



Статус ускорителя ЛНС



О. Л. Федин Ученый совет ОФВЭ
25 декабря 2019 года



- ❑ 2008 г. запуск ЛНС: известный "Инцидент"
 - проблемы соединений магнитов - weak splices
- ❑ 2008-2010 гг: ремонт ЛНС сектора 34
 - Систематический ремонт всех соединений магнитов (splices), который планировался на LS1
- ❑ 2010-2013 ЛНС Run 1 (29,1 fb⁻¹):
 - Ввод в эксплуатацию в 2010 году и 3 года эксплуатации с bunch spacing 50 нс и уменьшенной энергией пучка от 3,5 ТэВ до 4 ТэВ.
 - e-cloud mitigation
 - Pile-up in the experiments
 - Higgs discovery in July 2012!!!
- ❑ 2014 г. LS1 консолидации оборудования
 - Фиксация соединений (splices) с высоким сопротивлением
 - Работы для увеличения энергии пучков до номинальной
- ❑ 2015-2017 ЛНС Run 2 (160,1 fb⁻¹):
 - Отремонтированы соединения, но при запуске обнаружены короткие замыкания на массу
 - Энергия пучков установлена ниже номинальной энергии, чтобы минимизировать количество необходимых тренировочных квенчей - 6,5 ТэВ

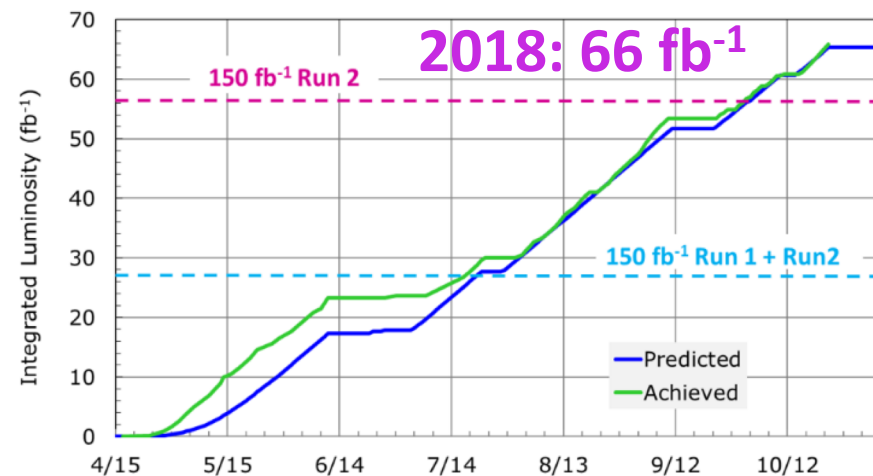


LHC 2018: Beam availability and performance

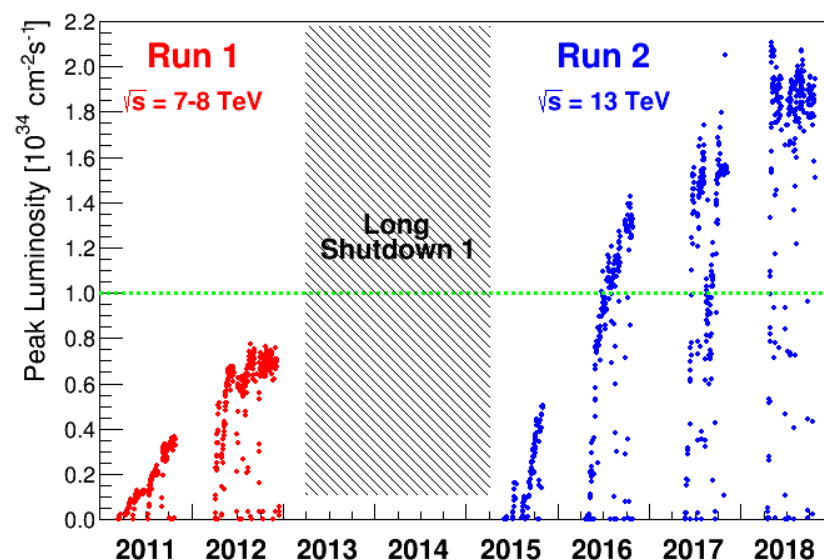
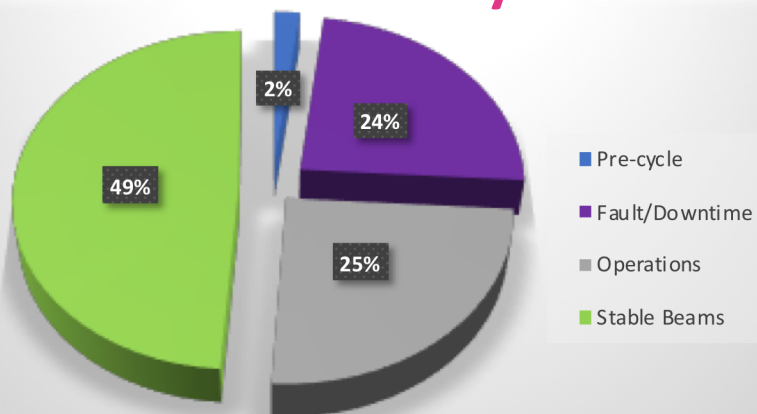


Parameter	2018	Design
Energy [TeV]	6.5	7.0
No. of bunches	2556	2808
Max. stored energy per beam (MJ)	312	362
β^* [cm]	30→25	55
p/bunch (typical value) [10^{11}]	1.1	1.15
Typical normalized emittance [μm]	~1.8	3.75
Peak luminosity [$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	2.1	1.0

Total Run1 + Run 2 : 189.3 fb⁻¹



76 % availability

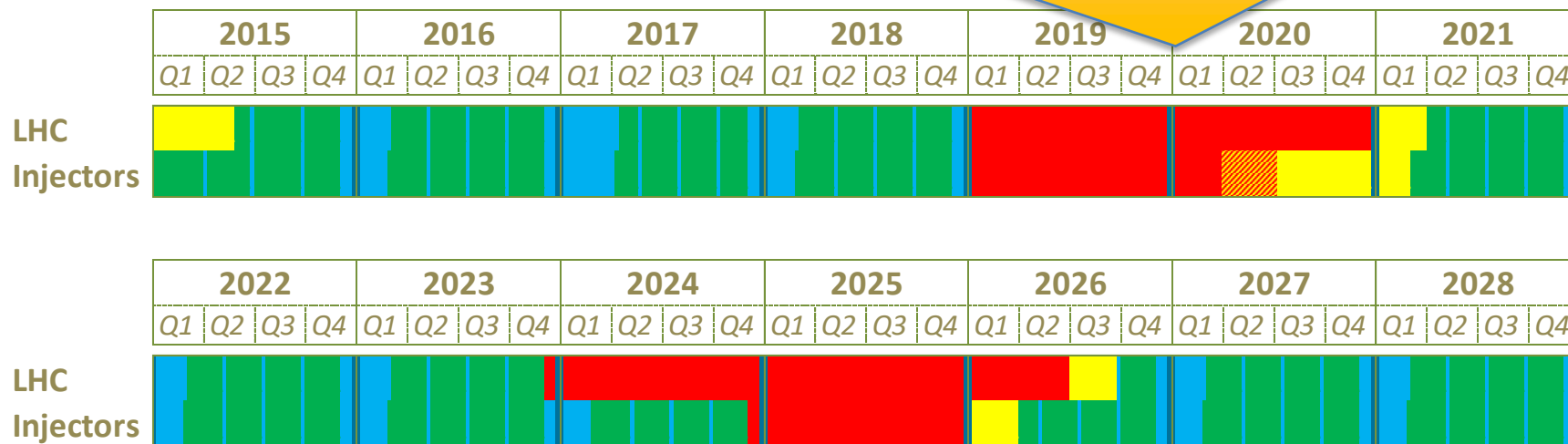




LS2: Основные цели

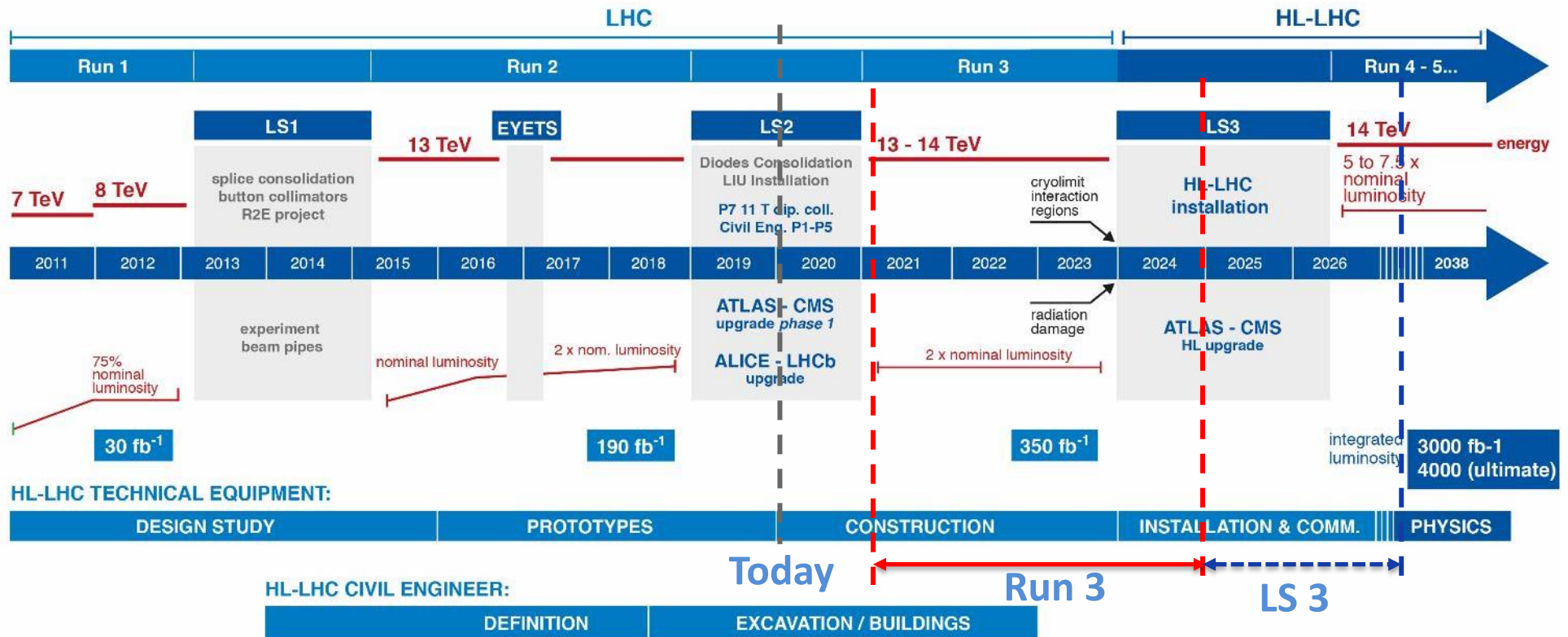


- ❑ **M&O activities:** Выполнить основные работы по **техническому обслуживанию ускорителей и консолидации инфраструктуры**
- ❑ **LIU Project:** Увеличить интенсивность/яркость инжекторов (LINAC4, PS booster, PS, SPS, heavy ion chain), чтобы соответствовать требованиям HL-LHC (**проект LIU - LHC Injectors Upgrade**); Подключение Linac 4
- ❑ **Consolidation Project:** **Повысить надежность и срок службы инжекторов**, чтобы обеспечить работу HL-LHC до ~ 2035 г.
- ❑ **HL-LHC Project:** Выполнить необходимые строительные работы и работы по созданию пучкового оборудования





General Schedule



The Directorate presented to the Council and its advisory bodies a revised operational schedule for the LHC and the High-Luminosity LHC (HL-LHC). This provides for **the third LHC run to start in May 2021, two months later than initially planned, and to continue for a full extra year until the end of 2024. The third long shutdown will thus run from 2025 until the middle of 2027, when the HL-LHC will begin its first run.**

13.12.19 - mail from DG Fabiola Gianotti



LS2: LIU main activities



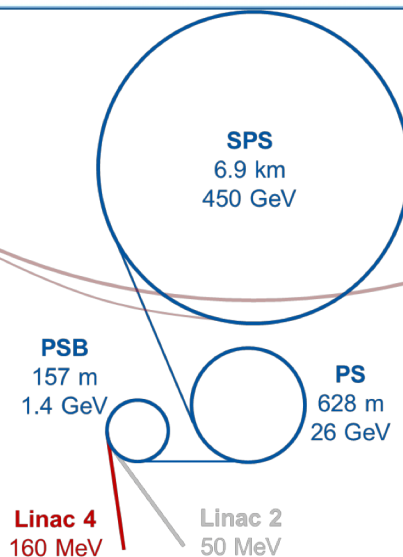
SPS upgrade

- **Main RF system upgrade** (new solid state power plants – 2 x 1.6 MW)
- **Impedance mitigation** to improve beam stability
- More robust **beam dump and protection devices**



PSB upgrade

- **H⁻ charge exchange injection** at 160 MeV → improved beam brightness (weaker space charge forces)
- **Energy : 1.4 GeV → 2 GeV**
 - New main power supply
 - New RF systems



Linac 4, has been built to take over.

- Higher energy **160 MeV**
- Acceleration of **H⁻ ions** (charge exchange H⁻→p⁺ in the PSB)

Construction **completed in 2017**

- Extensively tested in 2017-2018
- Ongoing **work in LS2 to connect it to the rest of the chain**





LS2: LHC main activities



Main work on the LHC superconducting magnets during LS2 (2019-20)

Opening and final
reclosure of 1360
interconnections

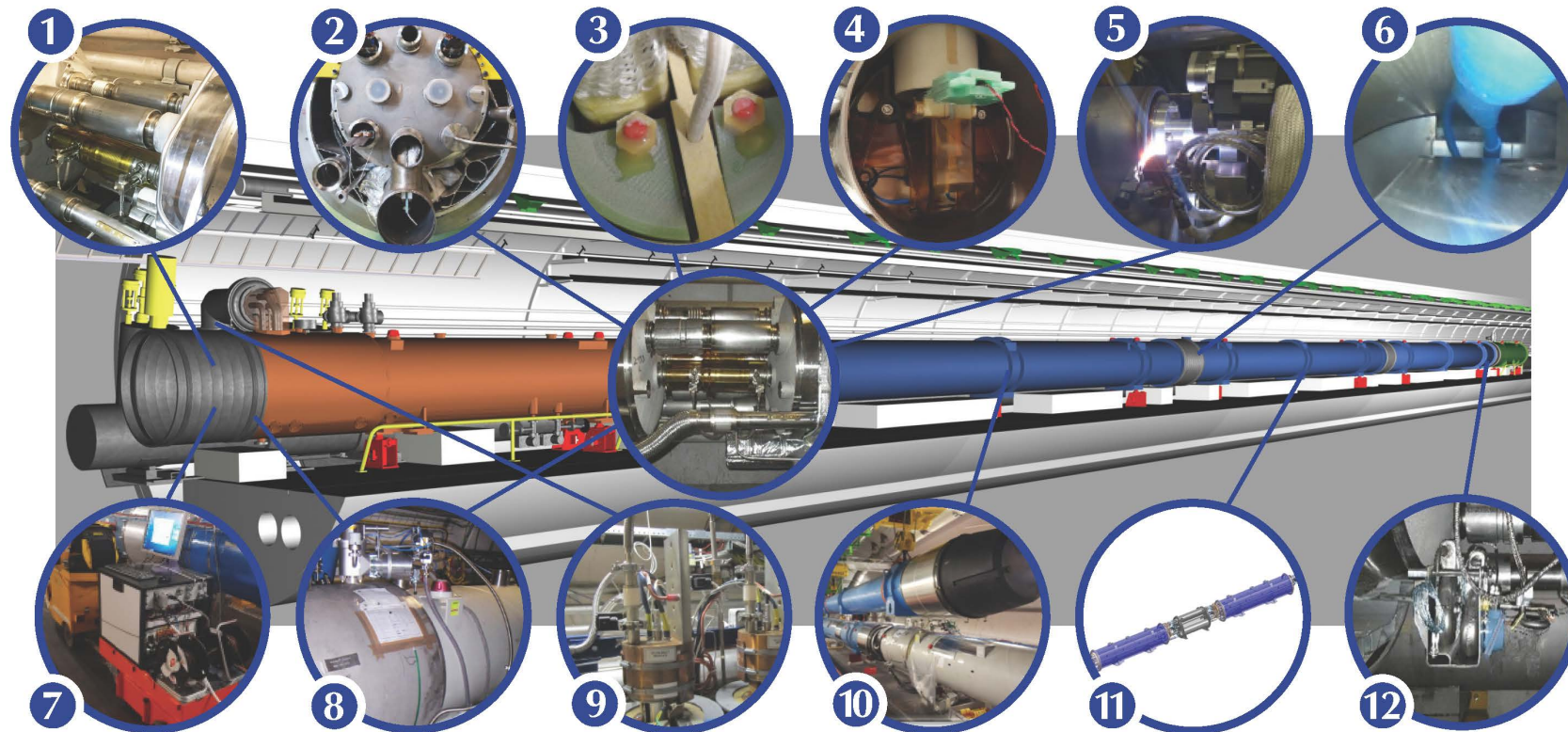
Mechanical opening
of 2464 diode container
covers

Cleaning and consolidation
of 1232 dipole diode
insulation systems

Installation of 1232
insulating inserts

Rewelding of 2464
diode container covers

More than 10 000
quality checks



More than 8 000
electrical quality
assurance tests

2 500 leak tightness tests

Maintenance of 2 829
current leads

Replacement of
22 cryomagnets

Installation of 4 full
HL-LHC cryo-
assemblies

Installation of 10
instrumentation systems
for beam induced heat
load study



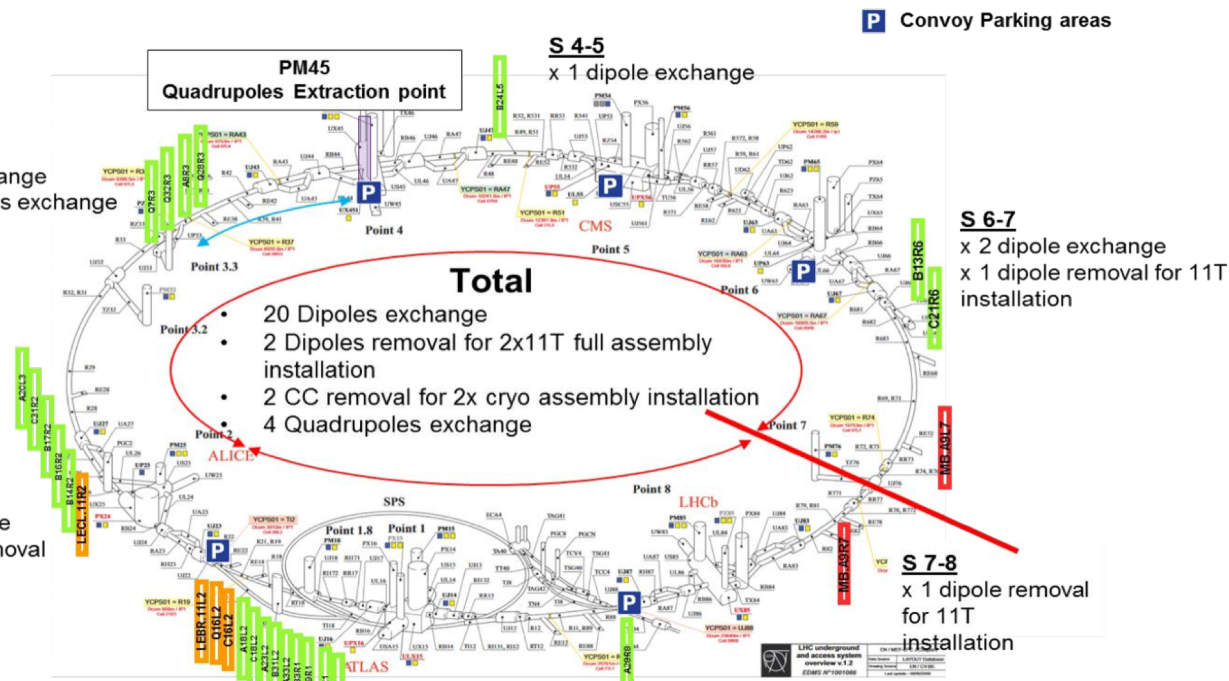
Replacements of cryomagnets



26/28 removed (takes into account WP11 HL-LHC + C16L2 + Q16L2)

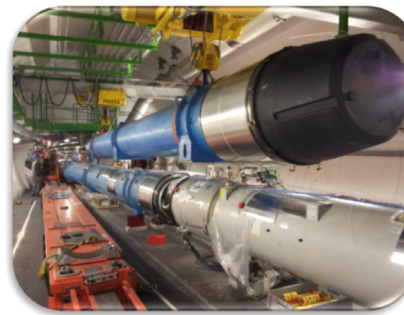
22/36 reinstalled (takes into account 3 parts per 11T and cryo assemblies)

Reinstalled
Removed
Postponed
NEW



S 1-2
 x 10 dipoles exchange
 x 1 Quadrupole exchange
 x 1 LEBR.11L2 removal for cryo assembly installation

S 8-1
 x 1 dipole exchange



1.11T LSS7L:

- Disconnection starting from 19/03/2019
- Transport old magnet starting: 25/03/2019
- Transport 11T & LEN starting: 17/04/2020

11T LSS7R:

- Disconnection starting from 19/11/2019 (tbc)
- Transport old magnet starting: 26/11/2019 (tbc)
- Transport 11T & LEN starting : 13/01/2020 (tbc)

Short straight sections. Состоит из секступоля и корректирующего магнита.





Full Energy Exploration of LHC

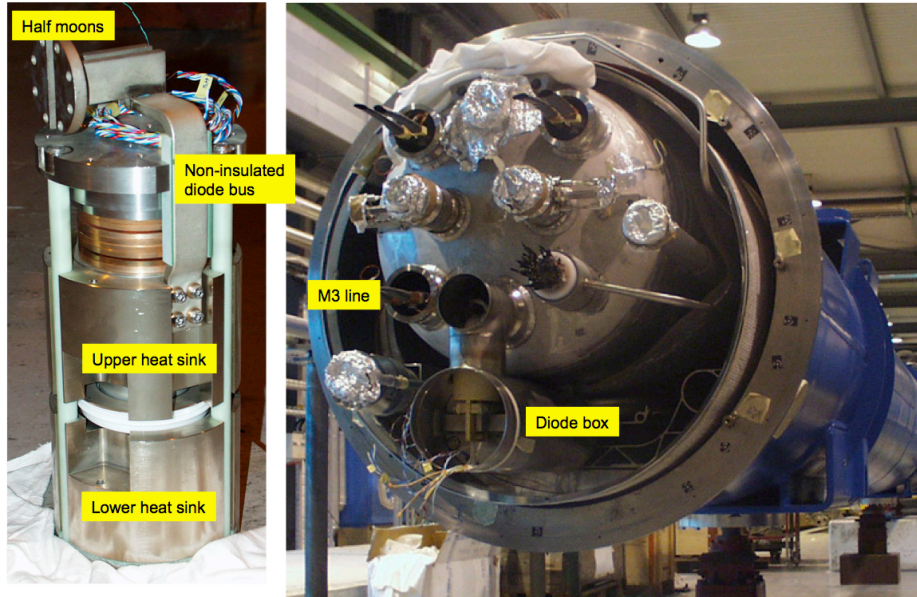


- ❑ Создана специальная рабочая группа основная задача которой ответить на следующие вопросы:
 - Возможность и последствия повышения энергии LHC до 7 ТэВ (номинальная энергия)
 - Возможность и последствия повышения энергии LHC до 7,5 ТэВ (предельная энергия)
 - Возможность повышения энергии пучков LHC за пределы предельной энергии путем замены некоторых магнитов LHC магнитами 11Т (отчет к концу 2019 года о выполнимости)





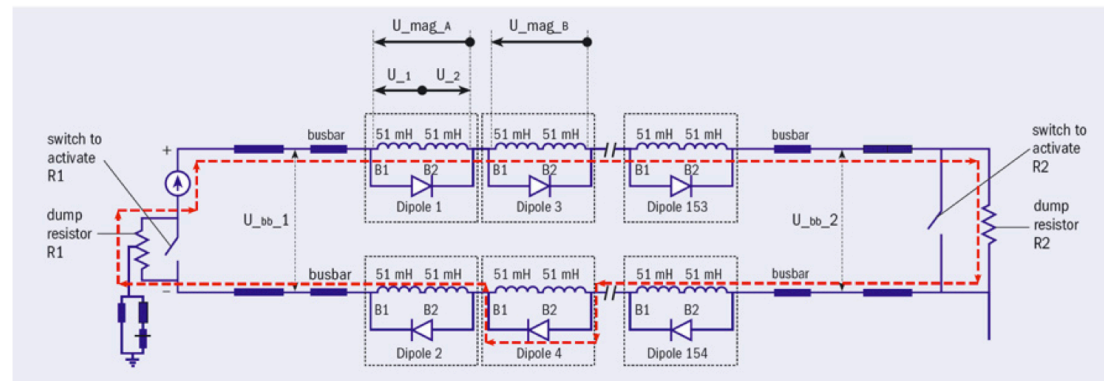
Dipole diodes



Существенным элементом защиты диполей является сильноточный байпасный диод, установленный под магнитом. Диод работает при температуре 1,9 К. Диодная коробка, в которой находится диод, содержит сверхтекучий гелий и соединена с основным гелиевым корпусом магнита.

Когда происходит квенч магнита, то через 0,5 с начинает течь ток через диод, и через остальную часть магнитной цепи в сверхпроводящем состоянии и медленно затухает с постоянной времени ~ 100 с. Таким образом, через диоды проходит импульс тока до 13 кА, который экспоненциально затухает с постоянной времени около 100 с. Это может привести к повышению температуры внутри диода до 300 К.

Схема дипольной цепи



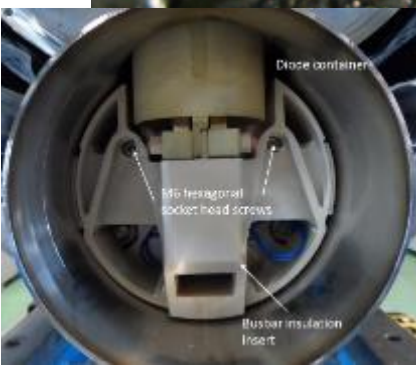
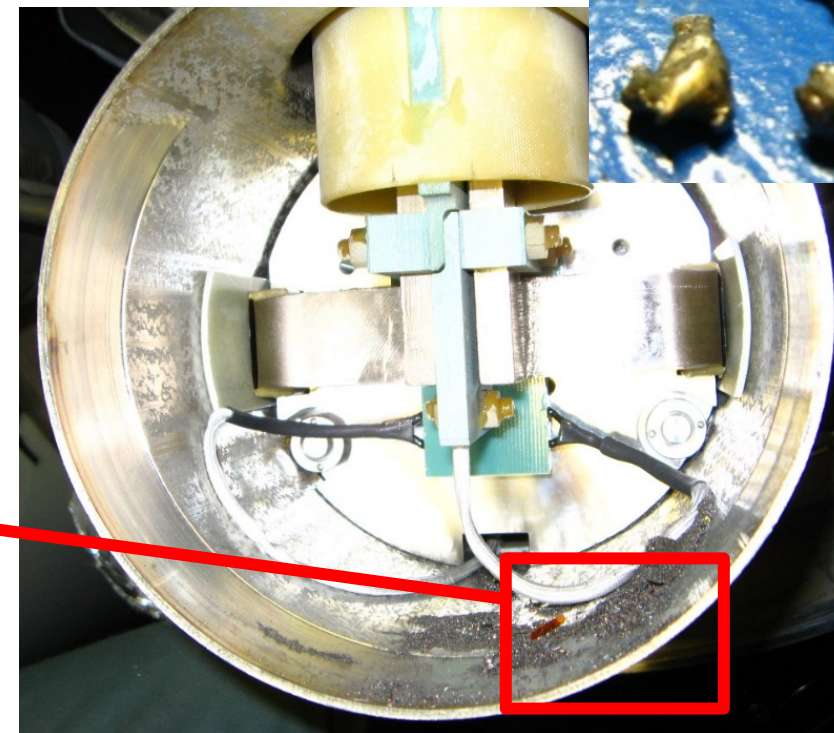
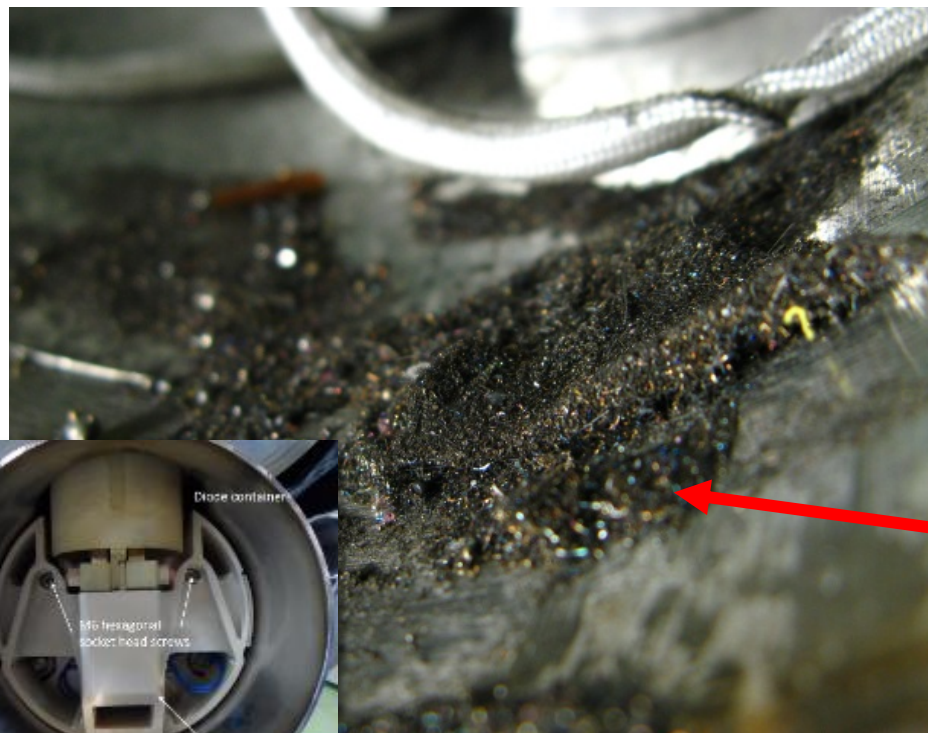
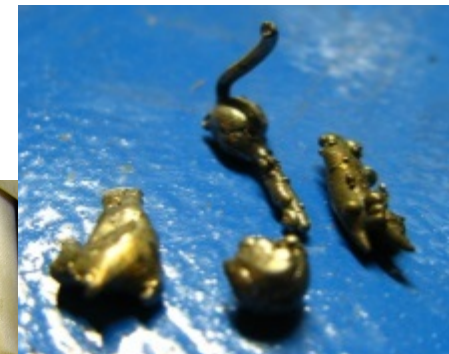


Clearing of dipole diodes insulation systems



После тренировки магнитов возникает короткое замыкание в диодной коробке.
Энергия, которая высвобождается при квенче магнита может вытеснить мусор, который собрал в диодной коробке.

Систематическая чистка и изоляция диодной коробки !!!
1232 диода



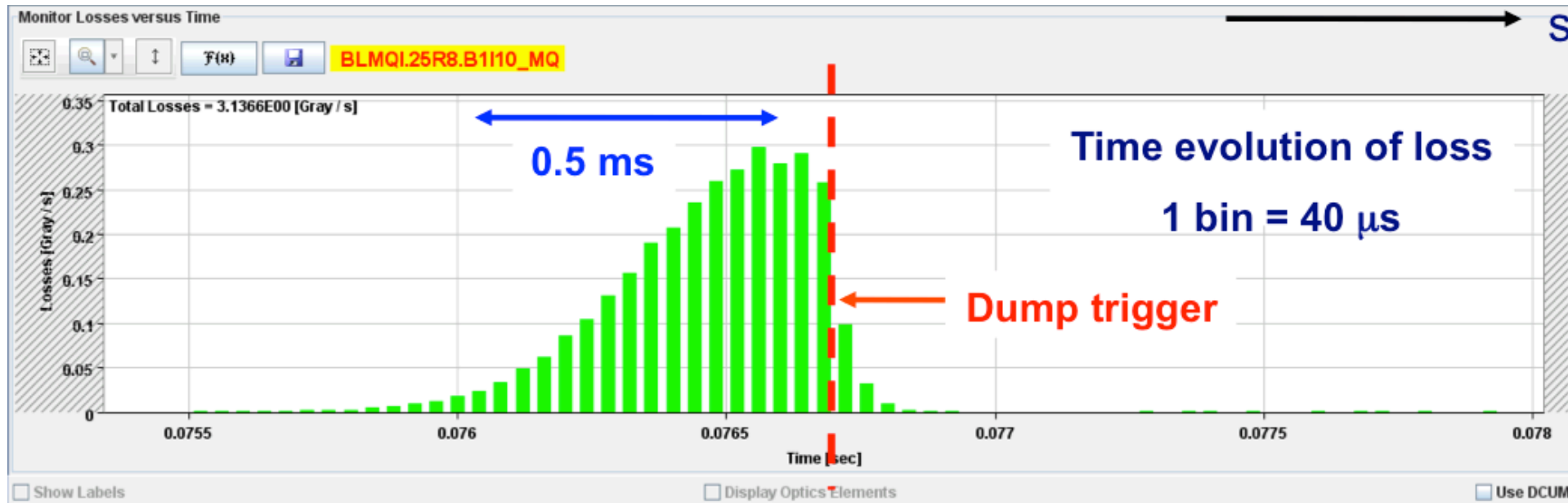
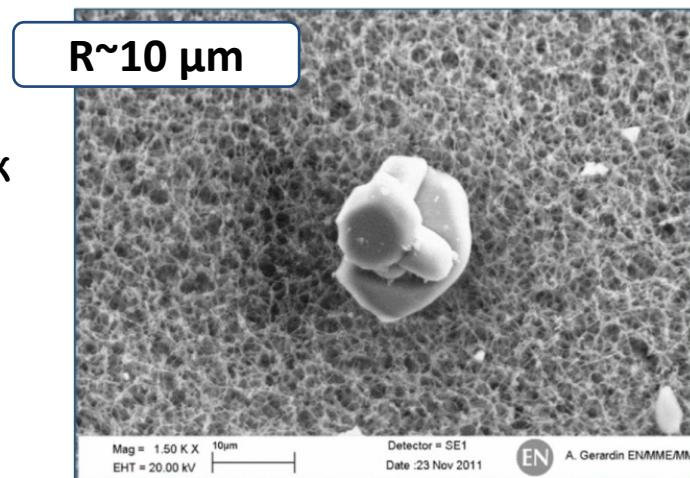
LHC dipole diode after installation of the insulation insert



UFOs - Unidentified Failing Objects

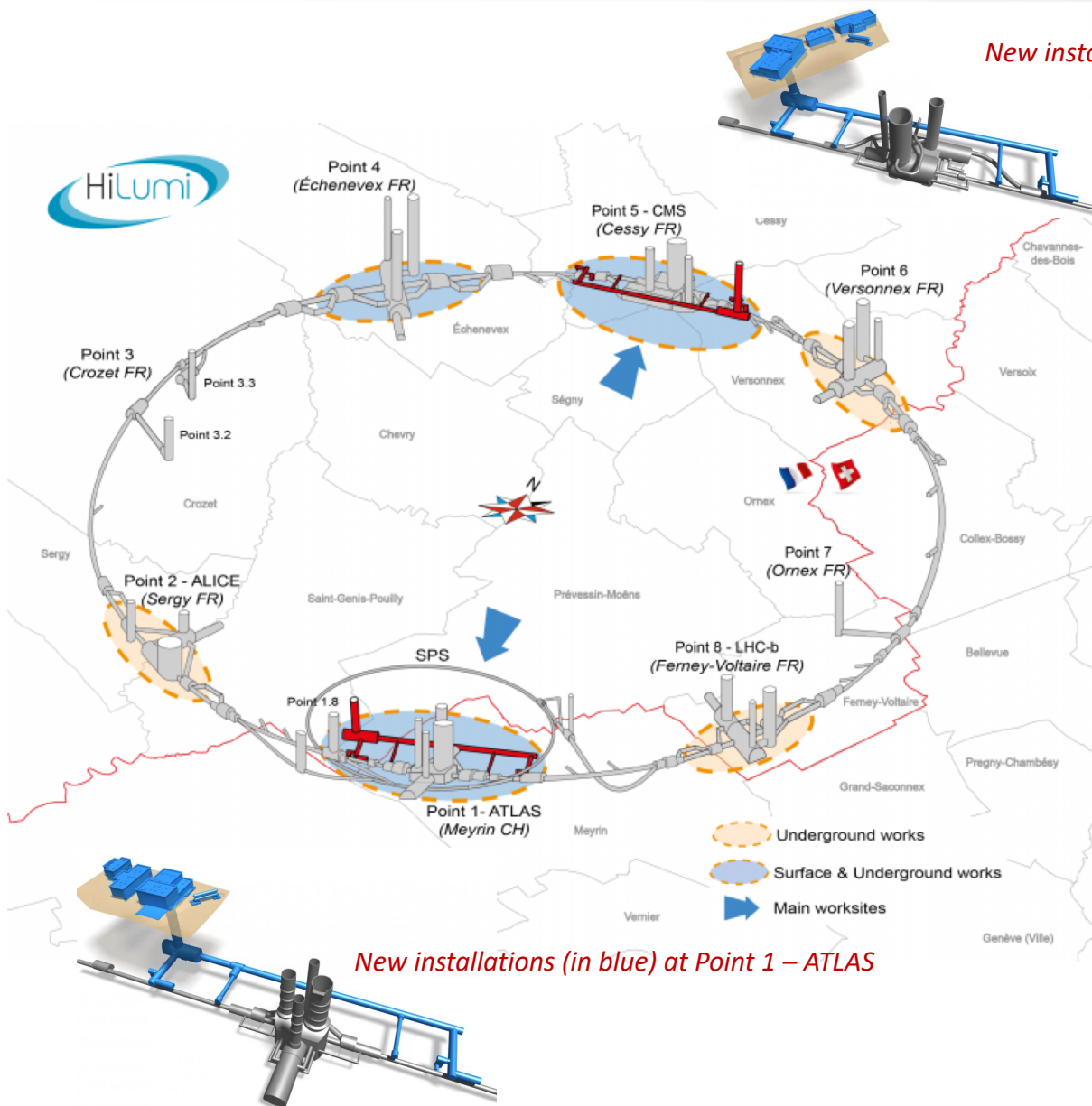


- Приводят к внезапным локальным потерям
- Время нарастания порядка 1 мс.
- Потенциальное объяснение: попадание в пучок частиц пыли, которые создают потери за счет рассеяния и ливни, распространяющиеся вперед по пучку.
- Распределены по всему кольцу - inner triplets, arcs, IPs
- Приводят к сбросу пучка через QPS даже без квенча магнитов





HL LHC



- ❑ 2018-2022 годы: основные строительные работы
- ❑ 2018-2024: Конструирование и испытание оборудования
- ❑ 2019-2020 гг : установка во время LS2 DS (Dispersion Suppression region, DS) коллиматоров, с диполем 11 Т в точке P7, коллиматоров с низким импедансом, нового оборудования пучкового тракта и системы защиты ввода пучка.
- ❑ 2021-2025: подготовка инфраструктуры в туннеле и в новых сервисных галереях.
- ❑ 2022-2023: Inner Triplets test
- ❑ 2024-2026: LS3 - Установка и ввод в эксплуатацию основного оборудования: Inner Triplet Quadrupoles, Crab cavities, SC links, new large Cryo-plants и т.д.



В течение последних 18 месяцев строители работали под землей, чтобы выкопать конструкции для будущего ускорителя. Работа сосредоточена на точке 1, где расположен эксперимент ATLAS, и точке 5, в которой находится эксперимент CMS. Большая часть оборудования, которое будет установлено в этих местах, предназначена для повышения светимости.



Panoramic view (08 Apr 19) – Point 5





HL LHC



13.12.19 Point 1 - HL LHC junction door with LHC - symbolic picture with CERN DG Fabiola Gianotti, Dr Frederic Bordry, Dr. Oliver Brüning, Dr Lucio Rossi





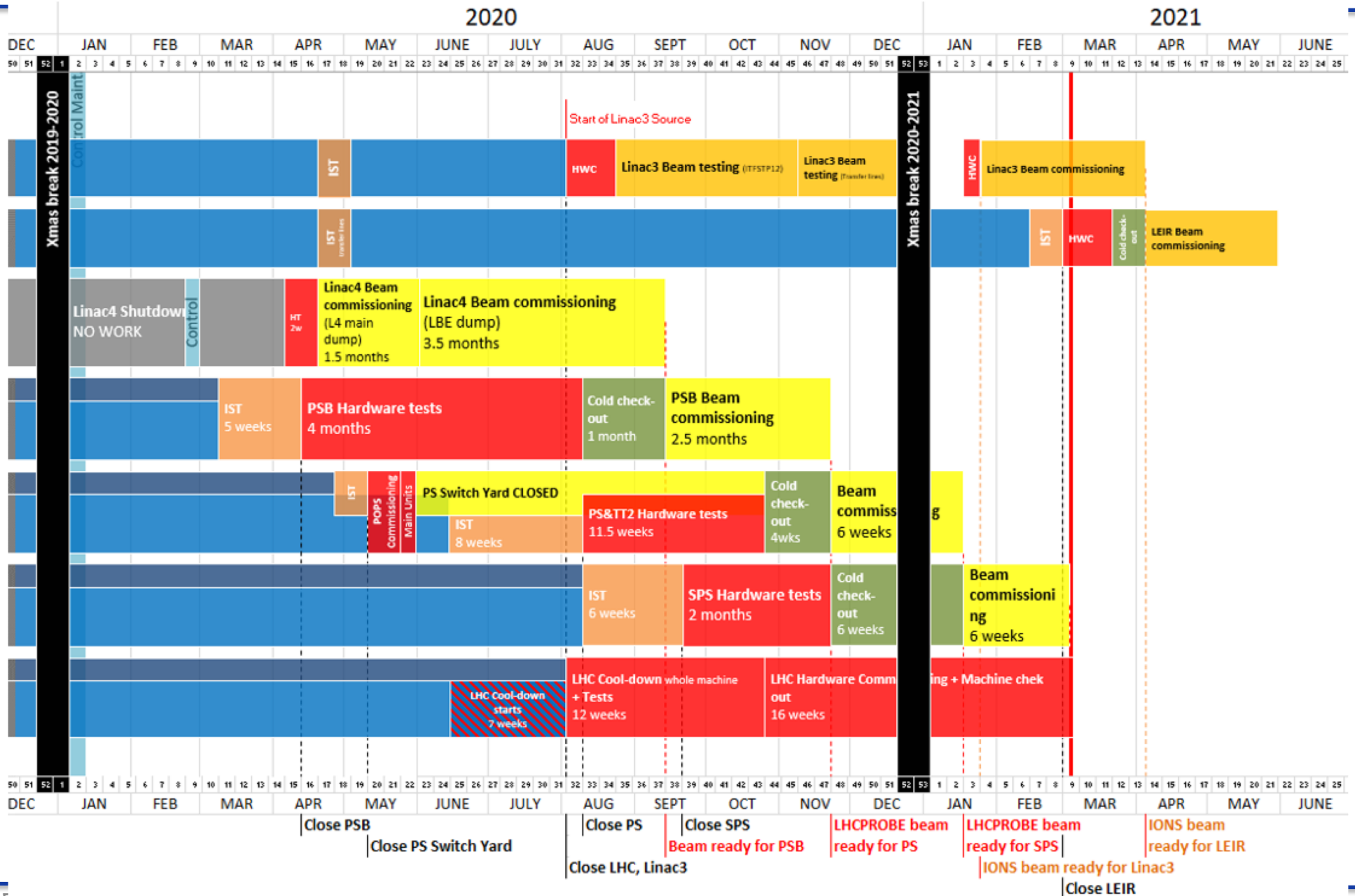
- NbTi in the world : ~ 600 tons/year, driven by MRI (Magnetic resonance imaging) production
- Nb₃Sn : ~ 10 tons/year, driven by NMR (Nuclear Magnetic Resonance) magnets and laboratory solenoids
- All of HTS (High transition temperature superconducting) (BSCCO- Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ , YBCO - YBa₂Ca₃CuO₇,...) and MgB₂: around 100...200 km of 4-10 mm wide tape per year, presently driven by R&D applications and delivered by around 10 worldwide producers. In total below 1 ton/year
- LHC required 1300 tons of Nb-Ti (300 t/year peak production) (~30% cost of the magnet)
- ITER required 300 tons of Nb-Ti and 600 tons of Nb₃Sn (250 t/year peak production)
- HL-LHC requires: 30 tons Nb₃Sn and about the same for NbTi
- HE-LHC will require : ~ 3'000 tons Nb₃Sn
- FCC-hh will require : ~ 9'000 tons Nb₃Sn (between 50% to 60% cost of the magnet)



Backup slides



Master schedule





By-pass cryostat with collimator

2 @ P2
1 spare

