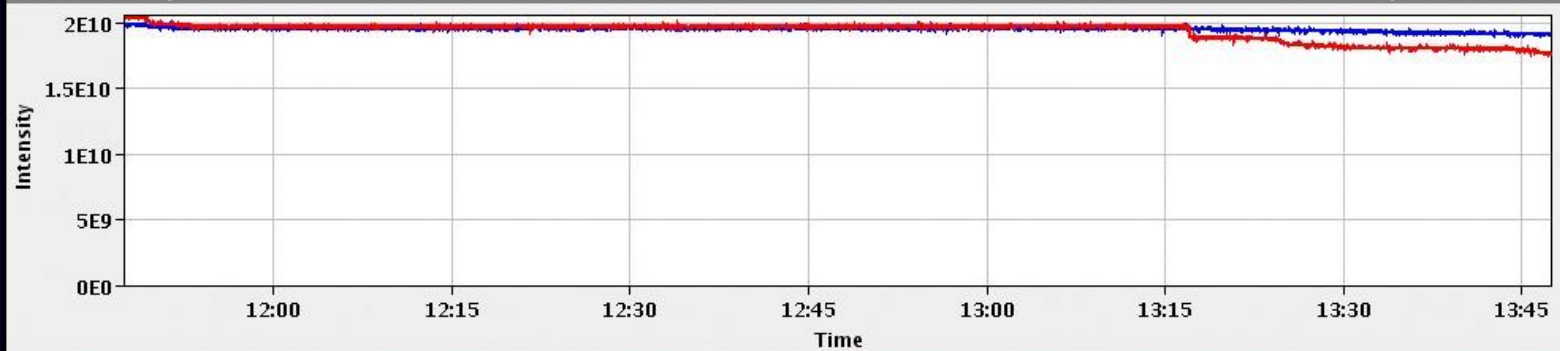
1.74e+10

I(B2):

1.65e+10

FBCT Intensity

Updated: 13:47:24



Comments 30-03-2010 13:22:57 :

Stable beams!

BIS status and SMP flags

B1

B2

Link Status of Beam Permits

true

true

Global Beam Permit

true

true

Setup Beam

true

true

Beam Presence

true

true

Moveable Devices Allowed In

true

true

Stable Beams

true

true

LHC Operation in CCC : 77600, 70480

PM Status B1

ENABLED

PM Status B2

ENABLED



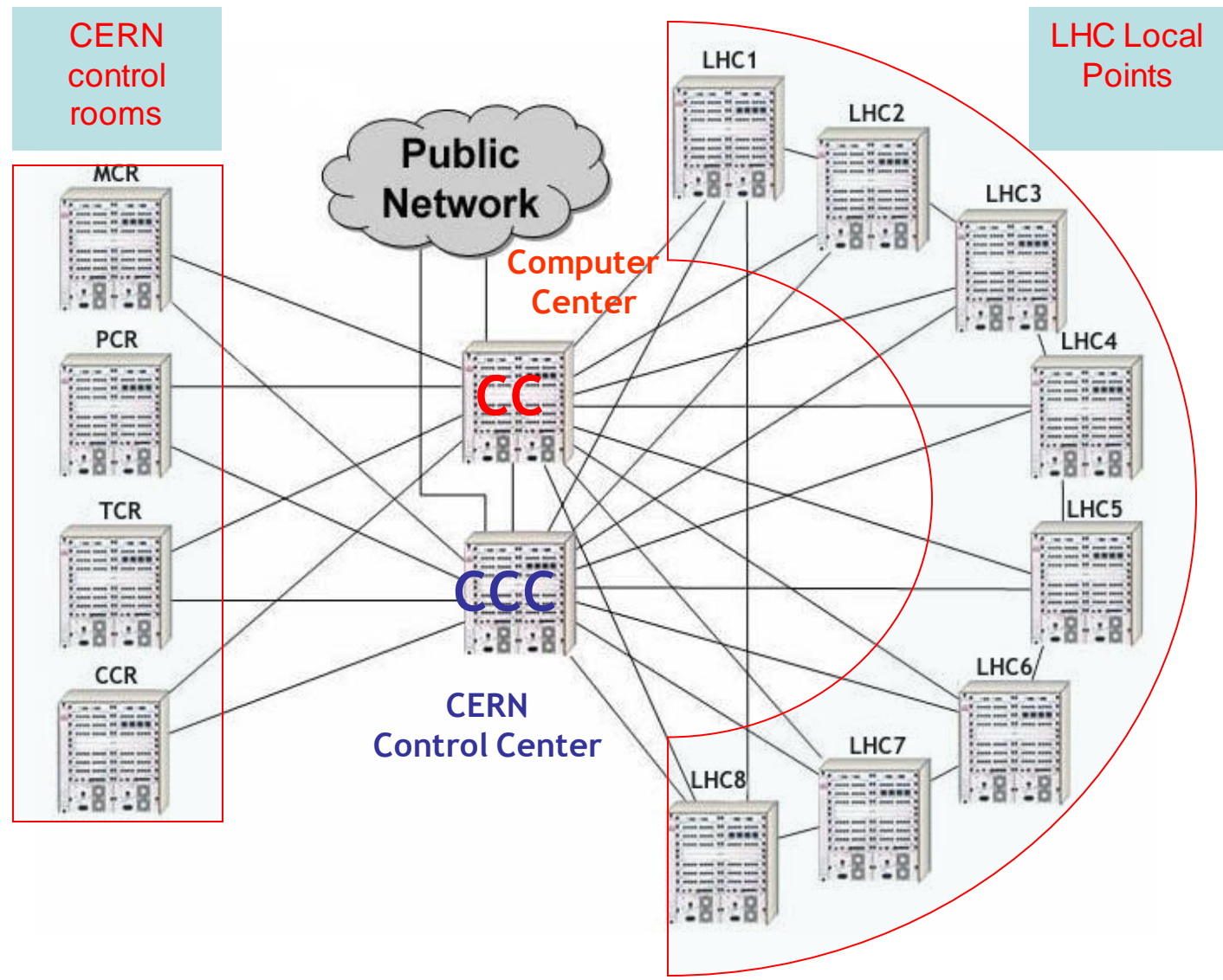
*Quis custodiet ipsos custodes?
(Кой пази пазачите?)*

- ⇒ RBA – Role Based Access – Система за достъп базираща се на определени роли
- ⇒ DIAMON – Система за постоянно наблюдение на системите за управление – 3000 ‘agents’

Сигурност на системите за управление

- ➔ Компютърна мрежа: специализирана (техническа) мрежа (Technical Network)
 - ⇒ Използва се само от системи за управлението на ускорителите и на техническата инфраструктура
 - ⇒ Няма директна връзка с външния свят
 - ⇒ Има връзка с публичната компютърна мрежа в CERN (the Public Network)
 - ⇒ Високоскоростна мрежа (Gigabit backbone)

Специализирана (техническа) мрежа (Technical Network)



Техническата инфраструктура

- ➔ Управление и контрол на цялата техническата инфраструктура в CERN



CERN Control Centre



Electricity



Cooling



Vacuum



Safety Systems



Access Control



Въпроси



Alexander.Hristov@cern.ch
Zornitsa.Zaharieva@cern.ch

Посещение на ССС

