



Въведение в Комплекса Ускорители на ЦЕРН и Системи за Тяхното Управление

инж Зорница Захариева

CERN

**Българска програма за учители по инженерни и ИТ дисциплини
15.07.2024**



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



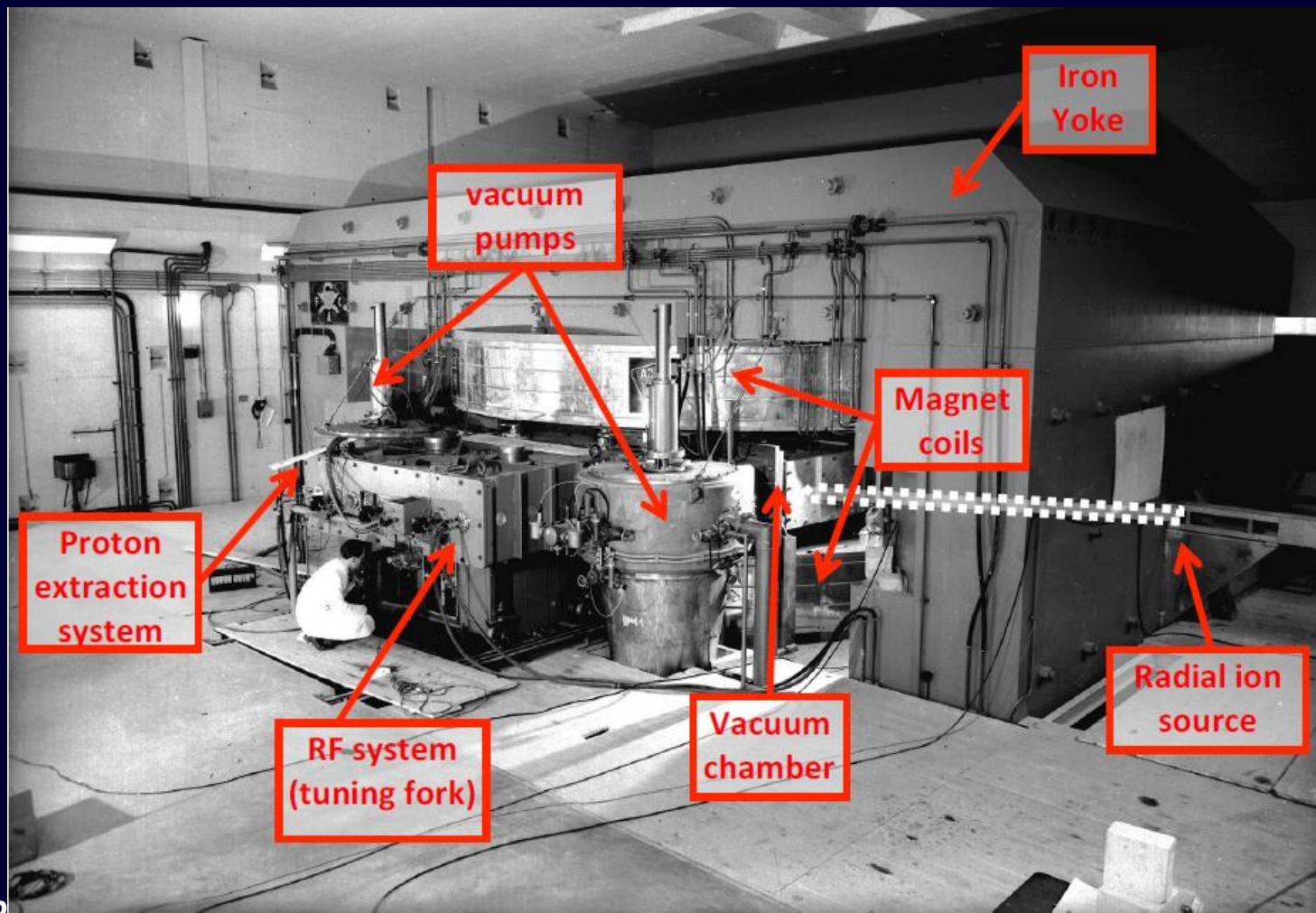
Комплексът от ускорители – важни събития

- ➔ 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

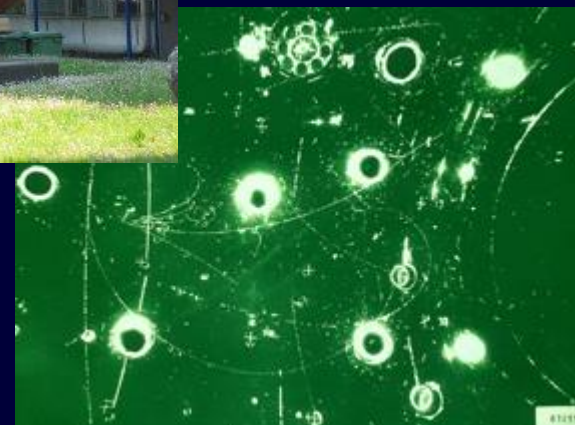
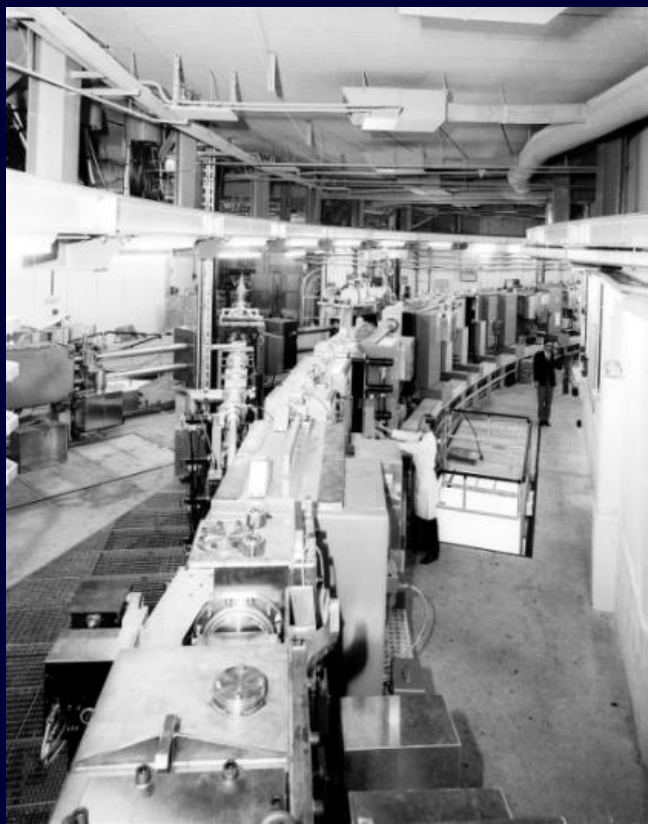
- ➔ 1959 – Proton Synchrotron (PS) е пуснат в експлоатация
 - ⇒ Първият синхротрон на CERN
 - ⇒ По това време (1959) това е най-мощния ускорител в света
 - ⇒ Най-старият, все още действащ ускорител в CERN
 - ⇒ Ускорявал е протони, електрони, хелиеви, кислородни и сярни ядра, позитрони, антипротони



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

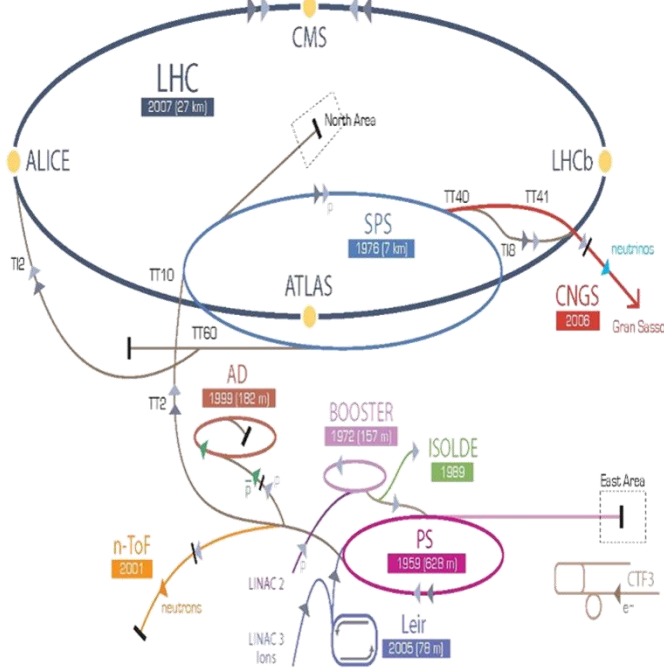
- ➔ 1989 – Large Electron-Positron (LEP) е пуснат в експлоатация
 - ⇒ 1985 започват изкопните дейности по тунела
 - ⇒ 5176 магнита и 128 / 1995 - 288 ускоряващи кухни
 - ⇒ ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL детектори
 - ⇒ 91 GeV (изследване на Z бозони)/ 1995 - 209 GeV



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

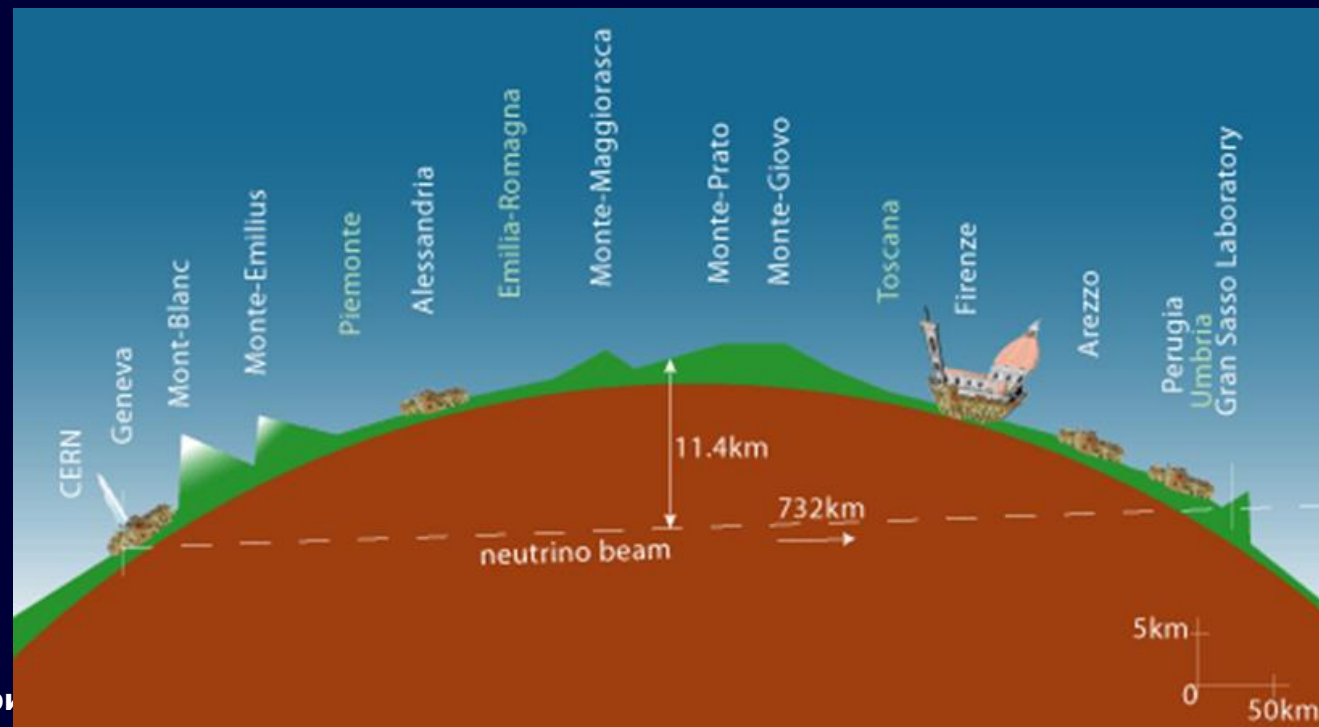




CERN Neutrino to Gran Sasso (CNGS)



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

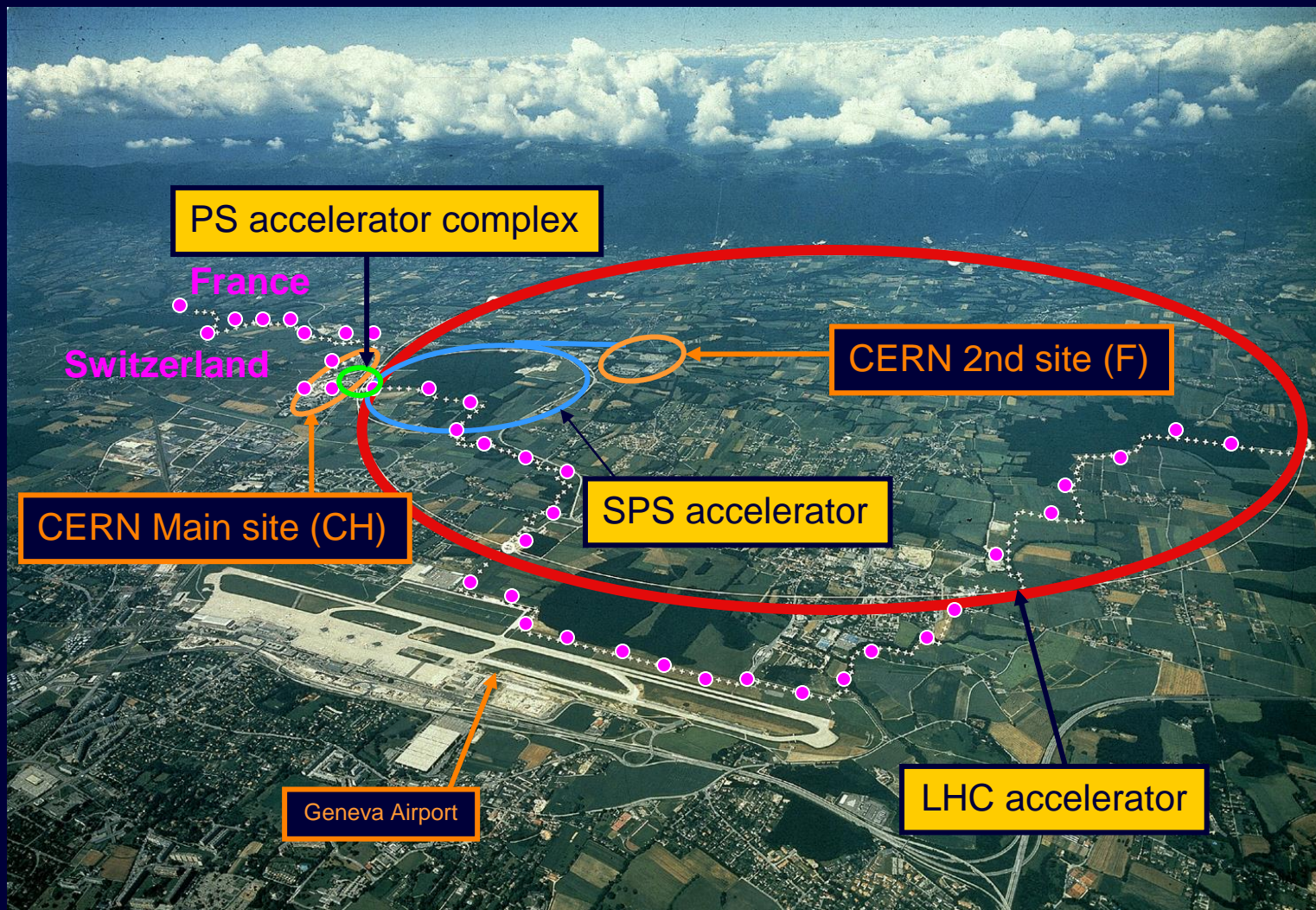


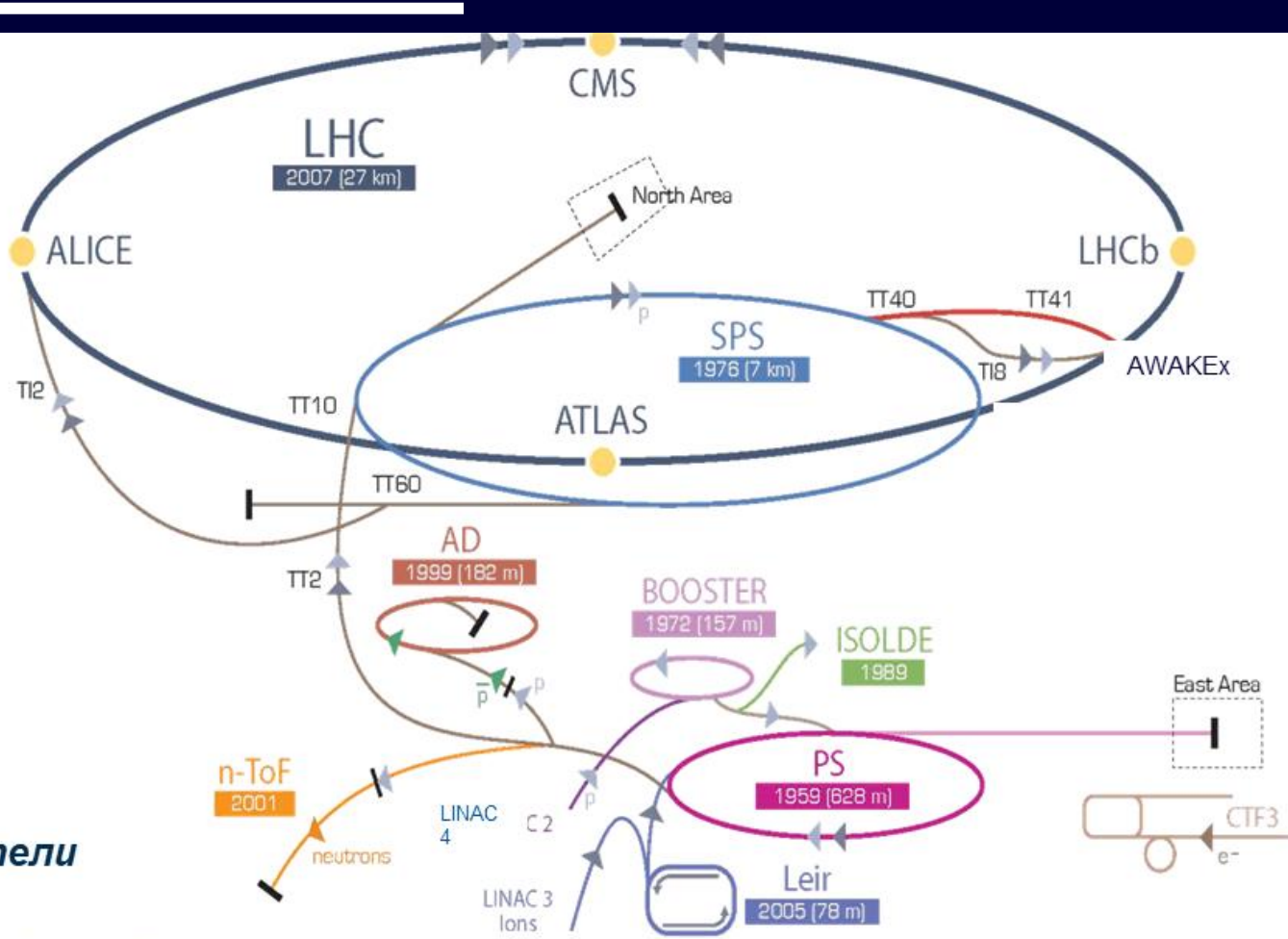
ЦЕРН – в днешно време

➔ Най-големият комплекс от ускорители в света



ЦЕРН – Комплекс от ускорители





Ускорители

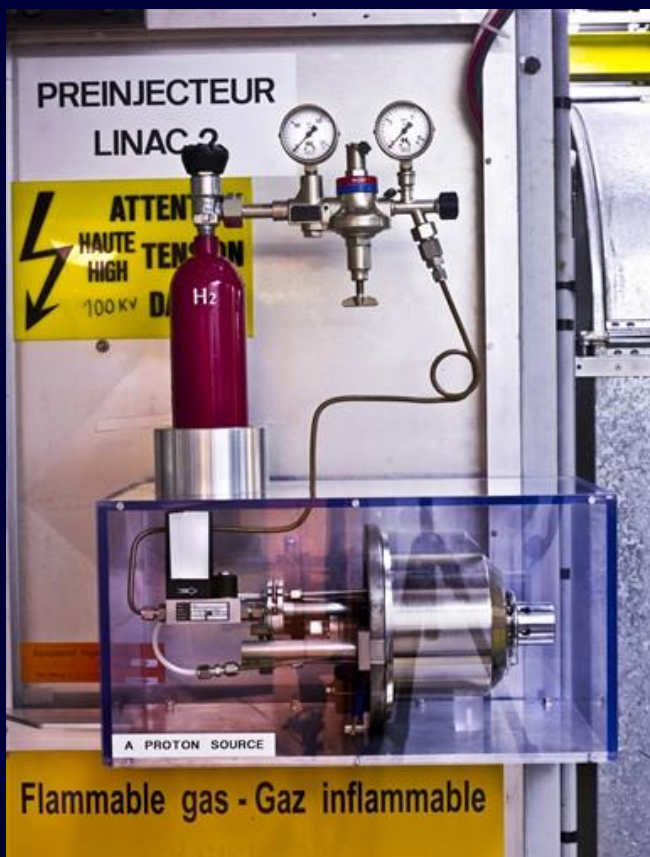
- LHC – Голям Адронен Колайдер
- SPS – Супер Протонен Синхротрон
- PS – Протонен Синхротрон
- AD – Антипротонен деселератор
- CTF3 – Тестов Стенд за Експеримента CLIC
- LINAC 4 – Линеен Ускорител 4
- ISOLDE – Установа за изучаване на Ядрени Изотопи
- LEIR – Пръстен за Йони с Ниски Енергии
- LINAC 3 – Линеен Ускорител 3
- N-TOF – Неутрона Установа

Снопове:

- ▶ Протони
- ▶ Йони
- ▶ Неутрони
- ▶ Антипротони
- ▶ 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
- ➔ Replaced Linac2 in 2020

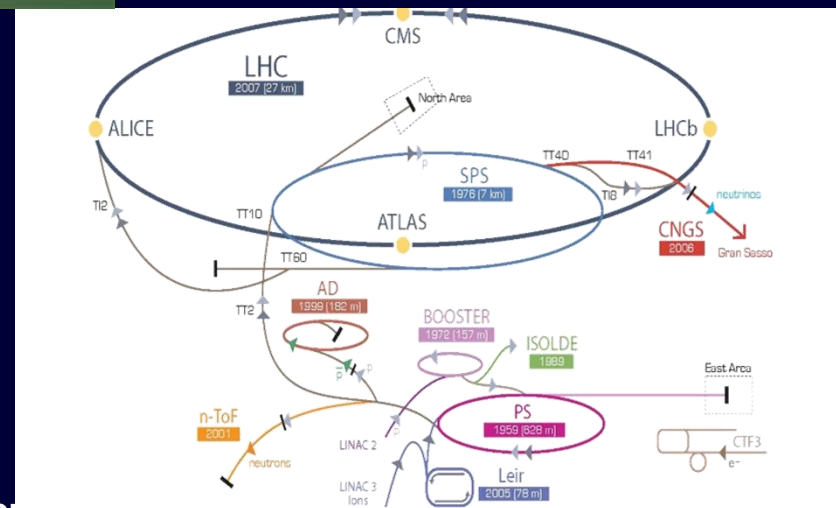


Proton Synchrotron Booster (PSB)

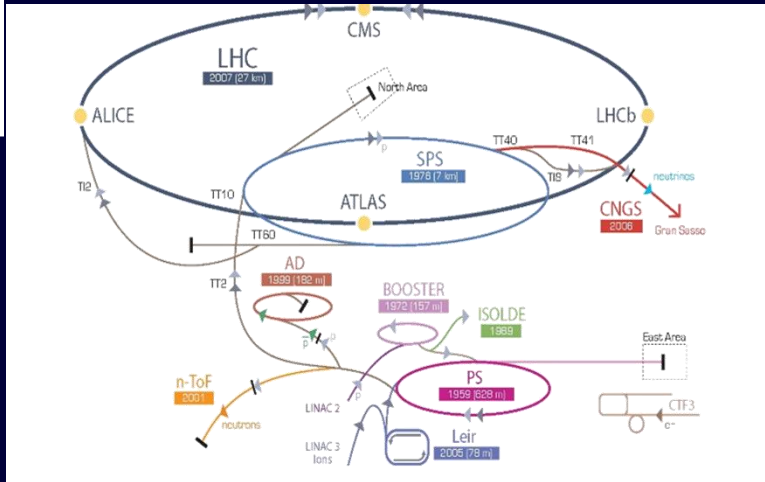


- ➔ 1972
- ➔ 1.4 GeV \rightarrow 2 GeV after 2021

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

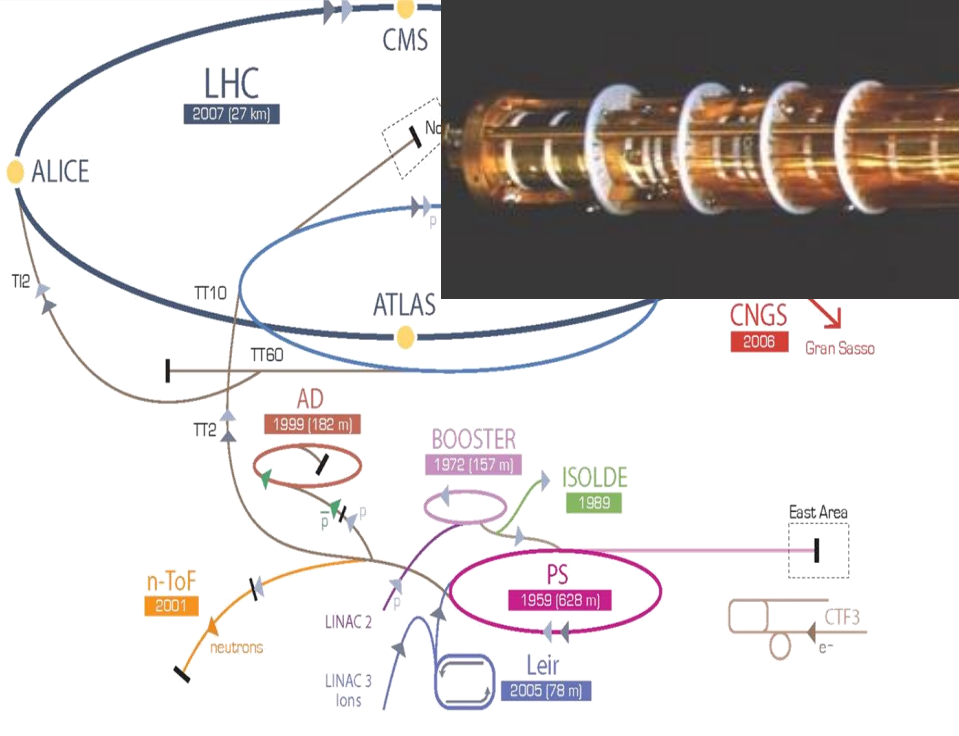


Proton Synchrotron (PS)



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

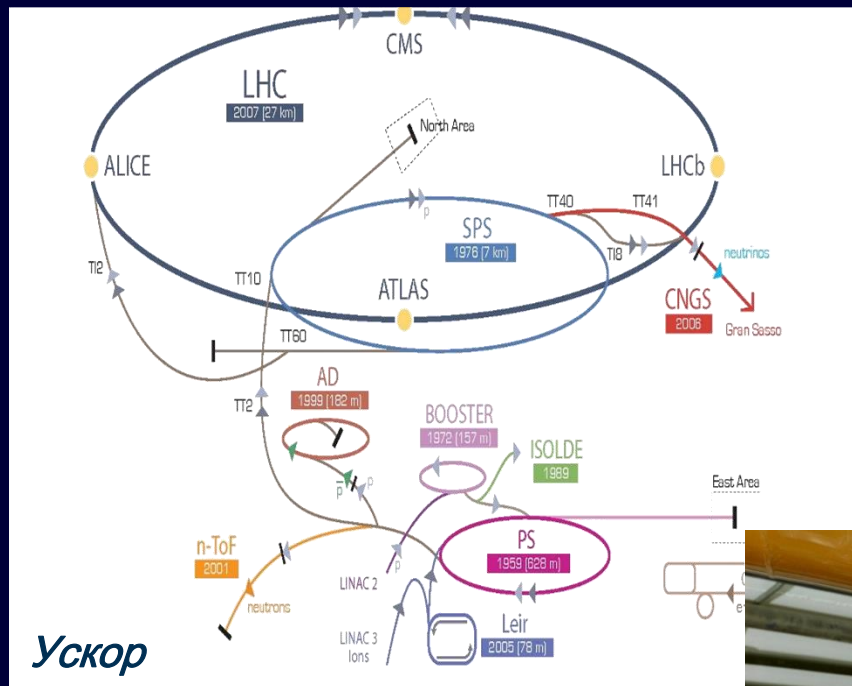




- ➔ Antiproton Decelerator (AD)
- ➔ 1999
- ➔ 182 M
- ➔ AEGIS, ALPHA, ASACUSA and ATRAP

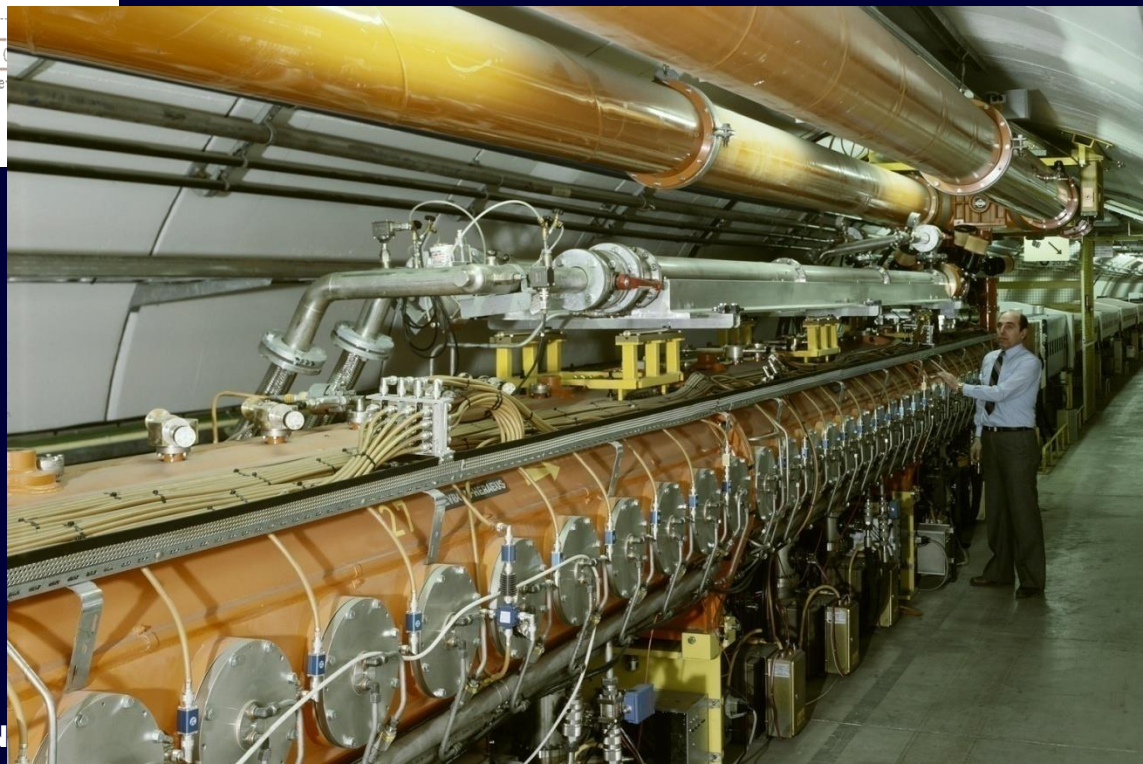


Super Proton Synchrotron (SPS)

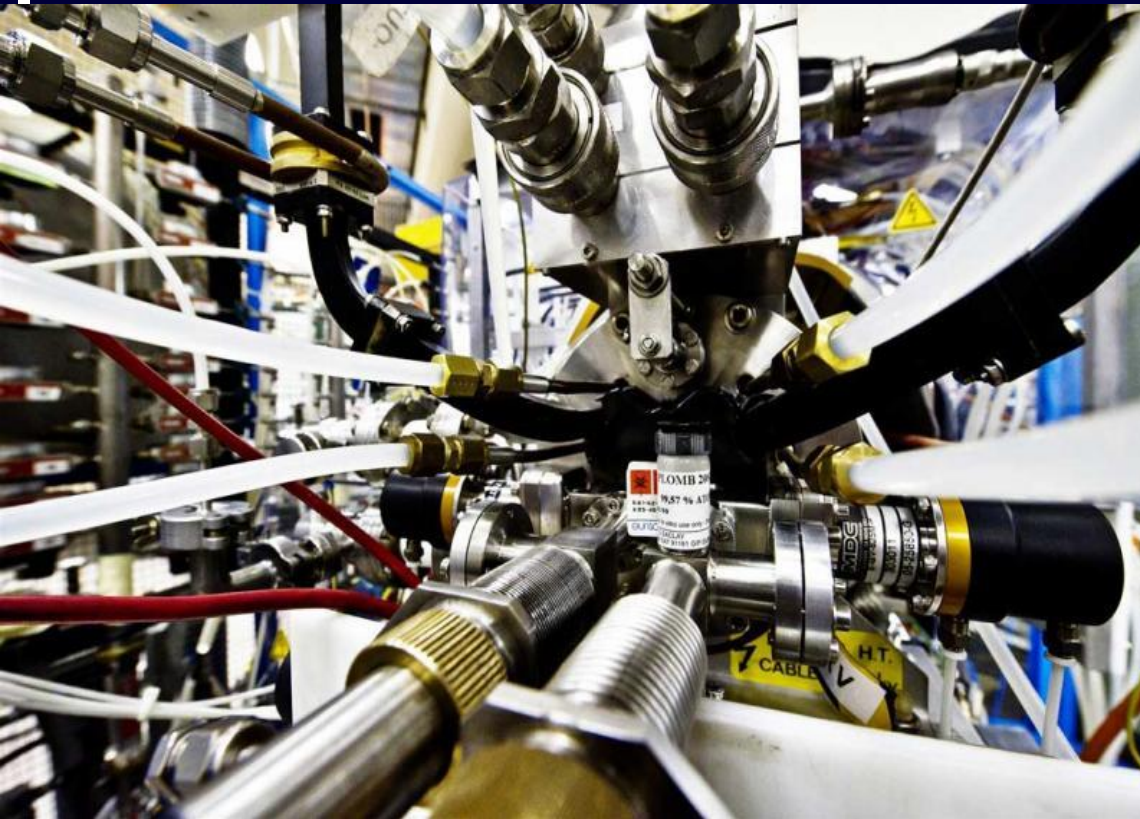


Ускорители

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



LINAC 3

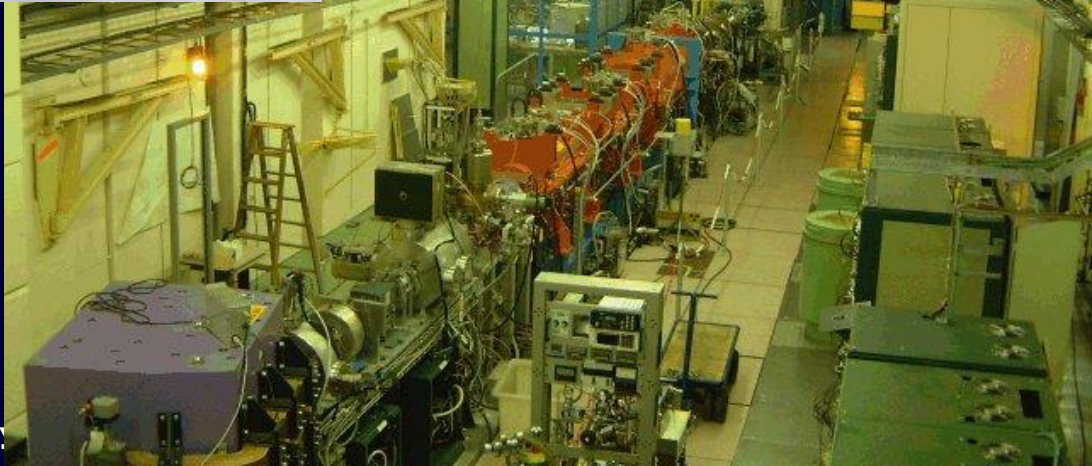


⇒ 1994

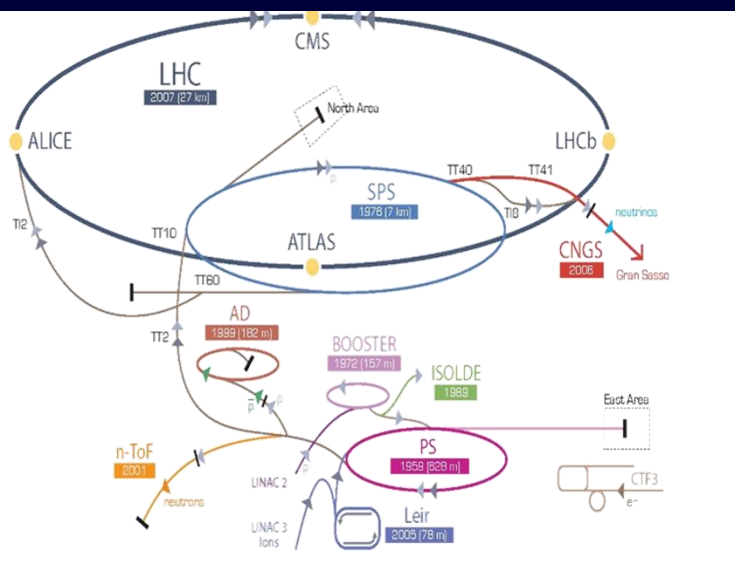
⇒ Оловни йони

⇒ 500mg олово/2 седмици

⇒ В бъдеще: Ar, Xe

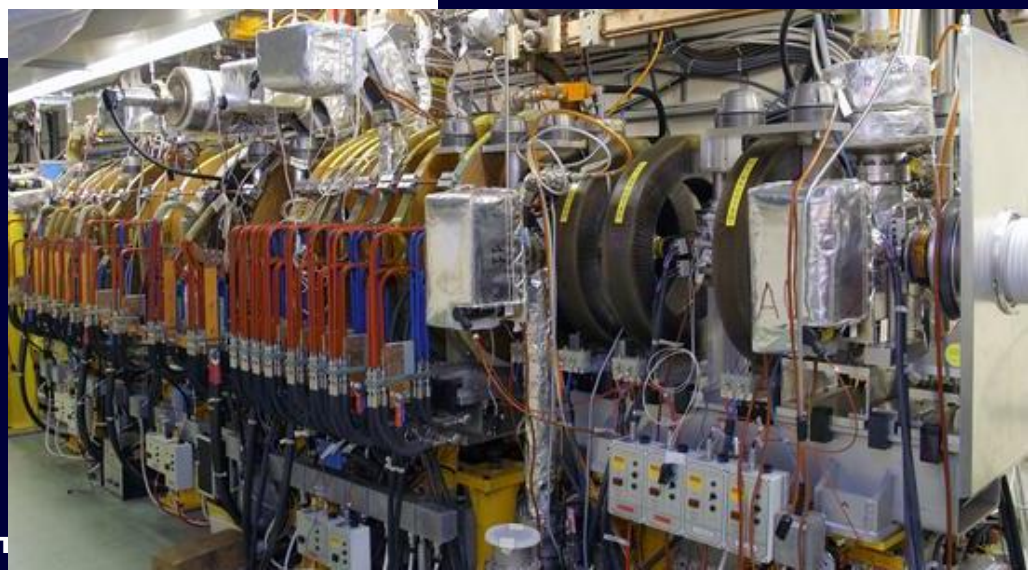
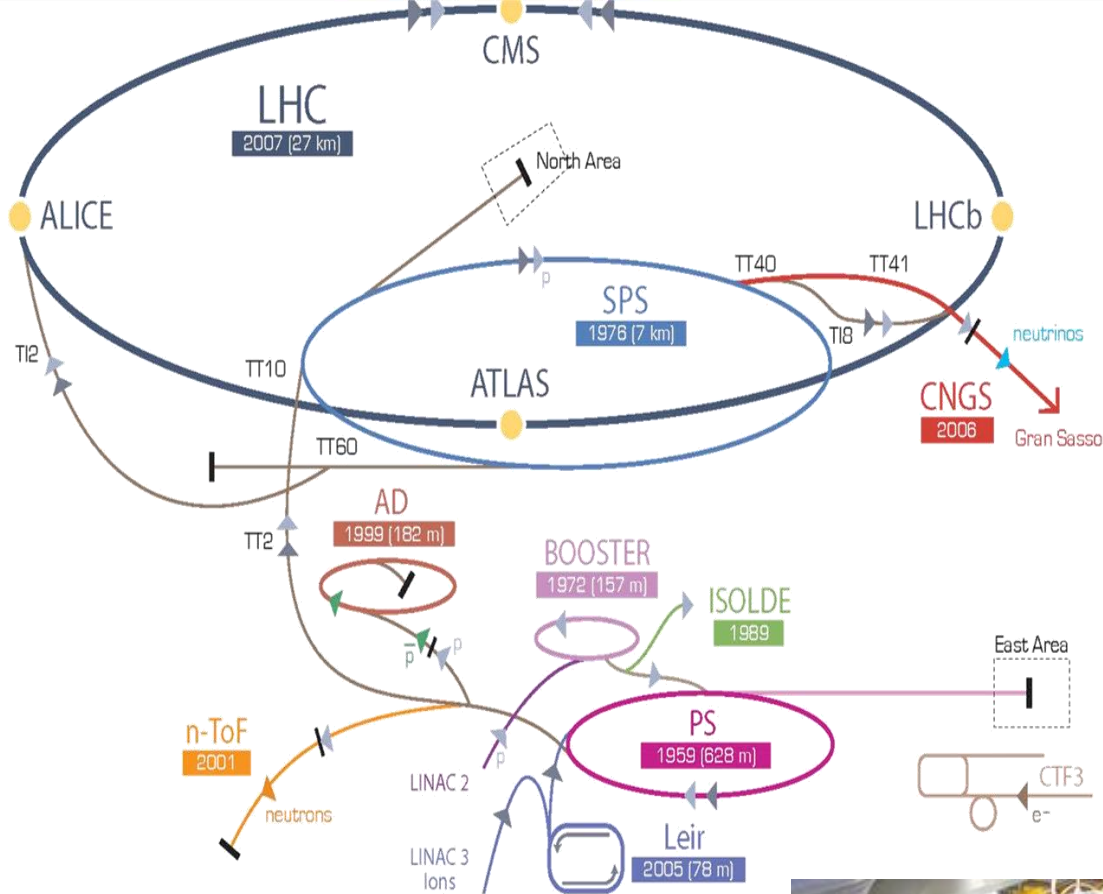


Low Energy Ion Ring (LEIR)



- ➔ 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)

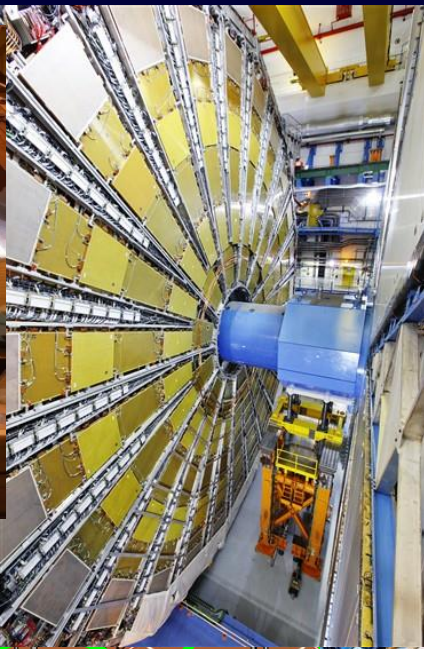
⇒ 100 MeV per 1 meter

⇒ 3 TeV

⇒ e-

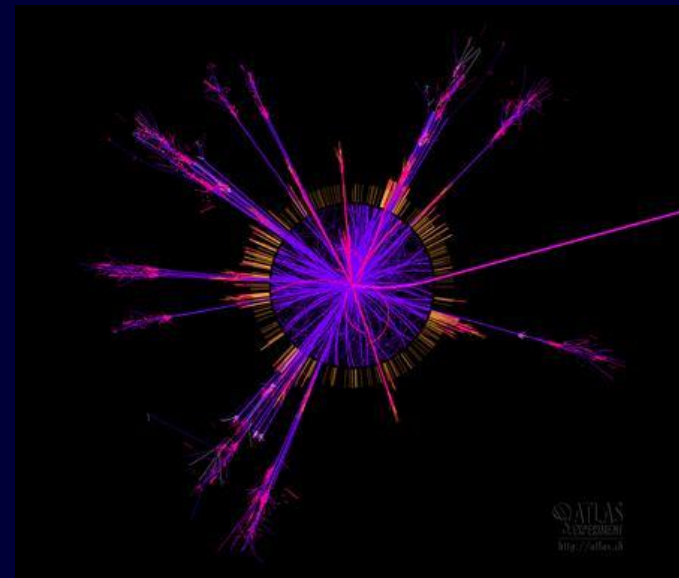
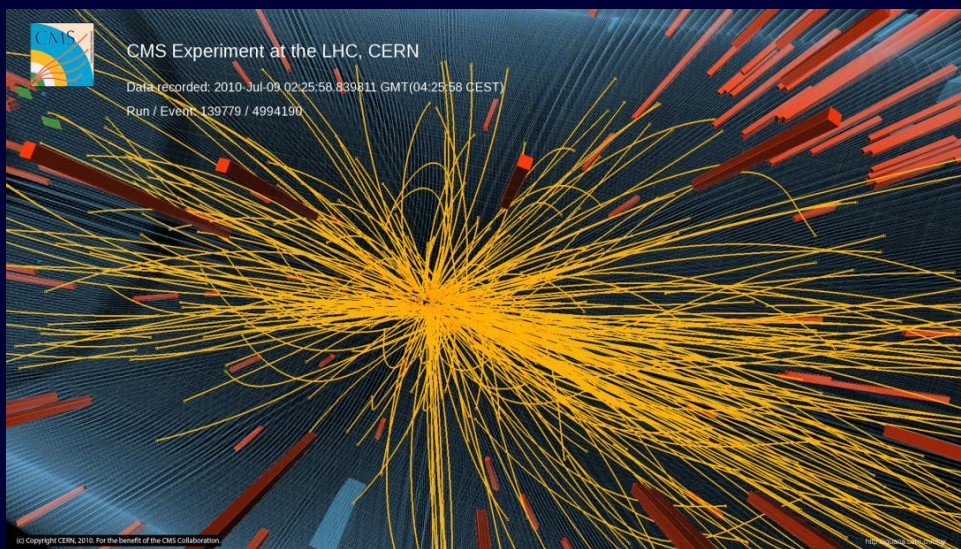
Големият Адронен Колайдер - LHC

- 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)

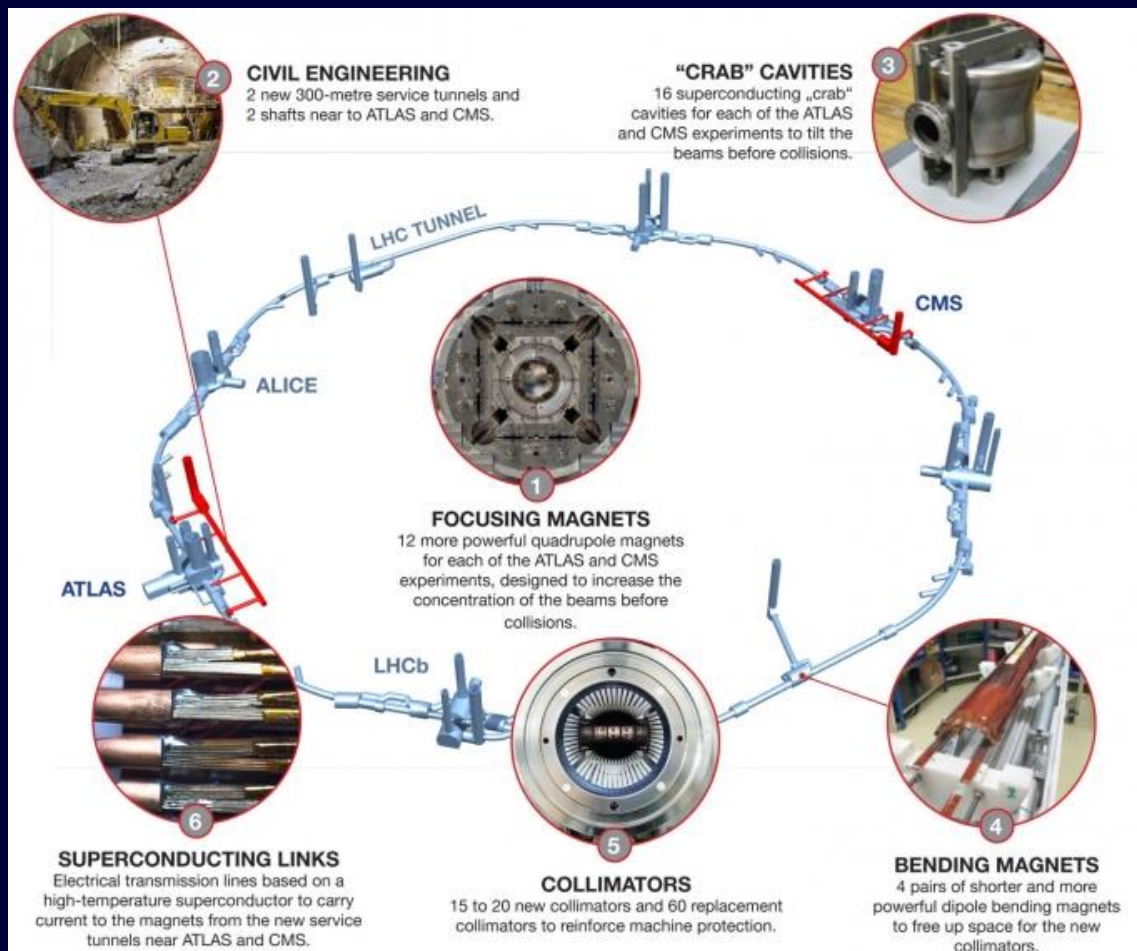


LHC – откриване на Higgs частицата!



High Luminosity LHC

- Увеличава светимостта на LHC x 7.5
- 15 милиона Higgs bosons / година
- ~ 2029
- магнитни полета от 11-12 T (над 200 000 пъти по-силно от земното магнитно поле: 50 microtesla, or 0.00005 tesla)
- компактни свръхпроводящи кухни за завъртане на снопа от елементарни частици с ултра прецизен фазов контрол
- НОВИ ТЕХНОЛОГИИ за колимация на сноповете



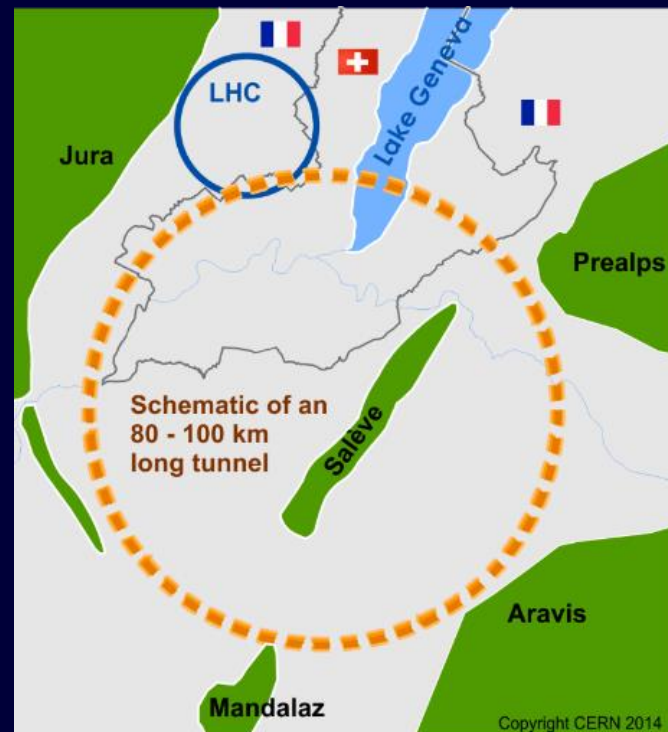
Бъдещи Планове



High Luminosity LHC до ~2040

Текущи проучвания:

Future Circular Collider (FCC)



Европейска стратегия за развитието на физиката на високите енергии

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

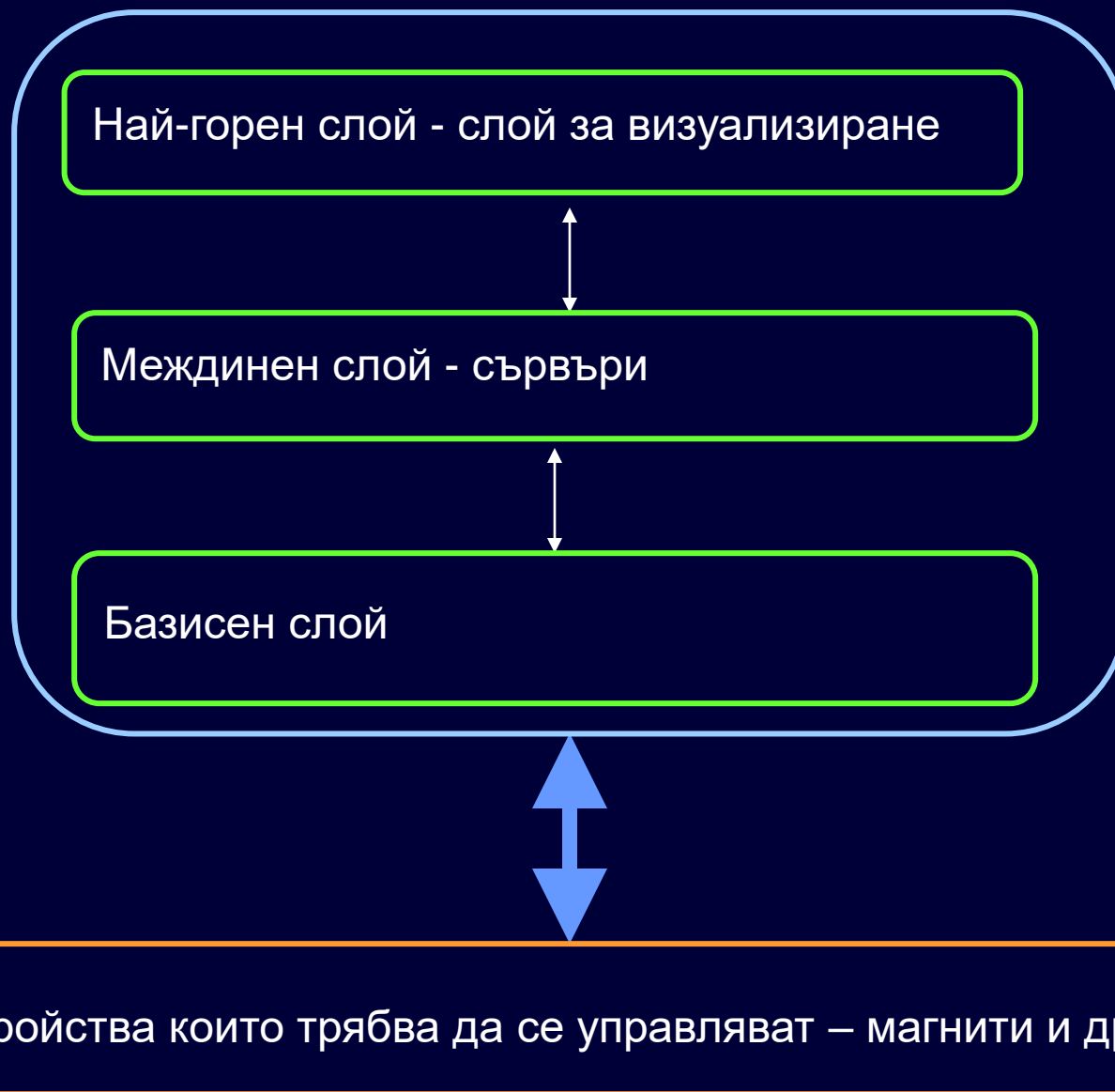
Tech. services
+ cryoplants

LHC

Центърът за управление



Хардуерна инфраструктура на системите за управление



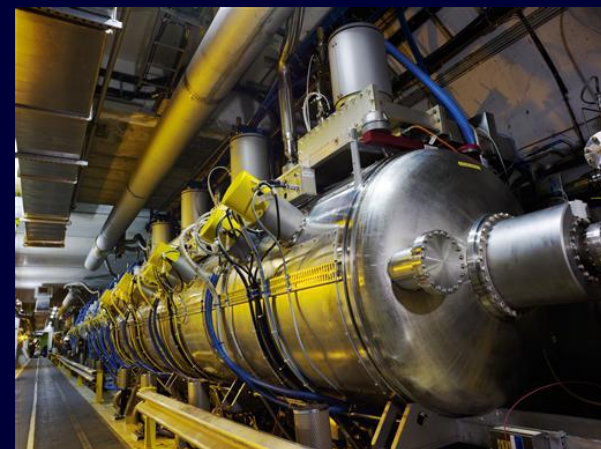
Основни съставни части на ускорител (LHC)

- ➔ 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)

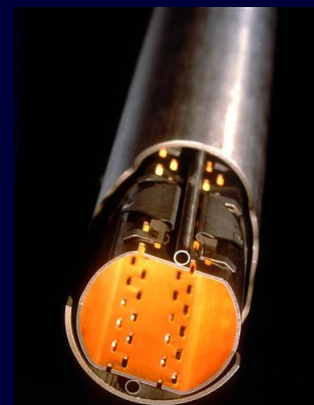


Основни съставни части на ускорител

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



- ➔ Вакуумни системи
/ 10^{-13} atm /



Основни съставни части на ускорител

➔ Криогенни инсталации

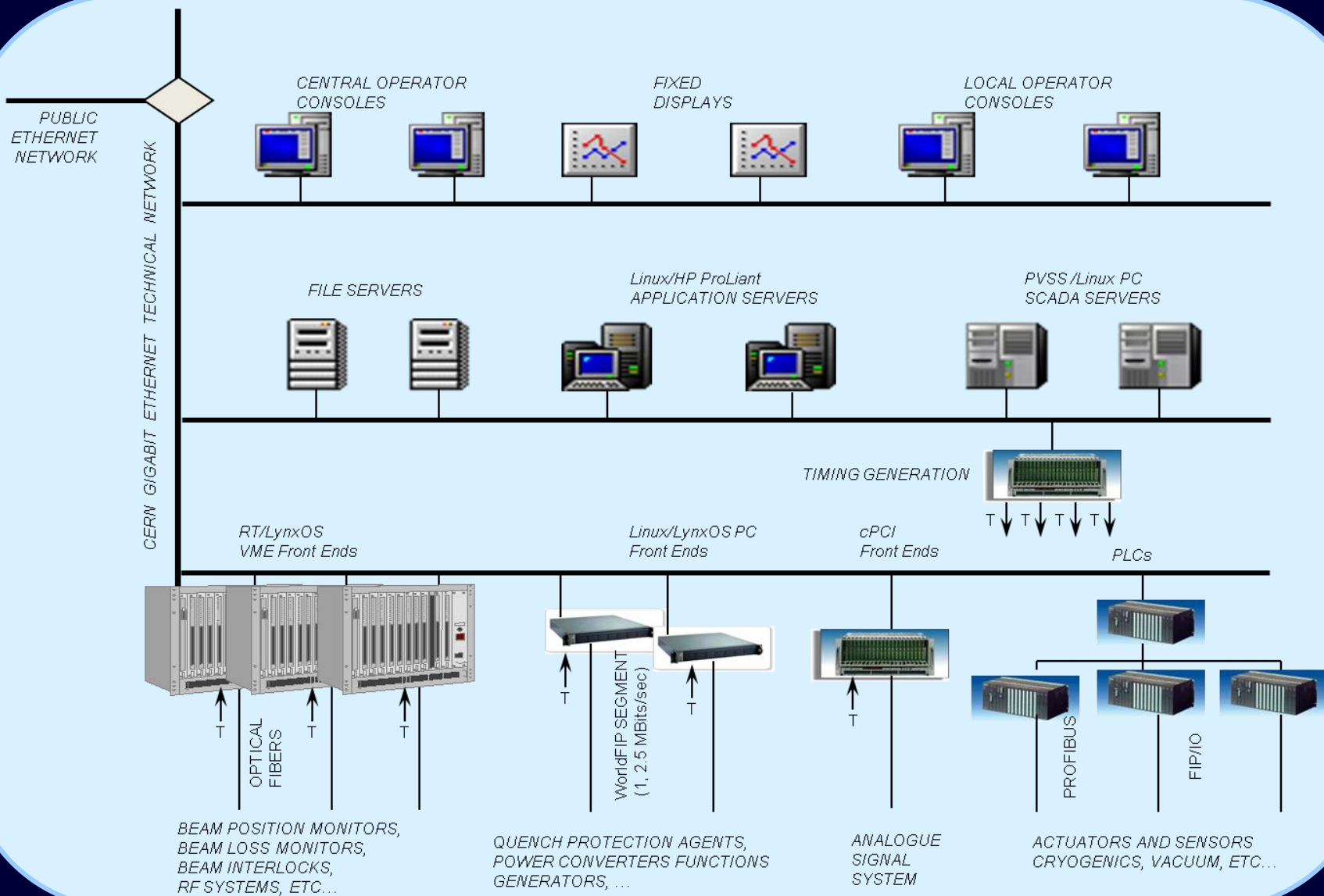
- -193.2°C (80 K)
- -271.3°C (1.9 K)

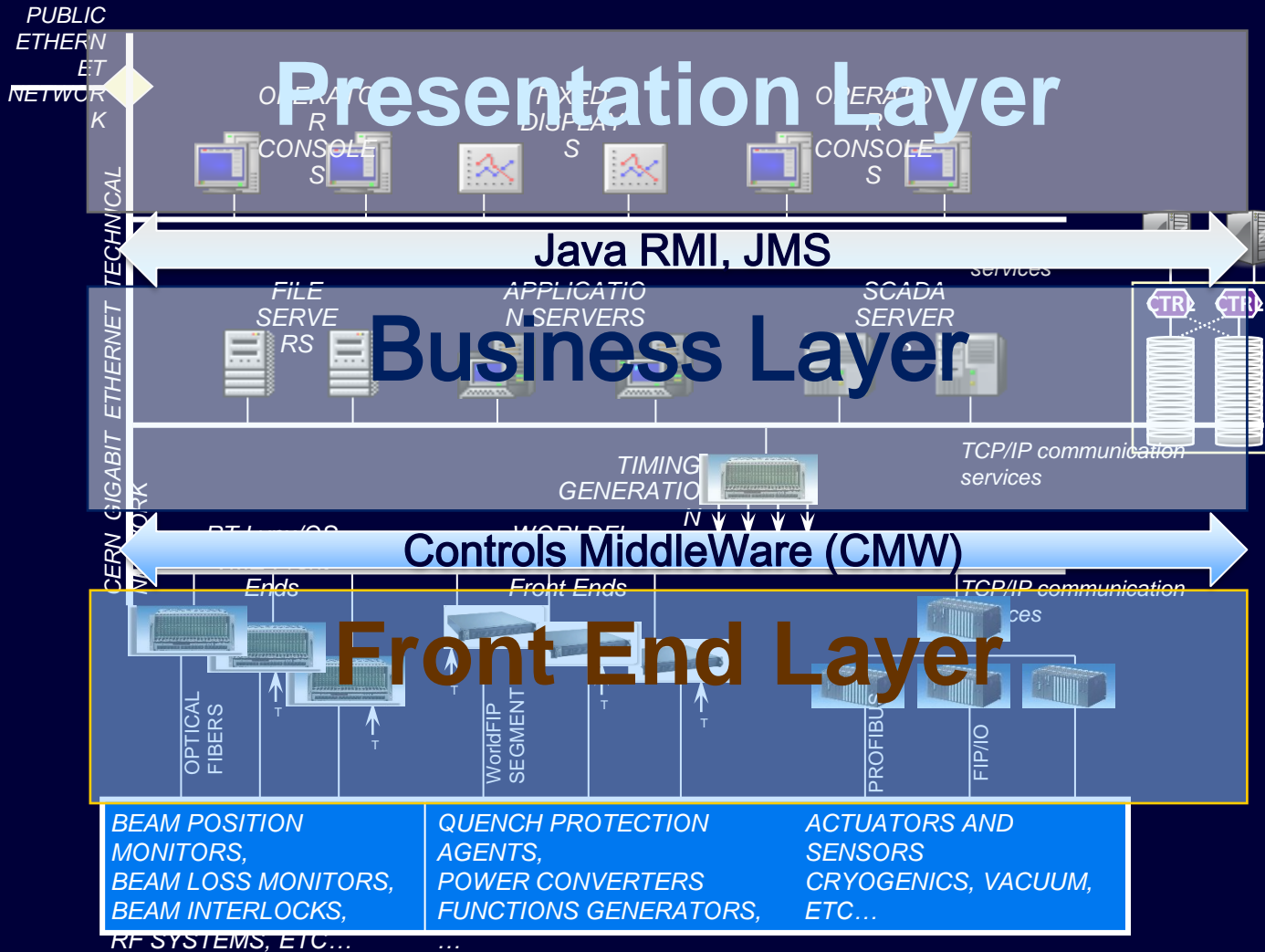


➔ Електро трансформатори и захранващи устройства

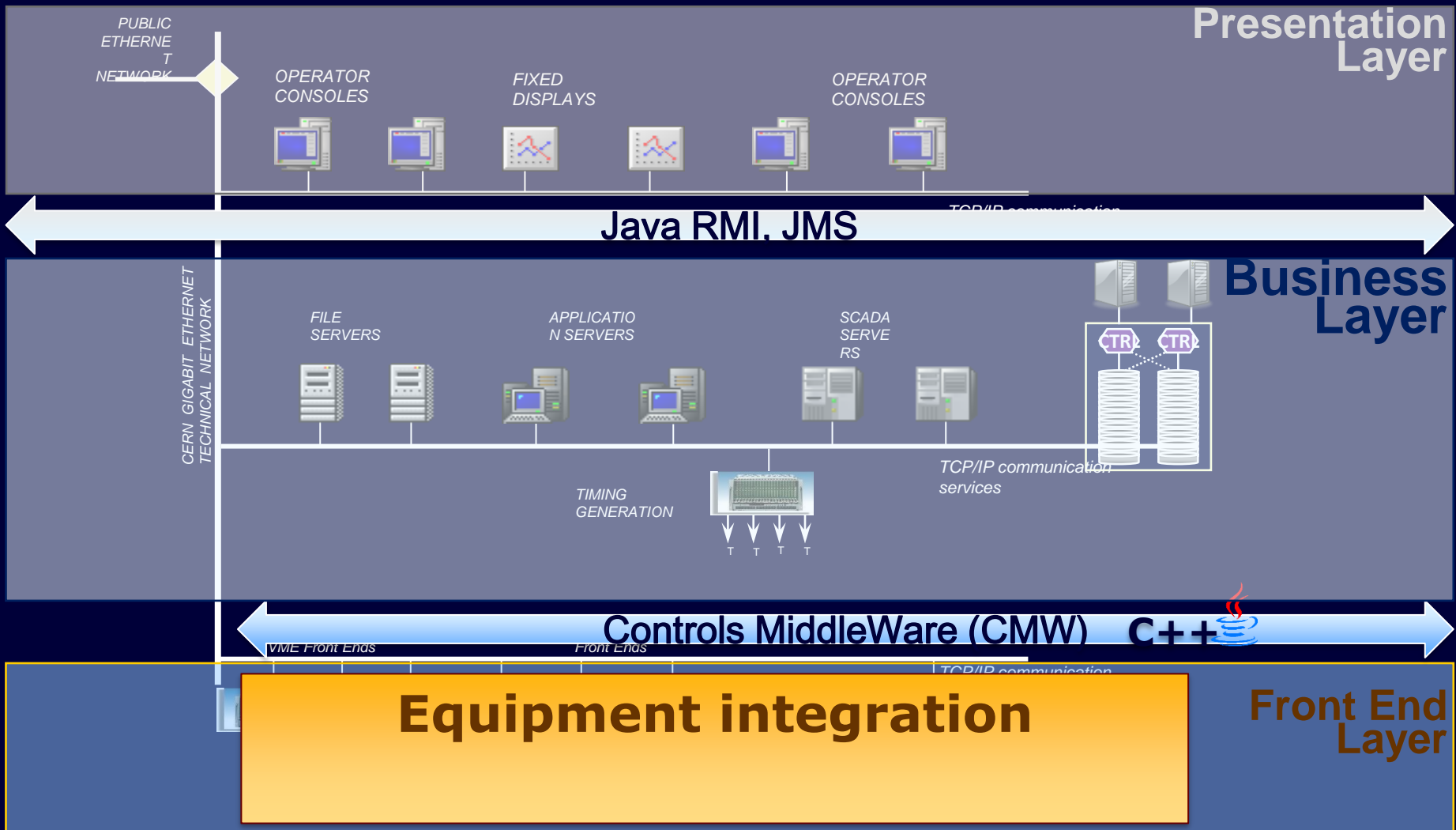


Хардуерна инфраструктура на системите за управление





Хардуерна инфраструктура на системите за управление

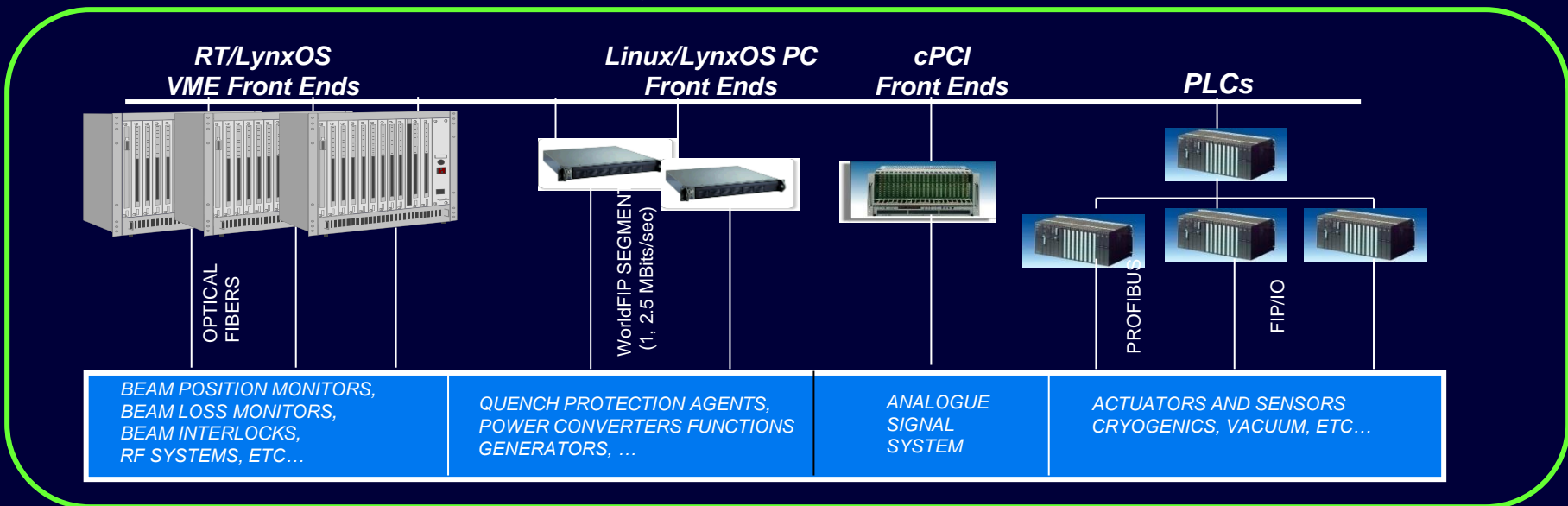


Базисен слой

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

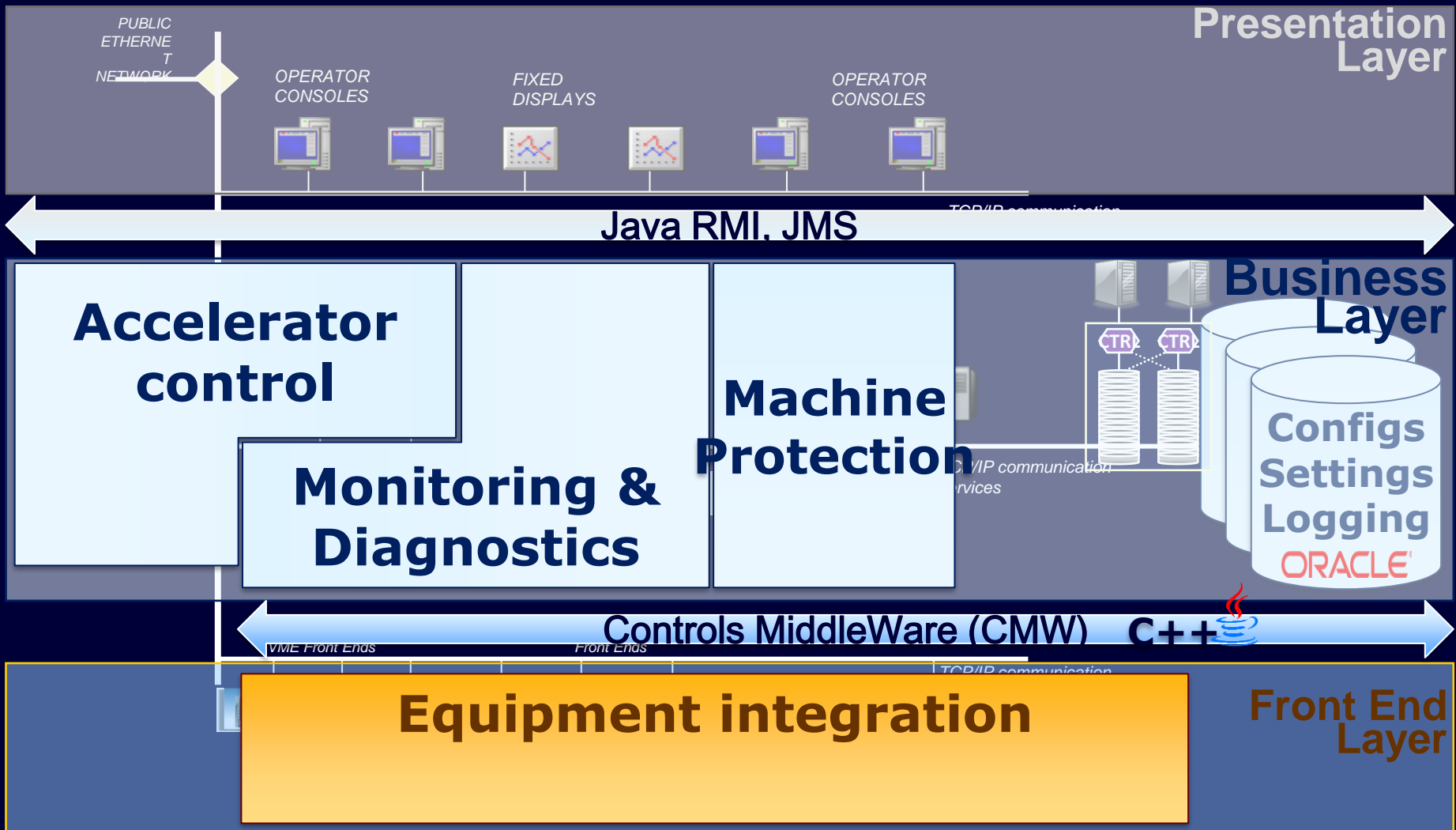
⇒ Няма „vendor-lock“



www.ohwr.org



Хардуерна инфраструктура на системите за управление



Междинен слой

Най-горен слой

FILE SERVERS
DATABASE SERVERS



Linux/HP ProLiant
APPLICATION SERVERS



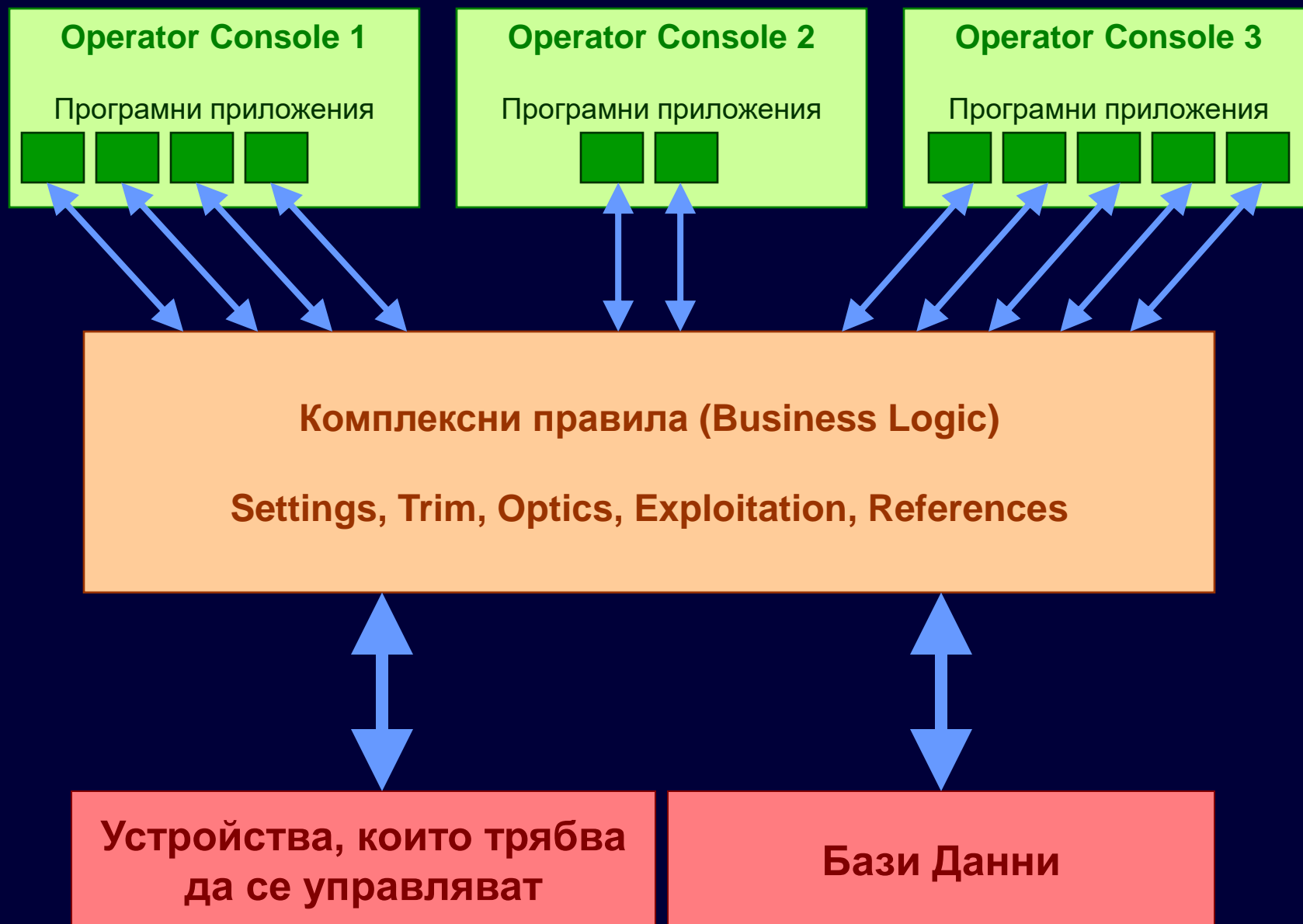
PVSS/Linux
SCADA SERVERS



TIMING GENERATION

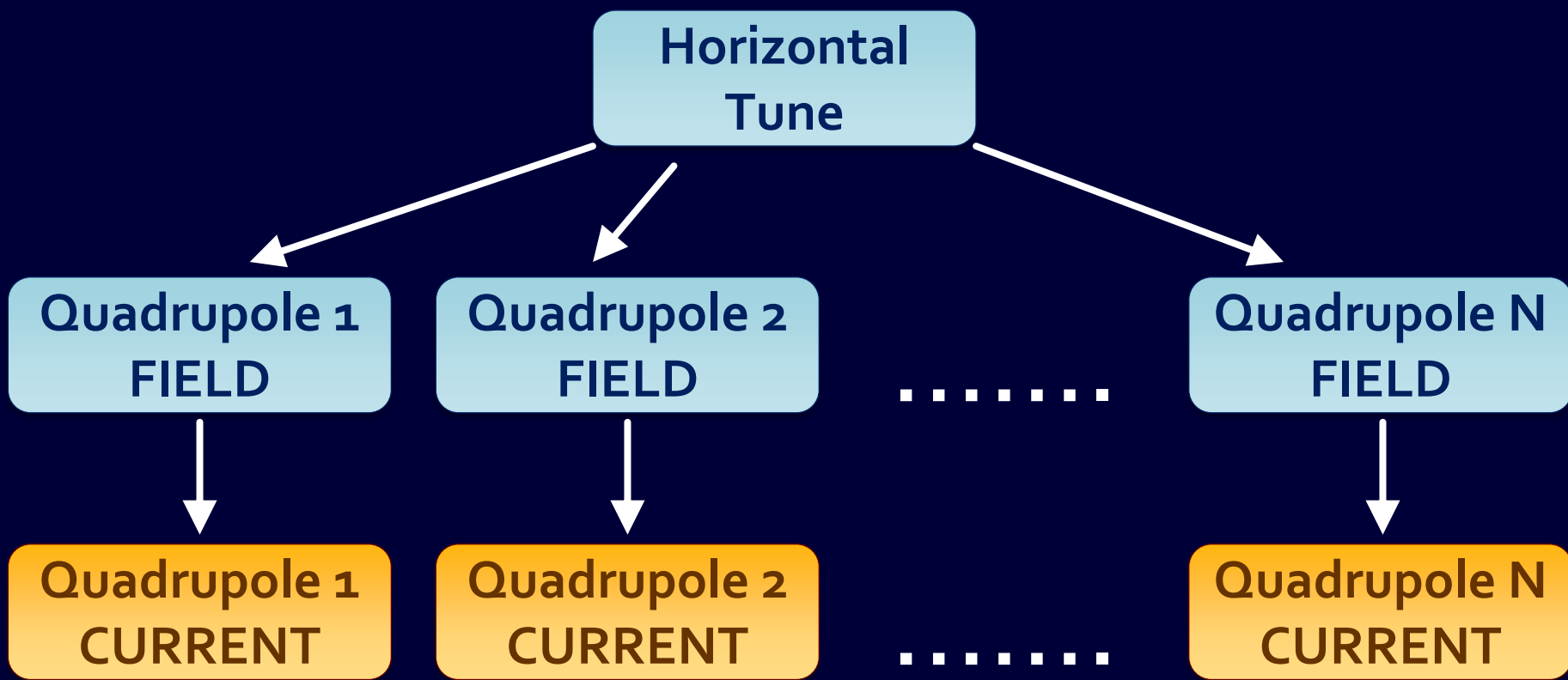


Софтуерна архитектура за управление на LHC



Комплексни правила (Business Logic)

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



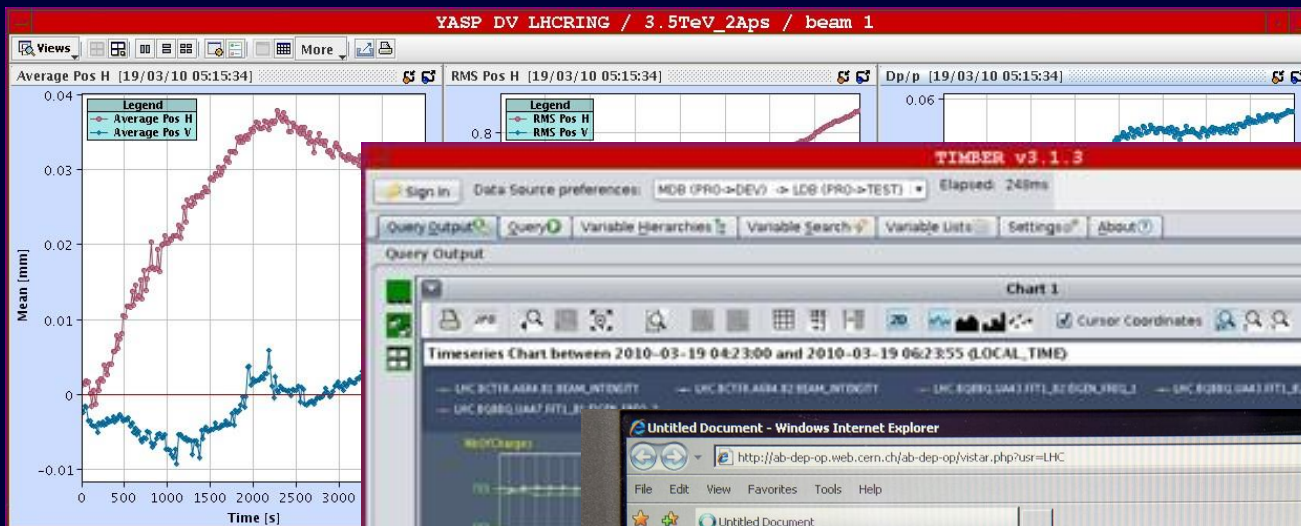
Fixed Displays



Operational Consoles



Слой за визуализиране



TIMBER v3.1.3

Sign in: Data Source preferences: MDB (PRO->DEV) -> LDB (PRO->TEST) Elapsed: 248ms

Query Output

Chart 1

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

Legend: UHC B0378 (A4A) B1 BEAM_INTENSITY, UHC B0378 (A4A) B2 BEAM_INTENSITY, UHC B0380 (A43) B1 T1_B1 DGN_REL_1, UHC B0380 (A43) B2 T1_B2 DGN_REL_2, UHC B0380 (A47) B1 T1_B1 DGN_REL_1, UHC B0380 (A47) B2 T1_B2 DGN_REL_2

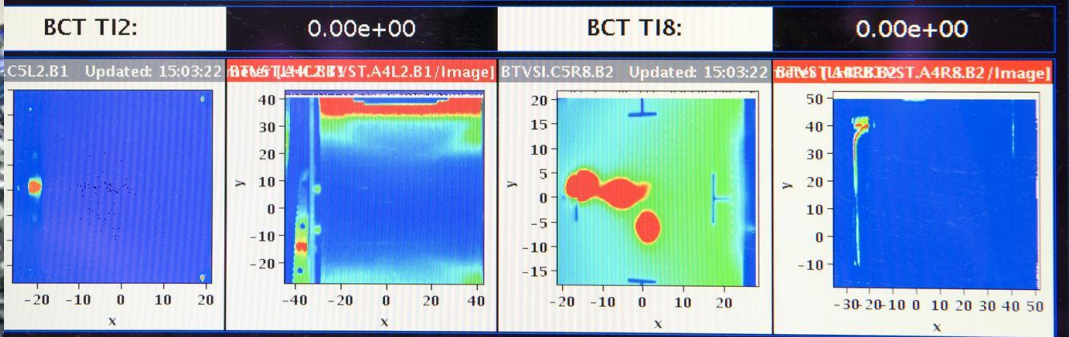
Windows Internet Explorer

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 :



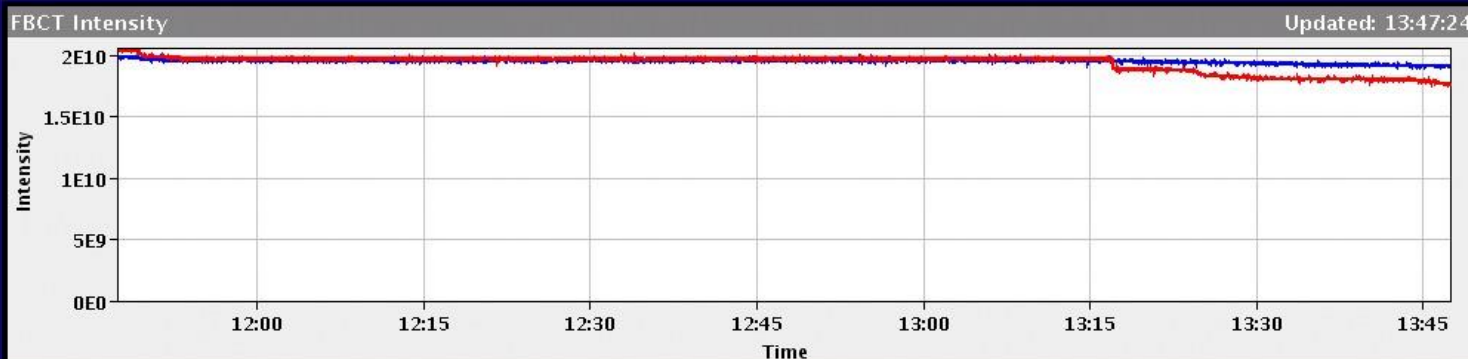
Слой за визуализиране

<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**

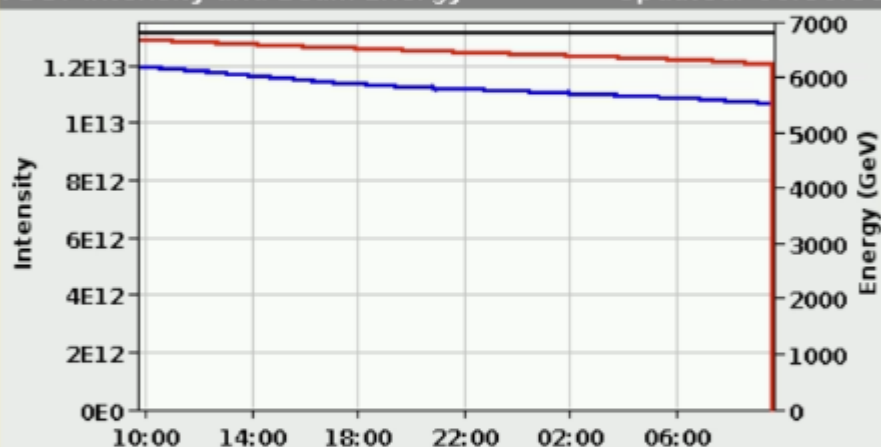
PROTON PHYSICS: STABLE BEAMS

Energy: **6800 GeV** **I B1:** **3.57e+08** **I B2:** **0.00e+00**

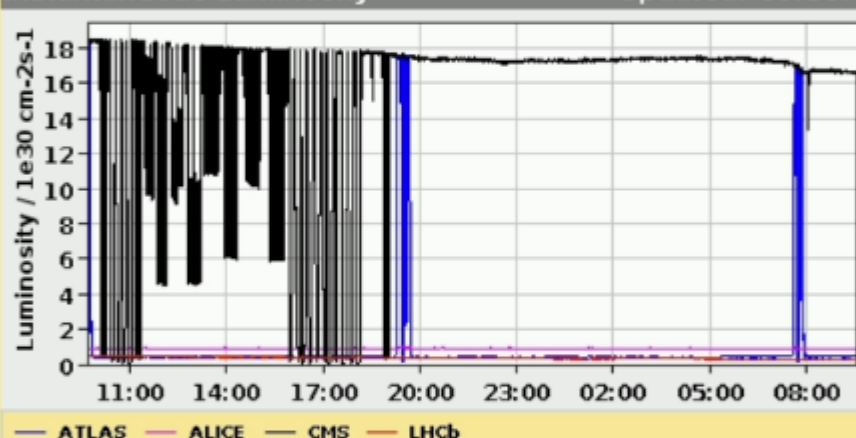
Beta* IP1: **19.20 m** Beta* IP2: **19.20 m** Beta* IP5: **19.20 m** Beta* IP8: **24.00 m**

Inst. Lumi [(ub.s)⁻¹] IP1: **-0.00** IP2: **-0.00** IP5: **0.00** IP8: **0.27**

FBCT Intensity and Beam Energy Updated: 09:39:50



Instantaneous Luminosity Updated: 09:39:48



Comments (26-Sep-2022 09:20:35)

RECORD LONGEST LHC FILL EVER

146b fill - stable beam
plan to keep this fill as long possible

NEXT morning meeting monday 9am

AFS: 525ns_146b_144_35_22_8bpi_20inj_nocloseLR

BIS status and SMP flags

	B1	B2
Link Status of Beam Permits	true	true
Global Beam Permit	false	false
Setup Beam	false	false
Beam Presence	false	false
Moveable Devices Allowed In	true	true
Stable Beams	true	true

PM Status B1

ENABLED

PM Status B2

ENABLED

Защита на ускорителите

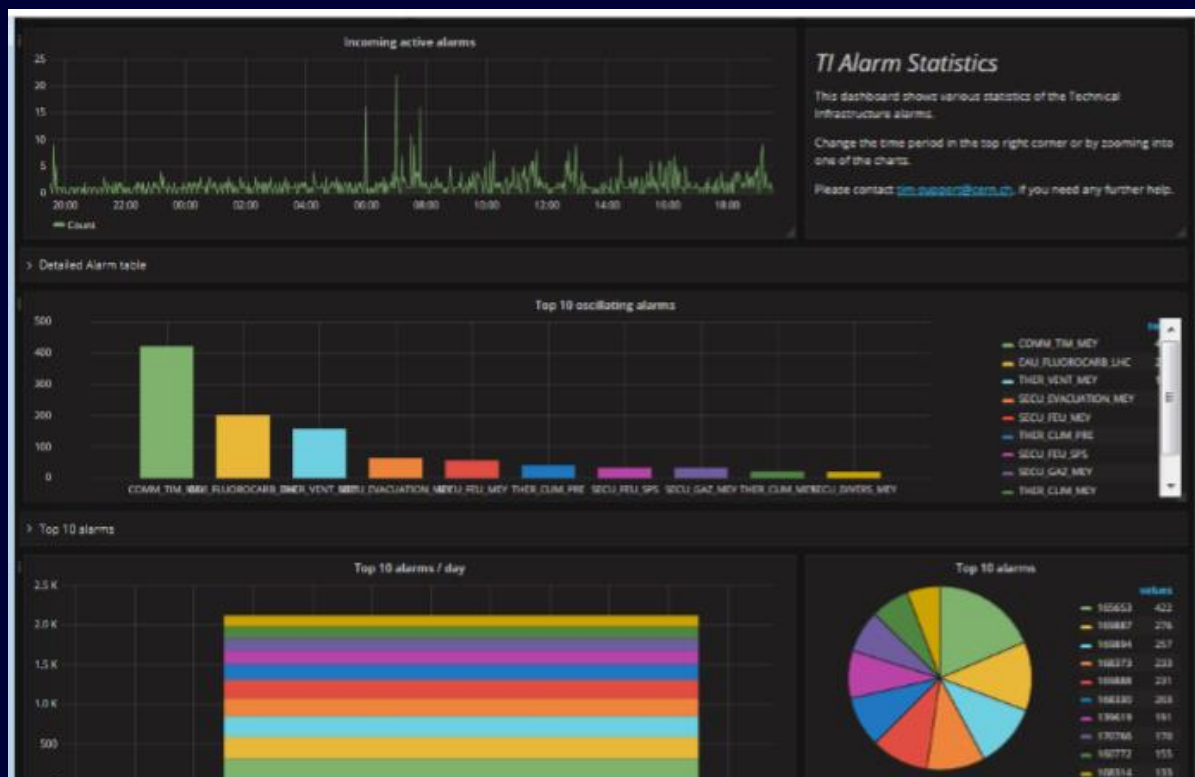
- ⇒ Алармена система
- ⇒ Система интерлок на захранване
- ⇒ Система интерлок на снопове
- ⇒ Система Post Mortem
- ⇒ Система Quench Protection
- ⇒ Други

Алармена система

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

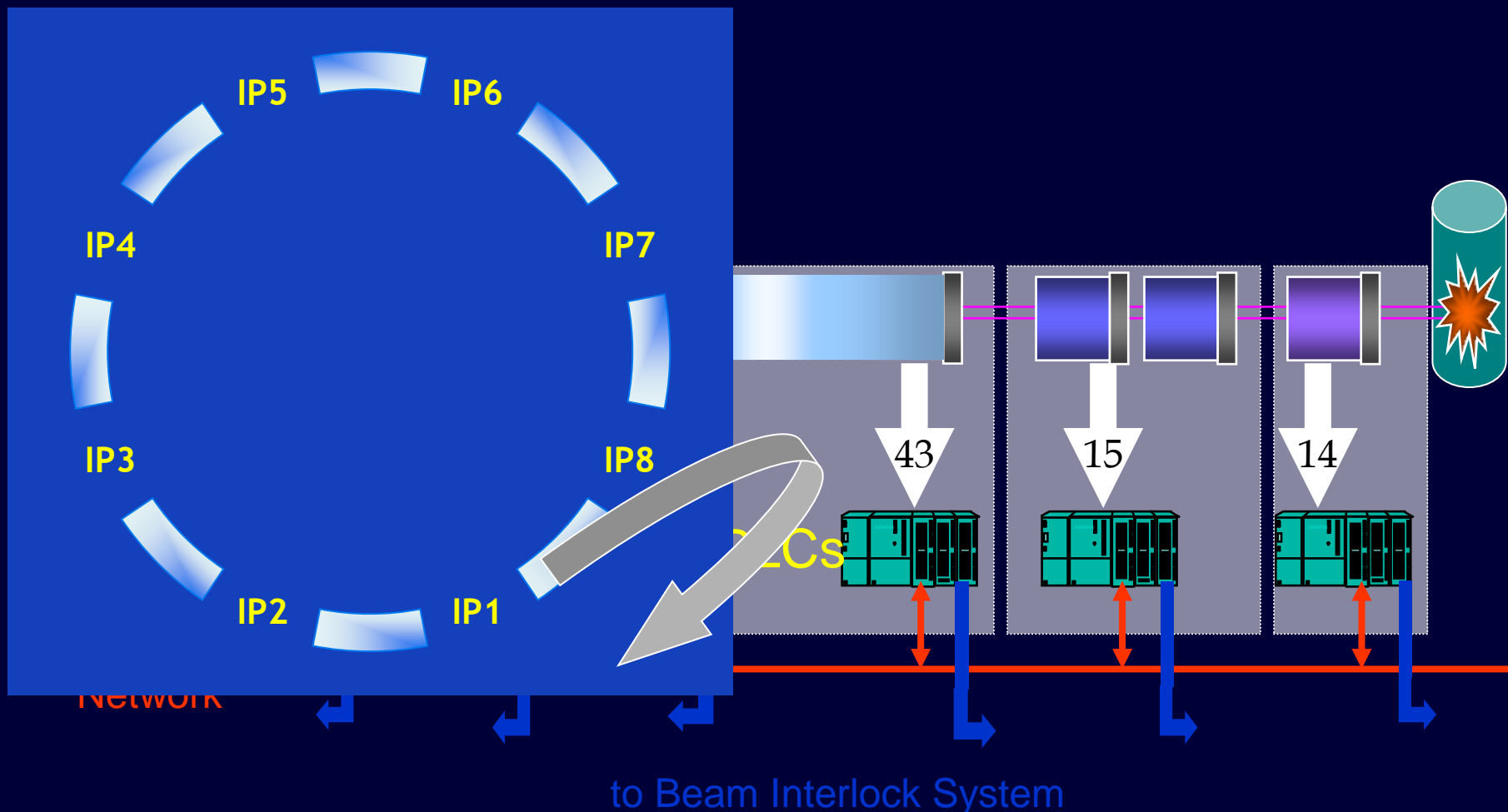
➔ Над 200 000 дефиниции на аларми

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



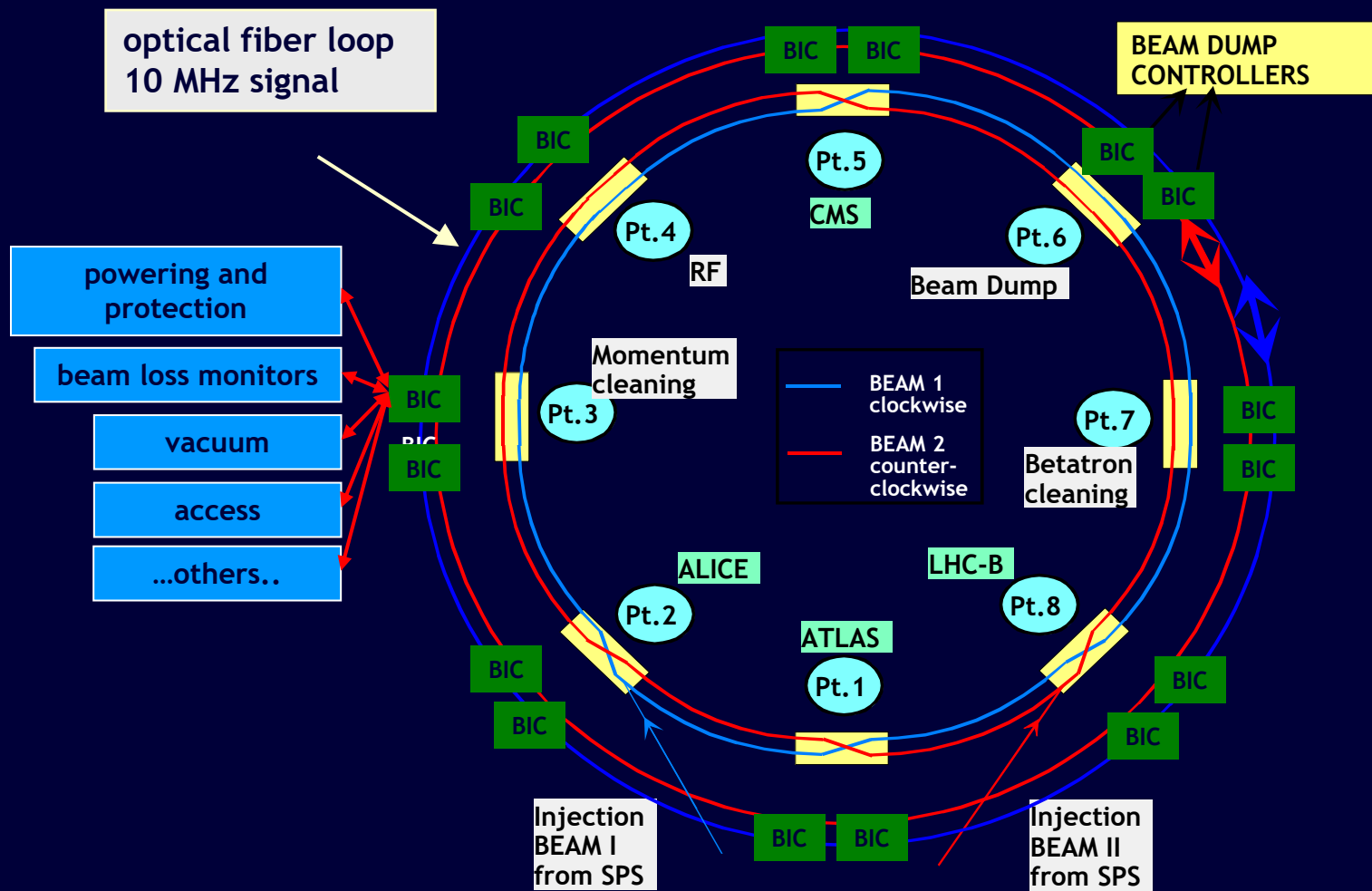
Система интерлок на захранване

- ➔ 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



- ⇒ 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

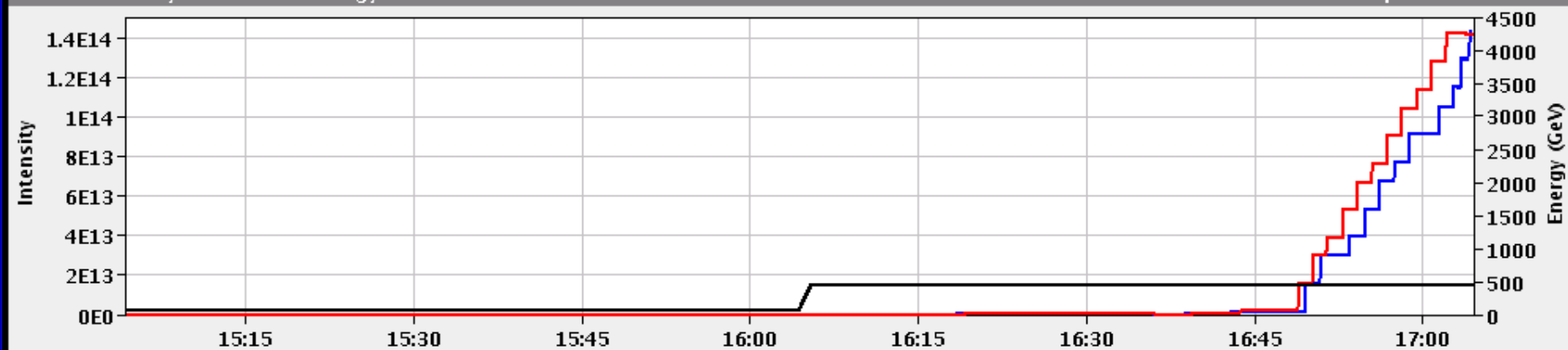
BCT TI2: 7.78e+13 **I(B1):** 1.42e+14 **BCT TI8:** 0.00e+00 **I(B2):** 1.43e+14

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

AFS: 50ns_1092b_1054_0_1032_108bpi12inj



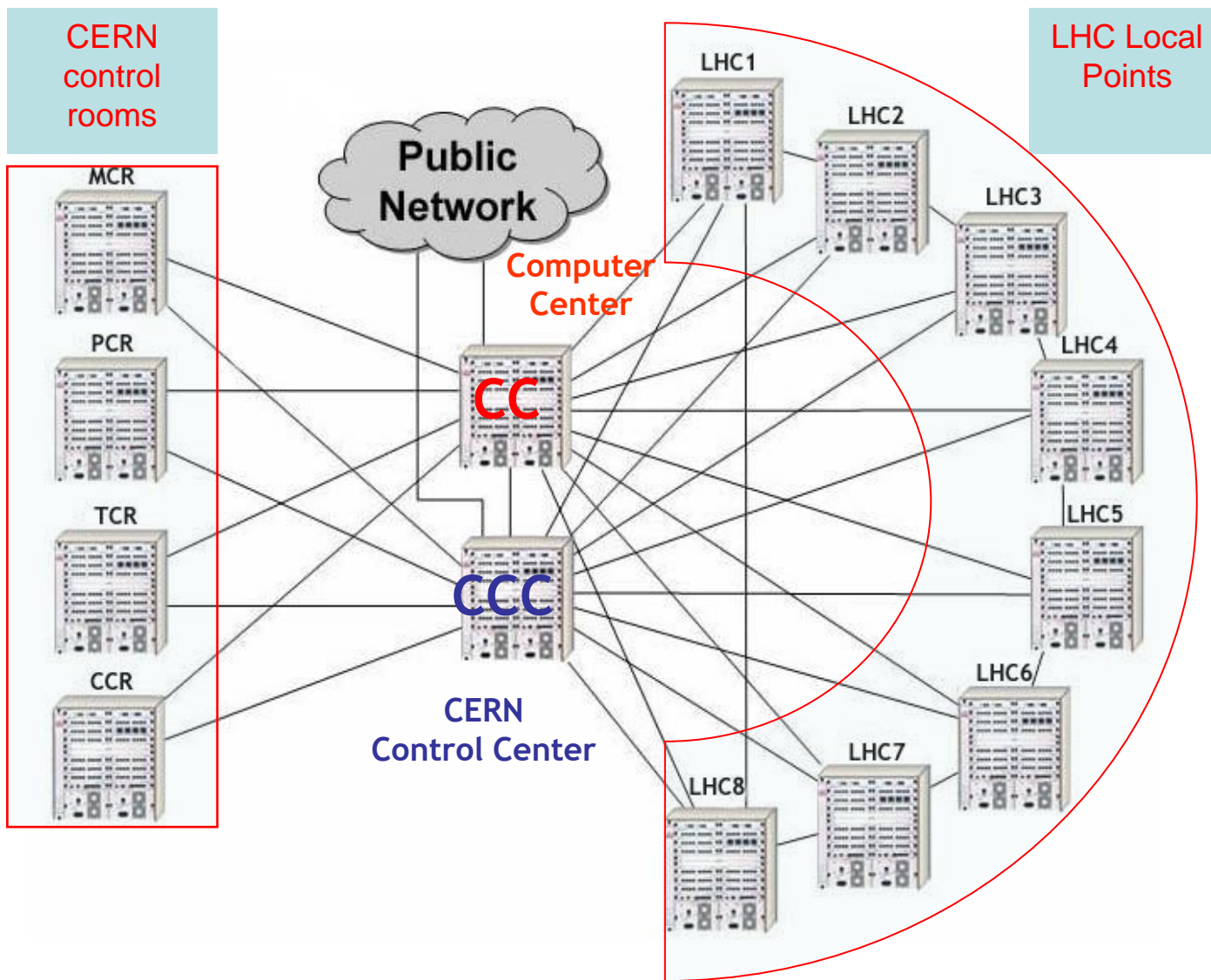
*Quis custodiet ipsos custodes?
(Кой пази пазачите?)*

- ⇒ 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)

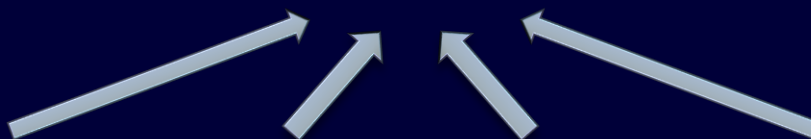


Техническата инфраструктура

- ➔ Управление и контрол на цялата техническата инфраструктура в CERN



CERN Control Centre



Electricity



Cooling



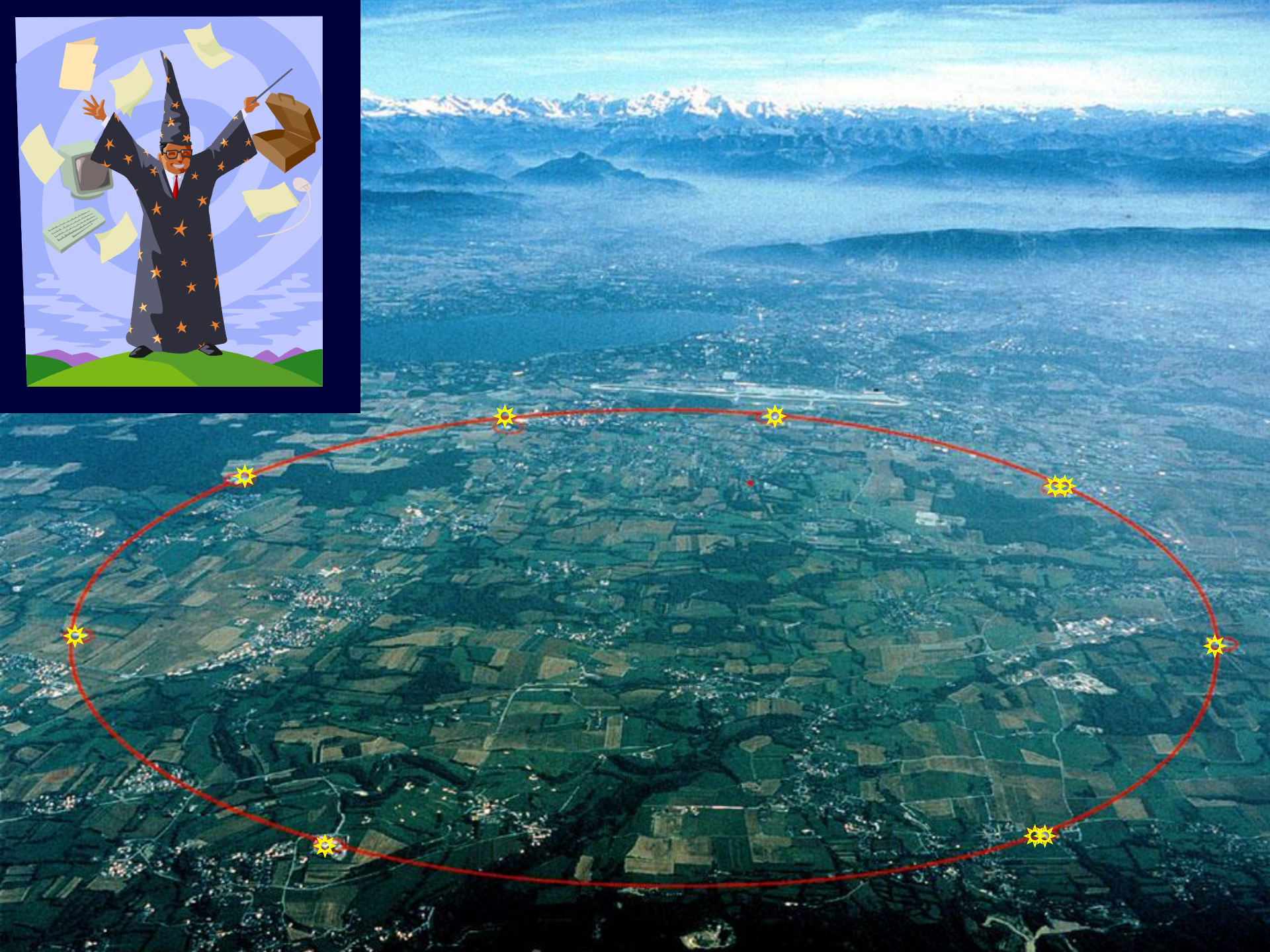
Vacuum



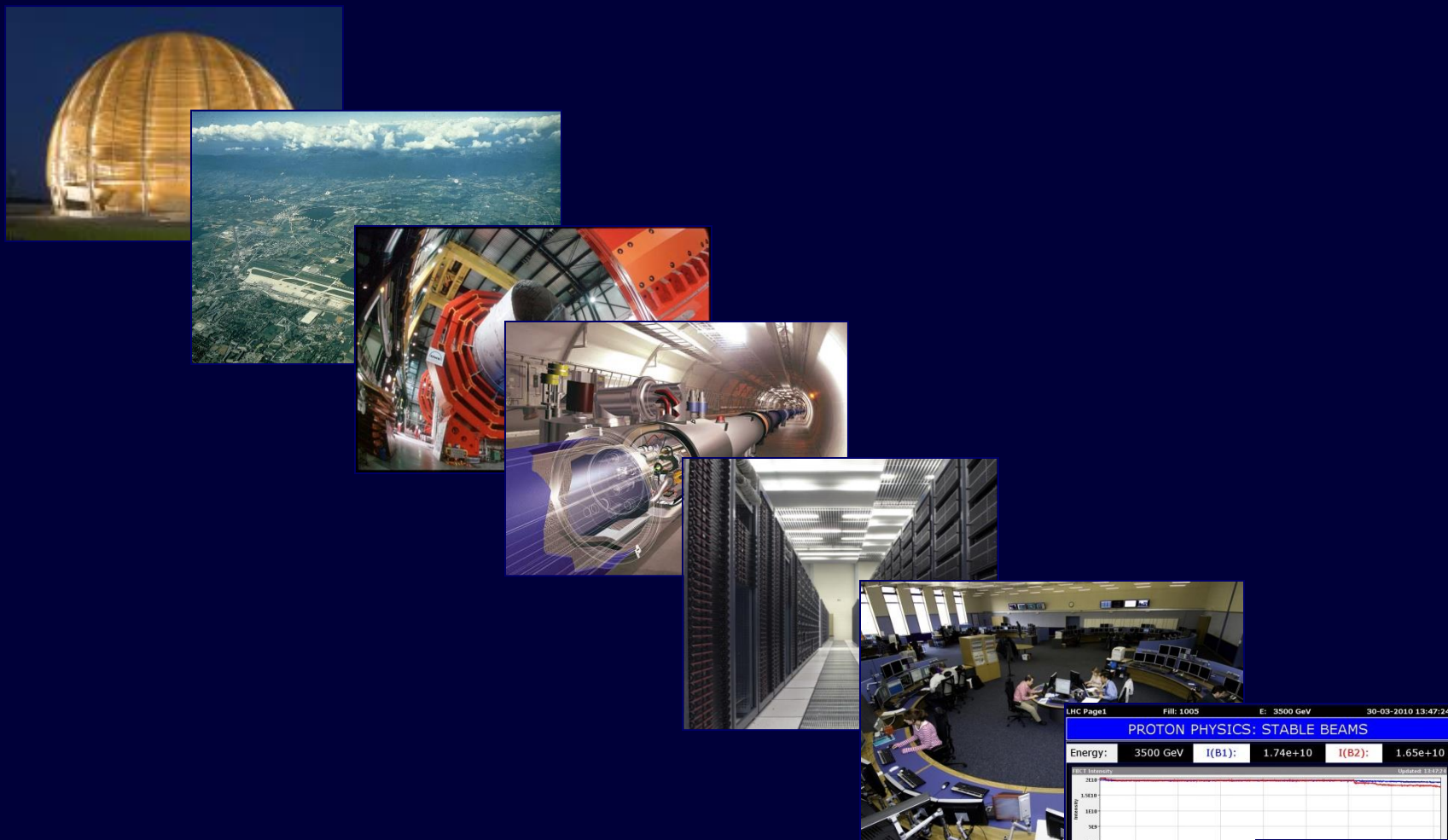
Safety Systems



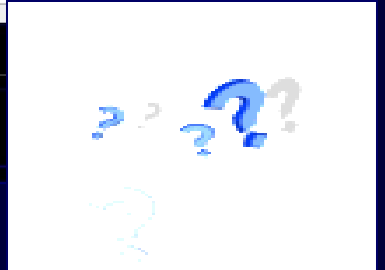
Access Control



Въпроси



Zornitsa.Zaharieva@cern.ch



Посещение на ССС

