Въведение в Комплекса Ускорители на ЦЕРН и Системи за Тяхното Управление

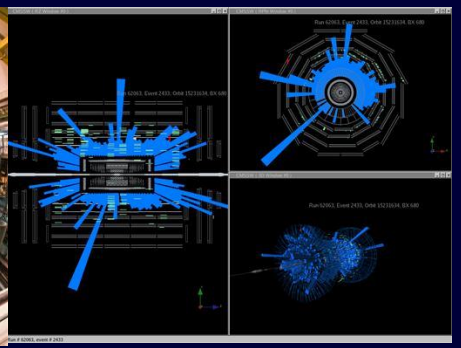
Зорница Захариева

CERN, Accelerators Sector
Beams Department, Controls Group

Българска Програма за Учители по Физика
25.07.2016

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 съб-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 ...

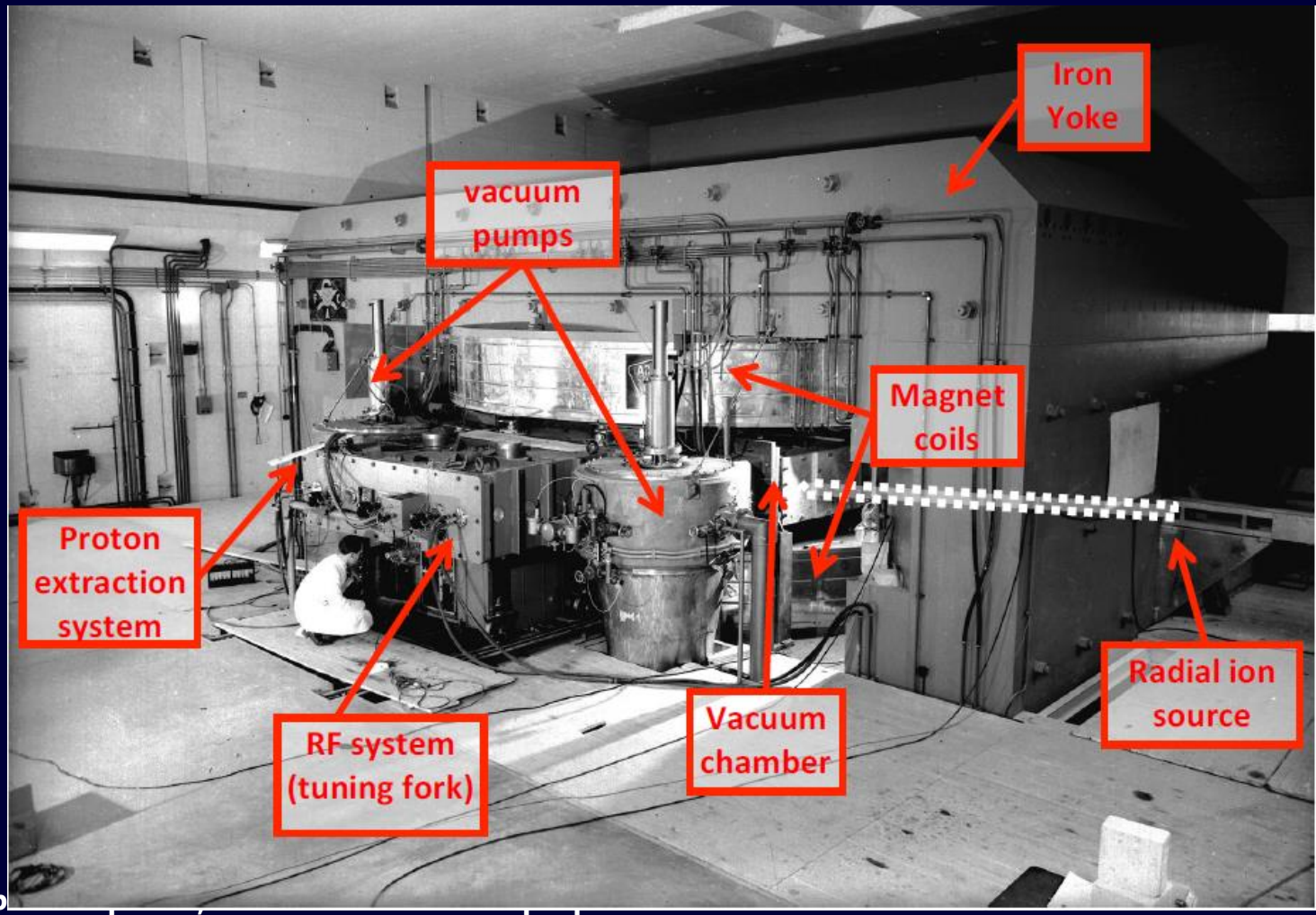
- 1954 – зелените поляни край Женева

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

Synchrocyclotron - SC

- 1967 – 1990 – захранва ISOLDE
- Synchrocyclotron - спрян след 33 години служба през 1990
- Използва се за посещения от 2012



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
  - Наи-старият, все още действащ ускорител в CERN
  - Ускорявал е протони, електрони, хелиеви, кислородни и сярни ядра, позитрони, антипротони

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

- 1971 – Intersecting Storage Rings (ISR) е пуснат в експлоатация
- Първи в света адронен колайдер – протон-протон, протон-антипротон сблъсъци
- Сблъскването на 2 летящи една към друга частици - 62 GeV
- Достигане на много по-високи енергии в сравнение на сблъсък на ускорена частица със стационарна мишена
- 2 линии (пръстена) с диаметър 150 м
- Натрупаните опит и познания за изграждане и управление на ускорители – предпоставка за разработване на LHC
- 1984 спира работа
- Тунелът все още се използва за складови помещения

Комплексът от ускорители – важни събития

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

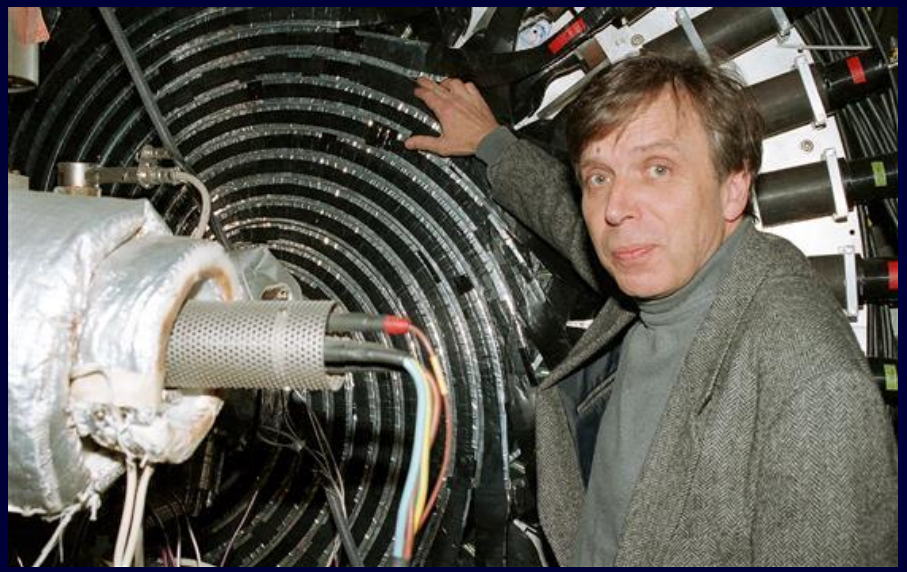
- 1984 – Нобелова награда - Carlo Rubia & Simon van der Meer (W & Z bosons)

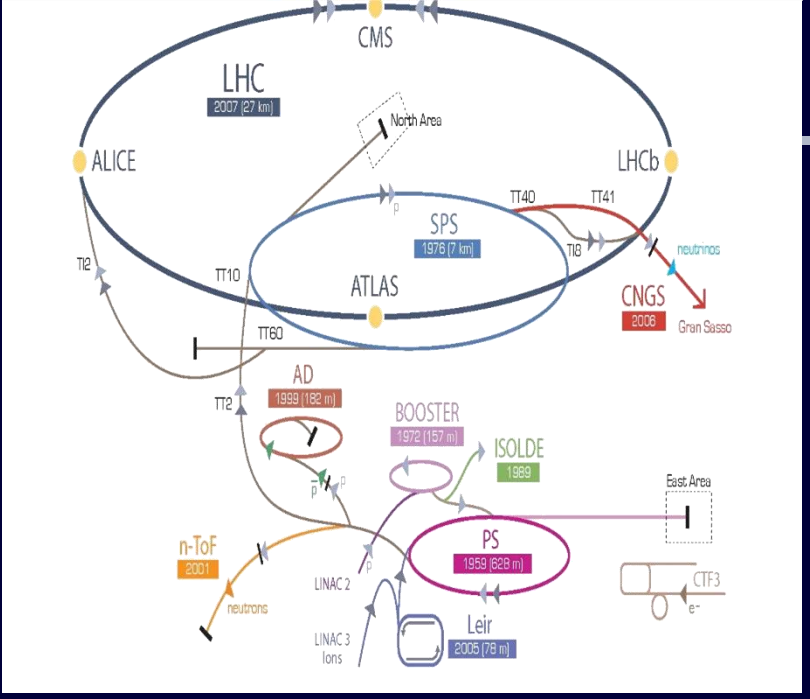
Комплексът от ускорители – важни събития

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

Комплексът от ускорители – важни събития

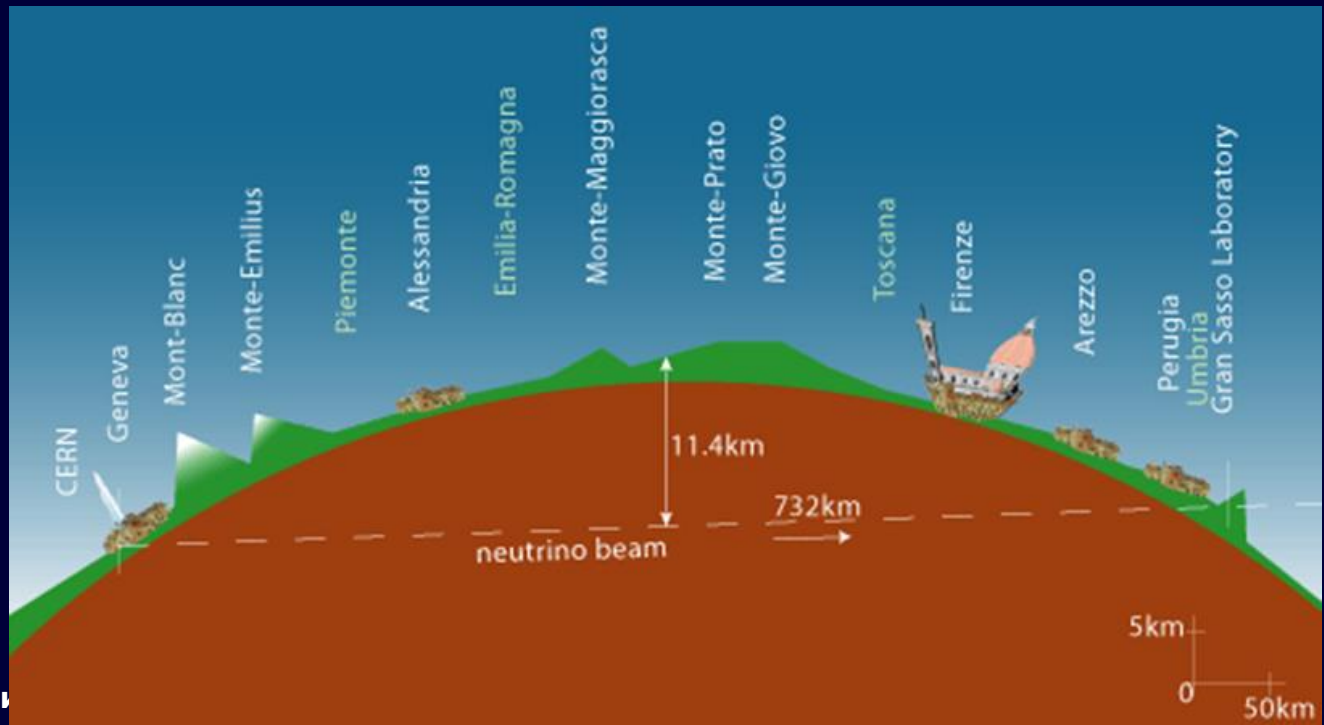
- Low Energy Antiproton Ring (LEAR)
- 1995 – 4 януари 1996 – проф. Walter Oelert обявява получаването на първи атоми анти-водород
  - Съществуването на анти-частици е предположение изказано от Пол Дирак през 1920





CERN Neutrino to Gran Sasso (CNGS)

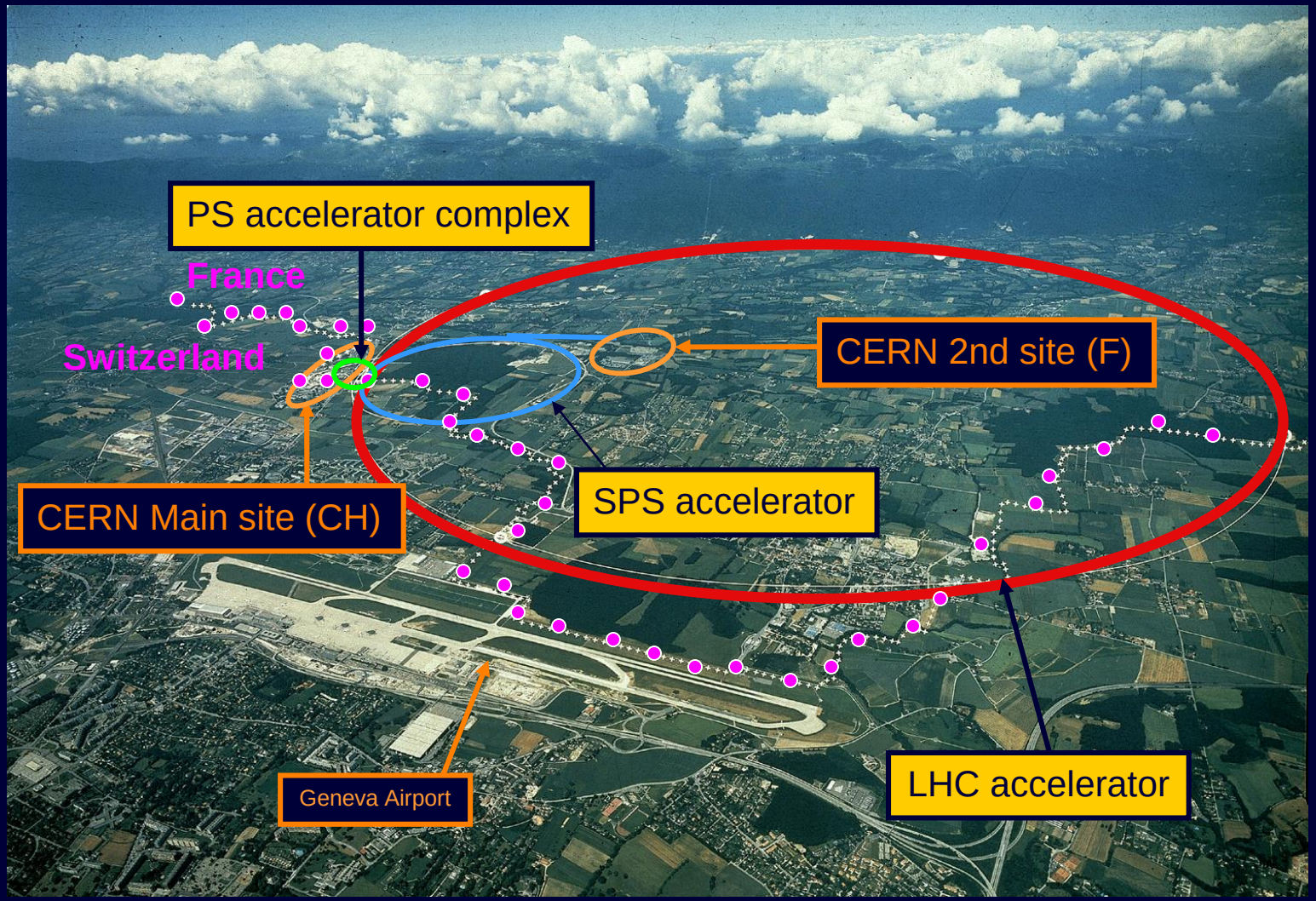
- 2006 – 2012
- Мюон неутрино (-> тау неутрино?)
- Протони насочени към графитена мишена –> пи-мезони & к-мезони -> мюони и мюон неутрино
- 732 км
- OPERA & ICARUS

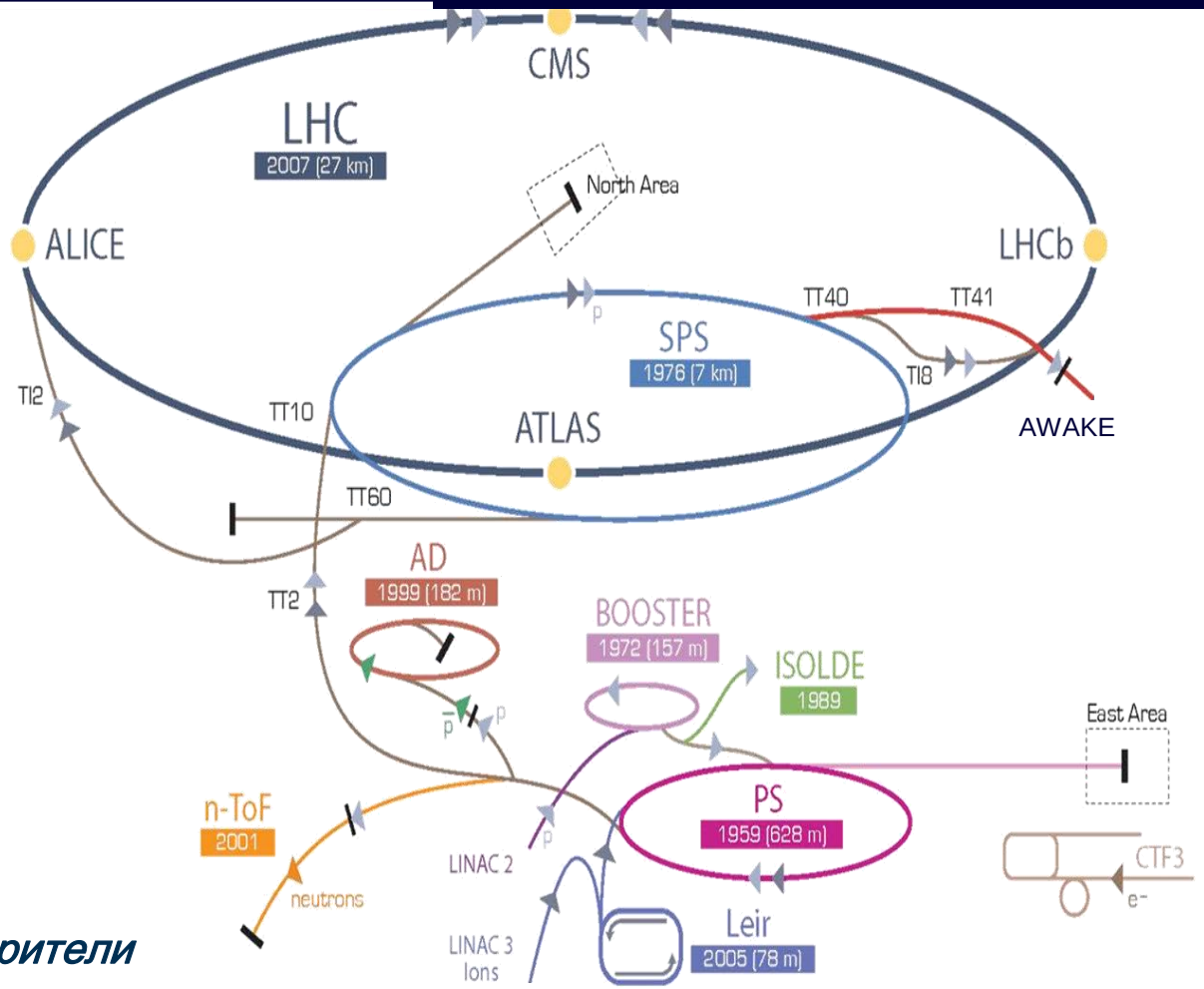


ЦЕРН – в днешно време

- Най-големият комплекс от ускорители в света

ЦЕРН – Комплекс от ускорители





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:

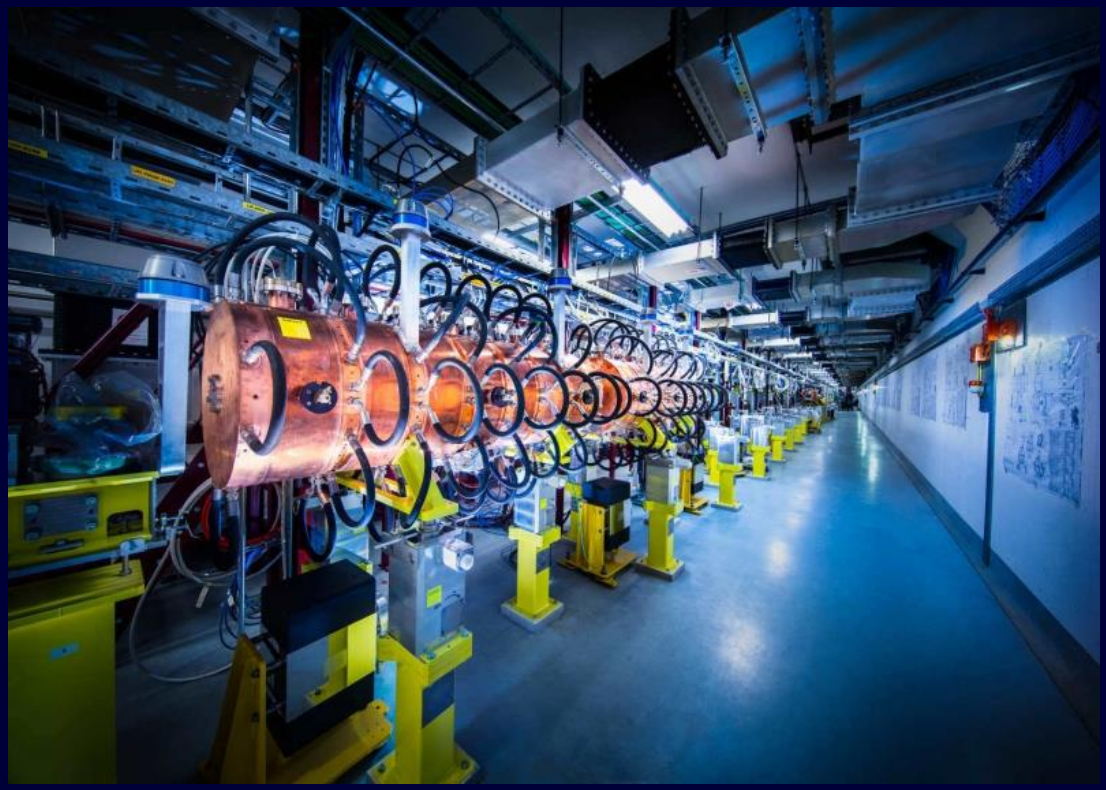
- Протони
- Йони
- Неутрони
- Антипротони
- Неутрина
- Електрони

Linear Accelerator 2 (LINAC 2)

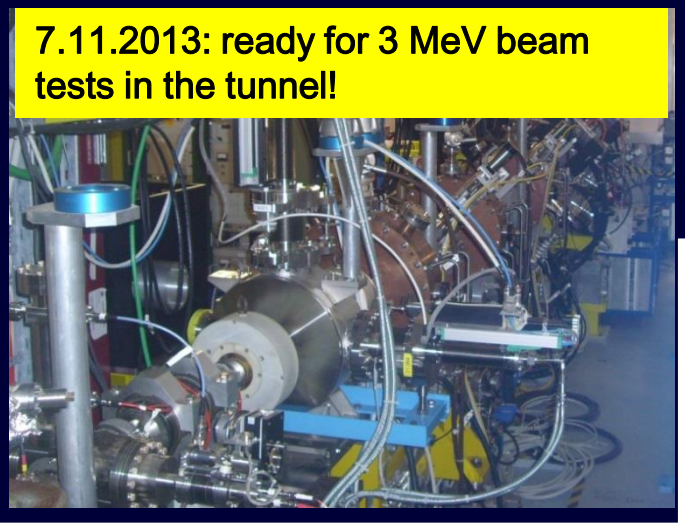
- 1978
- 50MeV
- Водородни йони
- 2020

Linac 4

- Ще ускорява водородни йони до 160MeV
  - ⇨ 2 e- се отстраняват при инжектирането в PSB
- 80м в дължина
- 2015 - тестове 50MeV
- Replace Linac2 in 2020



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

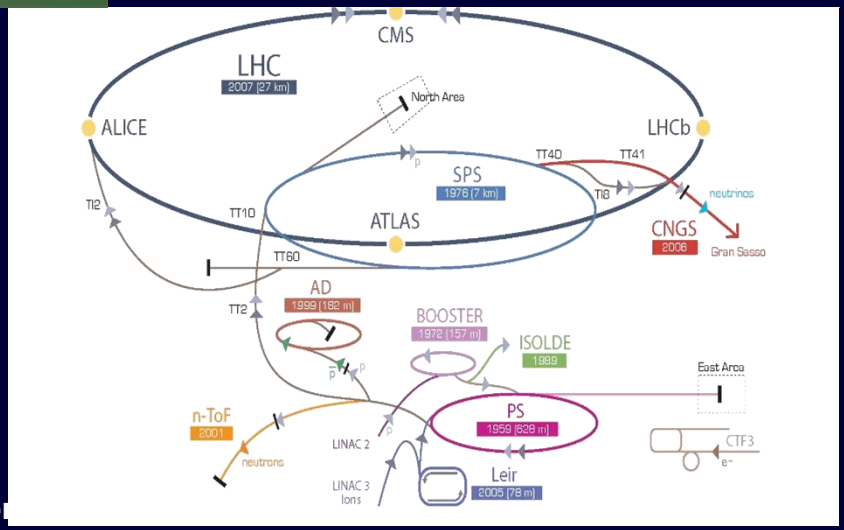


7.11.2013: ready for 3 MeV beam tests in the tunnel!

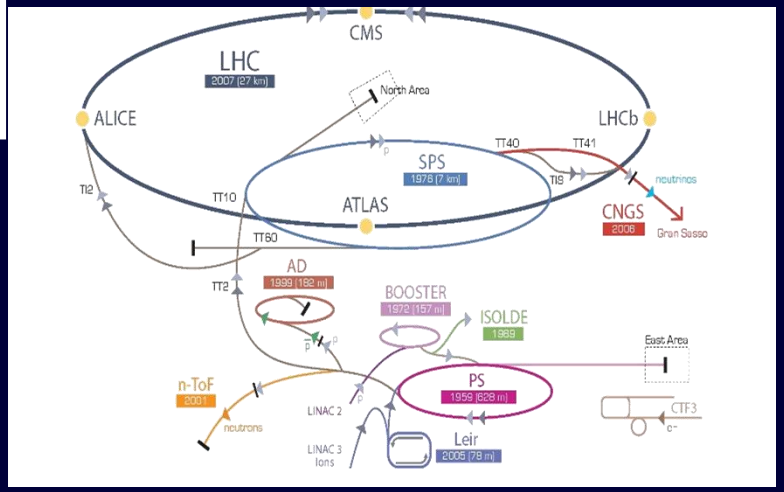
Proton Synchrotron Booster (PSB)

- 1972
- 1.4GeV

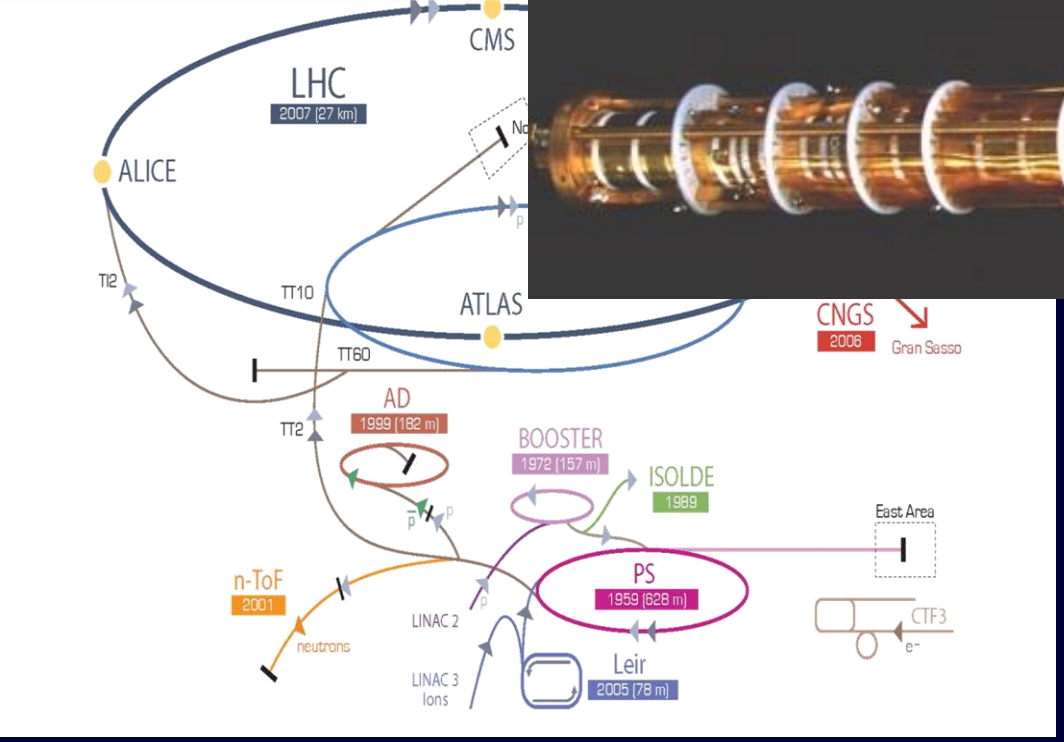
- До 1972: Linac -> PS
  - Малък брои протони в PS
- Linac -> Booster -> PS: увеличава се 100 пъти броя на протоните, които PS може да приеме



Proton Synchrotron (PS)

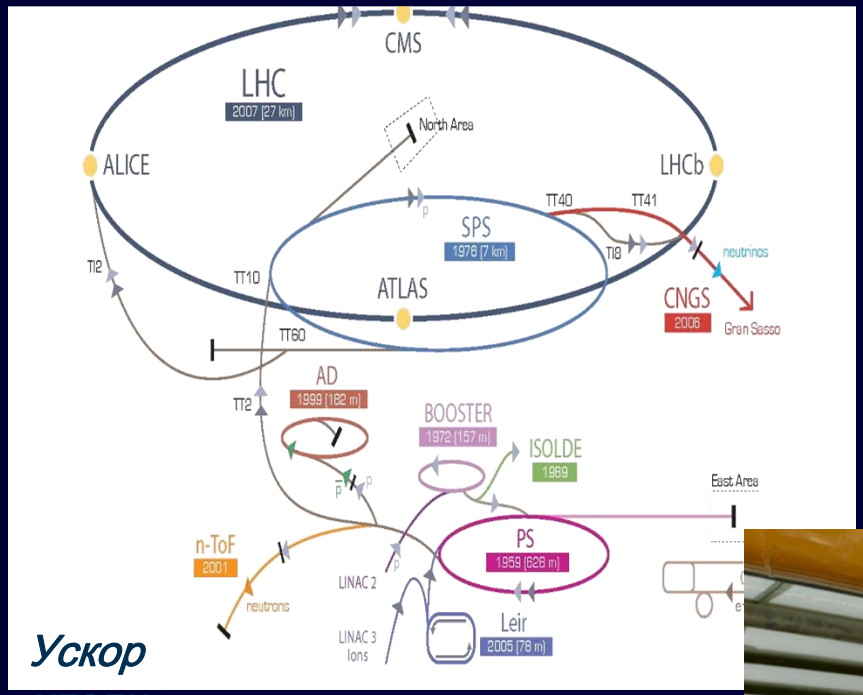


- 1959
- 628 м
- Изграден е от 277 електромагнита с конвенциално охлаждане, включващи 100 диполни магнита
- http://home.cern/about/accelerators/proton-synchrotron



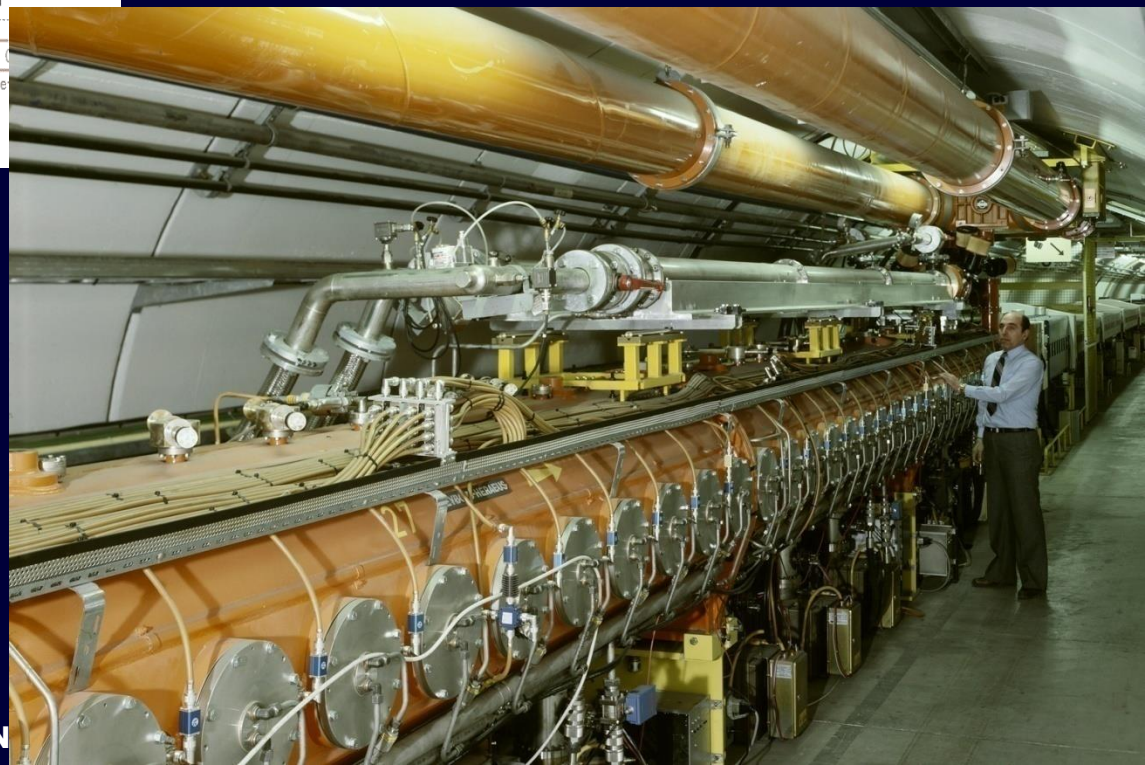
- Antiproton Decelerator (AD)
- 1999
- 182 м
- AEGIS, ALPHA, ASACUSA and ATRAP

Super Proton Synchrotron (SPS)

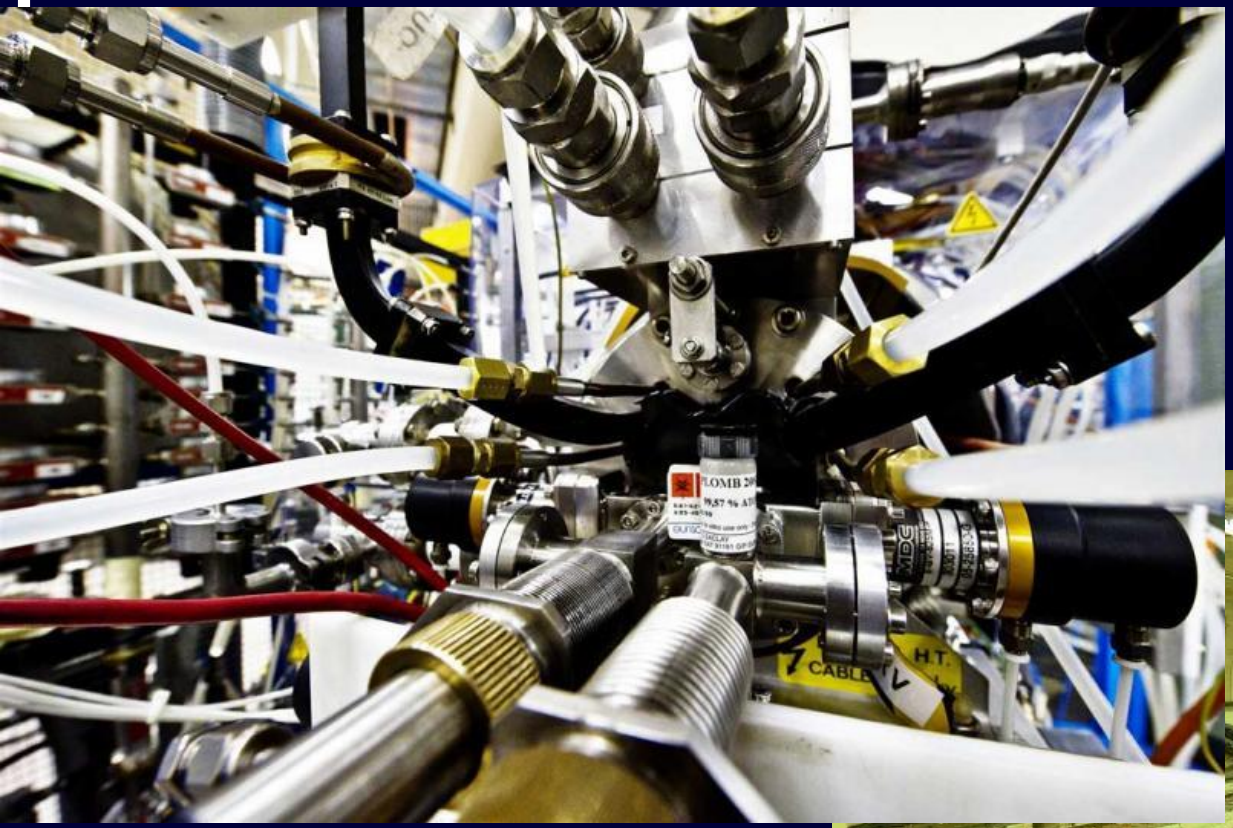


Ускор
ители

- 7 км
- 450 GeV
- NA61, NA62, COMPASS, AWAKE
- 1317 електромагнита с конвенциално охлаждане

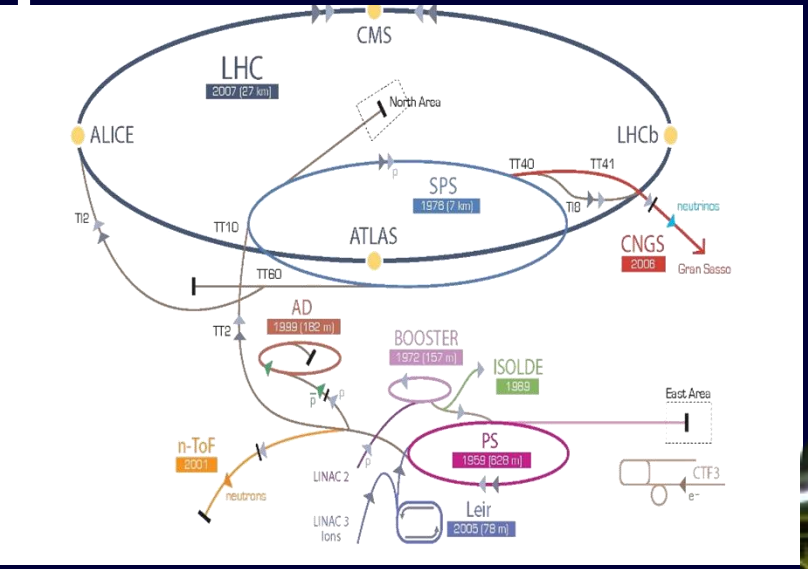


LINAC 3



- 1994
- Оловни йони
  - ⇨ В бъдеще: Ar, Xe
- 500 mgr / 2 седмици

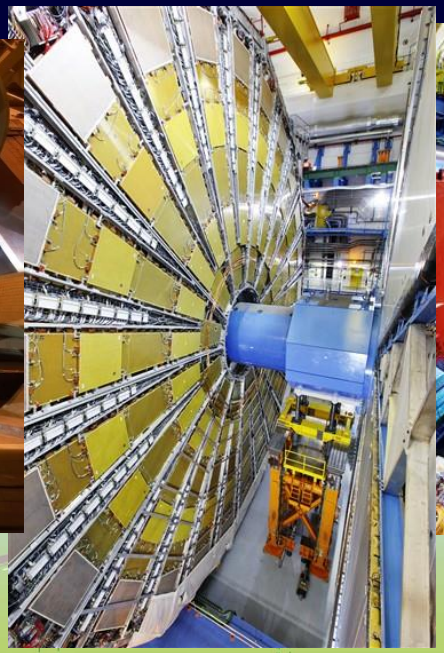
Low Energy Ion Ring (LEIR)

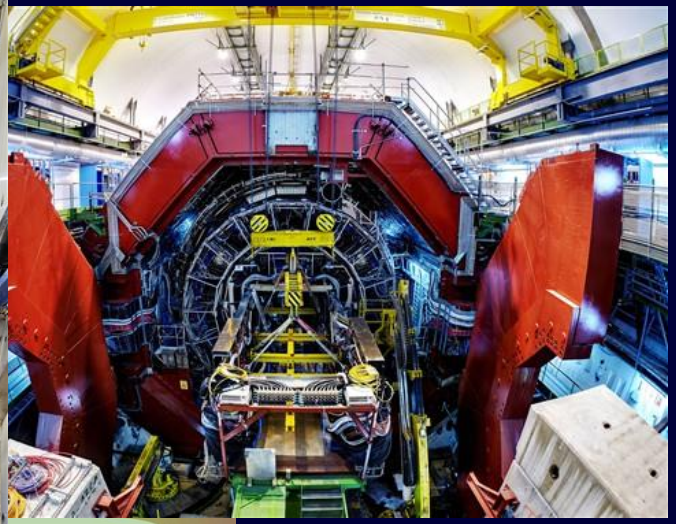


- 2005
- Групи (bunches) от 2,2x108 йони
- 2.5s да ускори от 4.2 MeV до 72 MeV
- Ноември 2010 оловни йони в LHC

Големият Адронен Колайдер - LHC

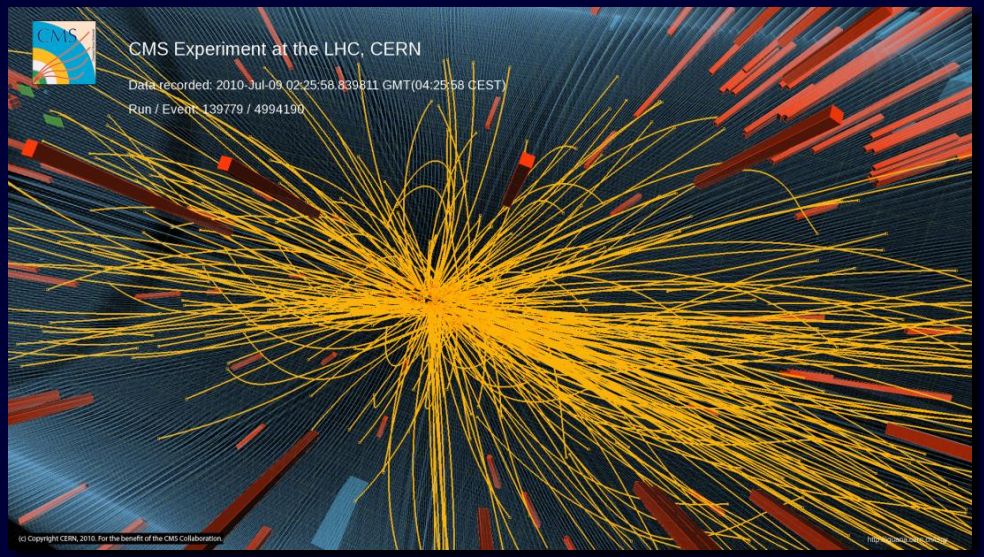
- Най-мощния инструмент някога създаван за изследване на елементарни частици
- Най-големият ускорител в света - 27km , 100m под земната повърхност
- 4 подземни каверни съдържащи огромни детектори

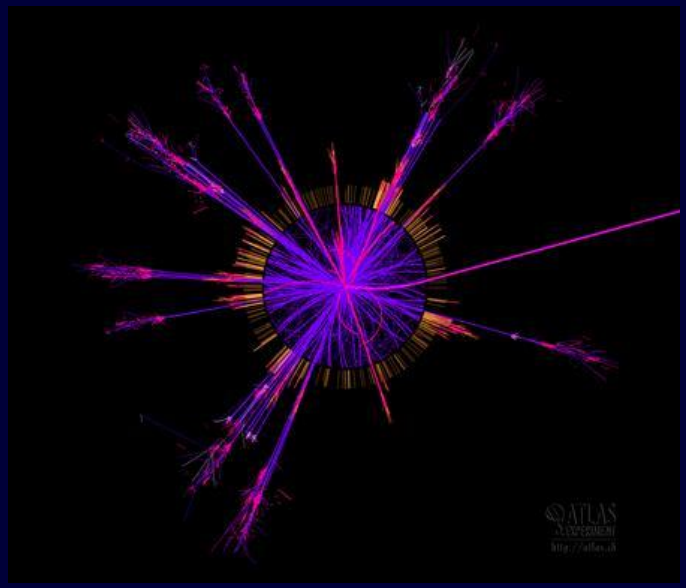




Големият Адронен Колайдер (LHC)

- 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)





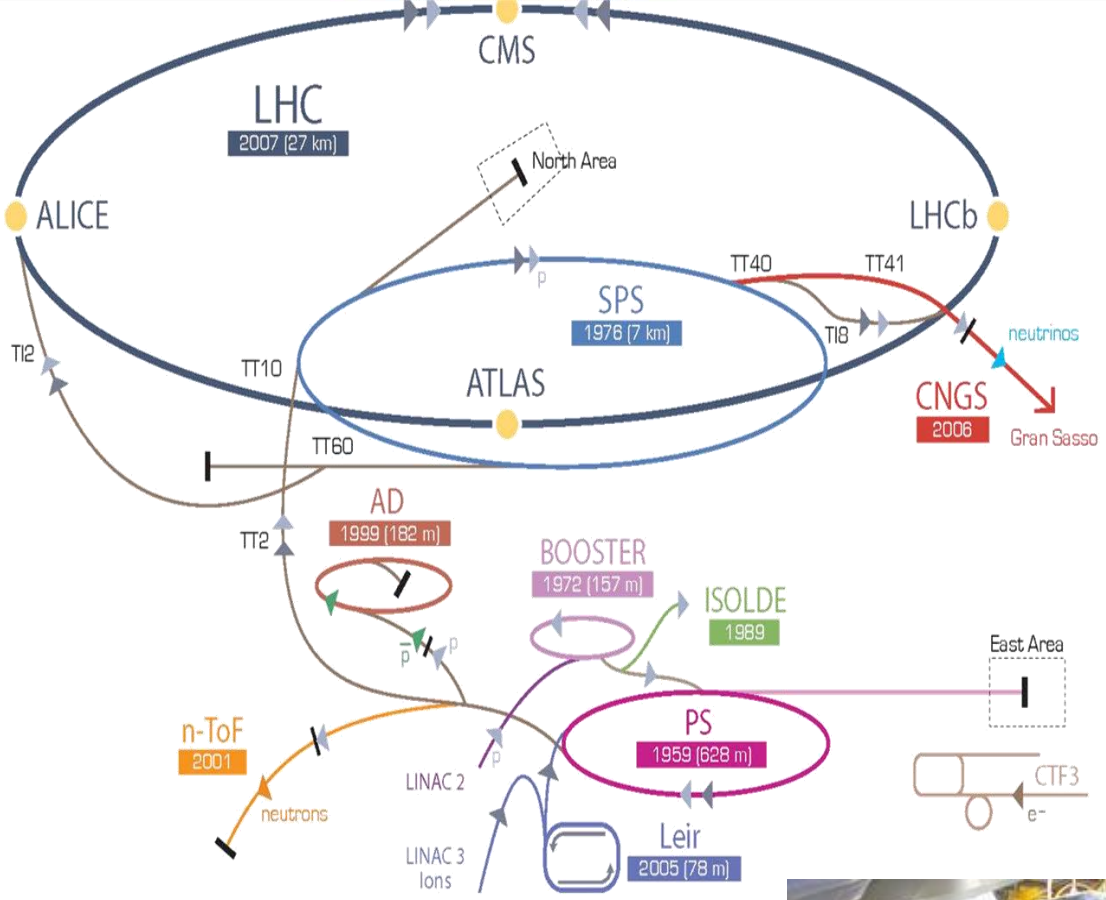
Магнитни Модули в LHC

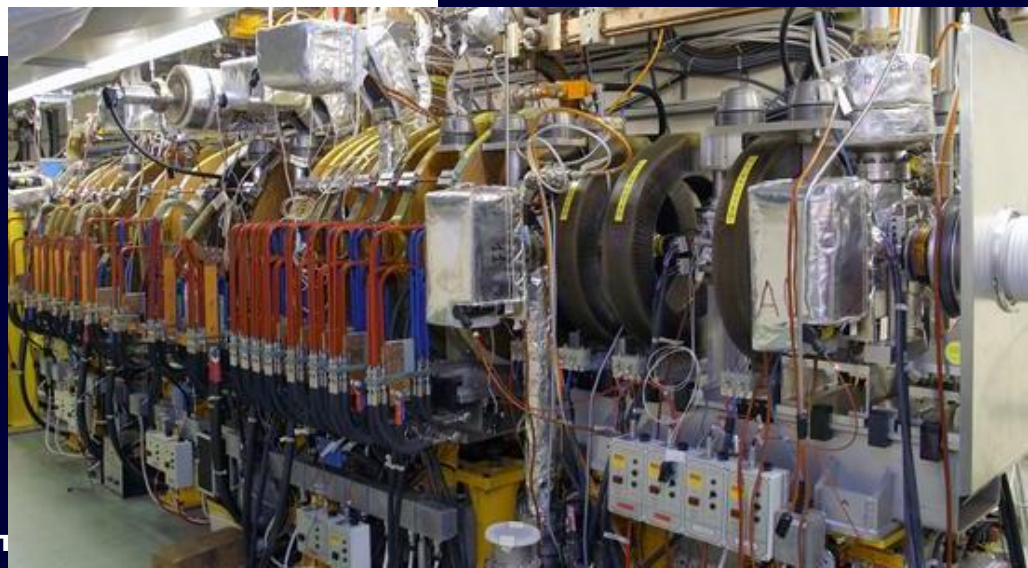
- Приблизително 10 000 магнита
  - ⇨1232 dipoles, 15м дължина, 8.4 Tesla , 11 700 A
  - ⇨392 quadrupoles, 5-7м дължина
- Енергия в магнитите : 10 GJ или 2.5 тона TNT
- Работещ при температура малко над абсолютната нула (1.9 K)

Магнитно – Криостатен Монтаж & Тест

Магнитна инсталация

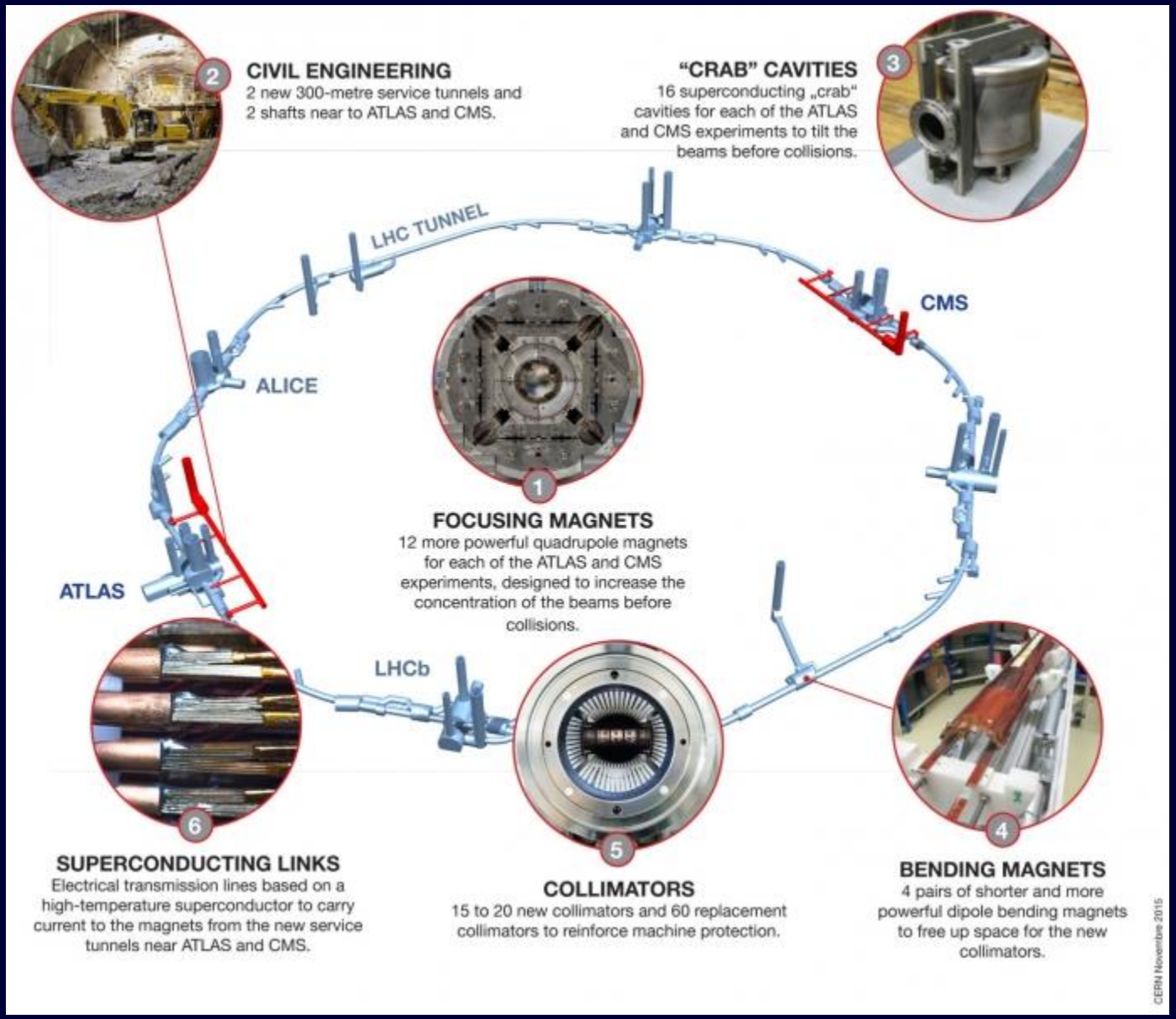
LHC – откриване на Higgs частицата!





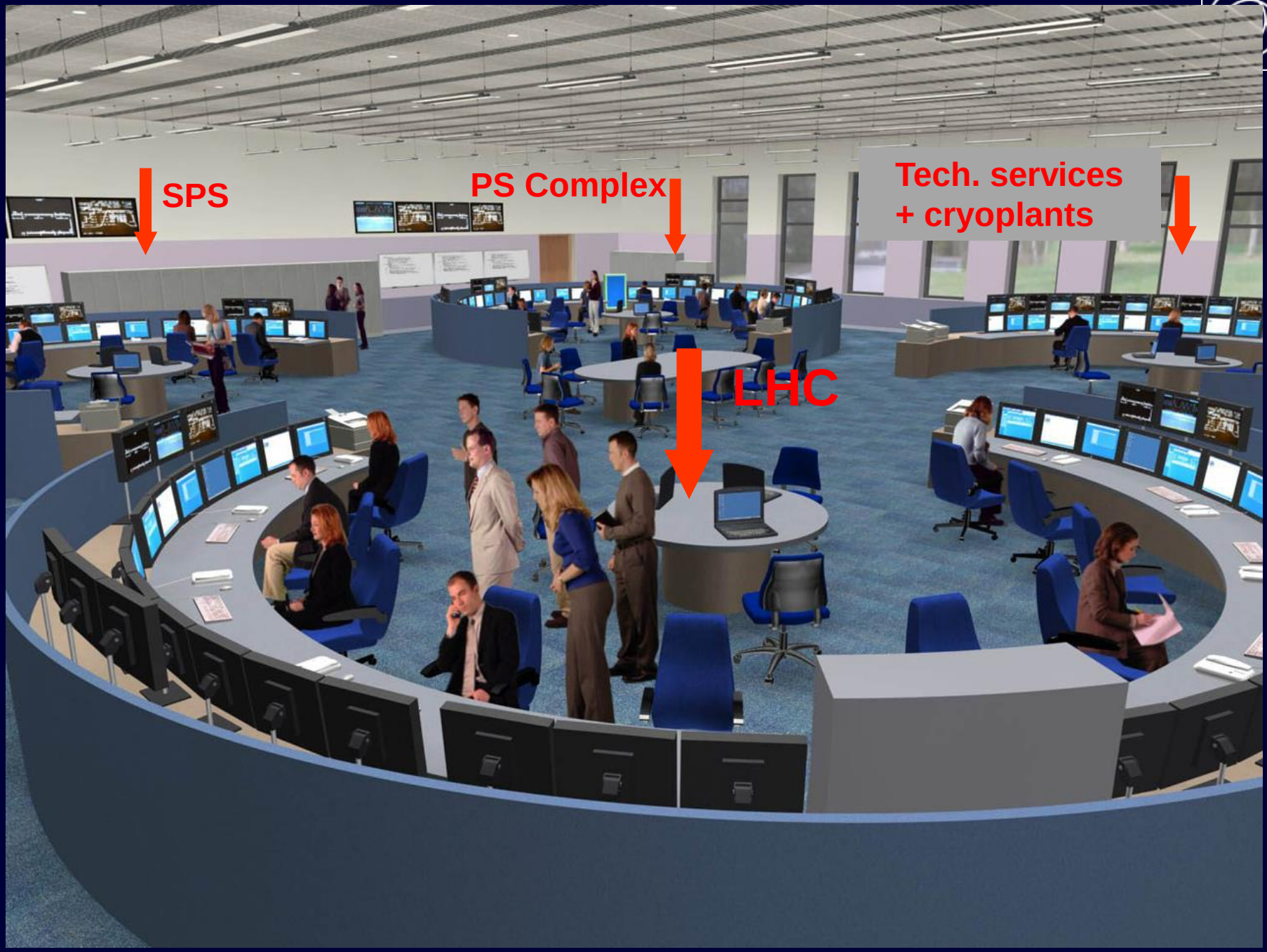
- CLIC Test Facility (CTF3)
  - 100 MeV per 1 meter
  - 3 TeV
  - e-

High Luminosity LHC



Център за управление

- Единен център за управление (CCC) 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 CCC от 2006г.


SPS
PS Complex
Tech. services
+ cryoplants
LHC

Центърът за управление

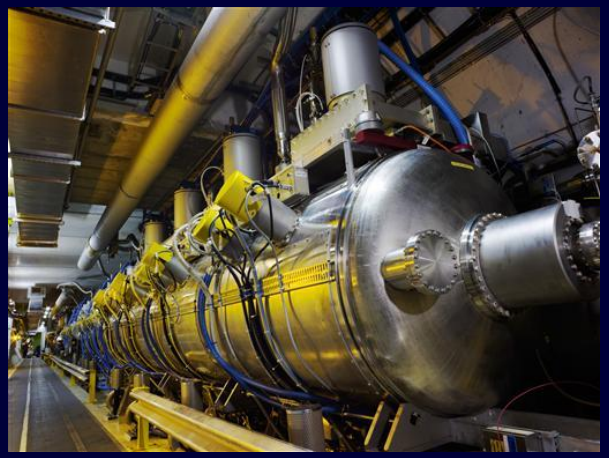
Хардуерна инфраструктура на системите за управление

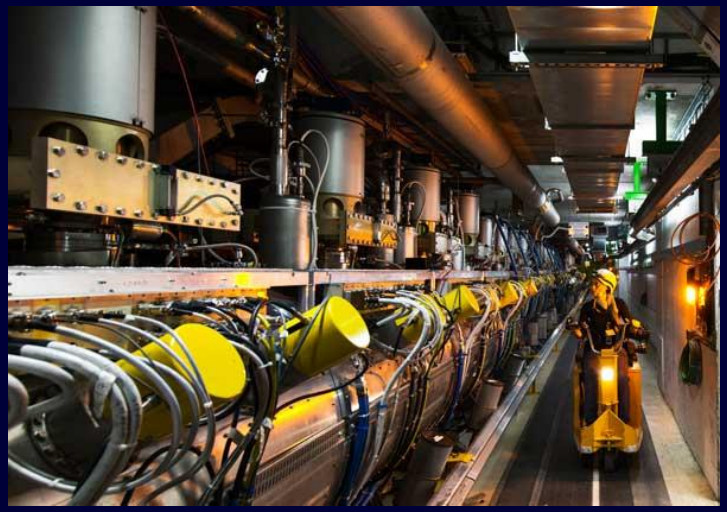
Основни съставни части на ускорител (LHC)

- 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)

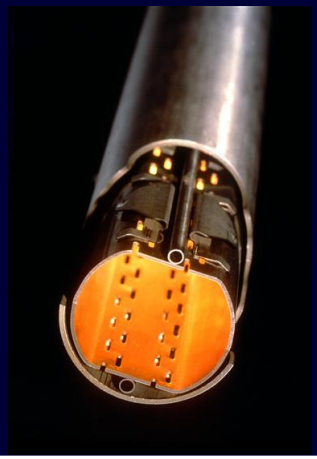
Основни съставни части на ускорител

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





- Вакуумни системи
  /10^{-13} atm/

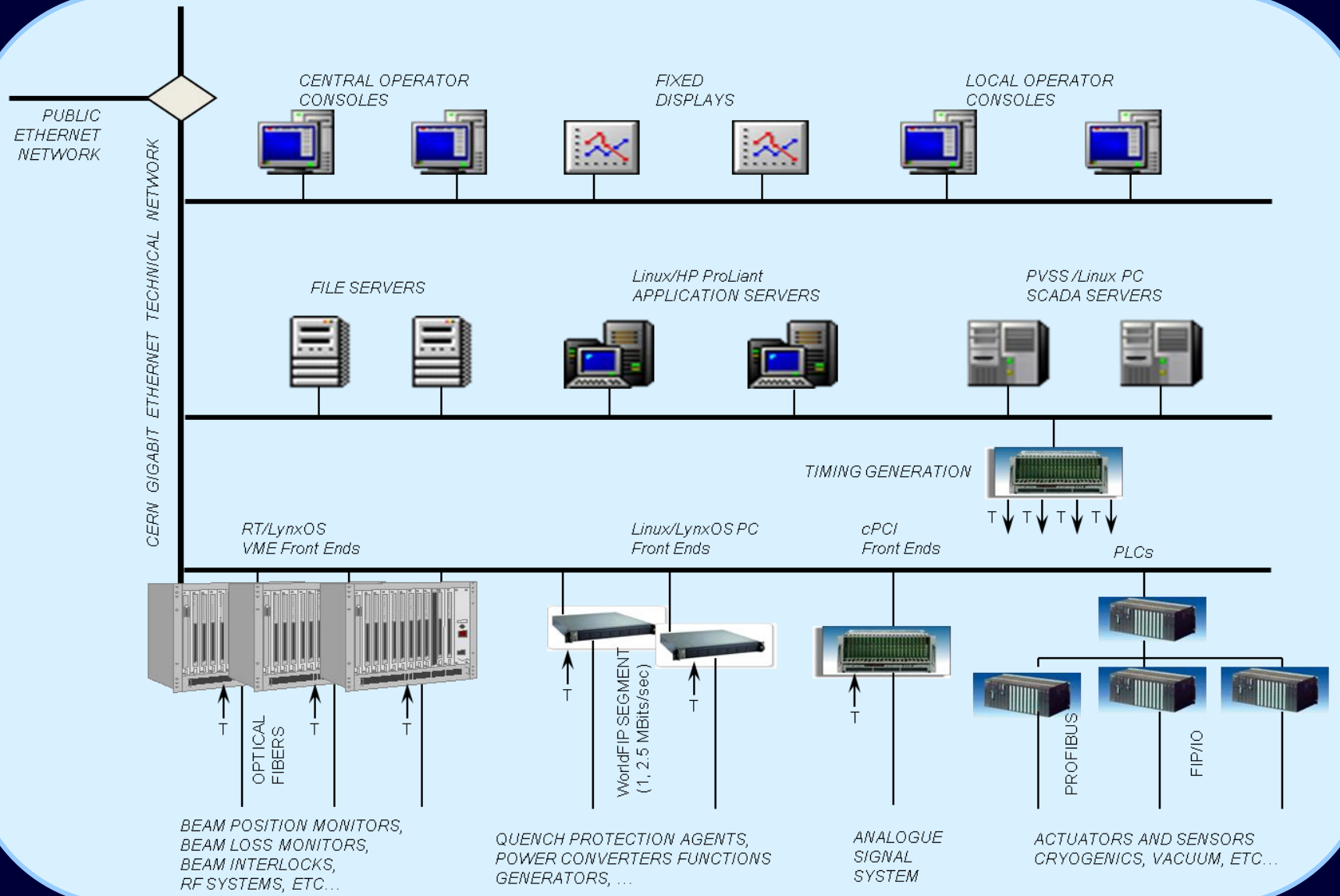


Основни съставни части на ускорител

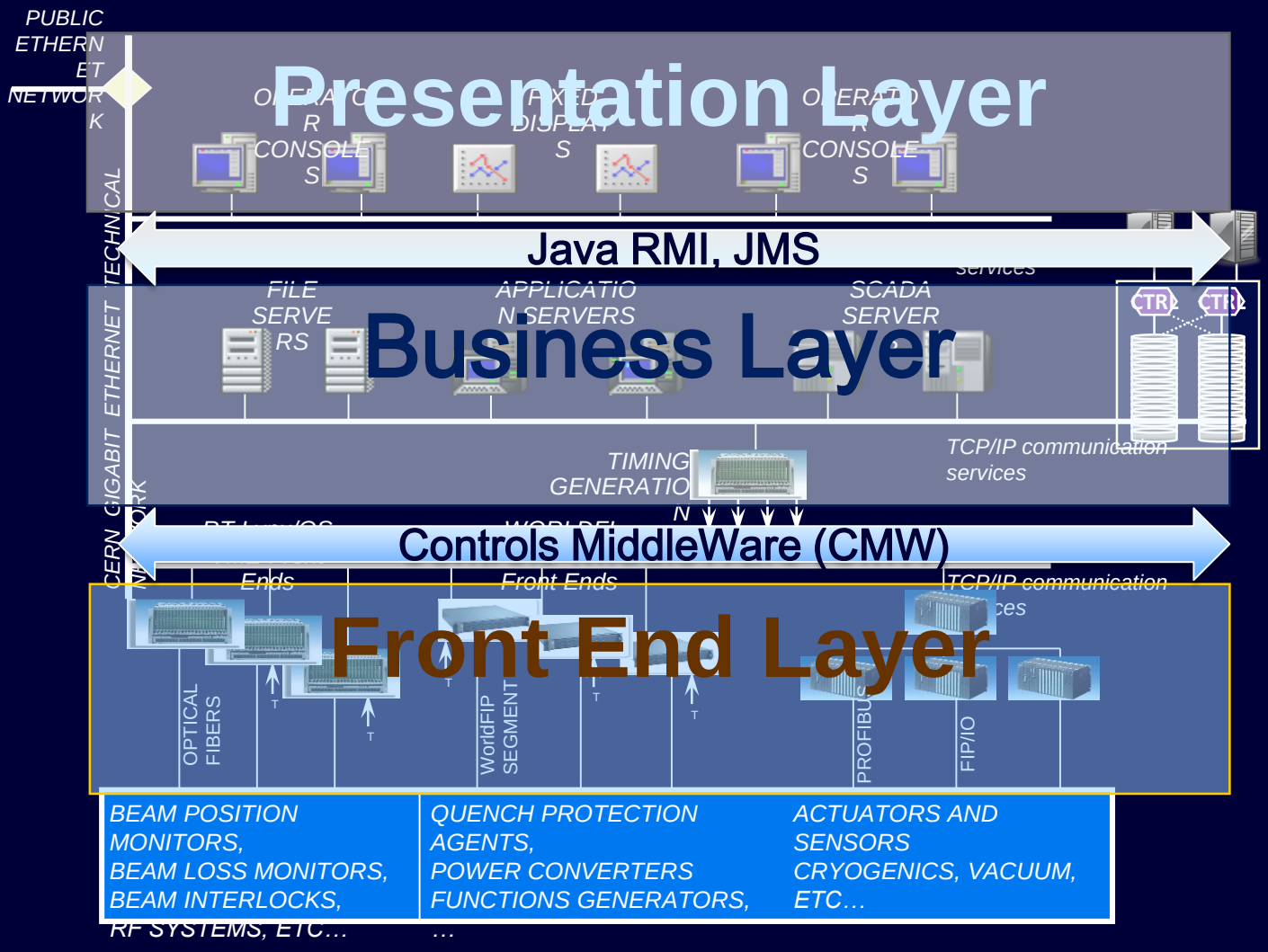
- Криогенни инсталации
  - -193.2°C (80 K)
  - -271.3°C (1.9 K)

- Електро трансформатори и захранващи устройства

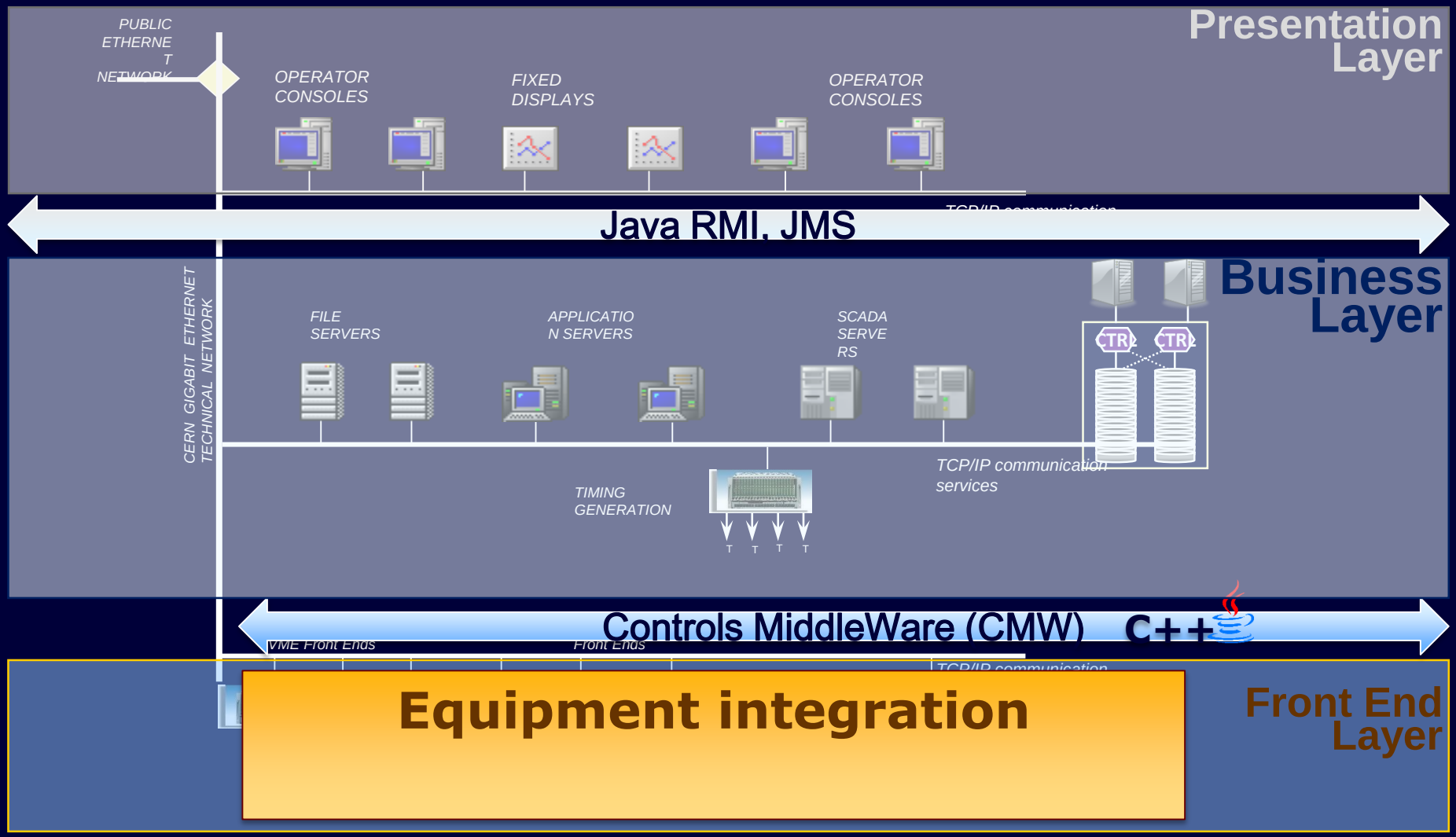
Хардуерна инфраструктура на системите за управление



Хардуерна инфраструктура на системите за управление



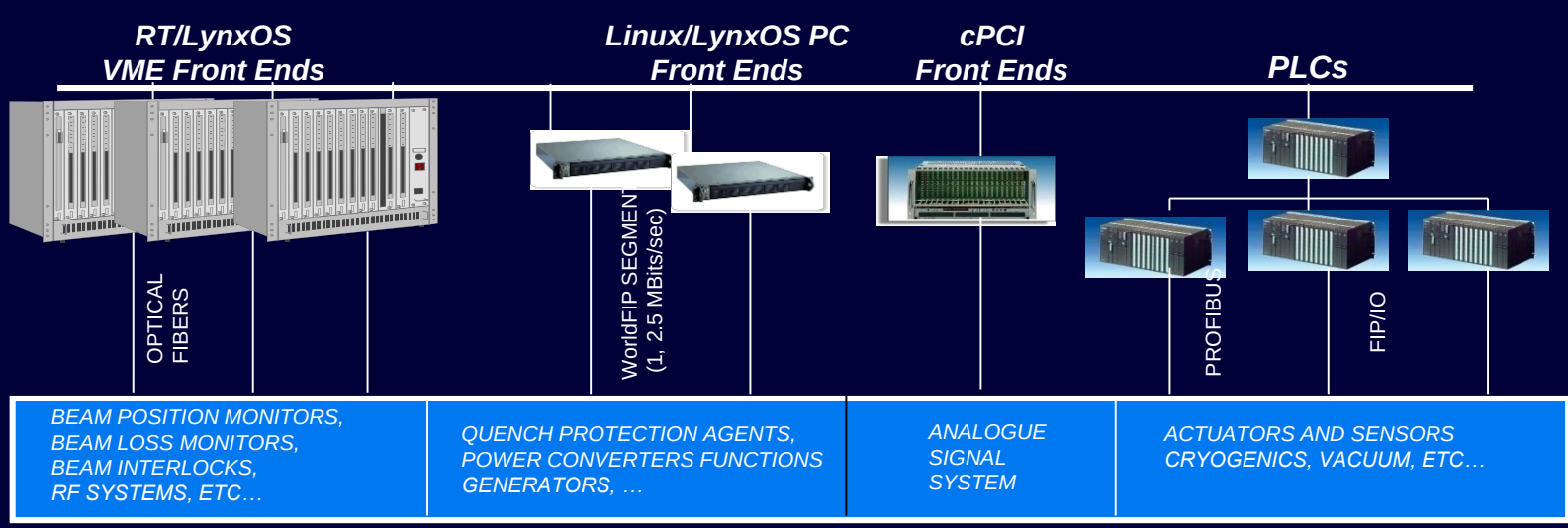
Хардуерна инфраструктура на системите за управление



Базисен слой

Най-горен слой - слой за визуализиране

Междинен слой - сървъри

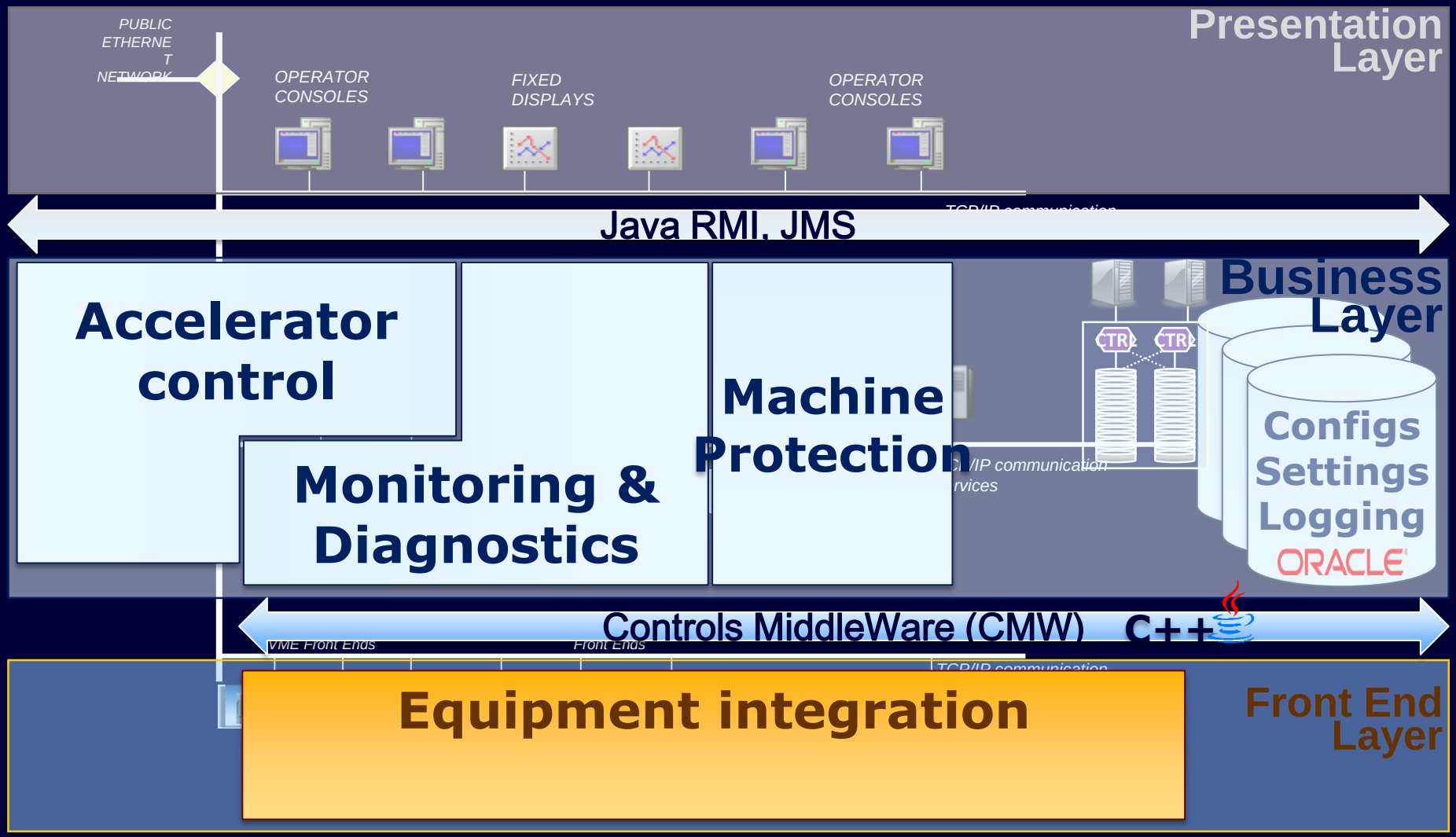


Open Source Hardware

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

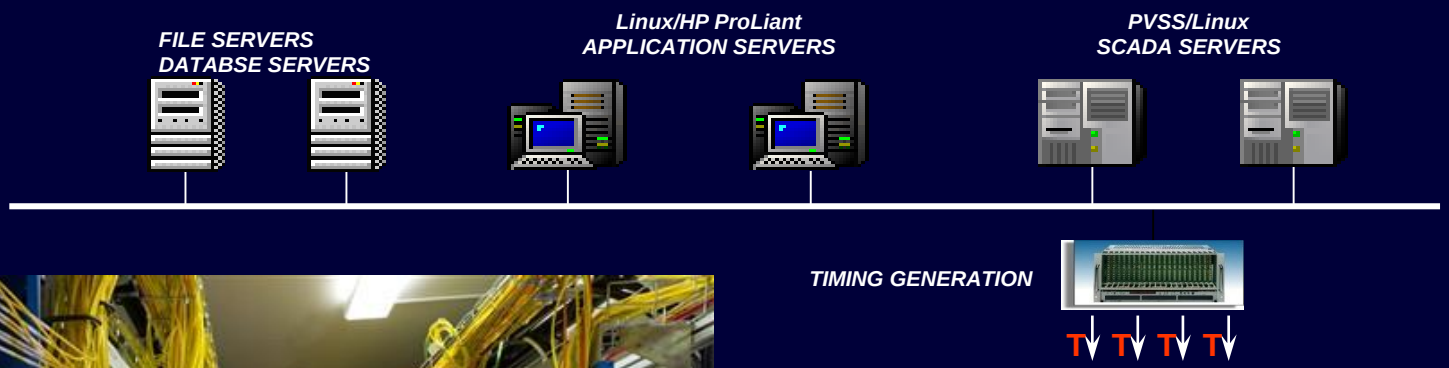
www.ohwr.org

Хардуерна инфраструктура на системите за управление

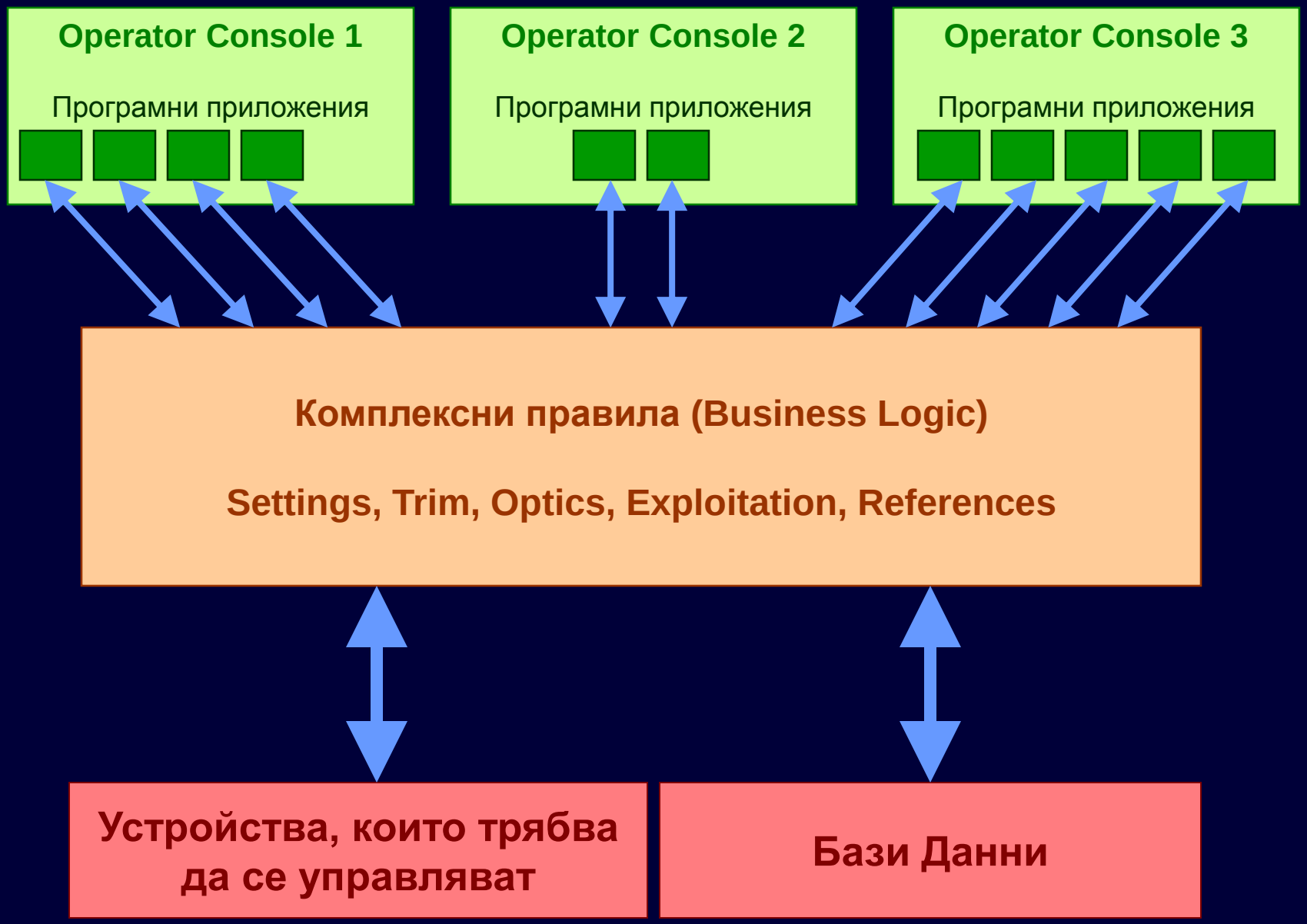


Междинен слой

Най-горен слой

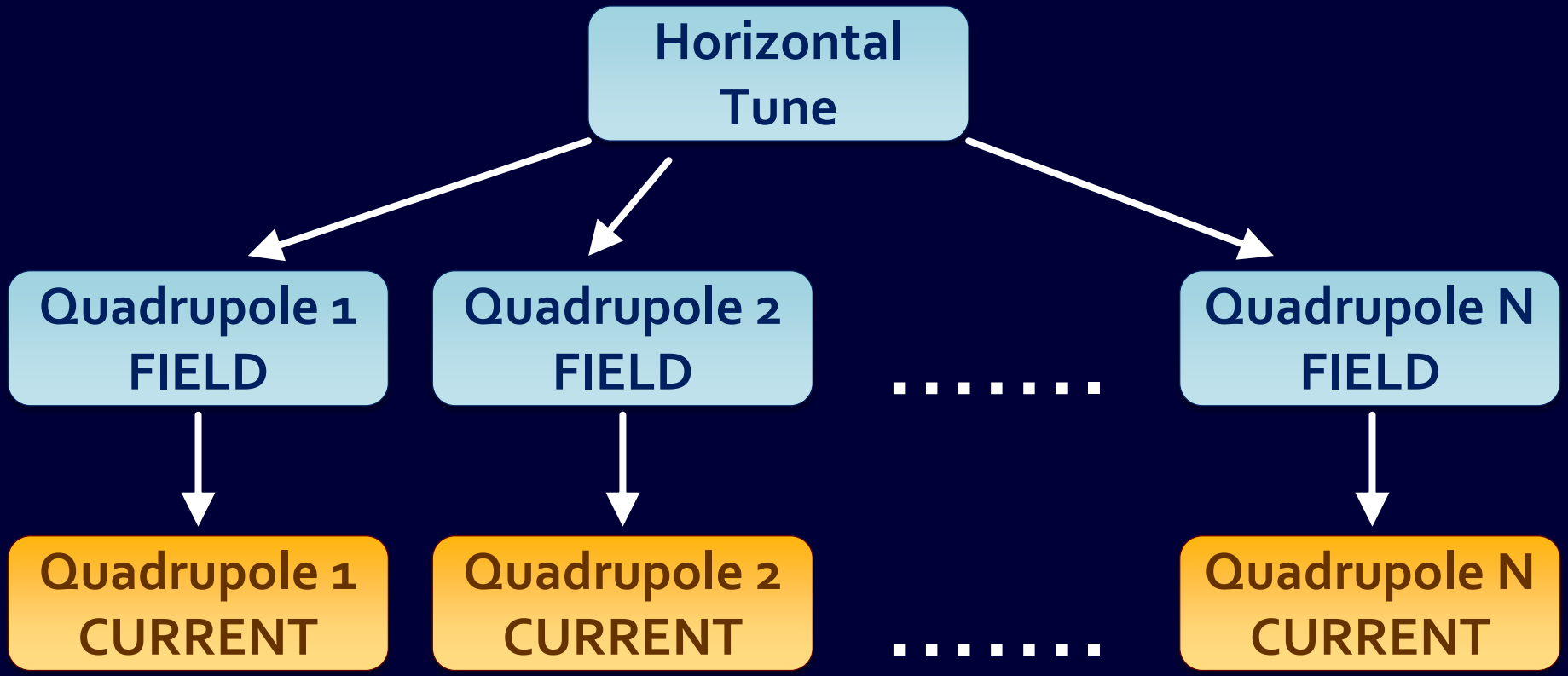


Софтуерна архитектура за управление на LHC



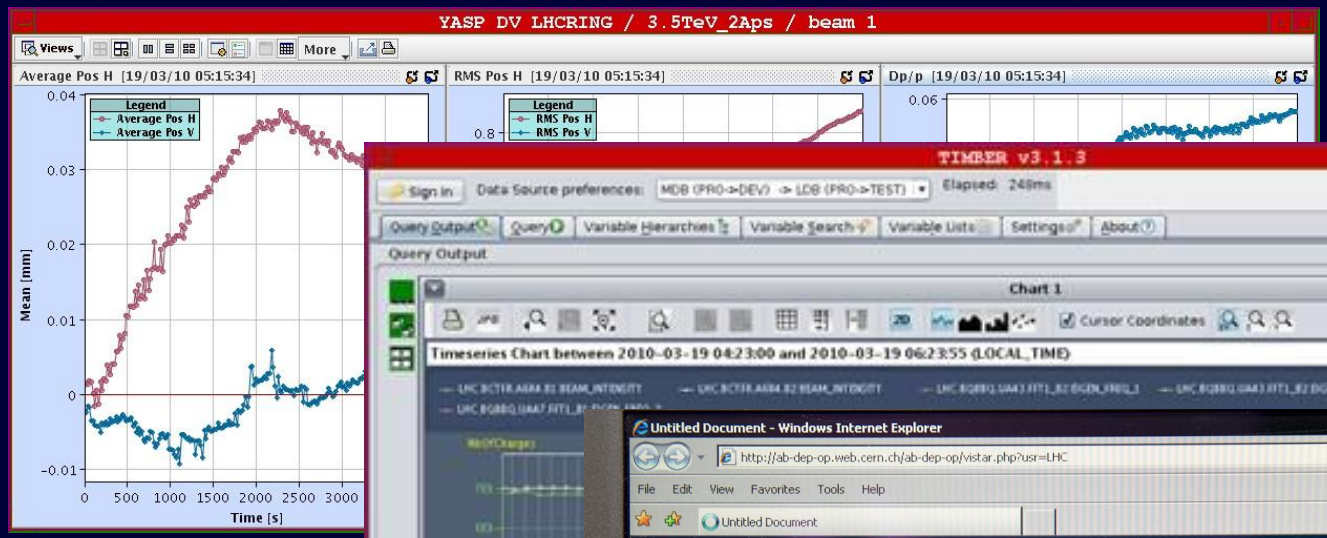
Комплексни правила (Business Logic)

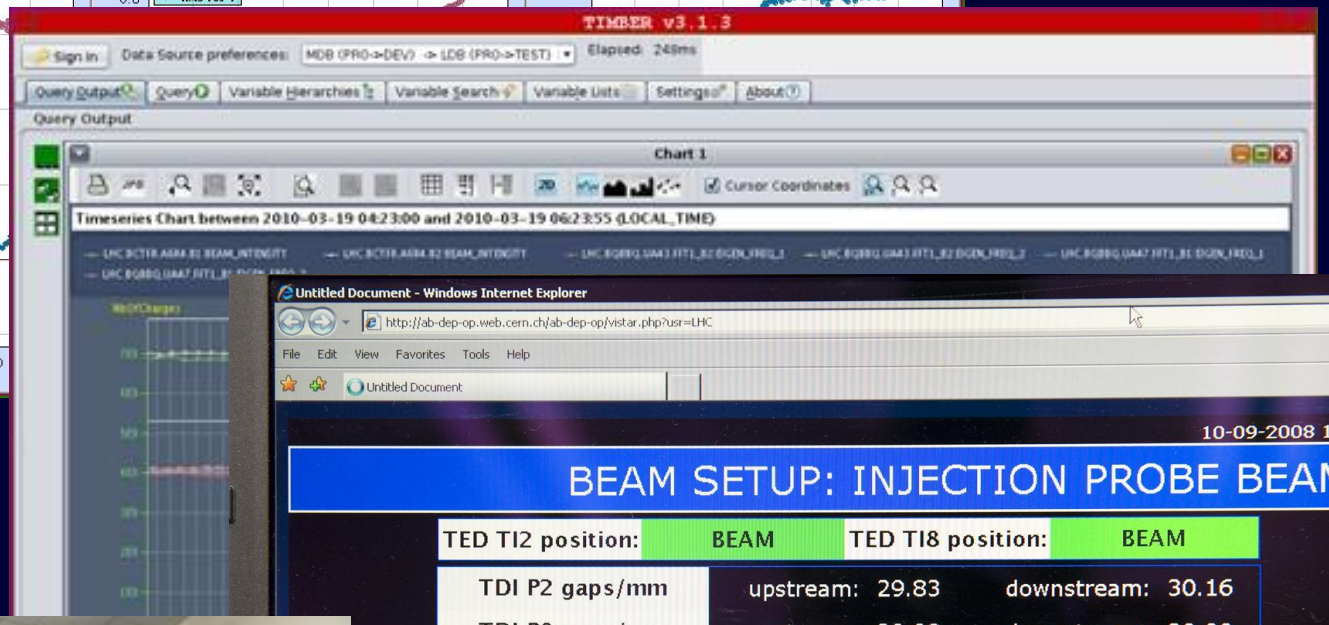
- „Превежда“ параметри за управлението на ускорителите от високо ниво

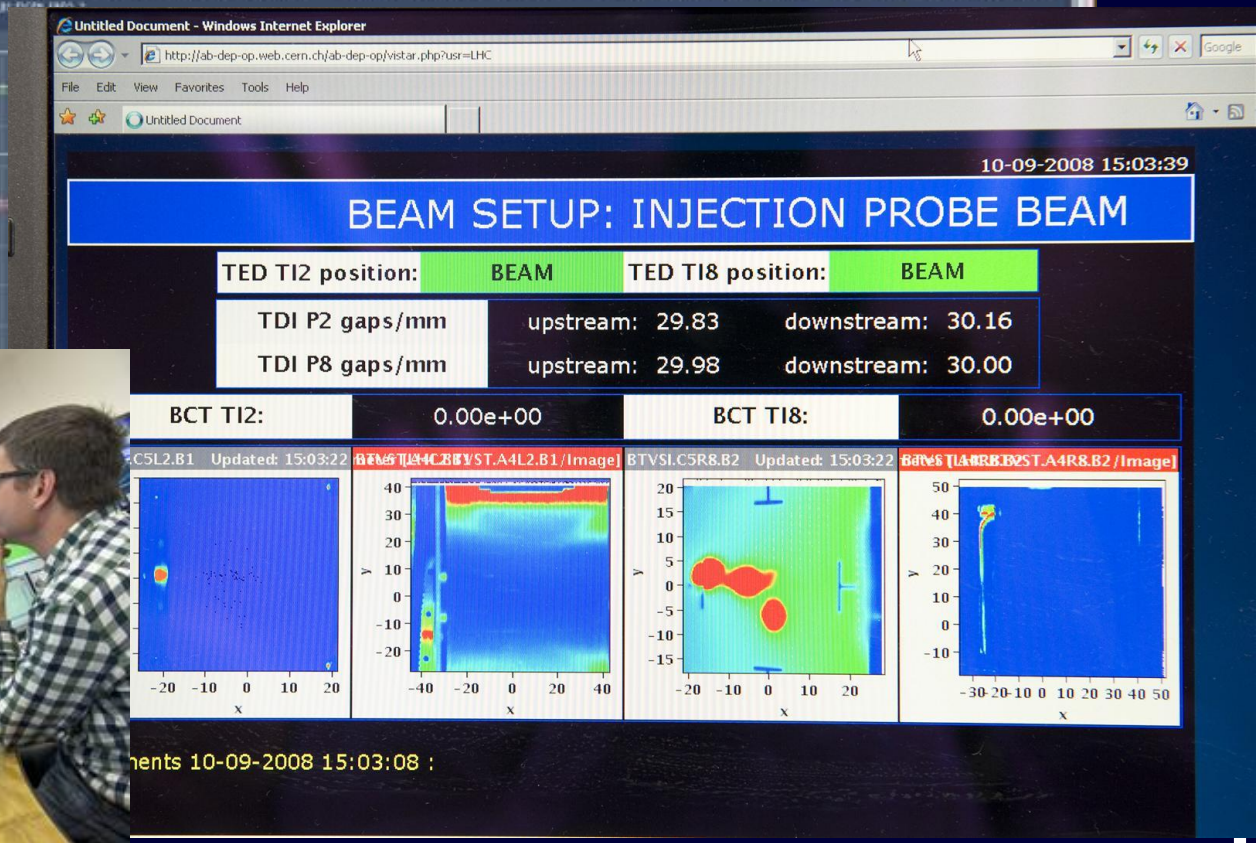


Fixed Displays
Operational Consoles
CERN

Слой за визуализиране

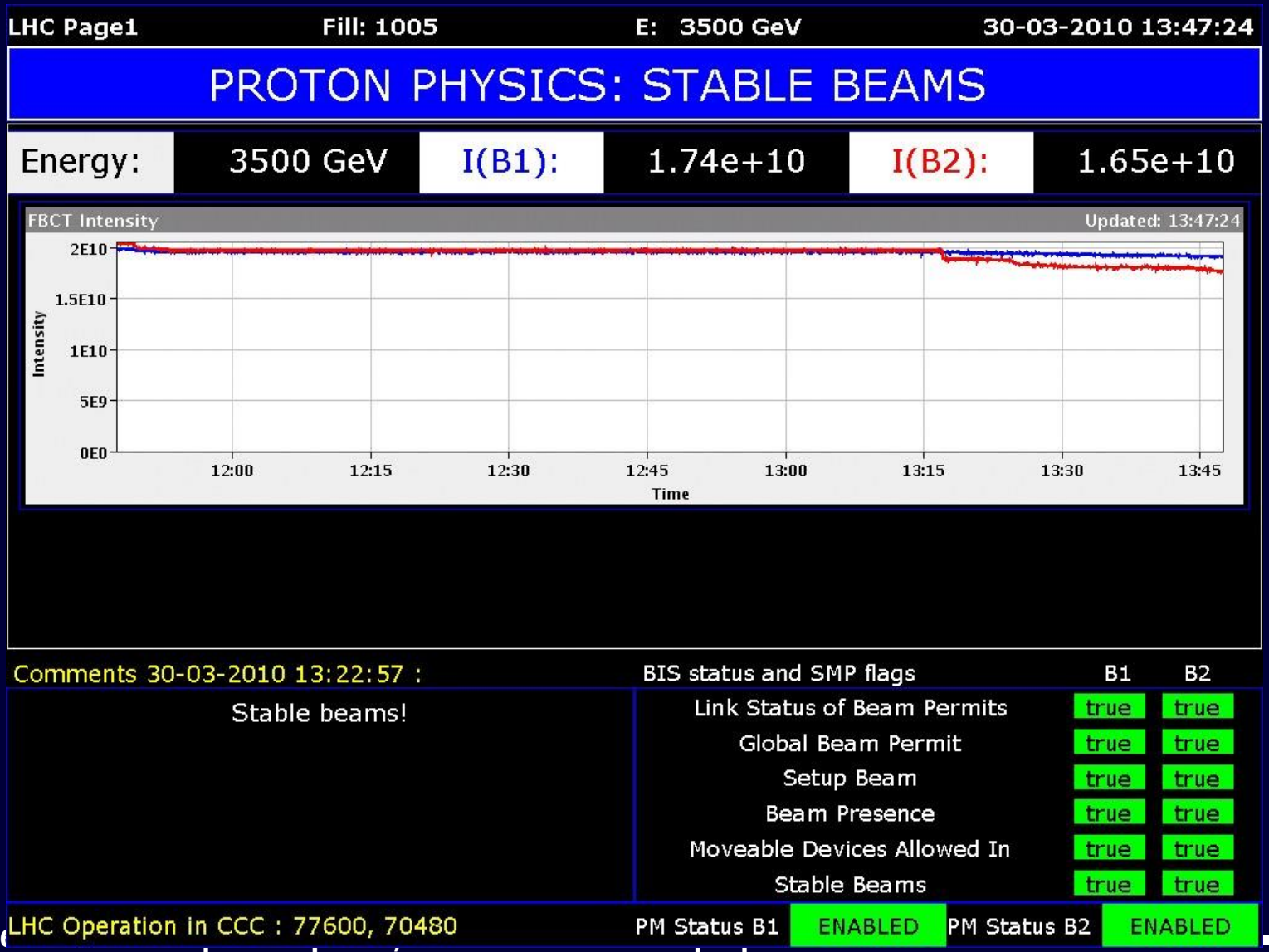






Слой за визуализиране

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

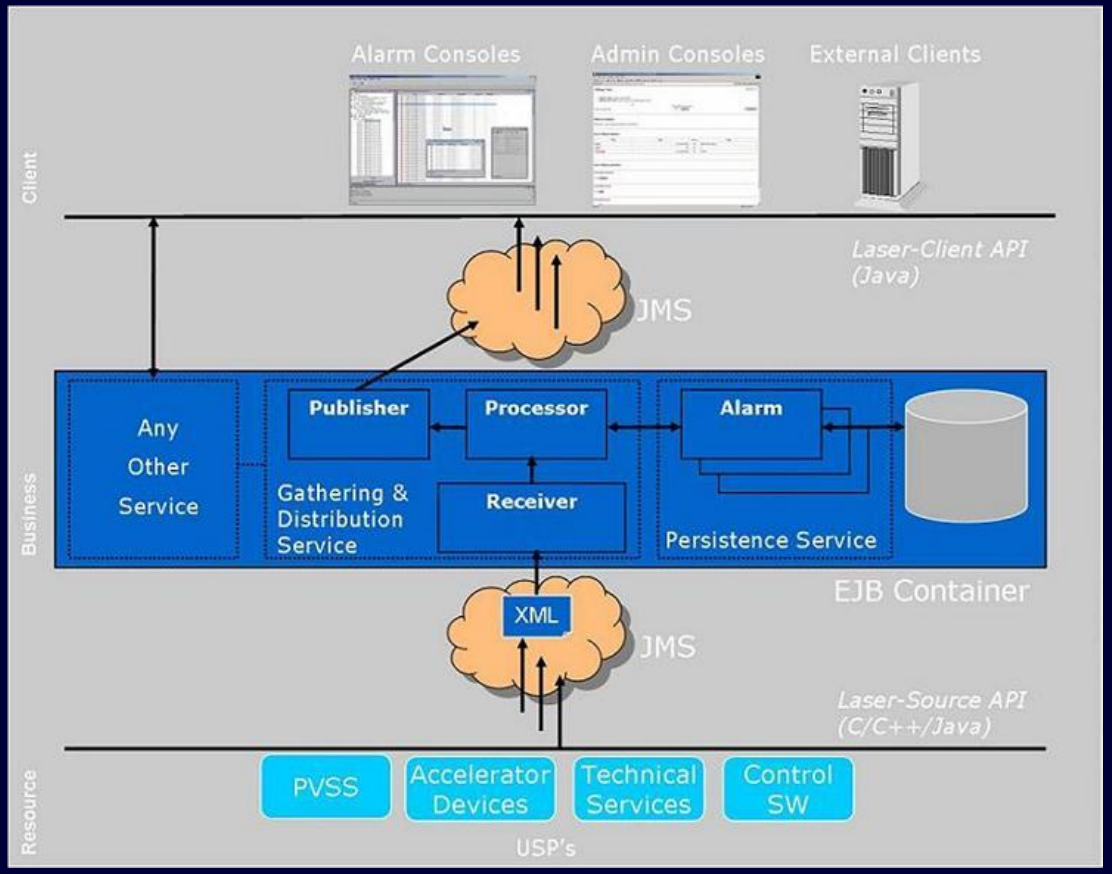


Защита на ускорителите

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

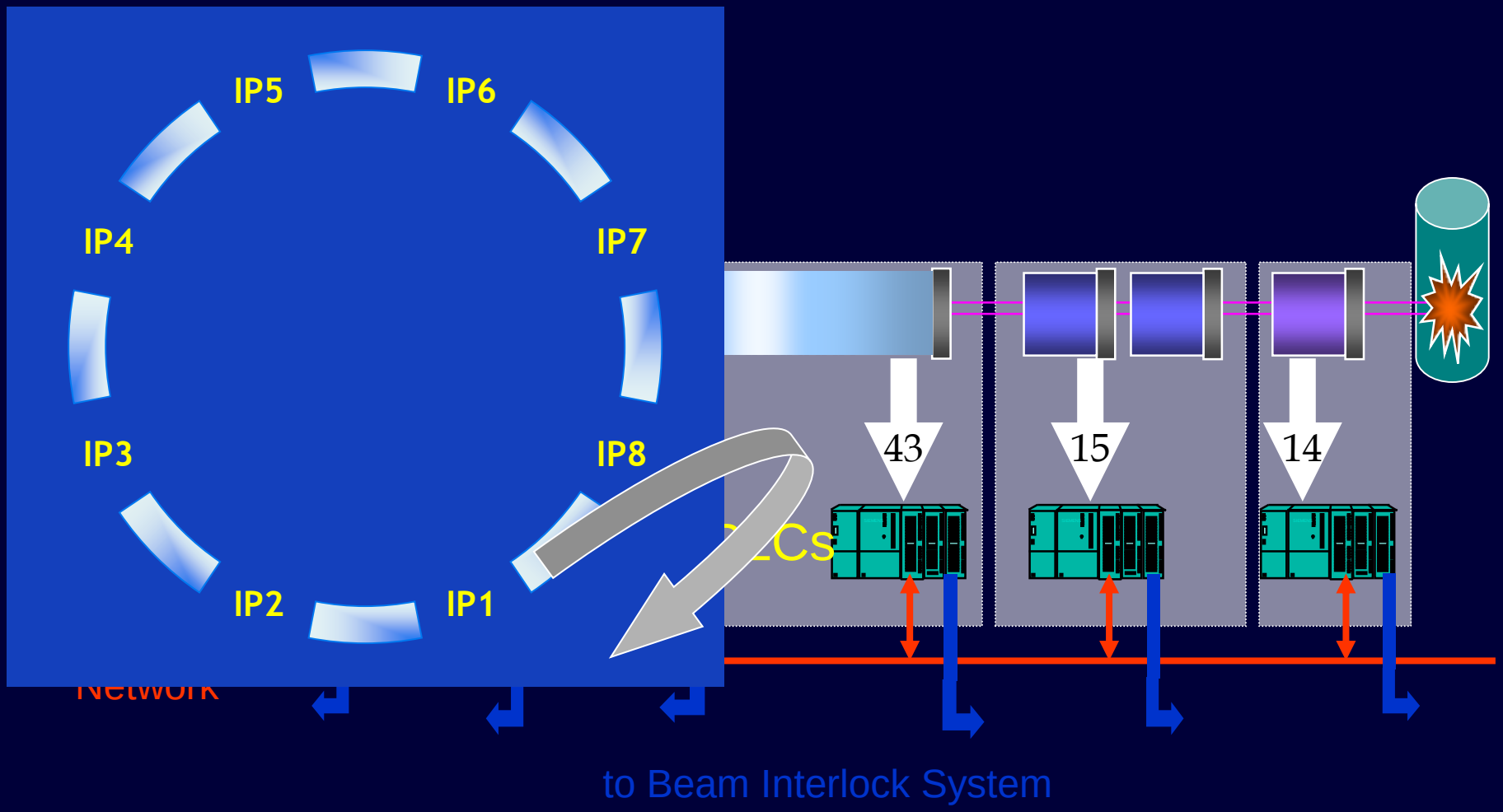
Алармена система

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



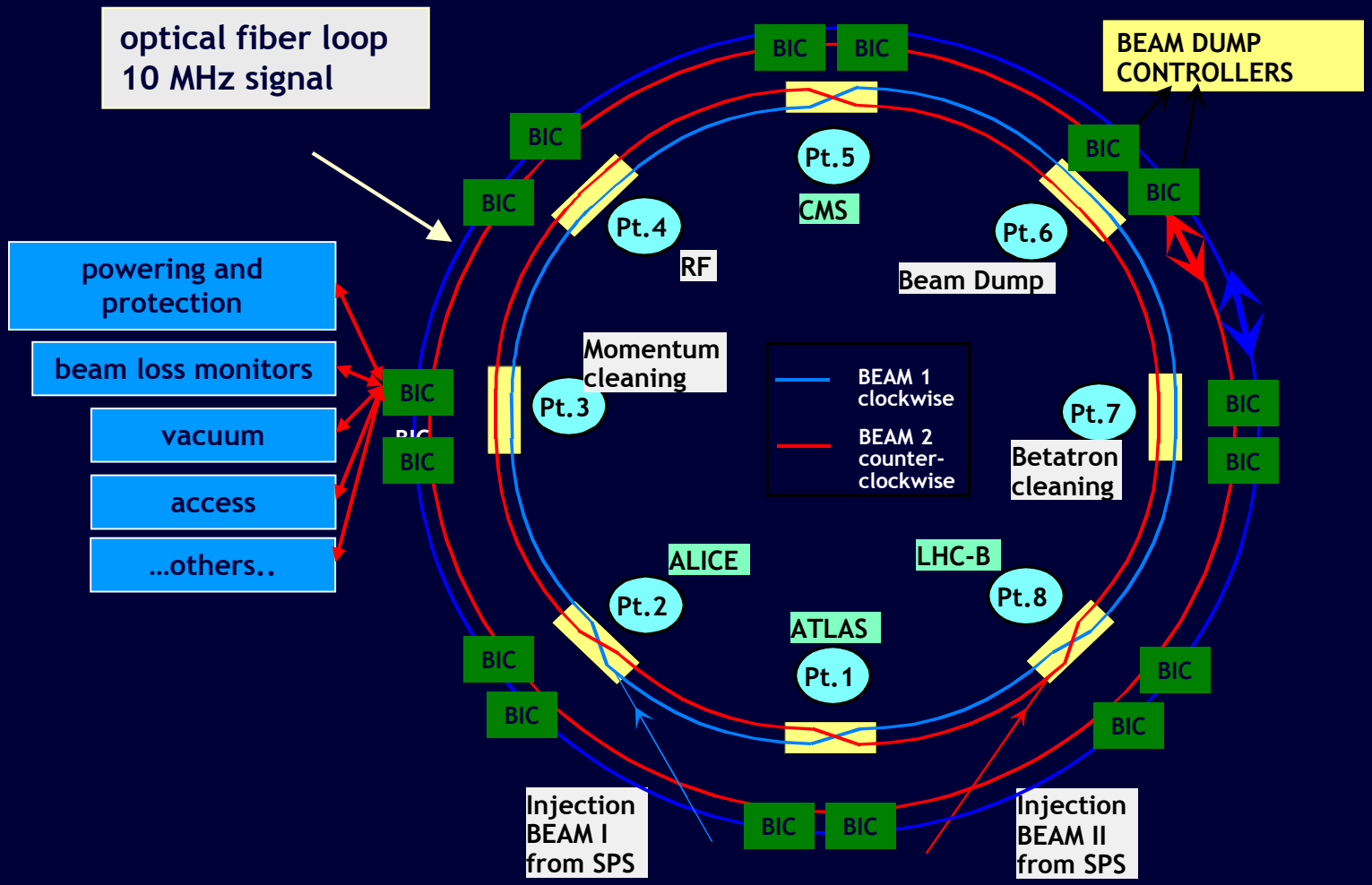
Система интерлок на захранване

- 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 PM системата не е готова

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

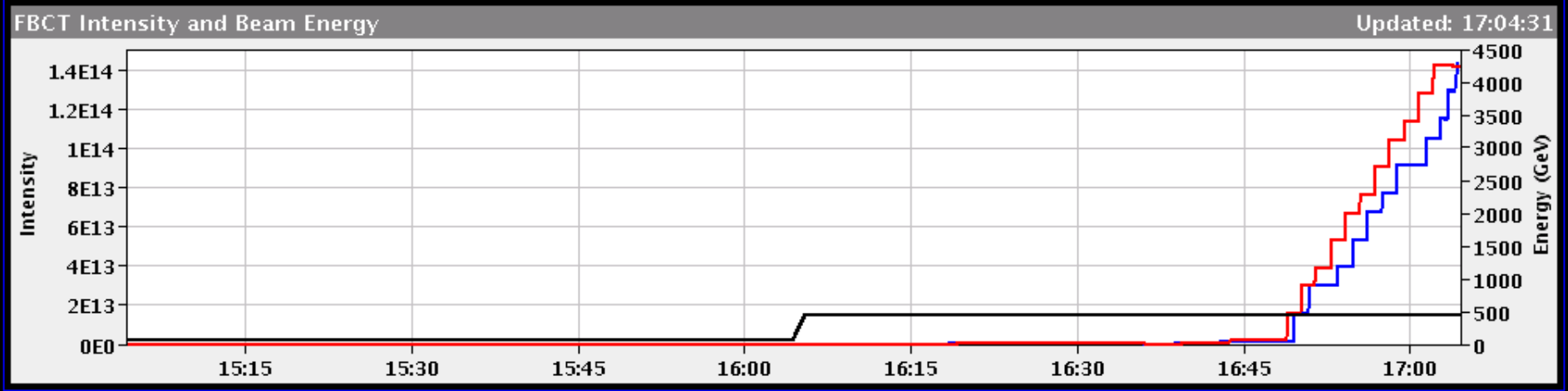
- Анализ
  - ⇨ Структурирано сортиране на причини и следствия

LHC Page1 | Fill: 2511 | E: 450 GeV | 13-04-12 17:04:30

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



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

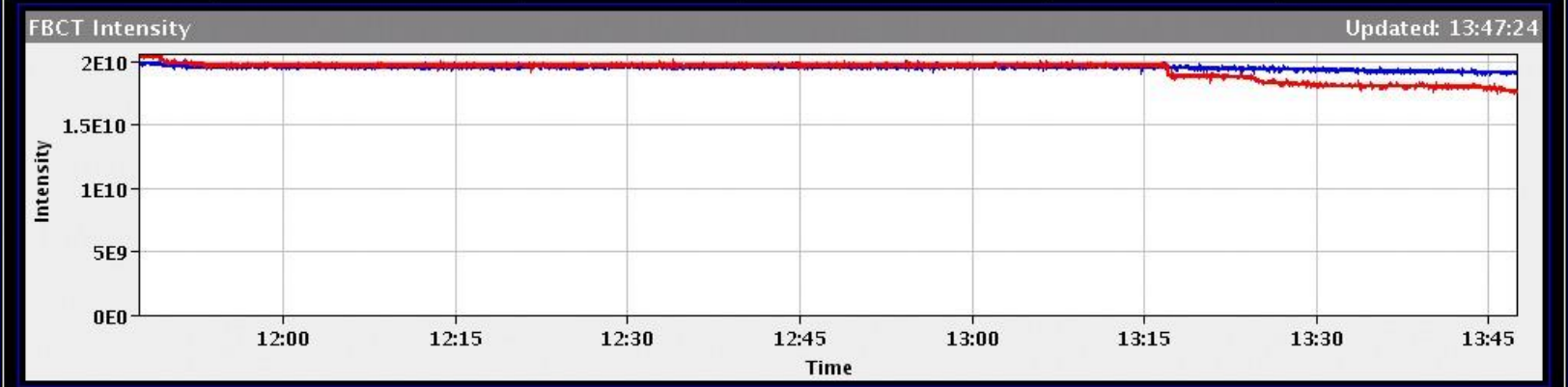
AFS: 50ns_1092b_1054_0_1032_108bpi12inj | PM Status B1: ENABLED | PM Status B2: ENABLED

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



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

Сигурност на системите за управление

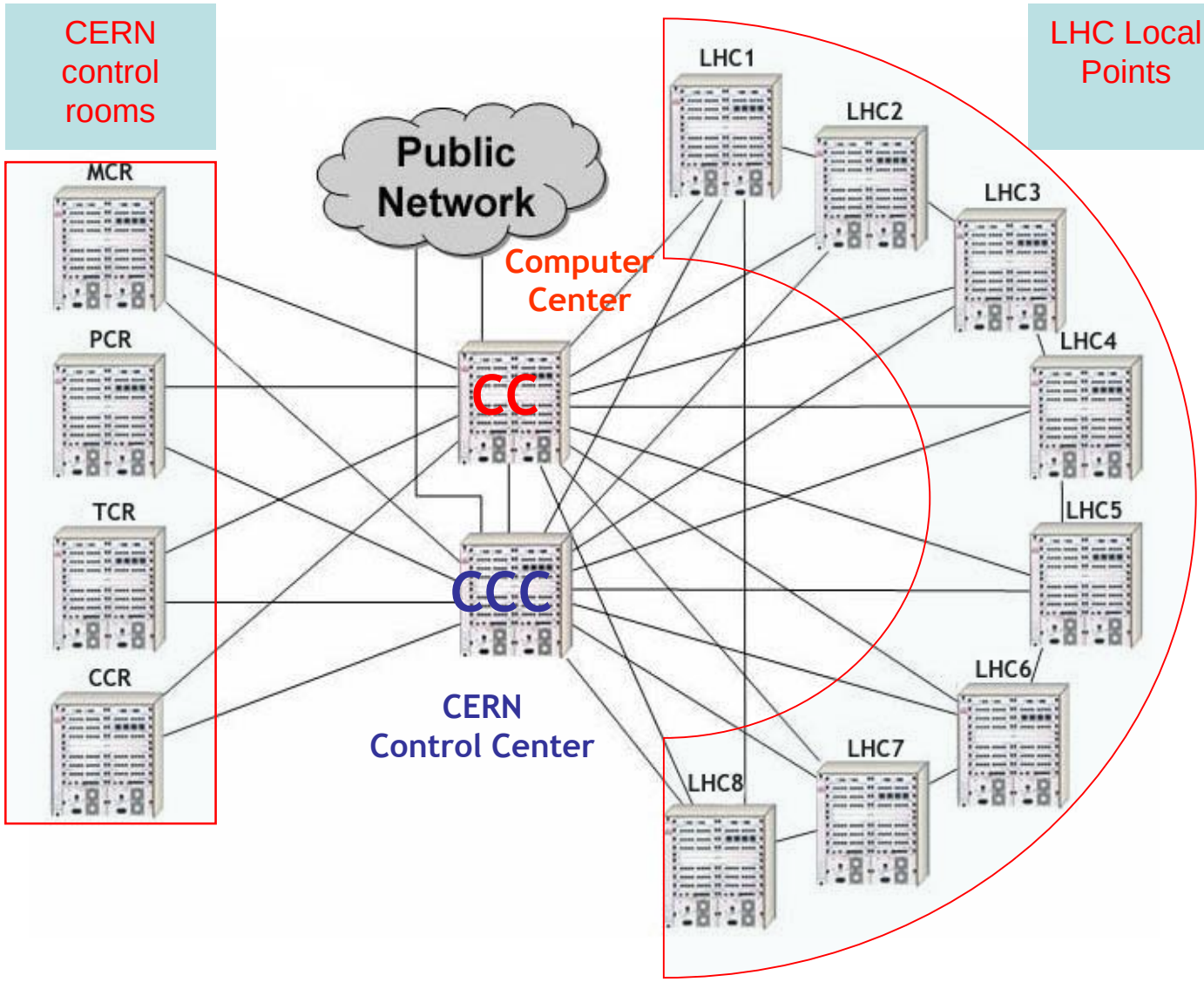
Quis custodiet ipsos custodes?
(Кой пази пазачите?)

- 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

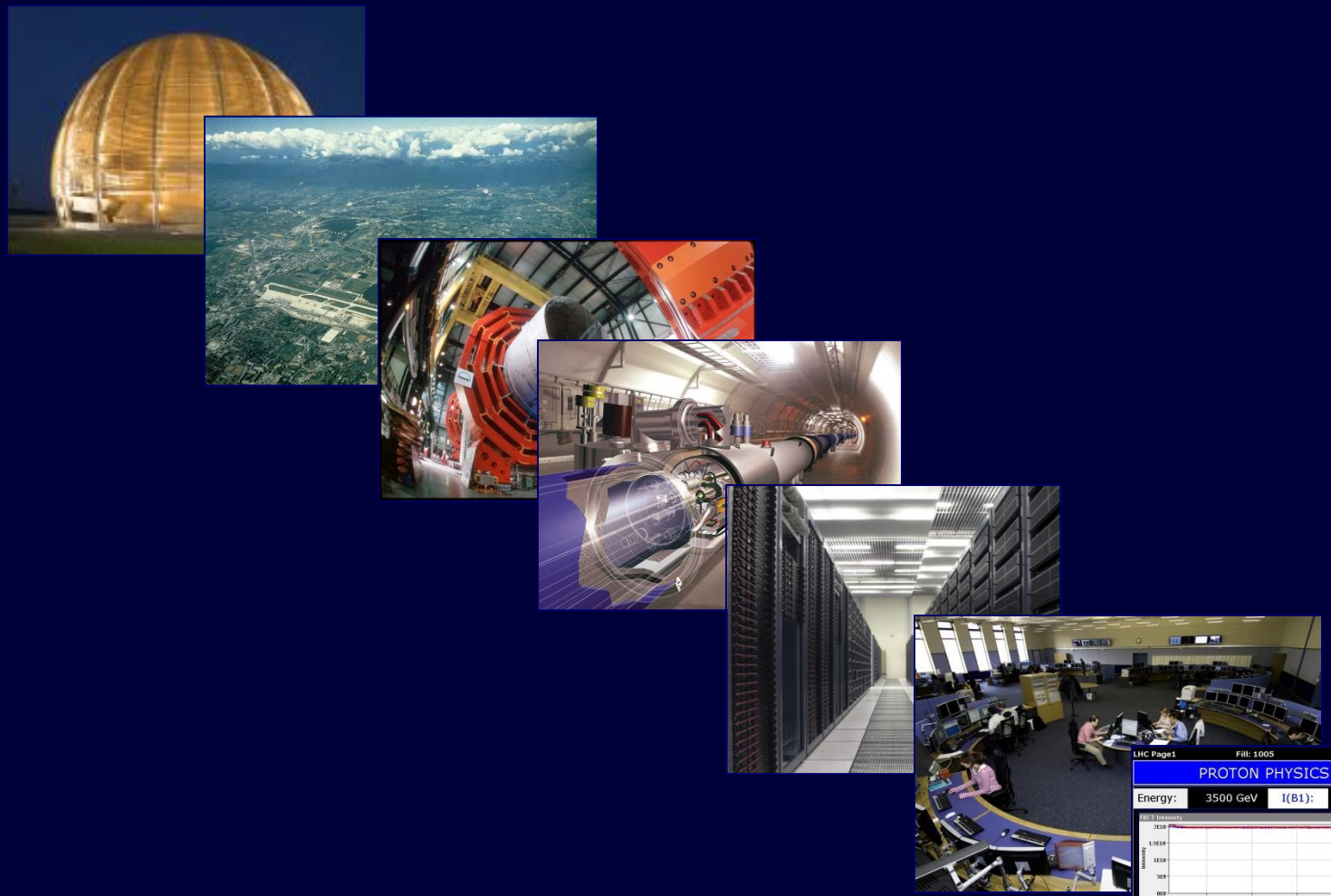
Cooling

Vacuum

Safety Systems

Access Control

Въпроси



Zornitsa.Zaharieva@cern.ch

Посещение на CCC