

# Въведение в Комплекса Ускорители на ЦЕРН и Системи за Тяхното Управление

*инж. Зорница Захариева*

CERN

**Българска програма за учители по ИТ и инженерни дисциплини  
19.09.2022**



# 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



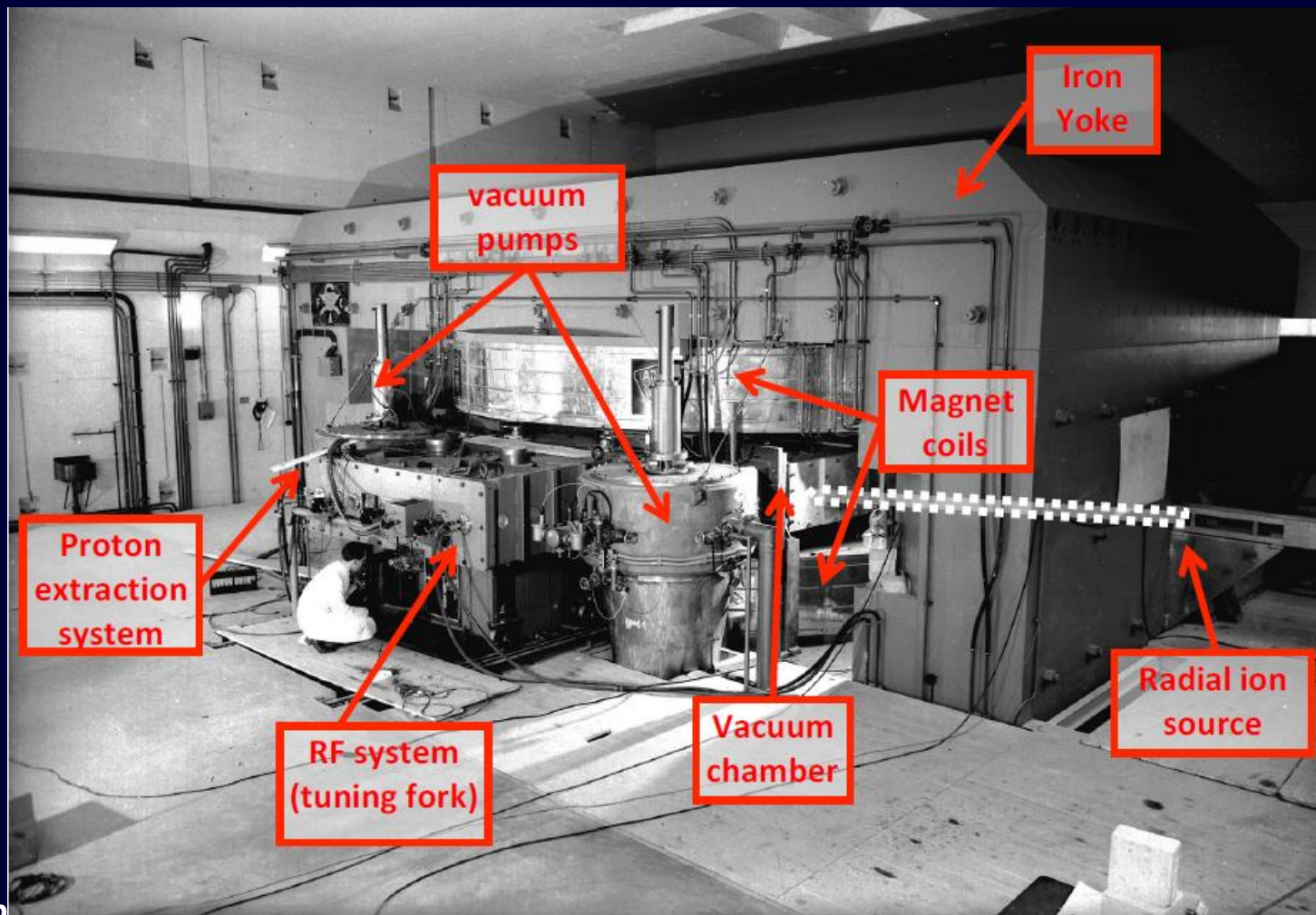
# Комплексът от ускорители – важни събития

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

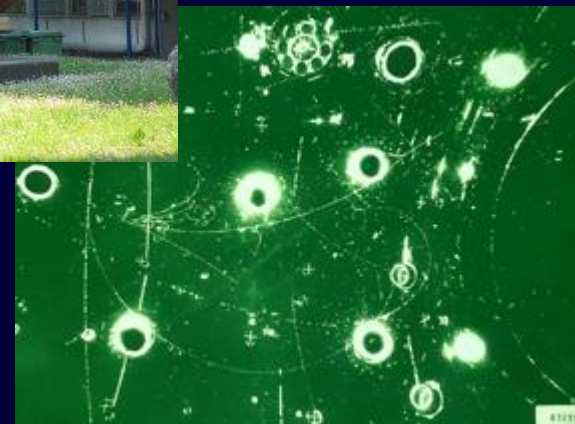
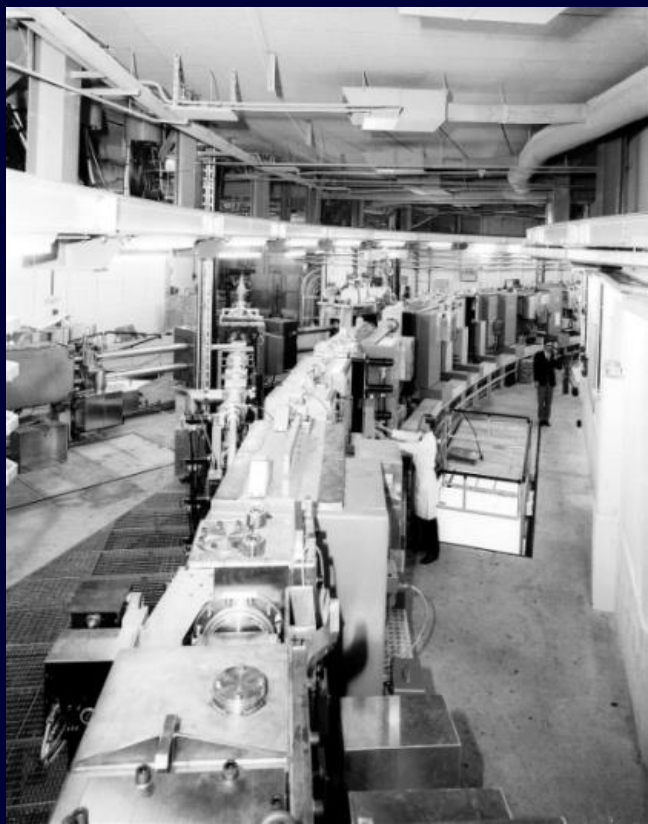




# Комплексът от ускорители – важни събития

## ➔ 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 кухни
  - ⇒ ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL детектори
  - ⇒ 91 GeV (изследване на Z бозони)/ 1995 - 209 GeV



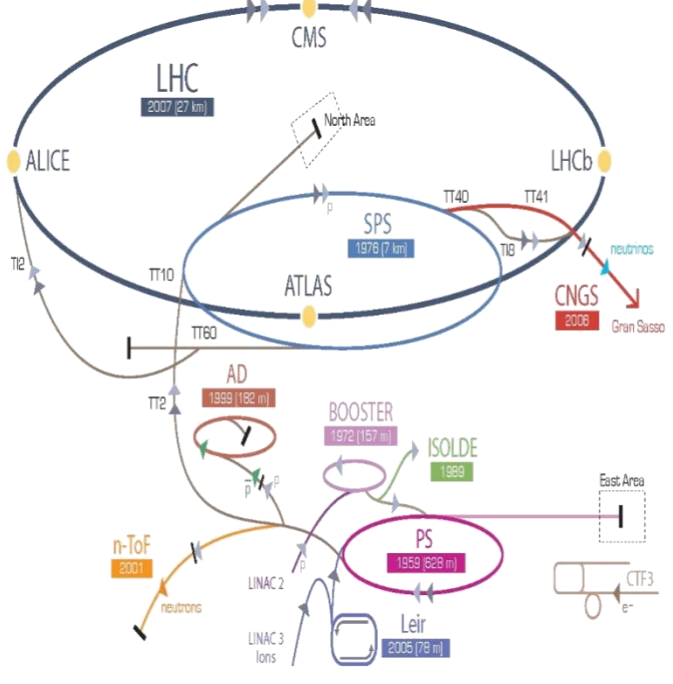
# Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 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

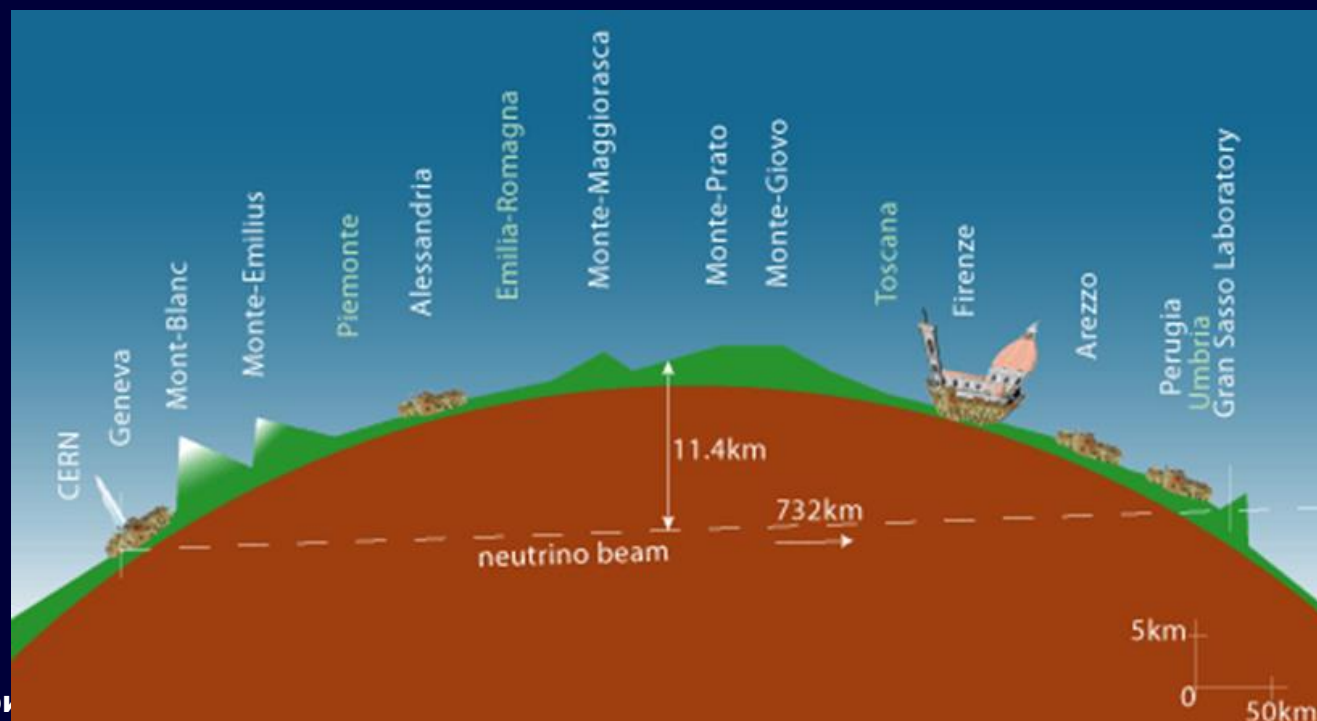




# CERN Neutrino to Gran Sasso (CNGS)



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

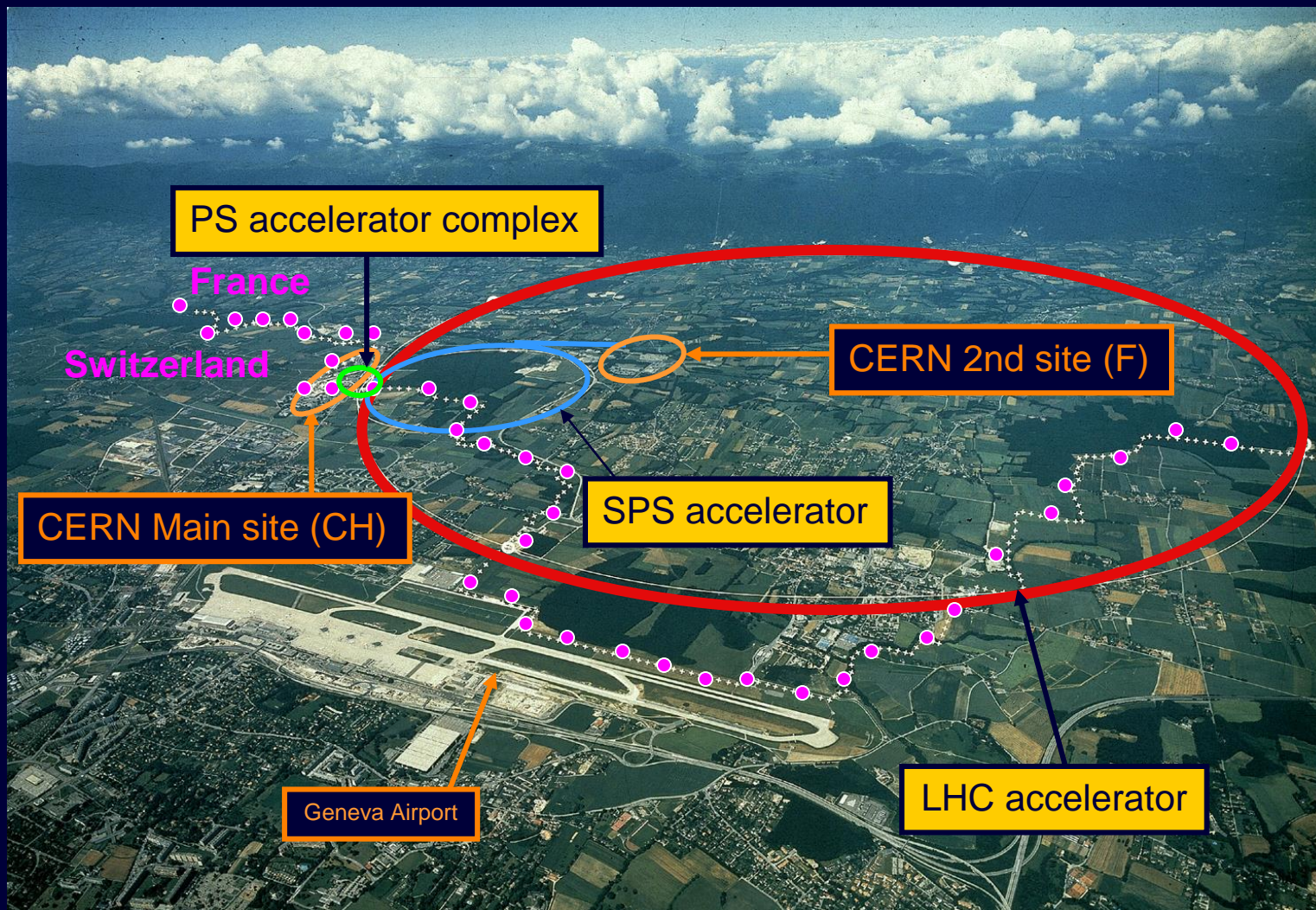


# ЦЕРН – в днешно време

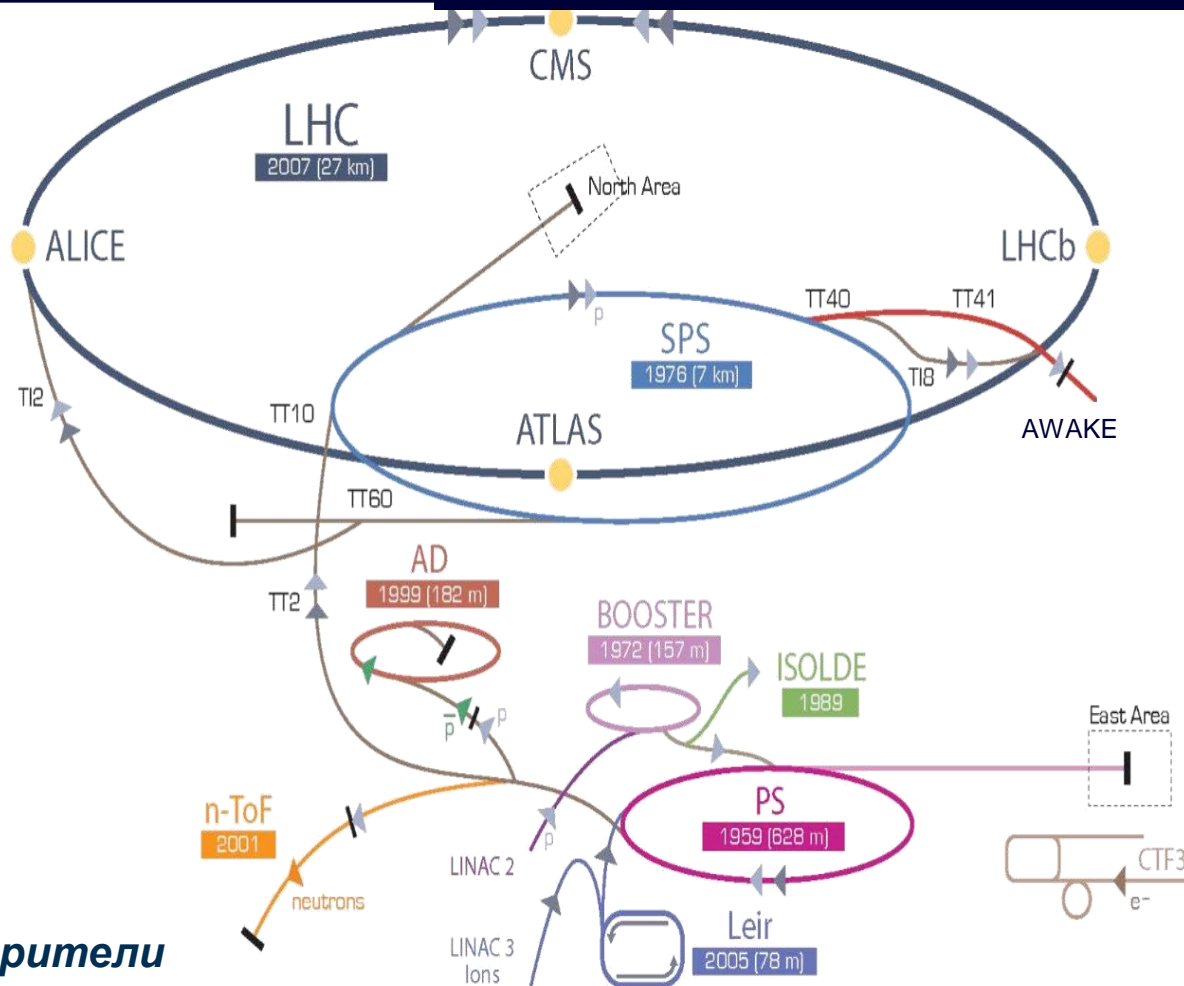
➔ Най-големият комплекс от ускорители в света



# 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



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

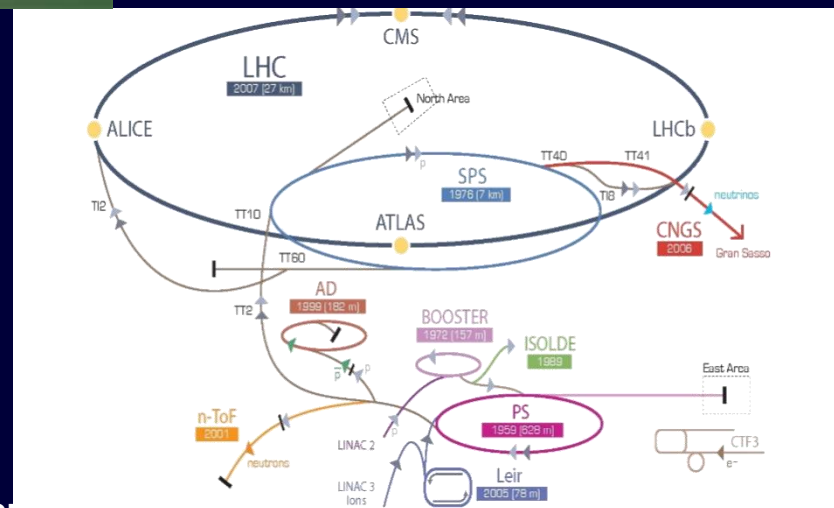


# Proton Synchrotron Booster (PSB)

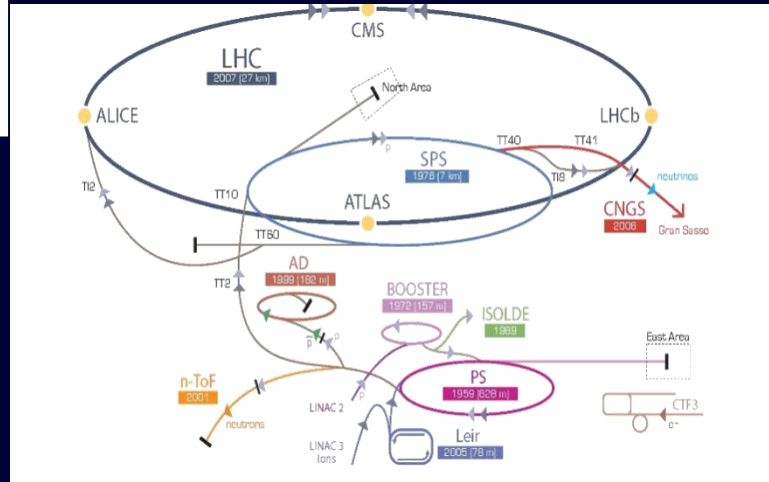


- ➔ 1972
- ➔ 1.4 GeV -> 2 GeV after 2021

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

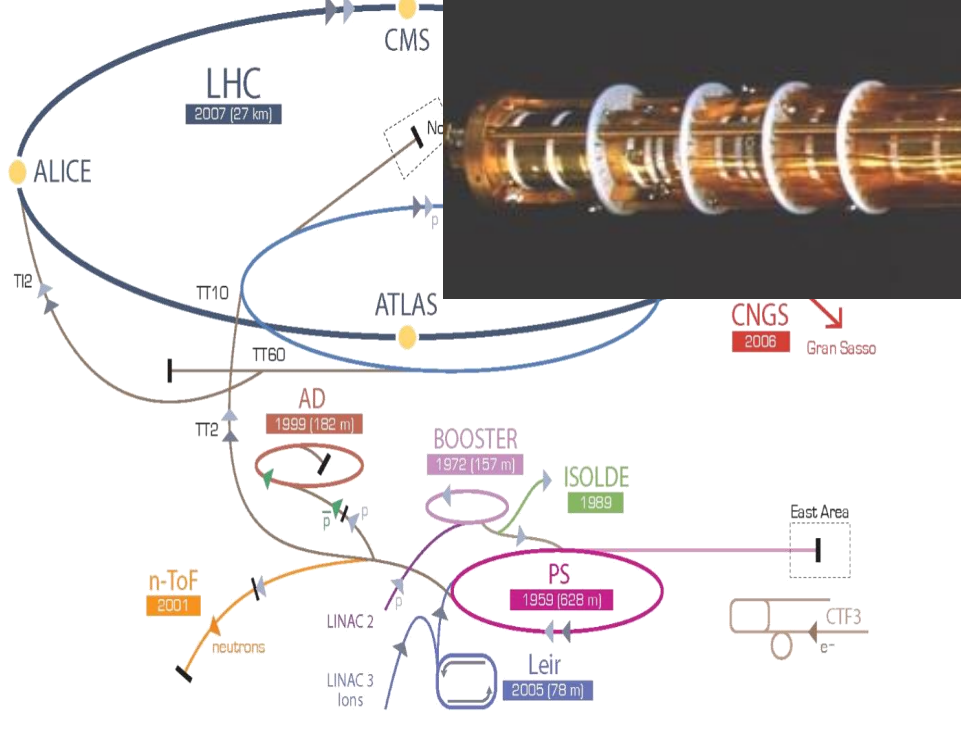


# Proton Synchrotron (PS)



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

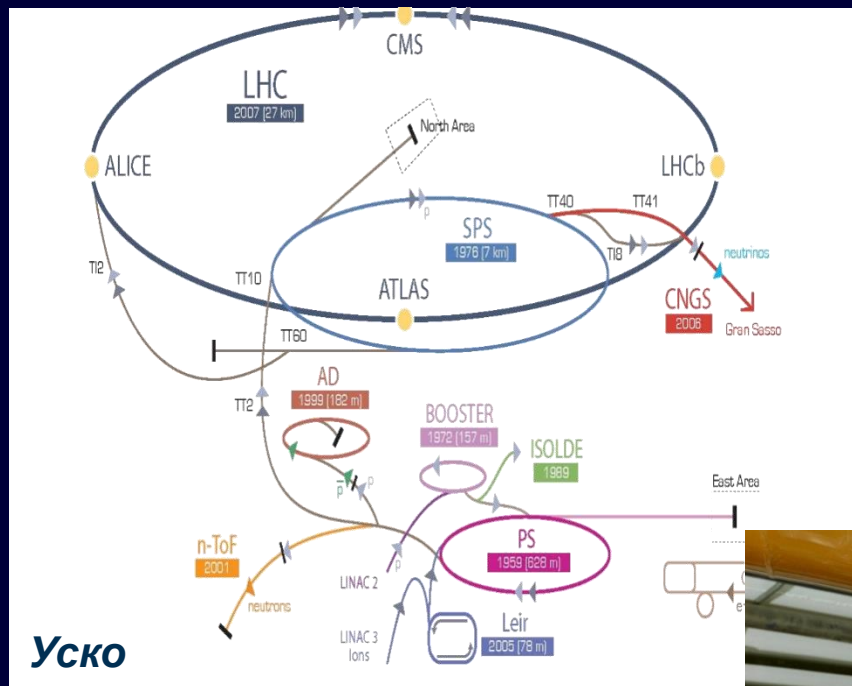




- ➔ Antiproton Decelerator (AD)
- ➔ 1999
- ➔ 182 M
- ➔ AEGIS, ALPHA, ASACUSA and ATRAP

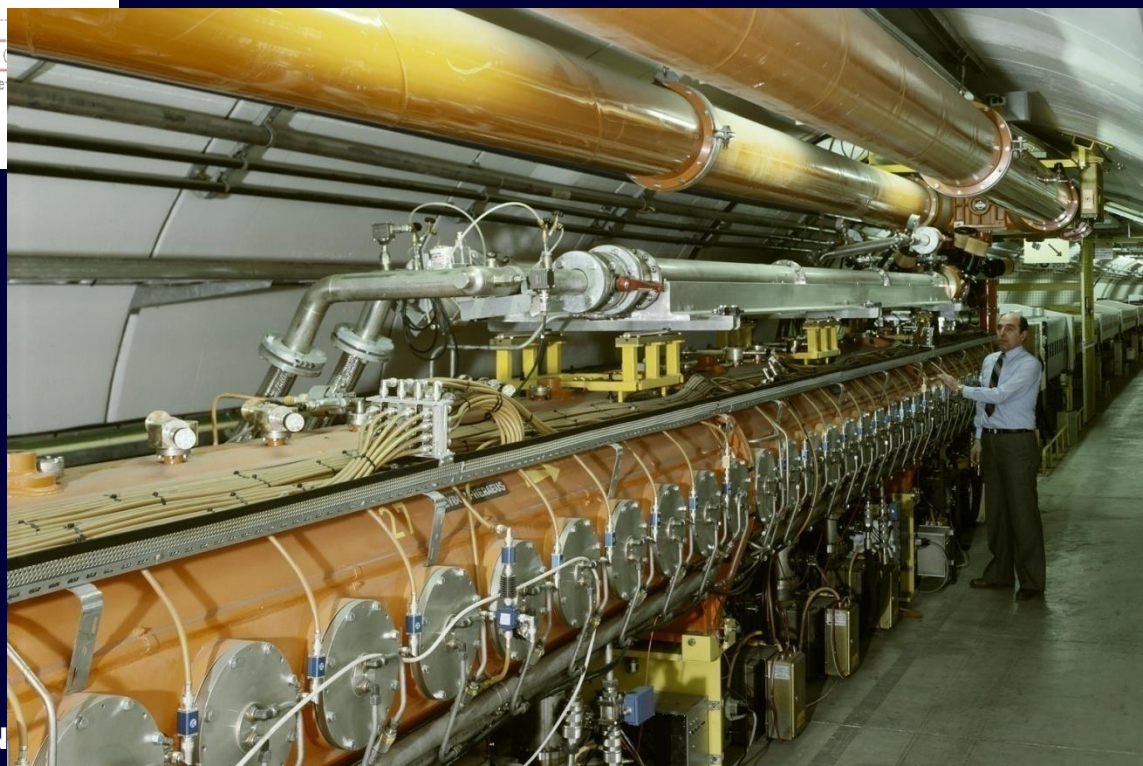


# Super Proton Synchrotron (SPS)

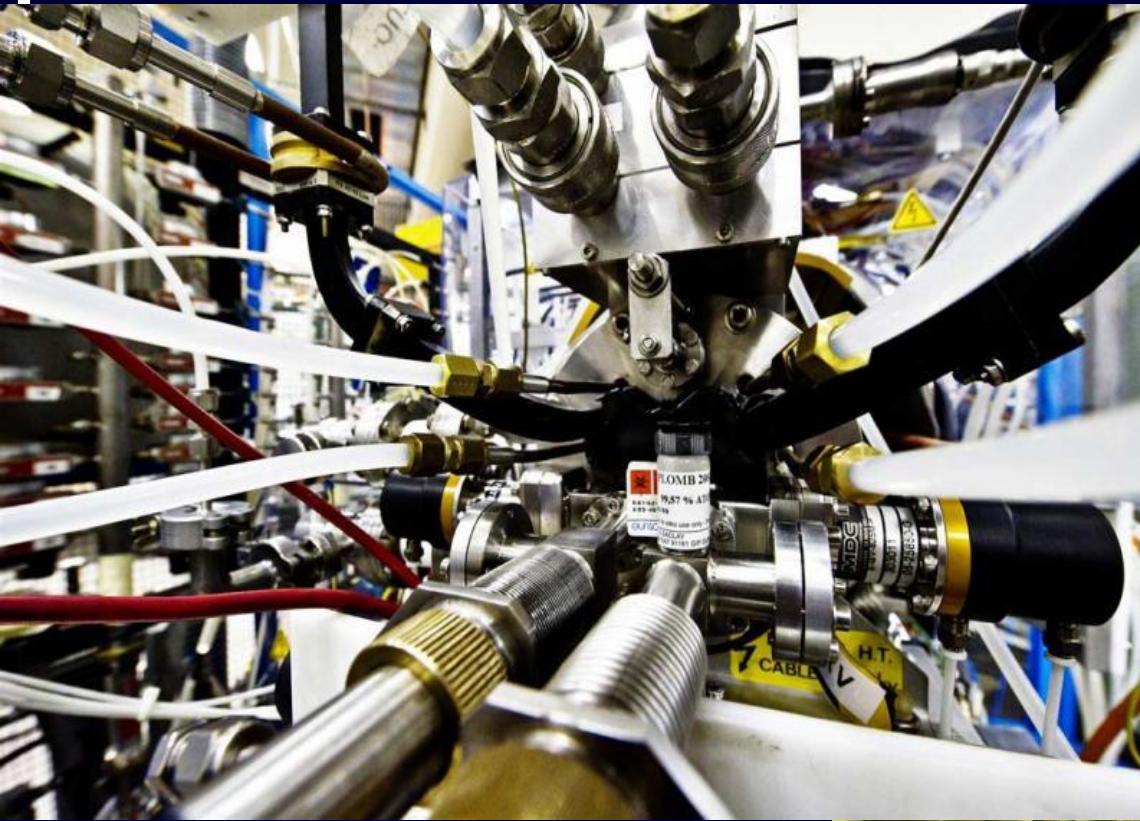


- ➔ 7 км
- ➔ 450 GeV
- ➔ NA61, NA62, COMPASS, AWAKE
- ➔ 1317 електромагнита с конвенционално охлаждане

Уско  
рите  
ли



# LINAC 3

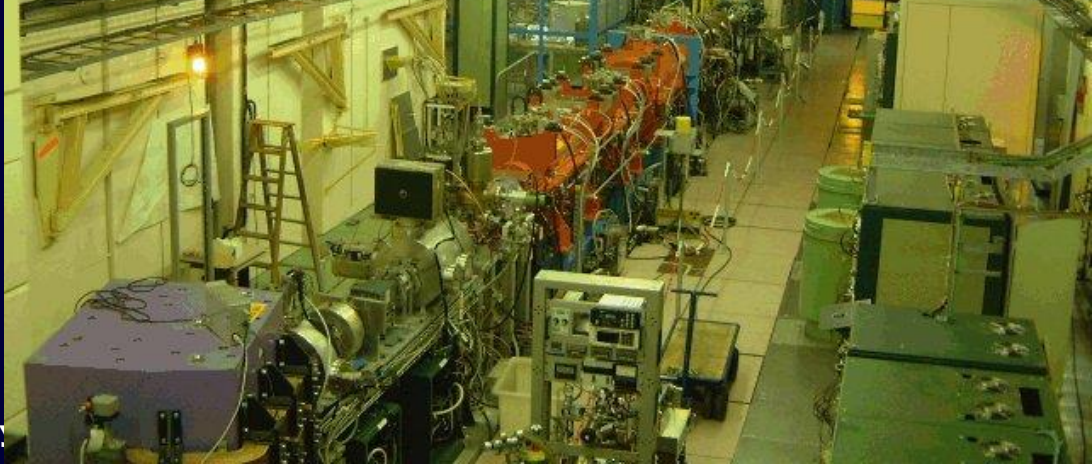


⇒ 1994

⇒ Оловни йони

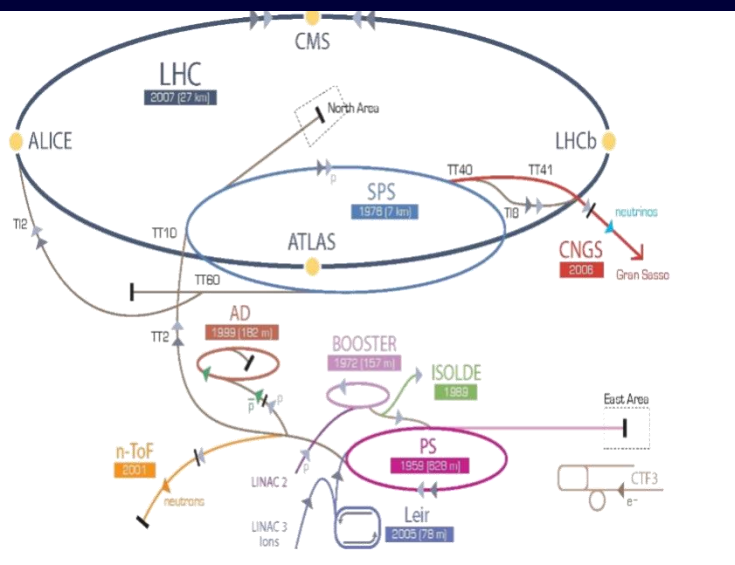
⇒ 500mg олово/2 седмици

⇒ В бъдеще: Ar, Xe



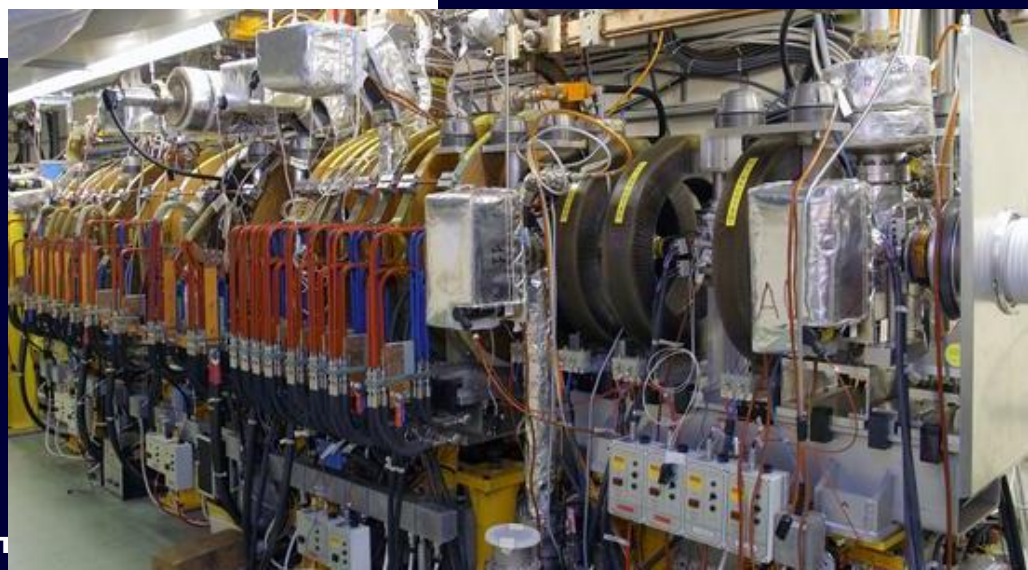
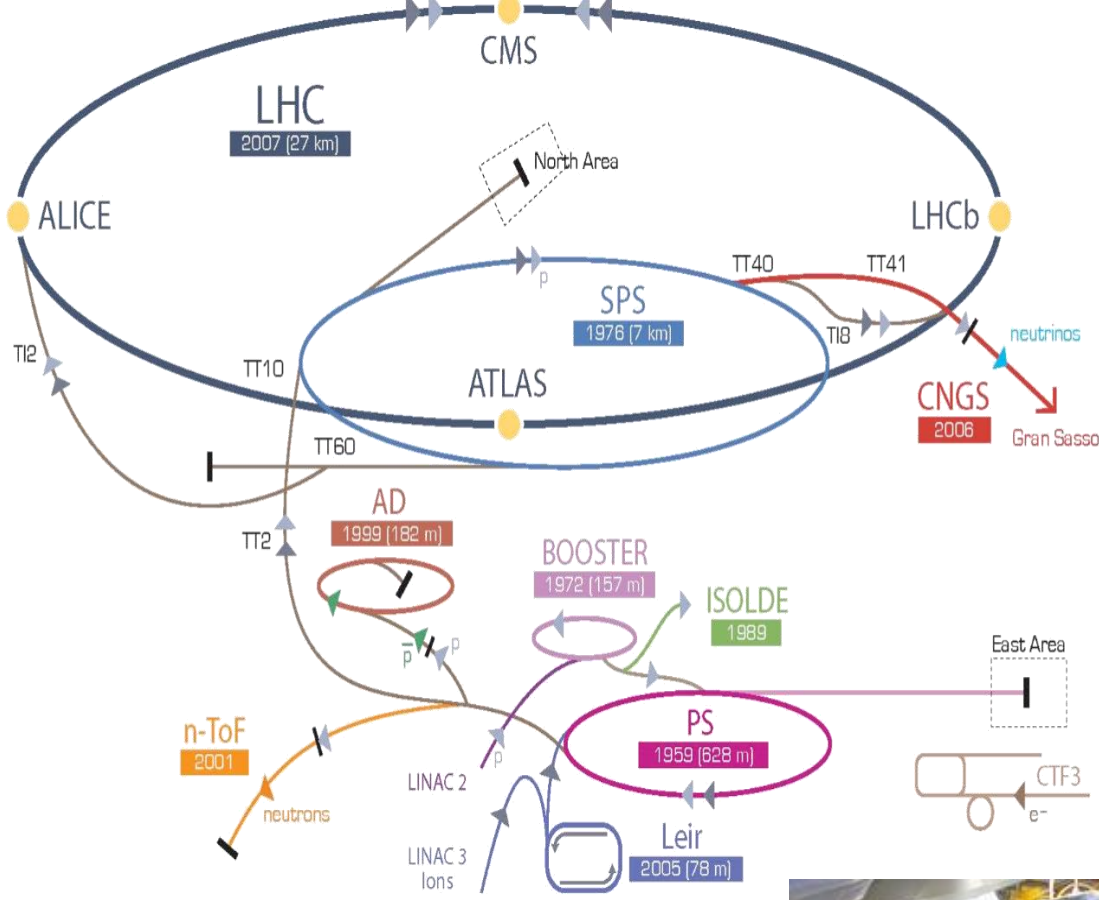


# Low Energy Ion Ring (LEIR)



- ➔ 2005
- ➔ 4 групи (bunches) от  $2,2 \times 10^8$  йони
- ➔ 2.5s да ускори от 4.2 MeV до 72 MeV
- ➔ От 2010 оловни йони в LHC (592 групи на сноп)





➡ CLIC Test Facility (CTF3)

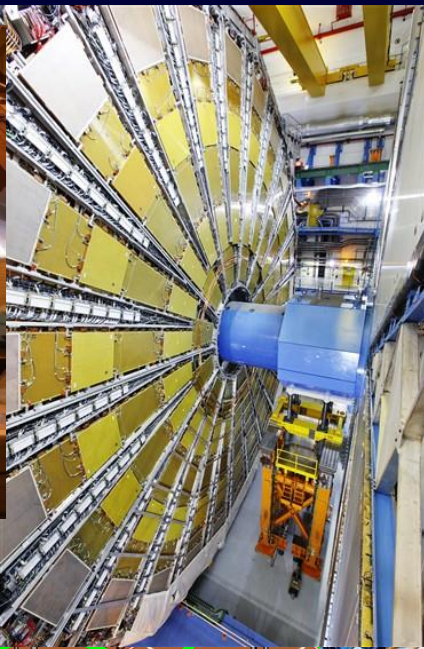
⇒ 100 MeV per 1 meter

⇒ 3 TeV

⇒ e-

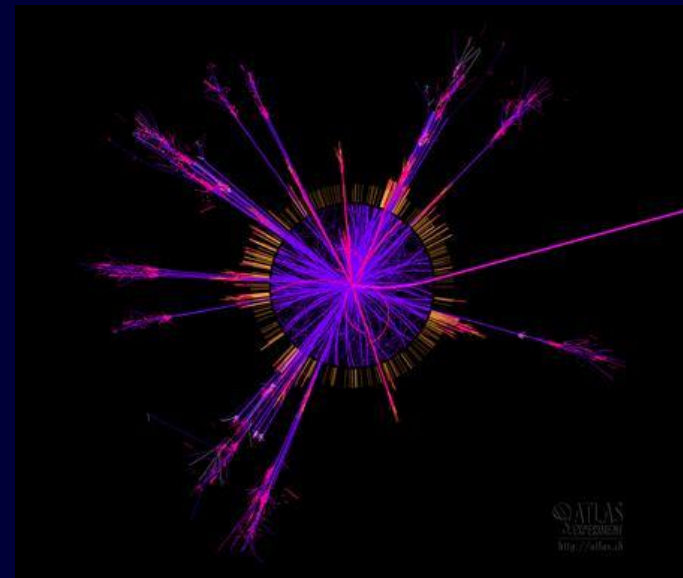
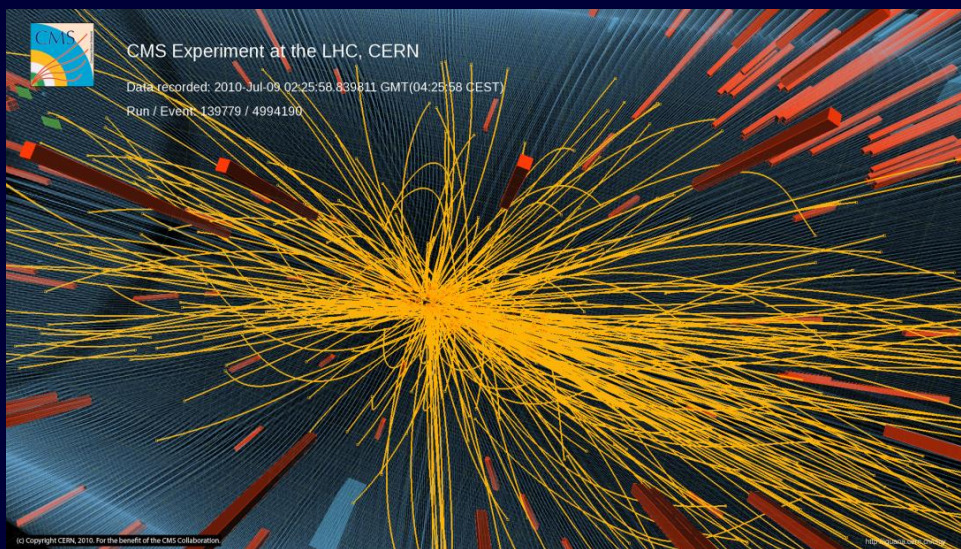
# Големият Адронен Колайдер - LHC

- 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 – 6.8TeV (13.6TeV)
- ➔ Висока степен на вакуум (ultra-high vacuum –  $10^{-13}$  atm)

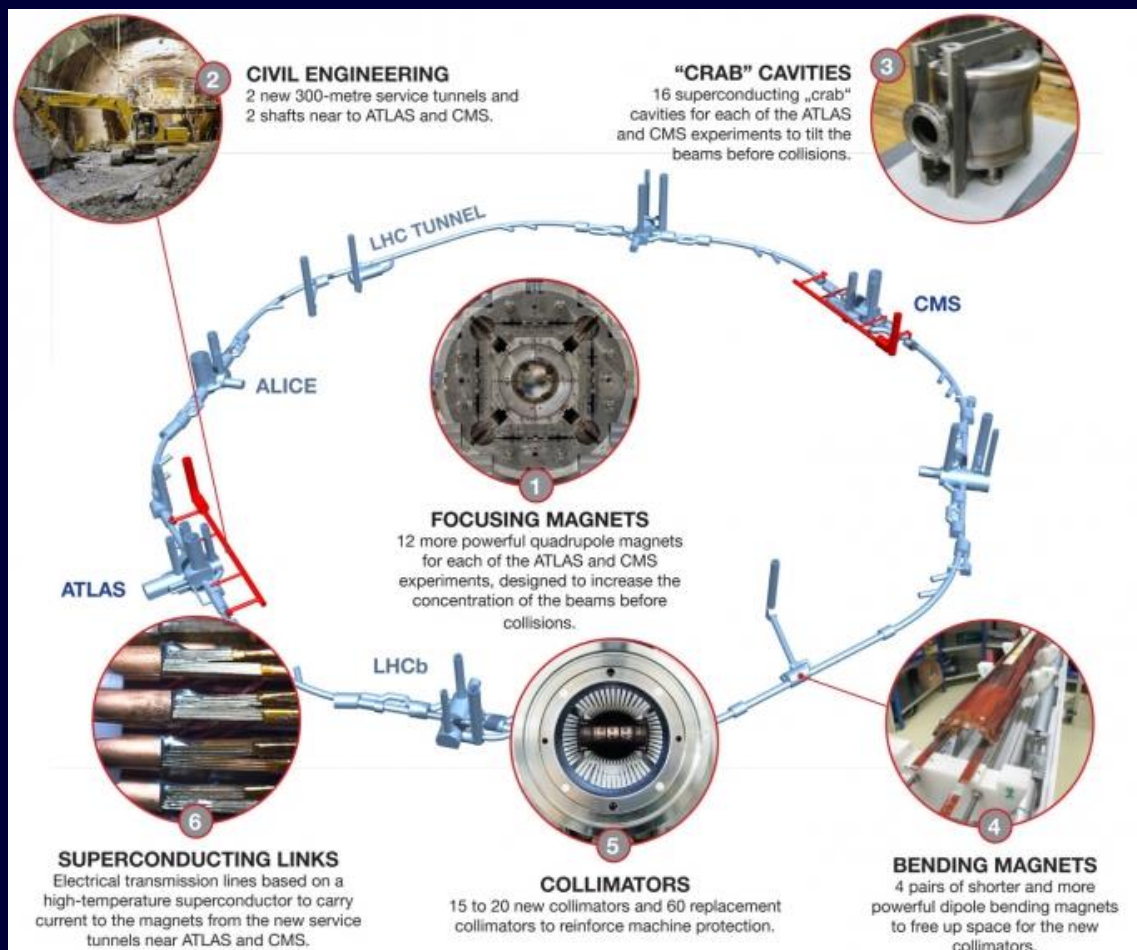


# LHC – откриване на Higgs частицата!



# High Luminosity LHC

- ➔ Увеличава светимостта на LHC x 10
- ➔ 15 милиона Higgs bosons / година
- ➔ 2026
- ➔ Няколко колаборации, които работят
- ➔ Окт. 2015 – Design Report
- ➔ 950 милиона CHF бюджет



# Бъдещи Планове

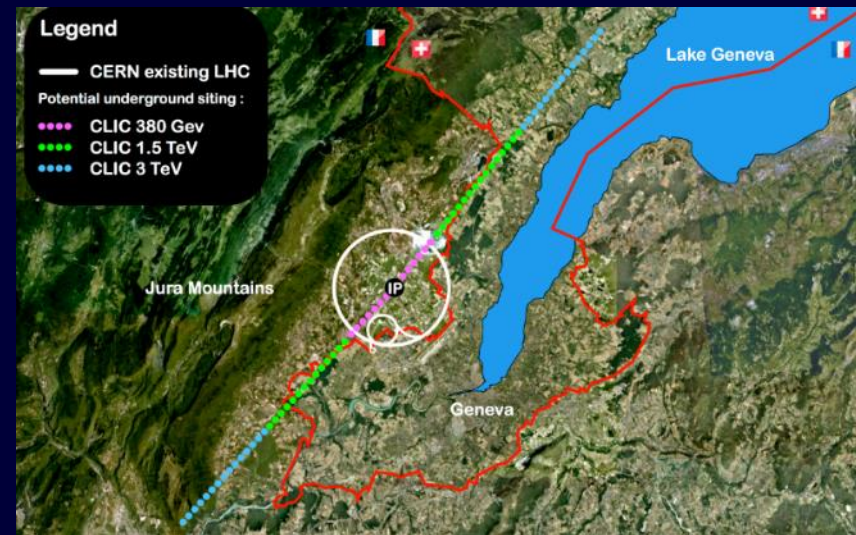


## High Luminosity LHC до 2035

Текущи проучвания:

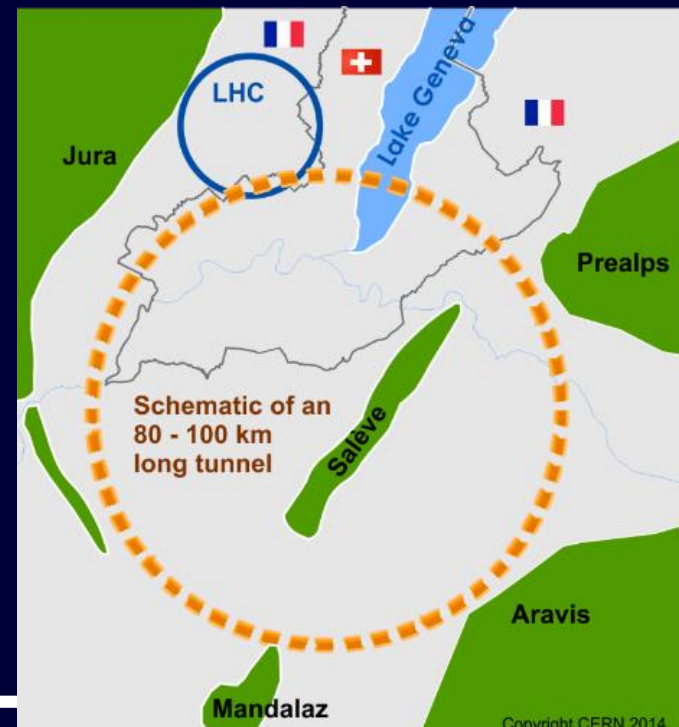
### Compact Linear Collider (CLIC)

- Linear  $e^+e^-$  collider  $\sqrt{s}$  up to 3 TeV



### Future Circular Collider (FCC)

- Нов тип магнитни модули  $\rightarrow$  100 TeV pp collisions in 100km ring
- $e^+e^-$  collider (FCC-ee) като 1-ва стъпка?



Европейска стратегия за развитието на физиката на високите енергии

- 2020

## 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.



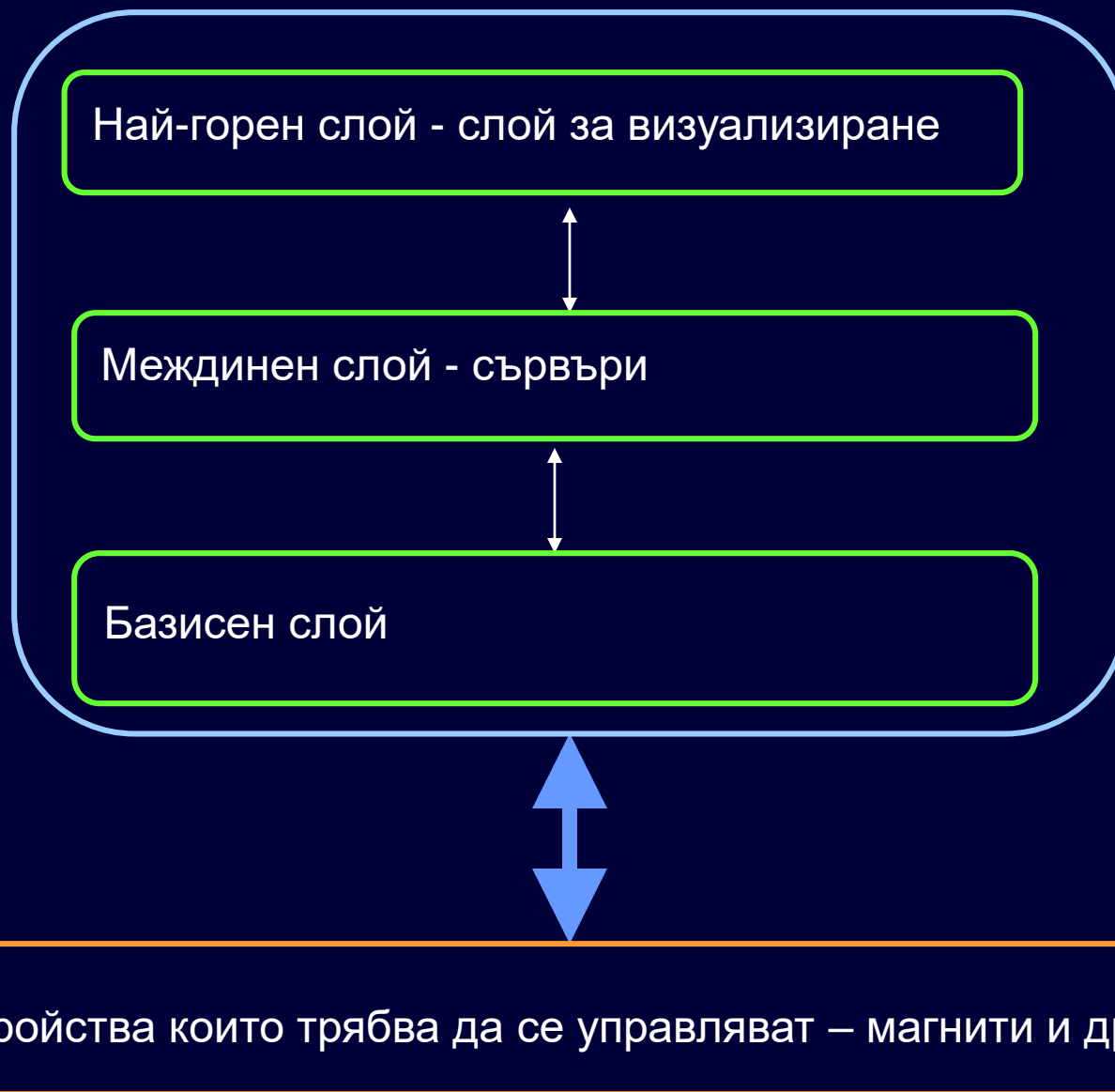




# Центърът за управление



# Хардуерна инфраструктура на системите за управление



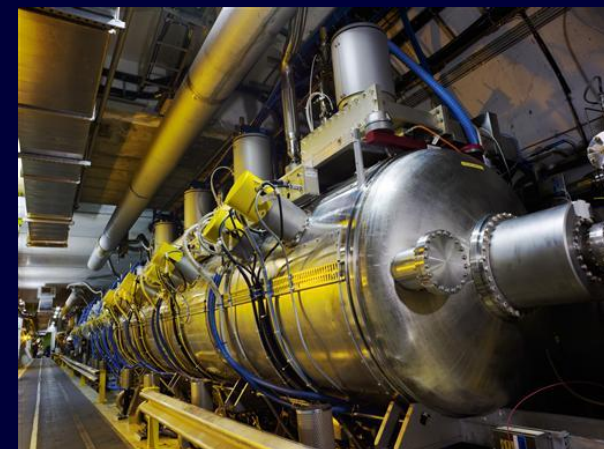
# Основни съставни части на ускорител (LHC)

- ➔ 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)

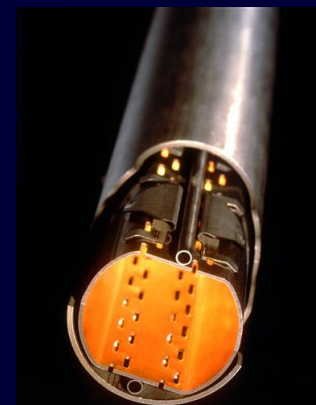


# Основни съставни части на ускорител

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



- ➔ Вакуумни системи  
/10<sup>-13</sup> atm/



# Основни съставни части на ускорител

## ➔ Криогенни инсталации

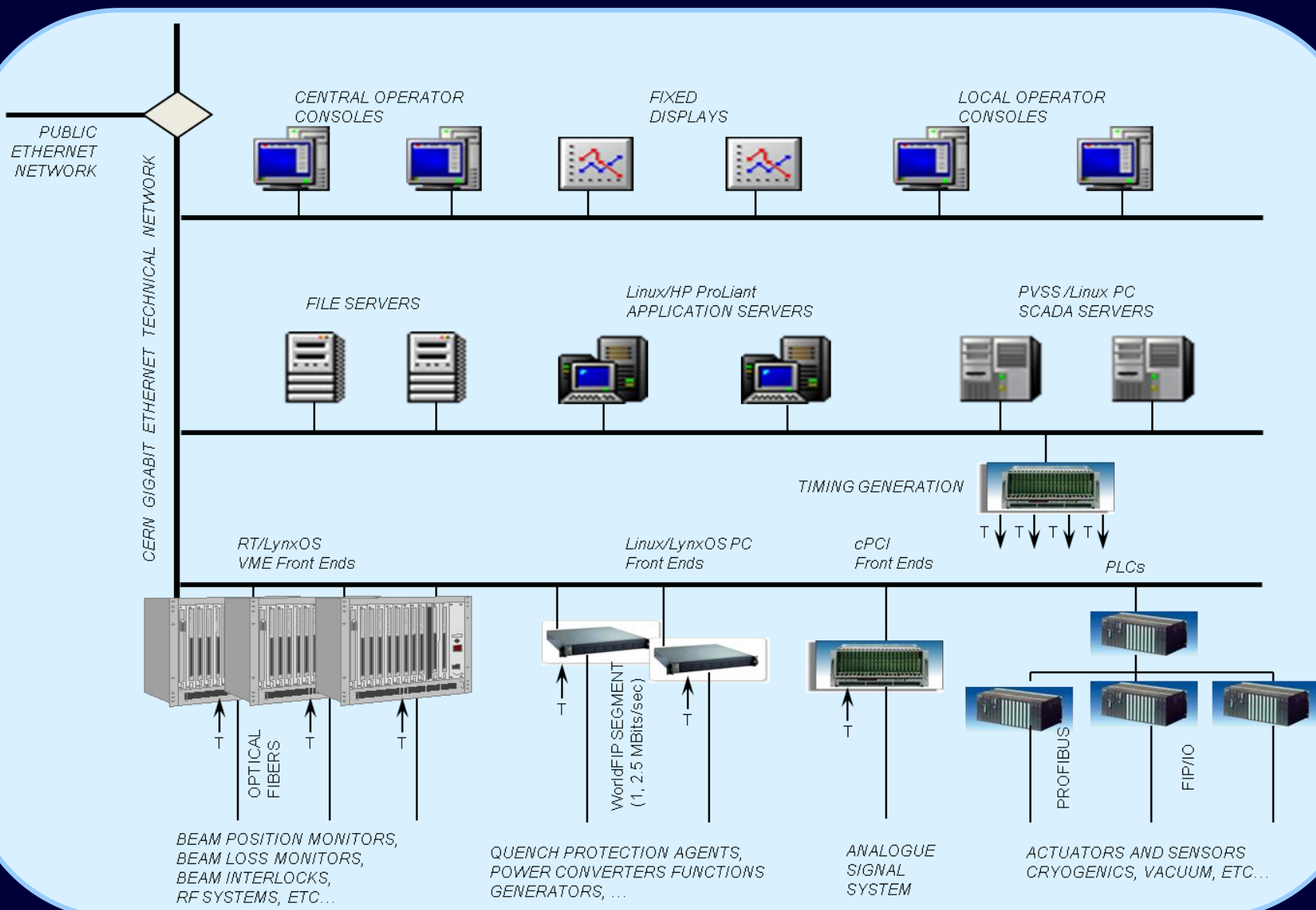
- $-193.2^{\circ}\text{C}$  (80 K)
- $-271.3^{\circ}\text{C}$  (1.9 K)



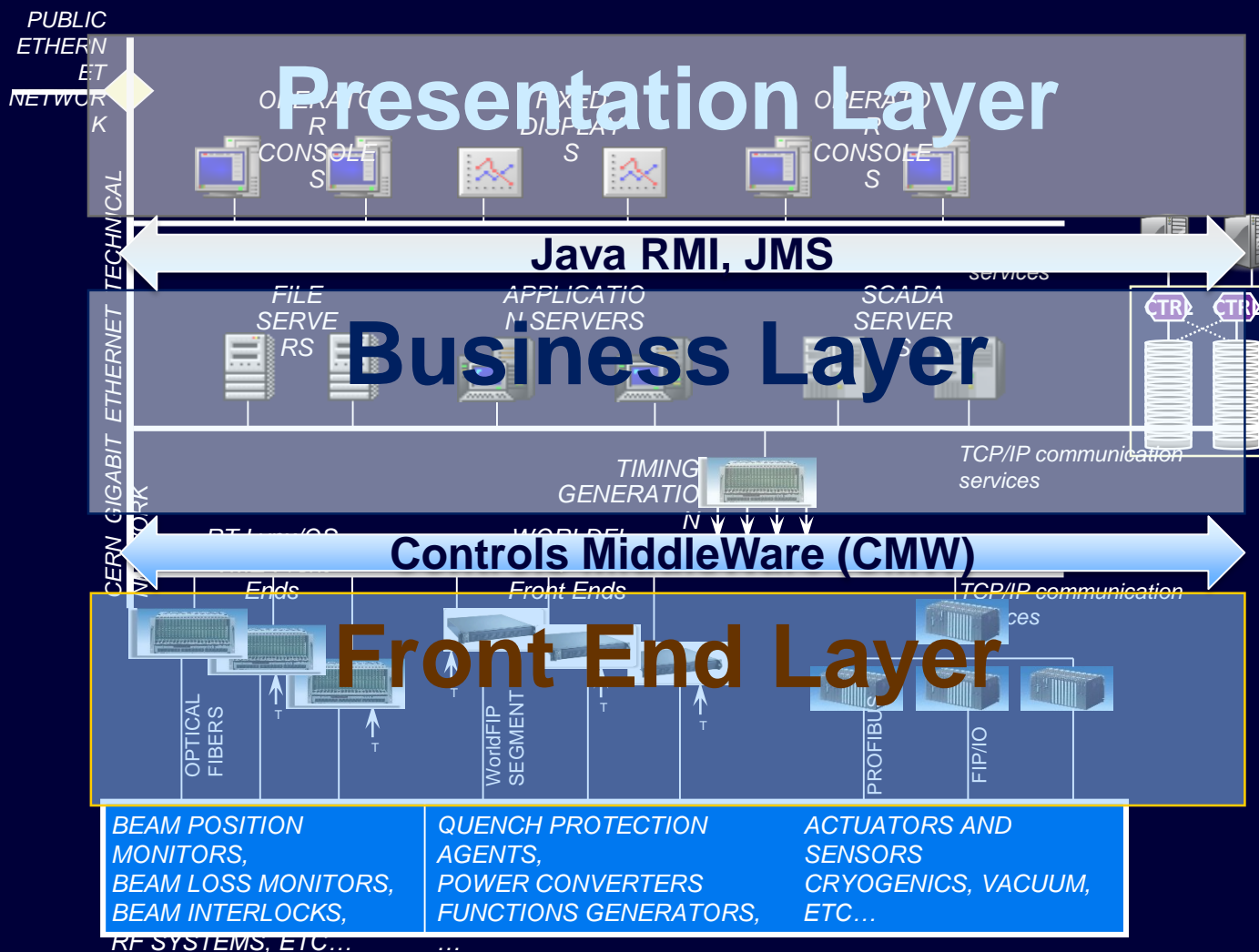
## ➔ Електро трансформатори и захранващи устройства



# Хардуерна инфраструктура на системите за управление

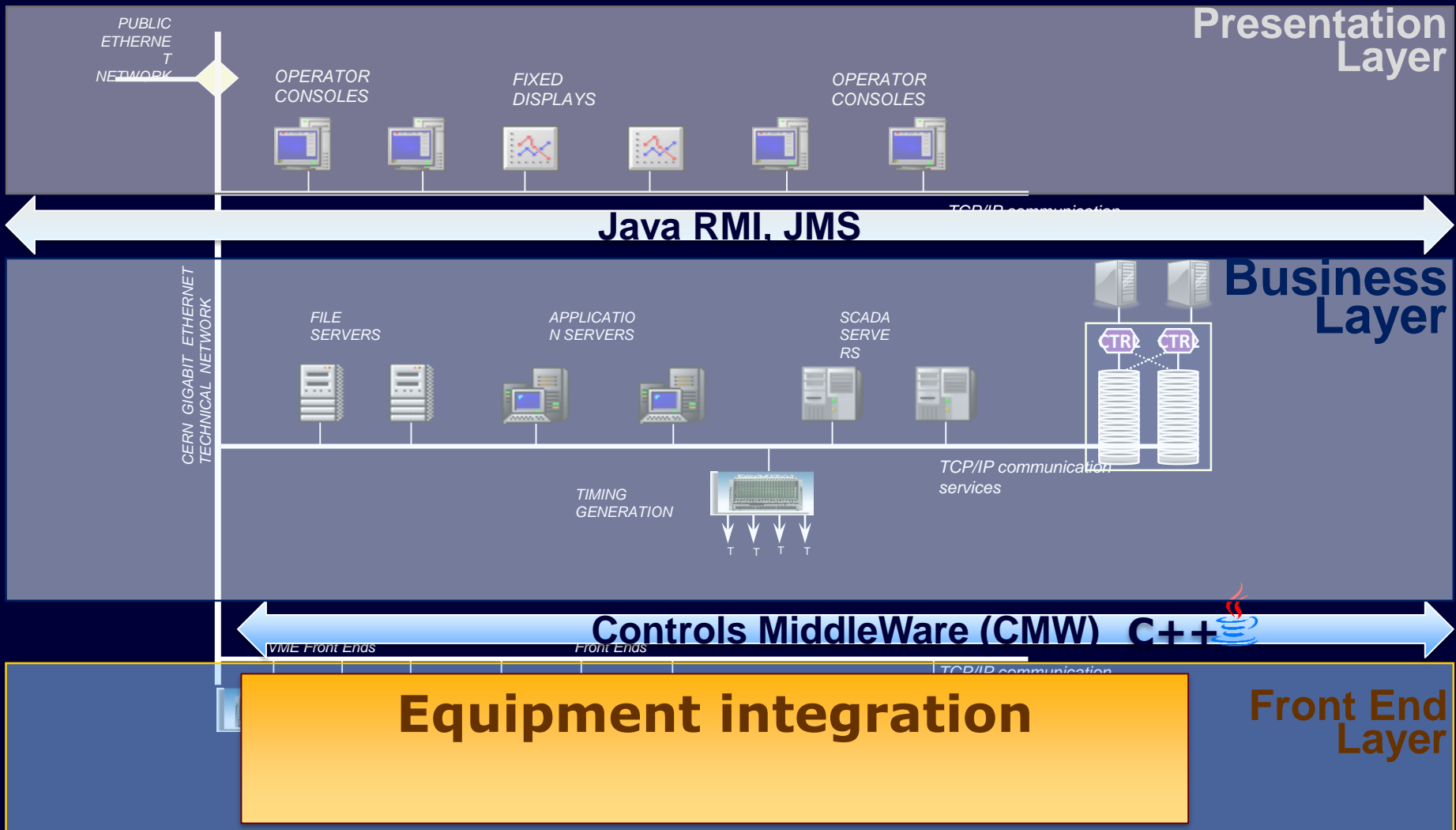


# Хардуерна инфраструктура на системите за управление





# Хардуерна инфраструктура на системите за управление

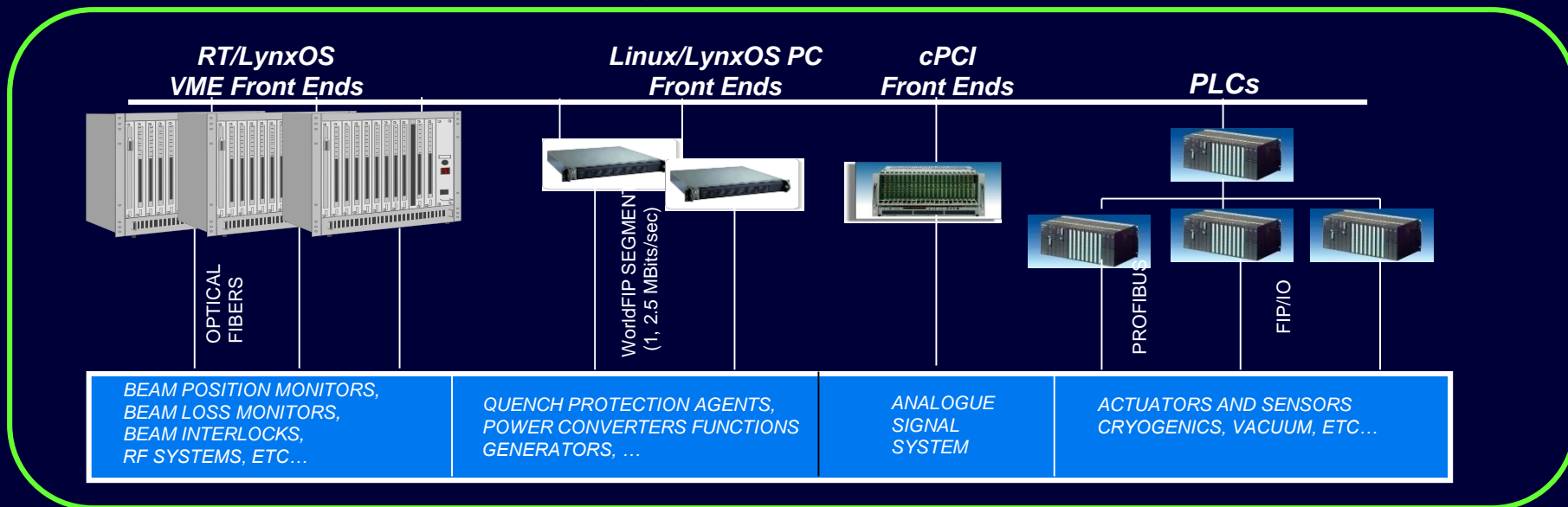


# Базисен слой

Най-горен слой - слой за визуализиране



Междинен слой - сървъри



# Open Source Hardware



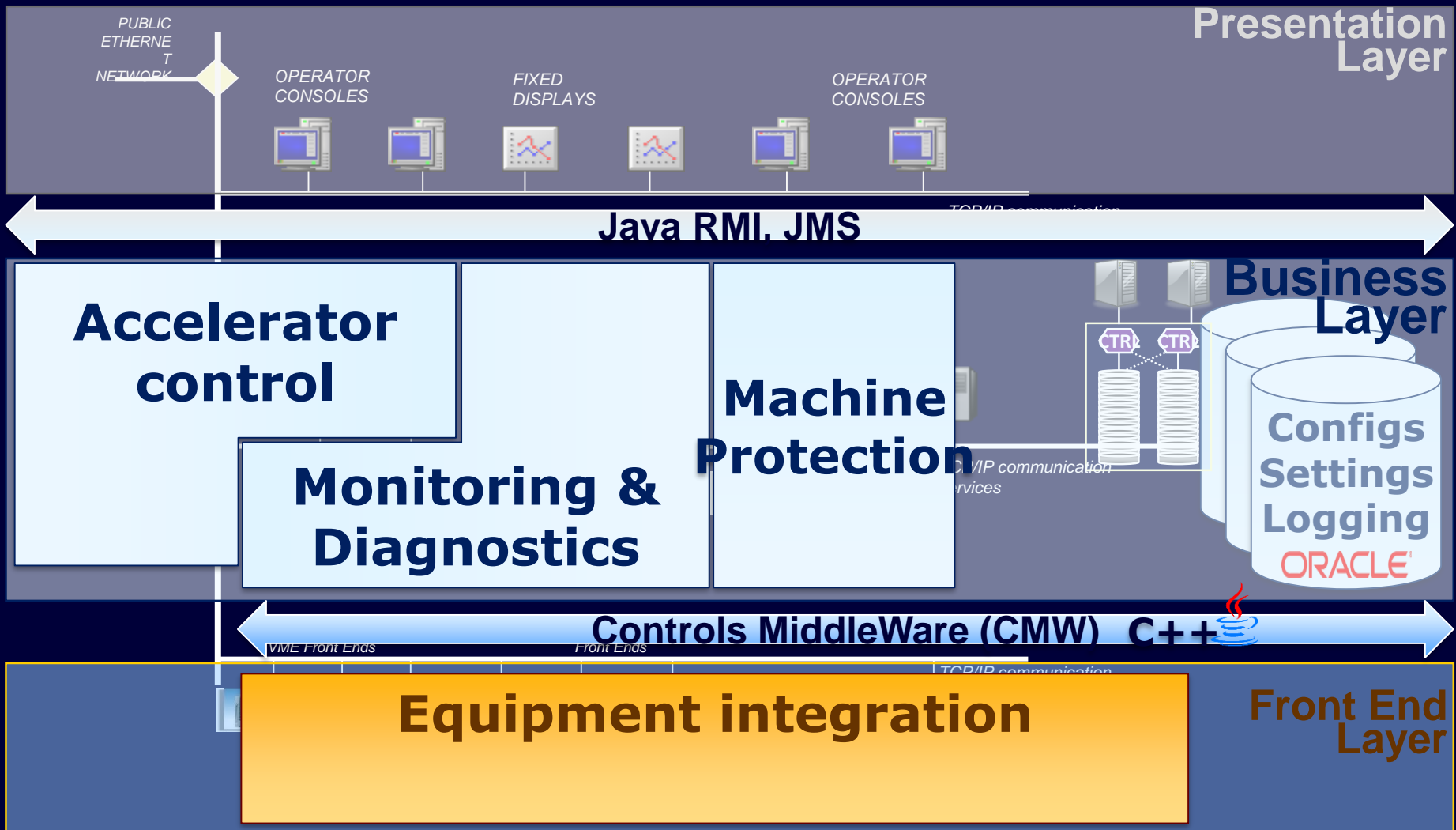
- ⇒ Предложение направено от CERN (BE/CO)
- ⇒ Вдъхновено от Open-Source Software
  - ⇒ Дизайнът и документацията за всяка една платка са достъпни за всички
  - ⇒ Подобрява се дизайна
  - ⇒ Трансфер на знание
  - ⇒ Няма „vendor-lock“



[www.ohwr.org](http://www.ohwr.org)



# Хардуерна инфраструктура на системите за управление



# Междинен слой

Най-горен слой

FILE SERVERS  
DATABASE SERVERS



Linux/HP ProLiant  
APPLICATION SERVERS



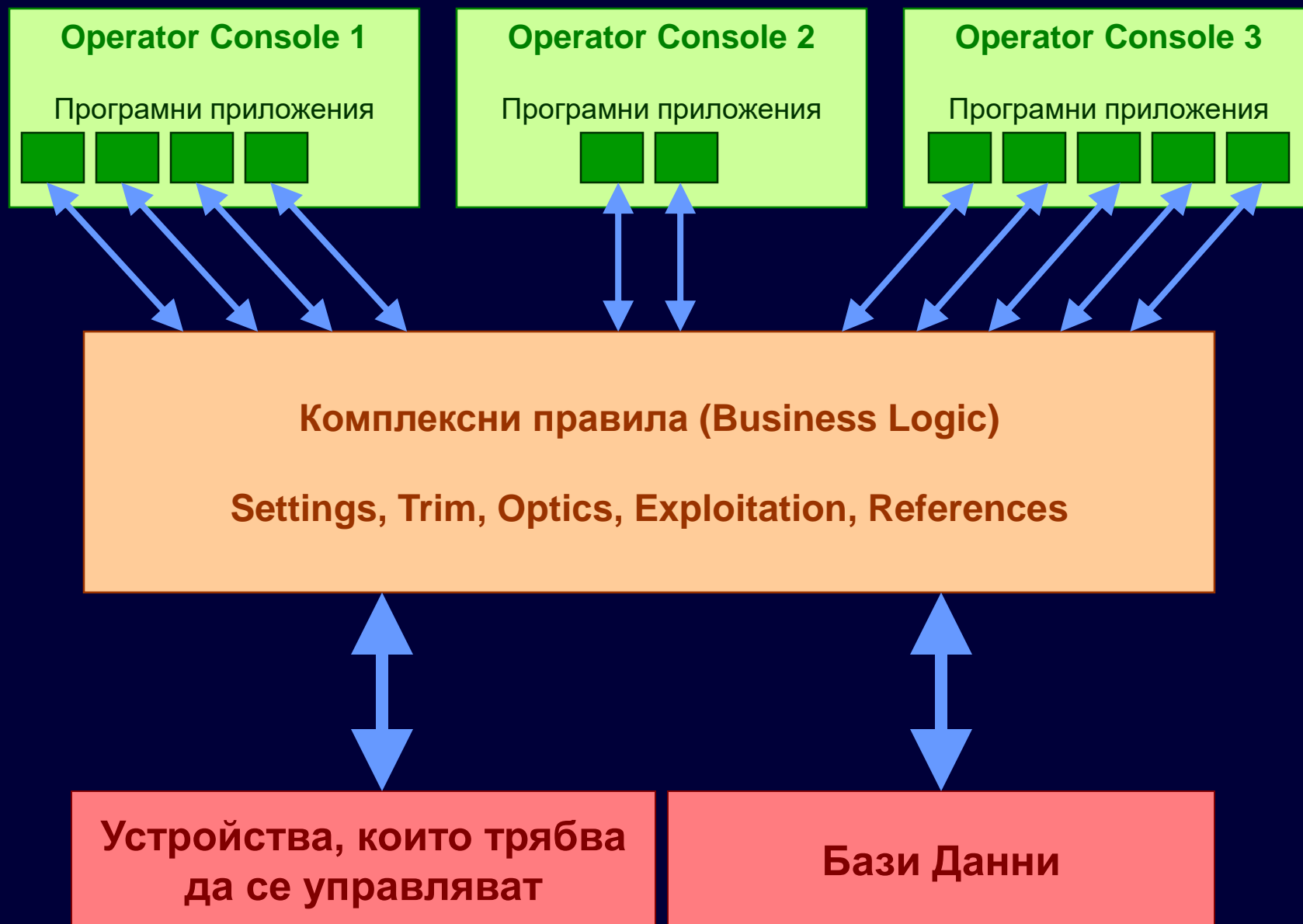
PVSS/Linux  
SCADA SERVERS



TIMING GENERATION

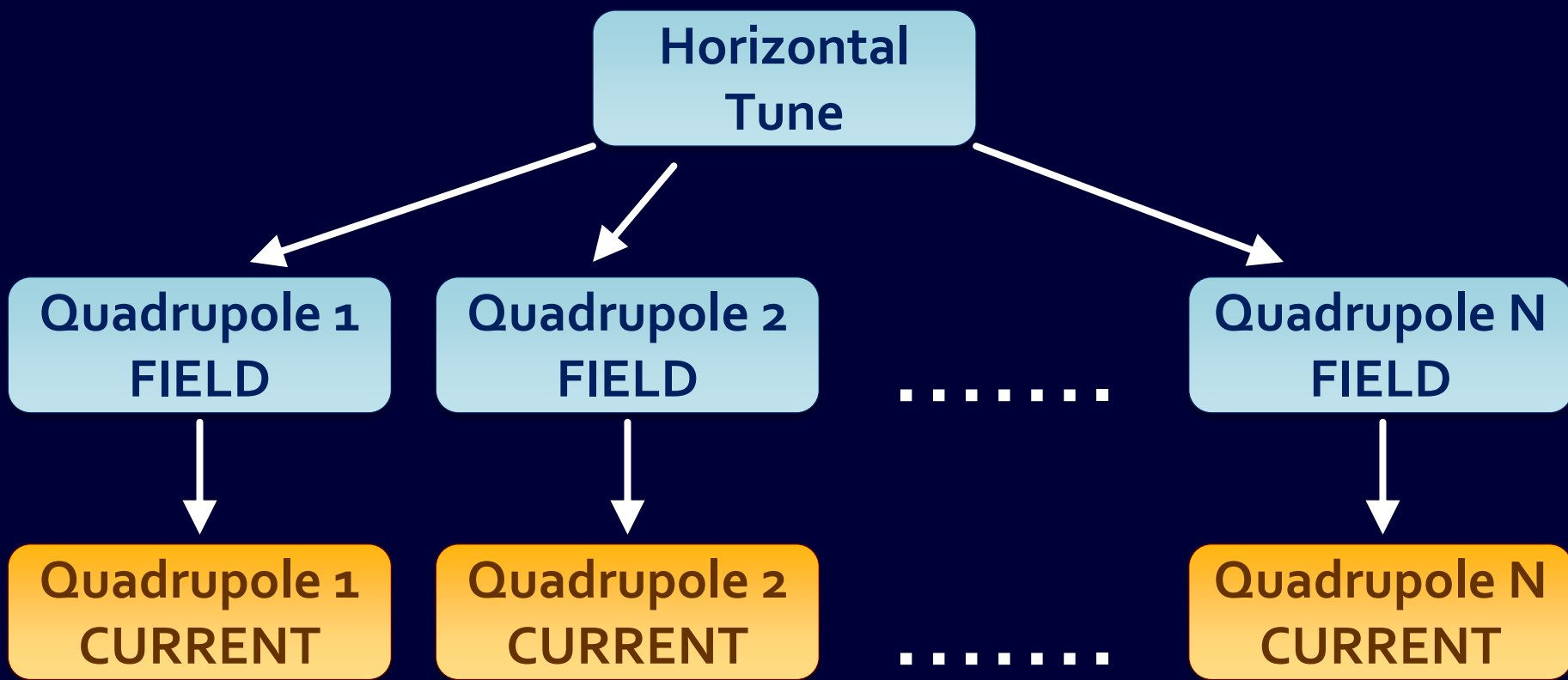


# Софтуерна архитектура за управление на LHC



## Комплексни правила (Business Logic)

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



**Fixed Displays**

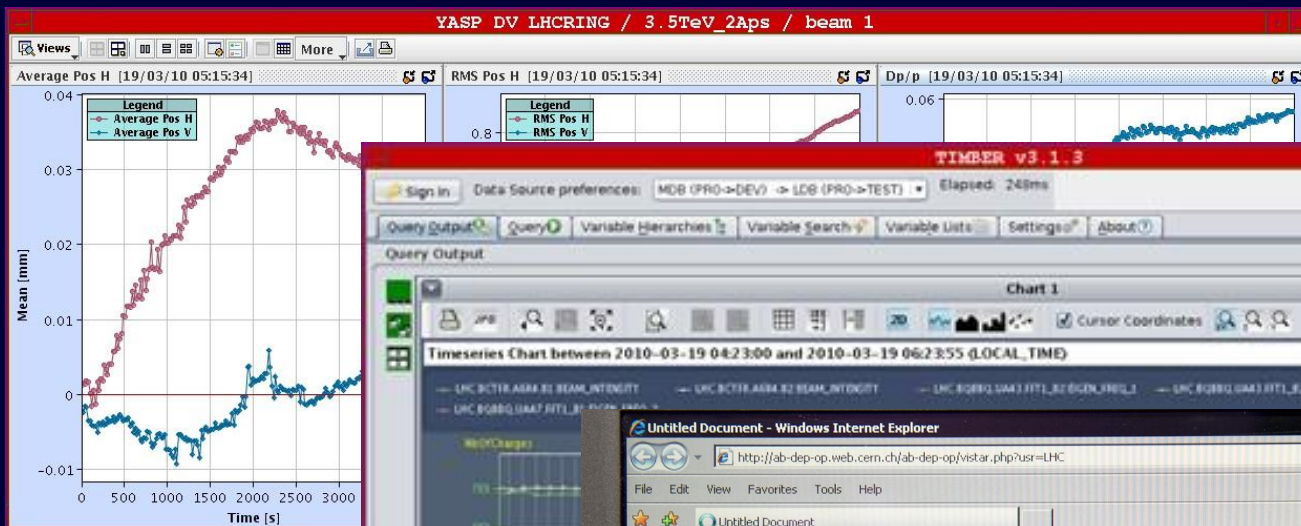


**Operational Consoles**





# 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)

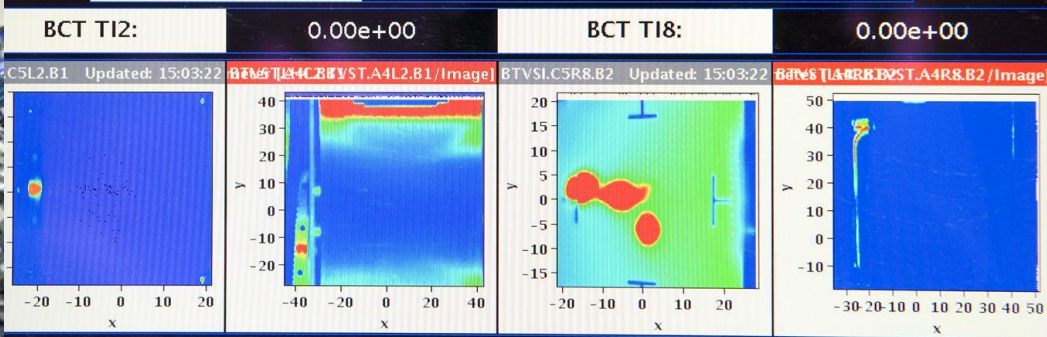
Untitled Document - Windows Internet Explorer

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:

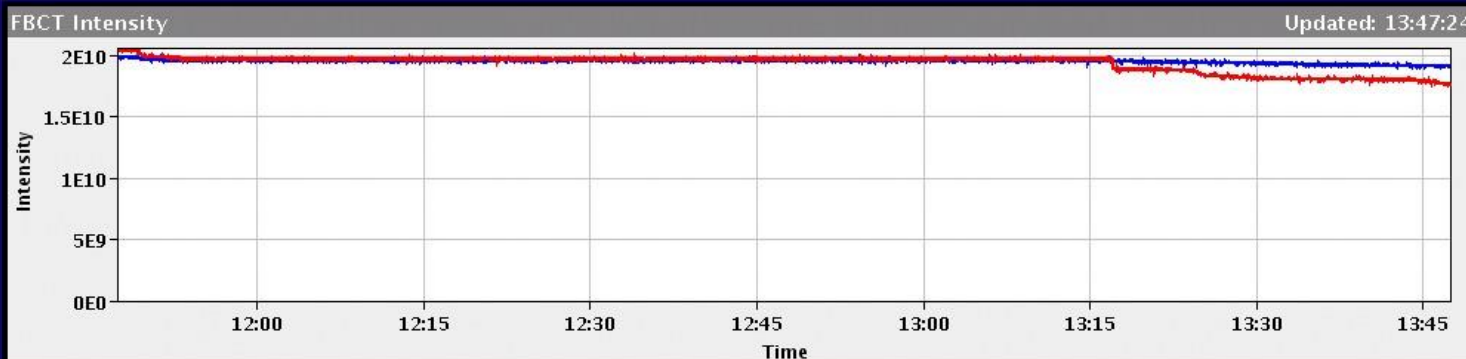
3500 GeV

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

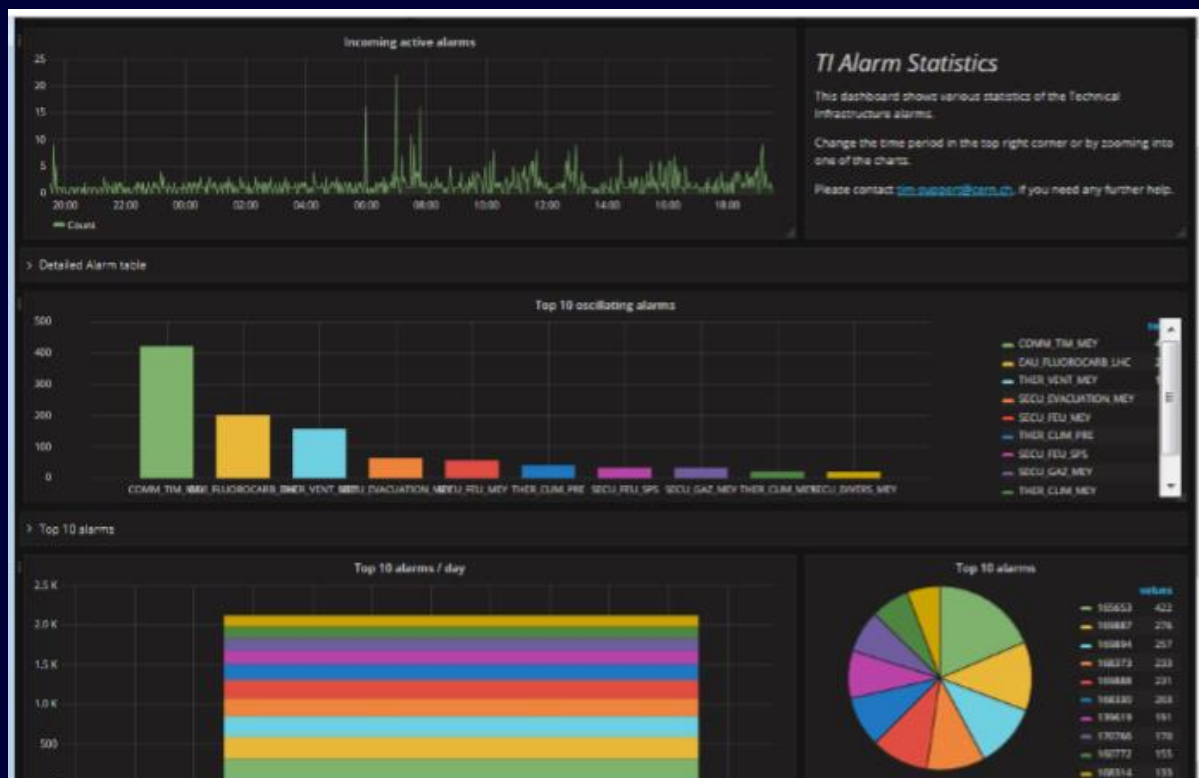
- ⇒ Алармена система
- ⇒ Система интерлок на захранване
- ⇒ Система интерлок на снопове
- ⇒ Система Post Mortem
- ⇒ Система Quench Protection
- ⇒ Други

# Алармена система

➔ Използва се при работа на всички ускорители и на техническата инфраструктура

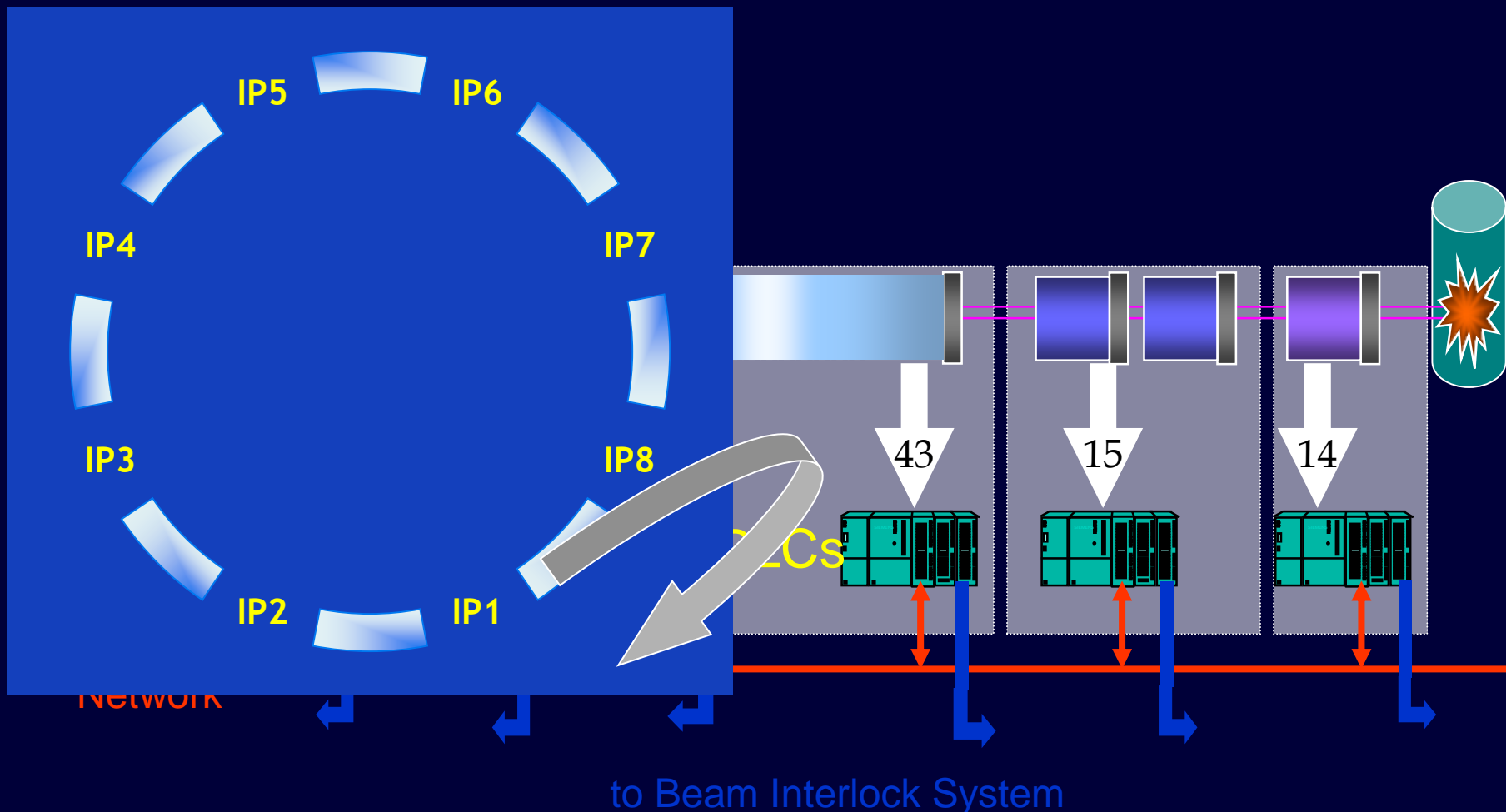
➔ Над 200 000 дефиниции на аларми

➔ Предоставя събирането, анализа, разпространението и архивирането на данни при проблемни ситуации



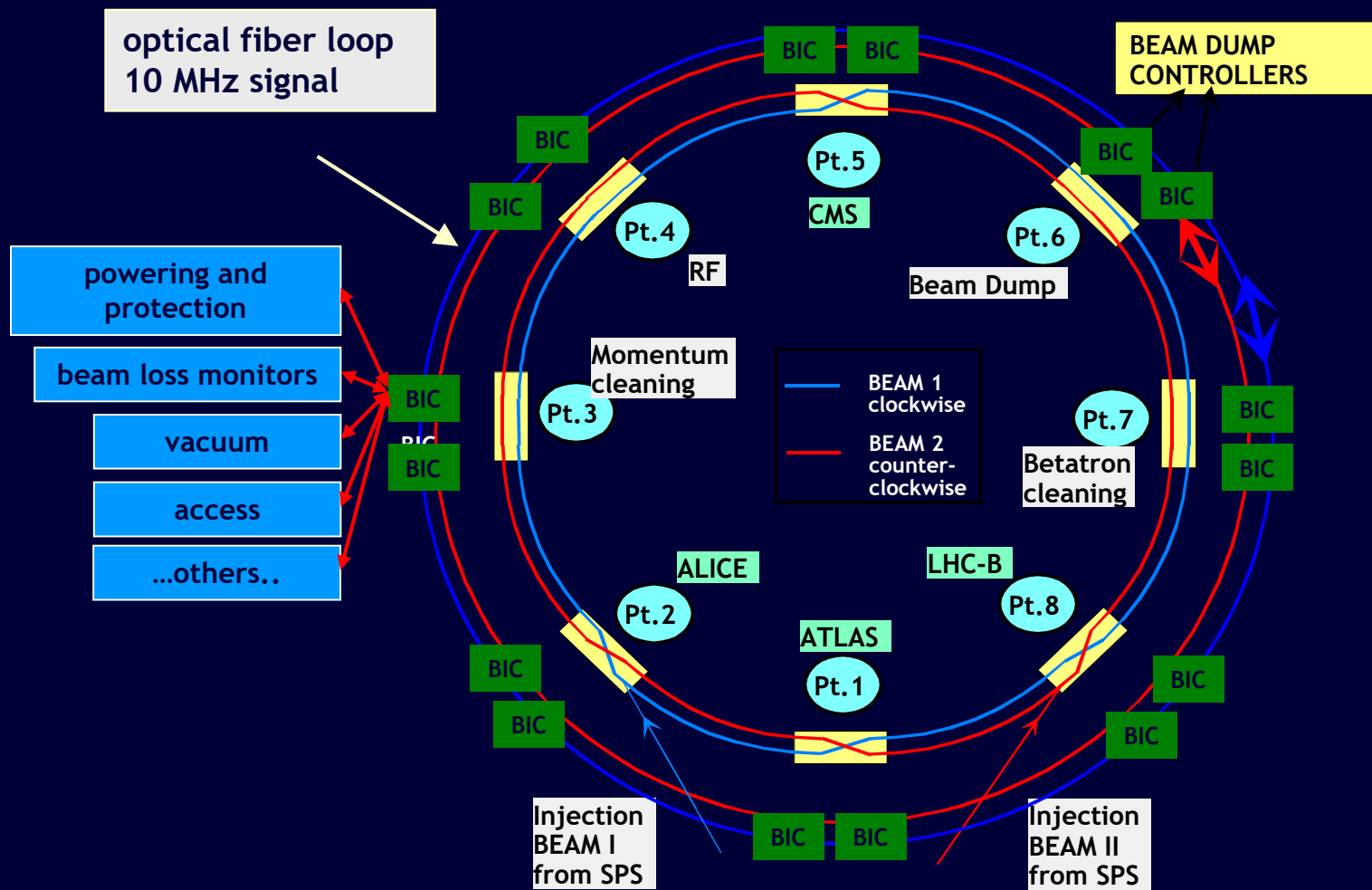
# Система интерлок на захранване

- ➔ 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

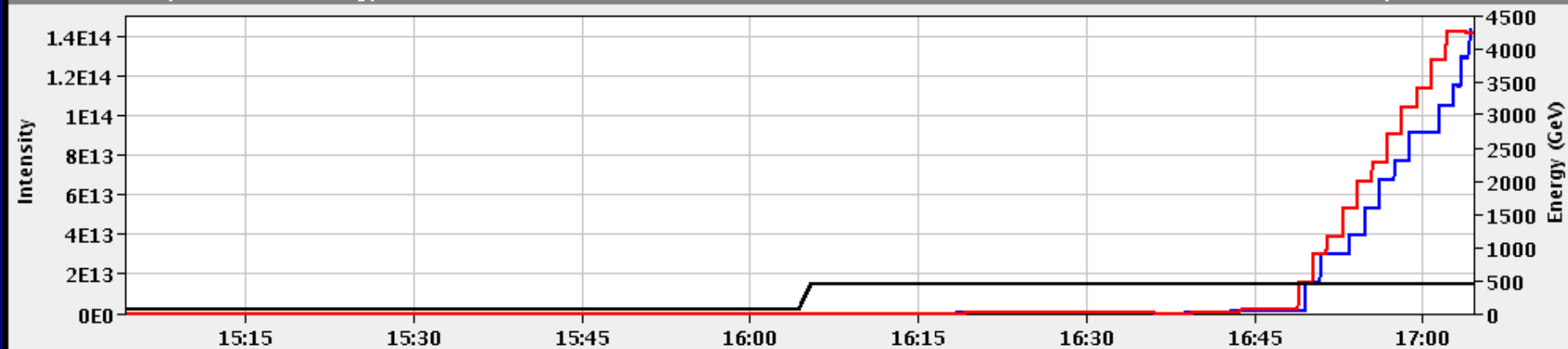
**BCT TI2:** 7.78e+13    **I(B1):** 1.42e+14    **BCT TI8:** 0.00e+00    **I(B2):** 1.43e+14

**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**

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):

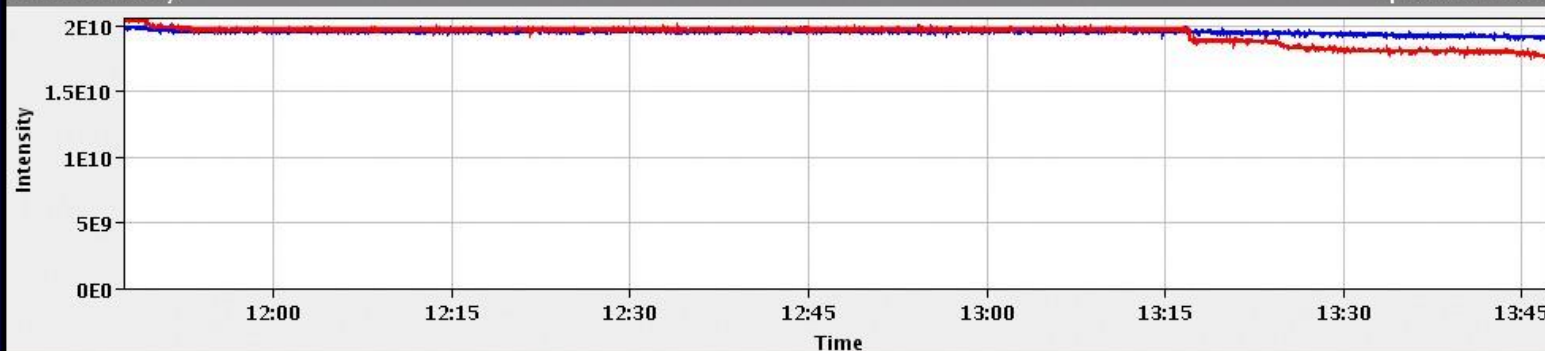
1.74e+10

I(B2):

1.65e+10

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



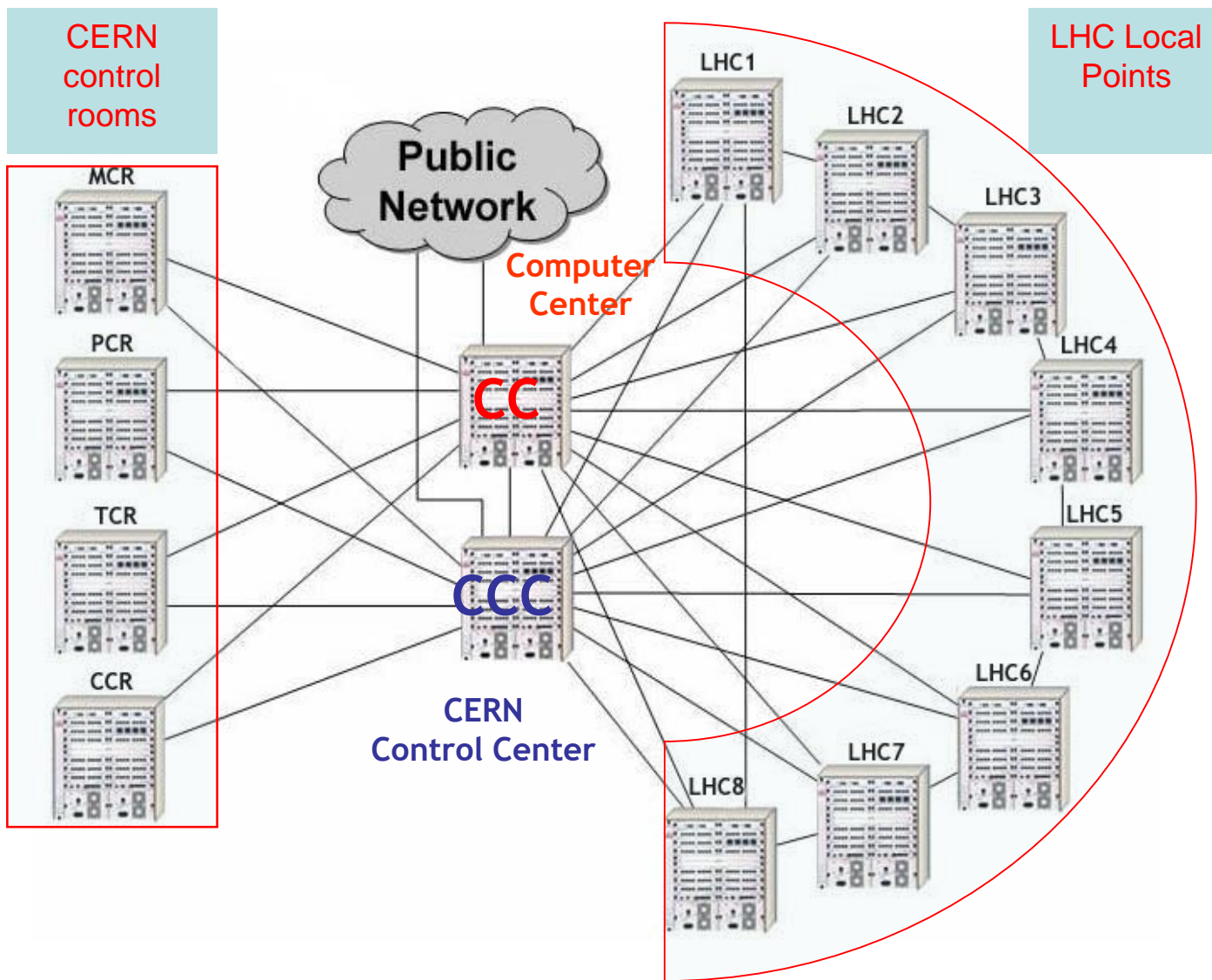
*Quis custodiet ipsos custodes?  
(Кой пази пазачите?)*

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

# 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)

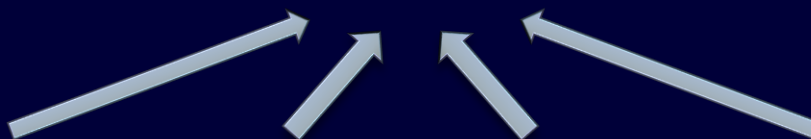


# Техническата инфраструктура

- ➔ Управление и контрол на цялата техническата инфраструктура в CERN



CERN Control Centre



Electricity



Cooling



Vacuum



Safety Systems



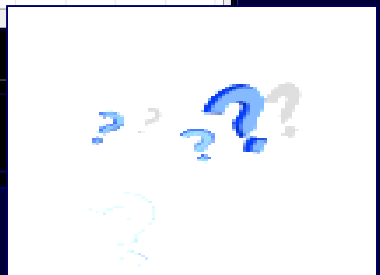
Access Control



# Въпроси



Zornitsa.Zaharieva@cern.ch



# Посещение на ССС

