

Nehézionfizika – ALICE

Barnaföldi Gergely Gábor, CERN LHC ALICE, MTA Wigner FK RMI,

Web: <http://alice.kfki.hu>

ALICE25: <http://alice20.web.cern.ch/alice20/>

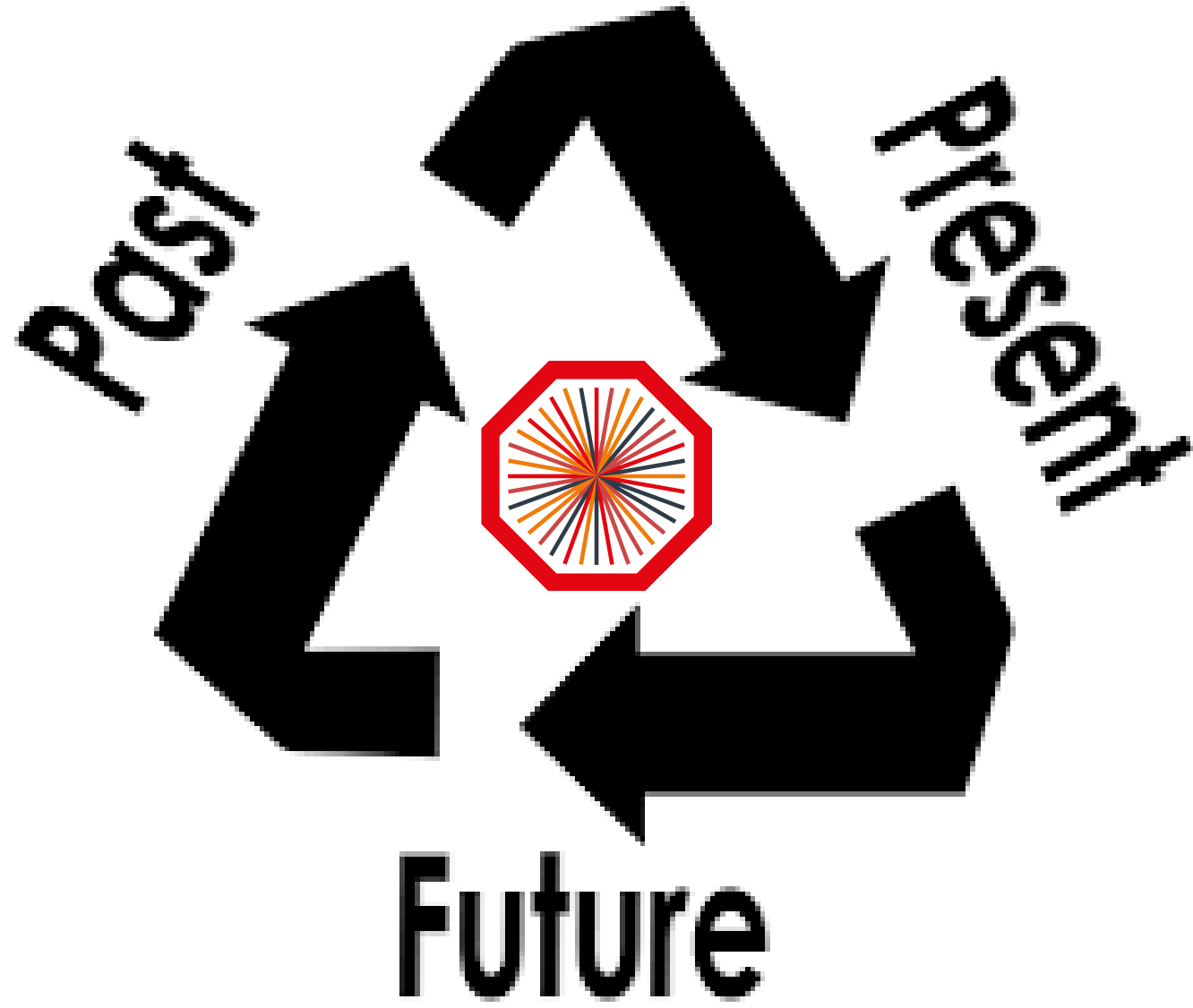
Támogatás: K120660 (2016-2020)

CERN 25 – Magyarok a nagyenergiás fizika élvonalában
MTA, Budapest, 2018. november 14.



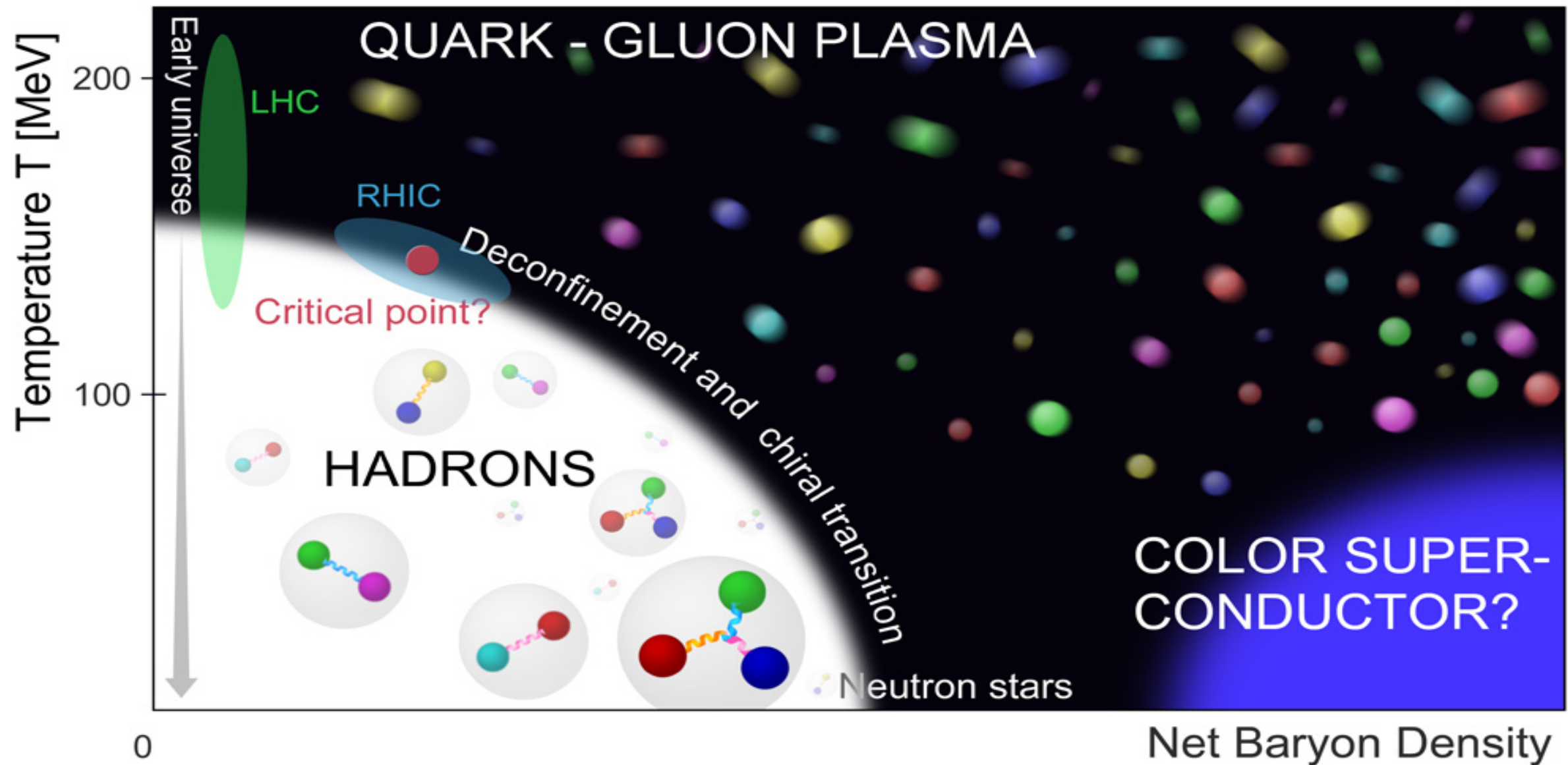


WIGNER



Az ALICE kísérleti együttműködés

A korai Univerzum anyaga: forró sűrű űsanyag



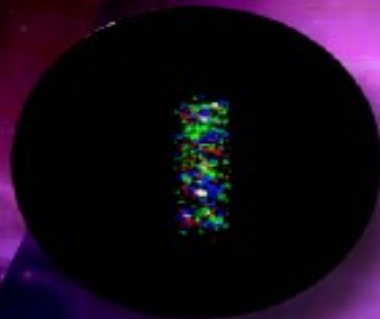
A korai Univerzum anyaga: forró sűrű űsanyag

Ezer és ezer, így keletkező, új részecske halad az érzékelő detektorrendszer felé.
(A szimuláció: H. Weber, UrQMD, Frankfurti Egyetem)

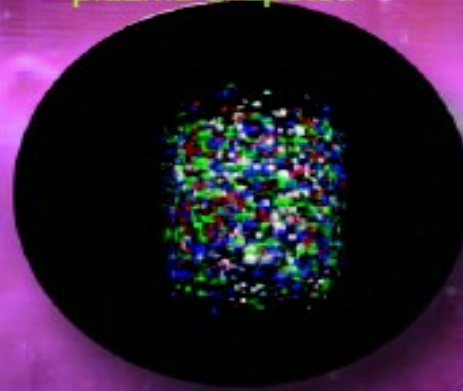
Két nehéz atommag ütközik közel fénysebességgel. Ekkor az Einstein-féle relativitáselmélet szerint ezek két vékony korongnak látszanak.



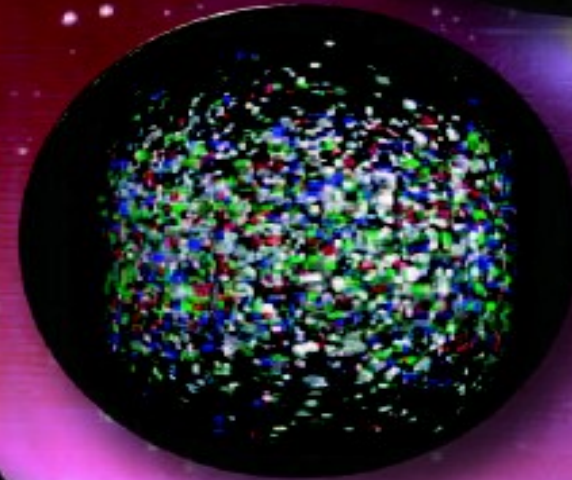
Az ütköző atommagokból az extrém hőmérséklet kiszabadítja a (piros, kék és zöld) kvarkokat és a színes gluonokat.



Az egymással ütköző kvarkok és gluonok létrehozzák a termikus egyensúlyban lévő kvark-gluon plazma állapotot.

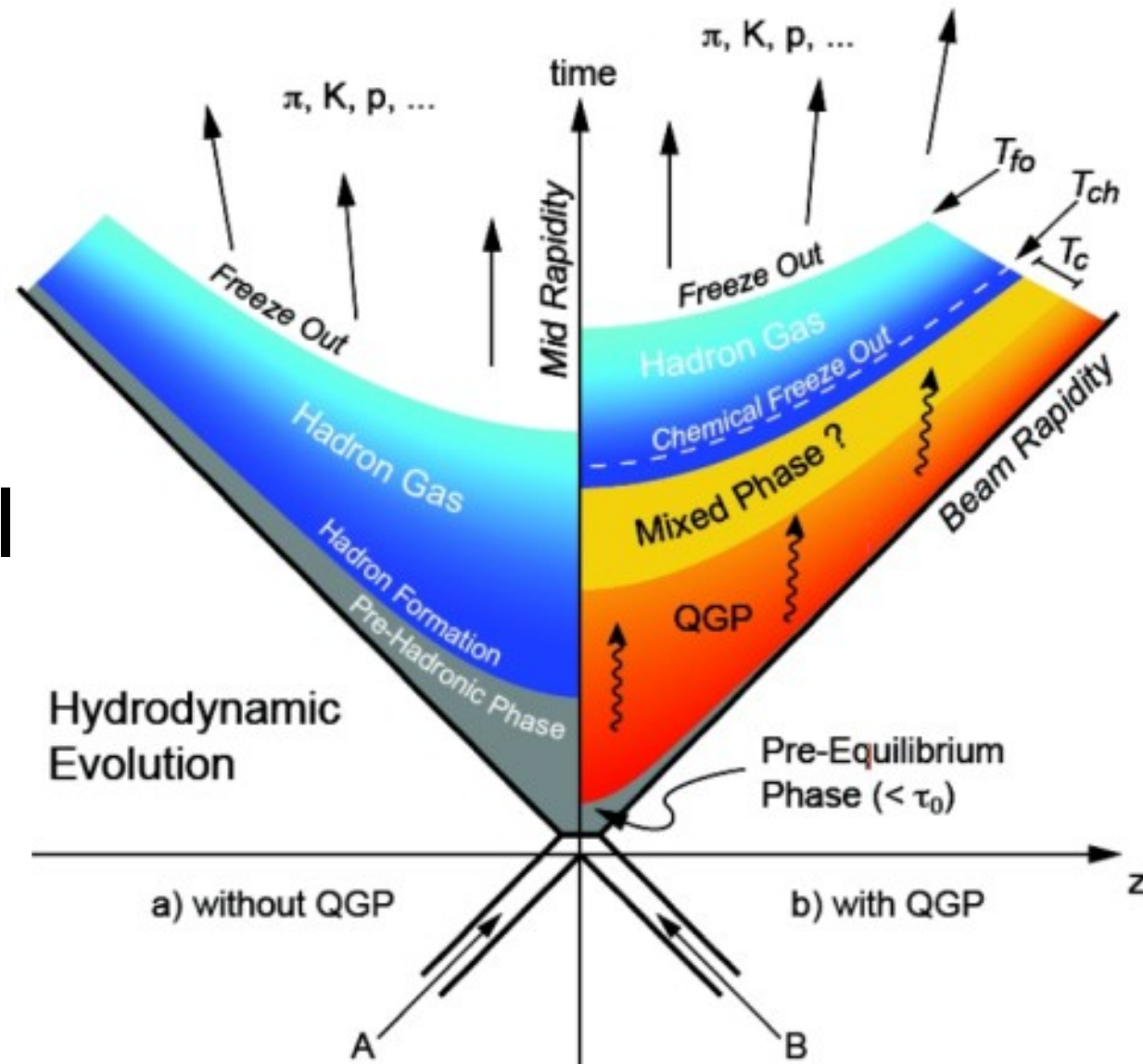
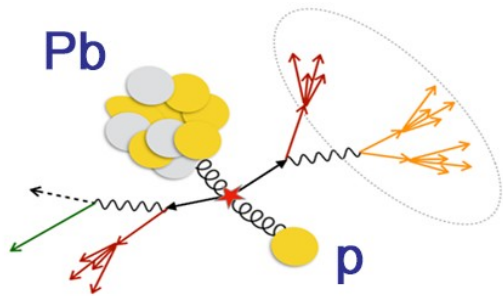


Az ütközés után eltelt mintegy 10^{-23} másodperc múlva a plazma tágulva $2 \cdot 10^{12}$ fokra hűl, amelyen a kvarkok és gluonok már újra közönséges anyagot formálnak.

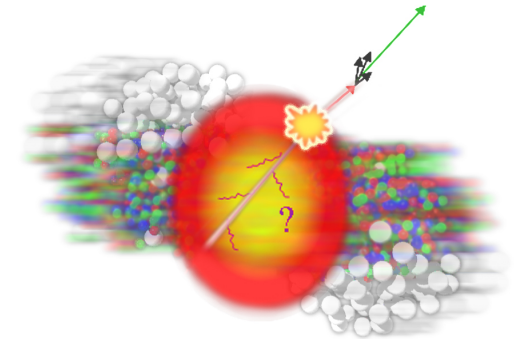


A korai Univerzum anyaga: forró sűrű űsanyag

Kvark-gluon plazma nélkül



Kvark-gluon plazma esetén



ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet

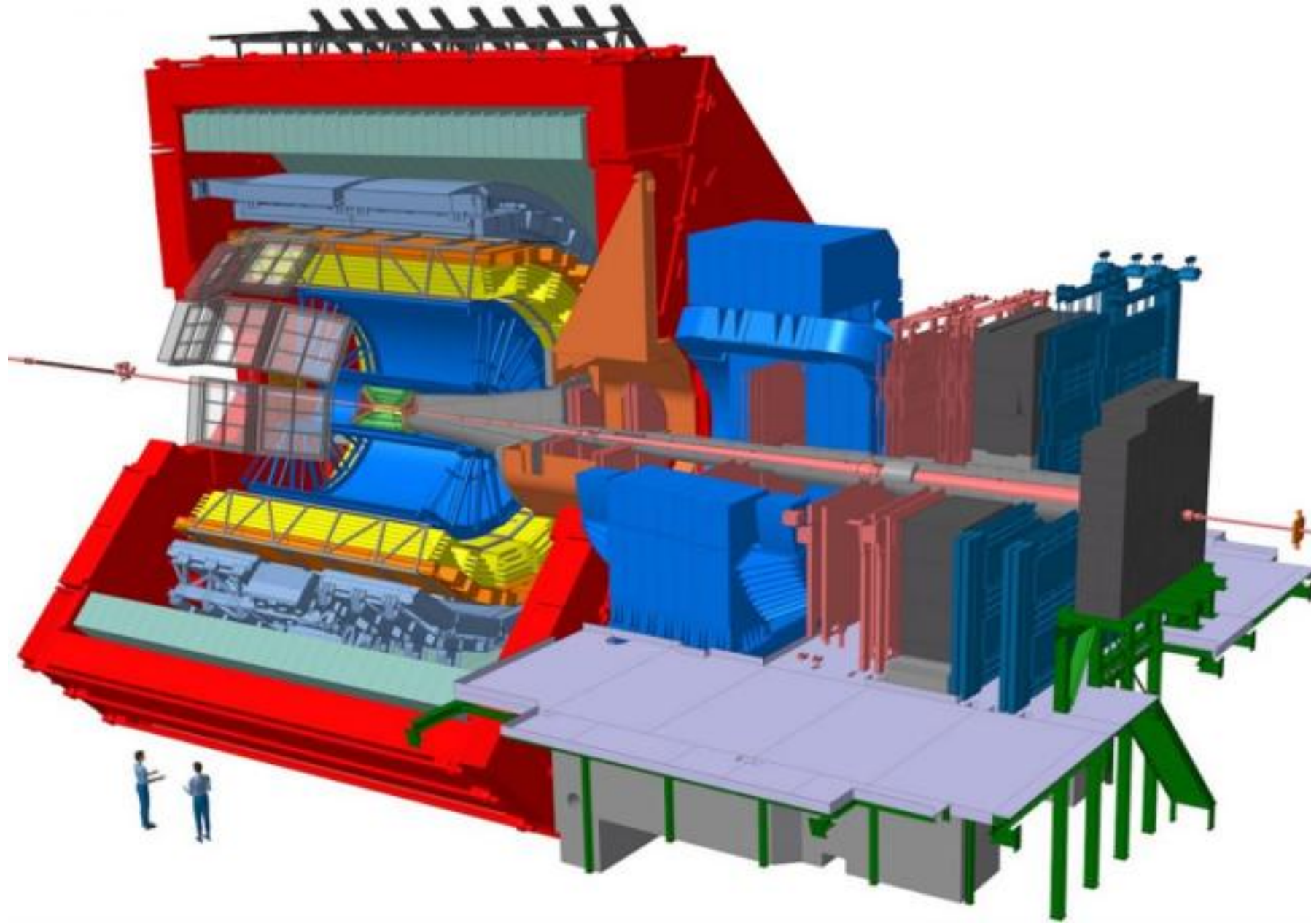


ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet

1200 fő, 36 ország, 151 kutatóintézet, 160kCHF



ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet



Múlt: az ALICE kísérlet története



ALICE
2018

25 years
ANNIVERSARY
1993-2018

Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Az első nehézionfizika LHC megbeszélés 1990. december 13.

Minutes of the 1st meeting on heavy ion / pp min. bias physics at LHC

The following is a short summary of the presentations and discussions taking place during the first meeting on a Heavy-Ion-Experiment at LHC held on Thursday 13.12 1990 at CERN. The intention of this meeting was to initiate a serious experimental effort towards a heavy ion detector capable of measuring ultra-relativistic heavy ion collisions. The meeting was attended by over 60 physicists. Copies of the transparencies and other related material will be sent to the participants as annex to these minutes by mail.

experimental areas will be finalized by end '91

- The design of the experimental areas will be finalized by end '91. The overall lay-out of an experiment should exist by then, if the caverns are to be built as well as the need for a Letter of Intent by end of 1990. The start of physics operation foreseen for 1998. If the start of physics operation, presently foreseen for 1998, should slip somewhat, the extra time will be used to stretch the construction schedule of the machine (and the detectors) rather than to delay the start of construction.

.. should it slip, we stretch the construction schedule ..

Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Proto-collaboráció 1991. október 29.

Re: 'proto-collaboration' for heavy ion physics at the LHC
meeting at CERN on 29th October 1991

Birth of ALICE :

HIPC=

“Heavy Ion Proto Collaboration”

Dear Colleague,

As you can see from the accompanying letters by C. Rubbia and W. Hoogland, the preparations for the LHC project at CERN have started in a major way. Prospective users are invited to express their interest and present their current ideas about ...

A meeting .. with representatives from all Institutions interested

To meet the overall time schedule of the LHC (oral expression of interest March 24, 1990, and ... experimentation > '98), the interested community needs to strengthen and concentrate its efforts in order to present a viable and credible concept in less than 6 months from now. To this end, a meeting will be organized at CERN on 29 October 1991, to which representatives are invited from all institutions .. form a “proto-collaboration” .. establish formal structures

ion detector. It is expected that in the course of the meeting we will form a common platform of the heavy ion community (proto-collaboration) and establish a formal structure which should enable us to converge towards a Letter of Intent by end '92. Depending on the interest, it is conceivable that we could follow up in parallel the different options mentioned above and present our conclusions about the most promising strategies at the March LHC meeting.

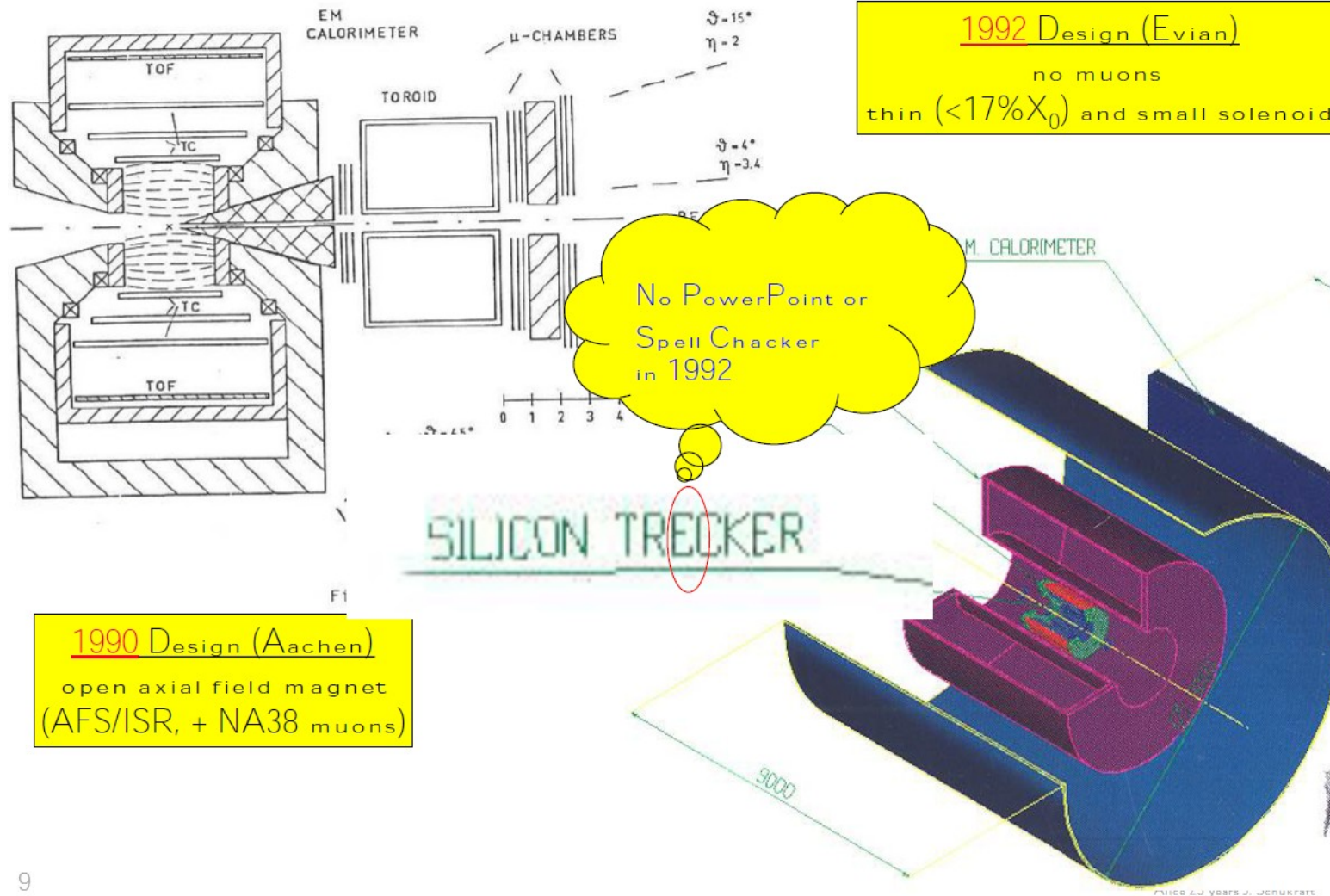
... Distribution list for memorandum by W. Hoogland:

thoroughly enthusiastic &
totally clueless

N. Belyaev (Kurchatov Inst. Moscow), R. Bock (GSI Darmstadt), B. Dolgoshein (Moscow Eng. Phys. Inst.), H. Enyo (Kyoto), J. Gago (LIP Lisbon), B. Ghidini (Bari), J. Gosset (CRN Saclay), K. Gulamov (Tashkent Inst. of Physics), H. Gutbrod (GSI Darmstadt), K. Hansen (NBI Copenhagen), R. Kamermans (Utrecht), P. Kienle (GSI Darmstadt), J. Kinson (Birmingham), L. Kluberg (Palaiseau), A. Komar (Lebedev Phys. Inst. Moscow), P. Lehmann (IN2P3), G. Lovhoiden (Bergen), M. Martin (Geneva), I. Otterlund (Lund), G. Paic (Zagreb), A. Panagioutou (Athens), K. Preizl (Bern), E. Quercigh (CERN), L. Riccati (Torino), R. Ricci (Padua), N. Russakovitch (JINR Dubna), K. Safarik (College de France, Paris), R. Santo (Muenster), H. Satz (CERN), N. Schmitz (MPI Munich), J. Schukraft (CERN), B. Sinha (Calcutta), P. Sonderegger (CERN), R. Sosnowski (Warsaw), H. Specht (Heidelberg), R. Stock (Frankfurt), Y. Sumi (Hiroshima), I. Tseruya (Weizmann Inst.), C. Voltolini (CRN Strasbourg)

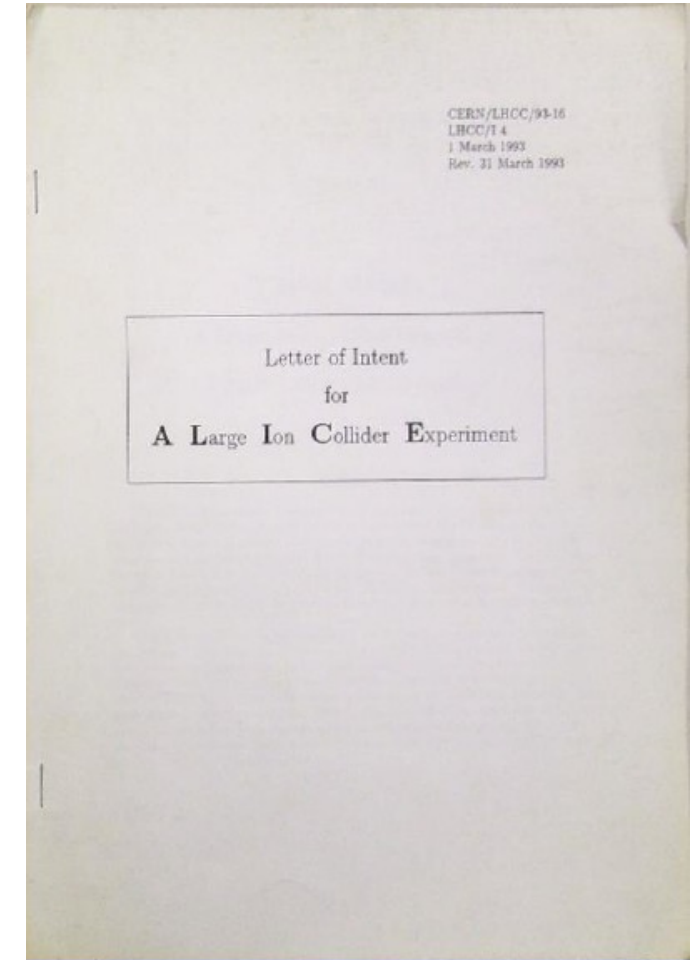
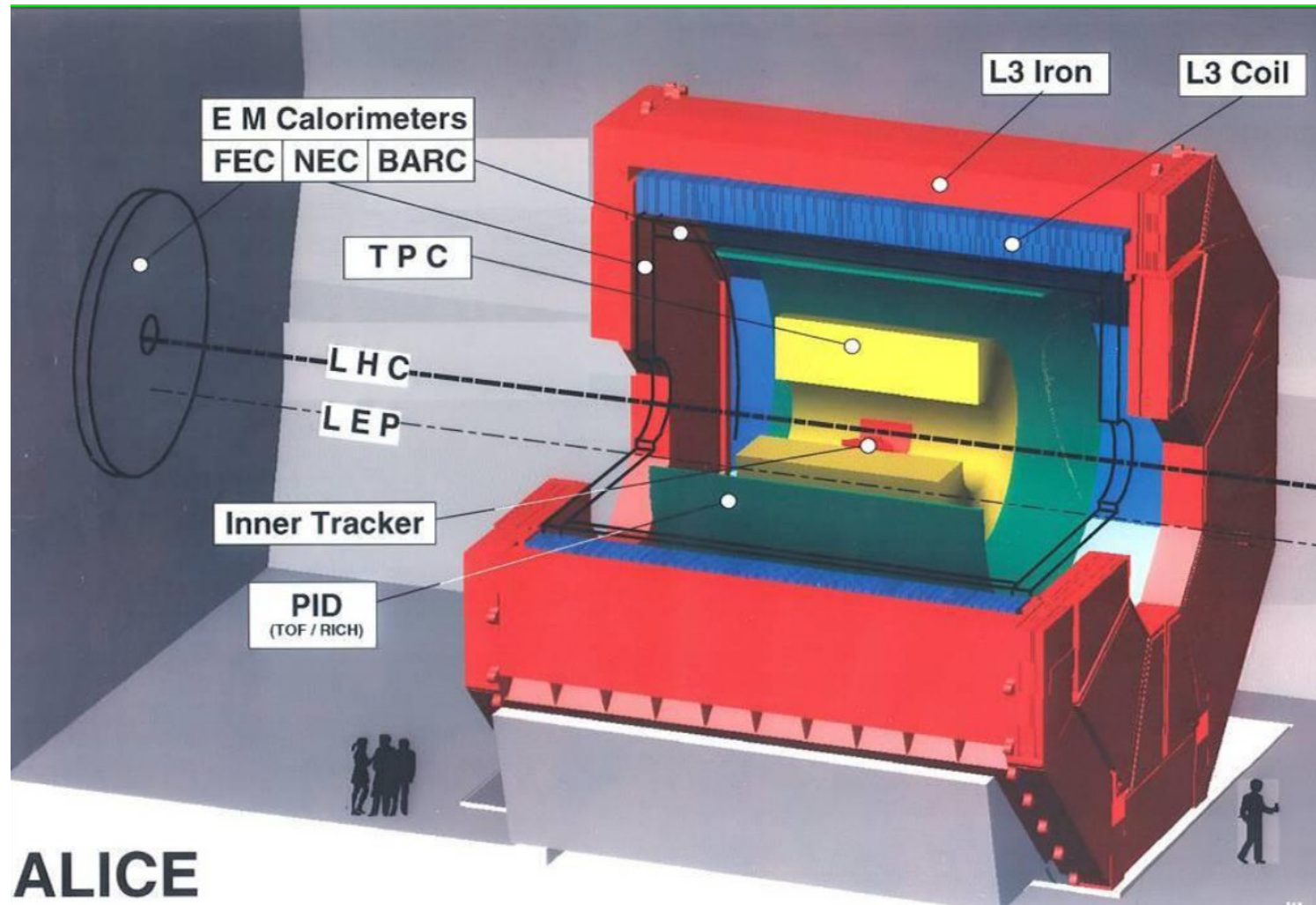
Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Terv 1990-1992-ben



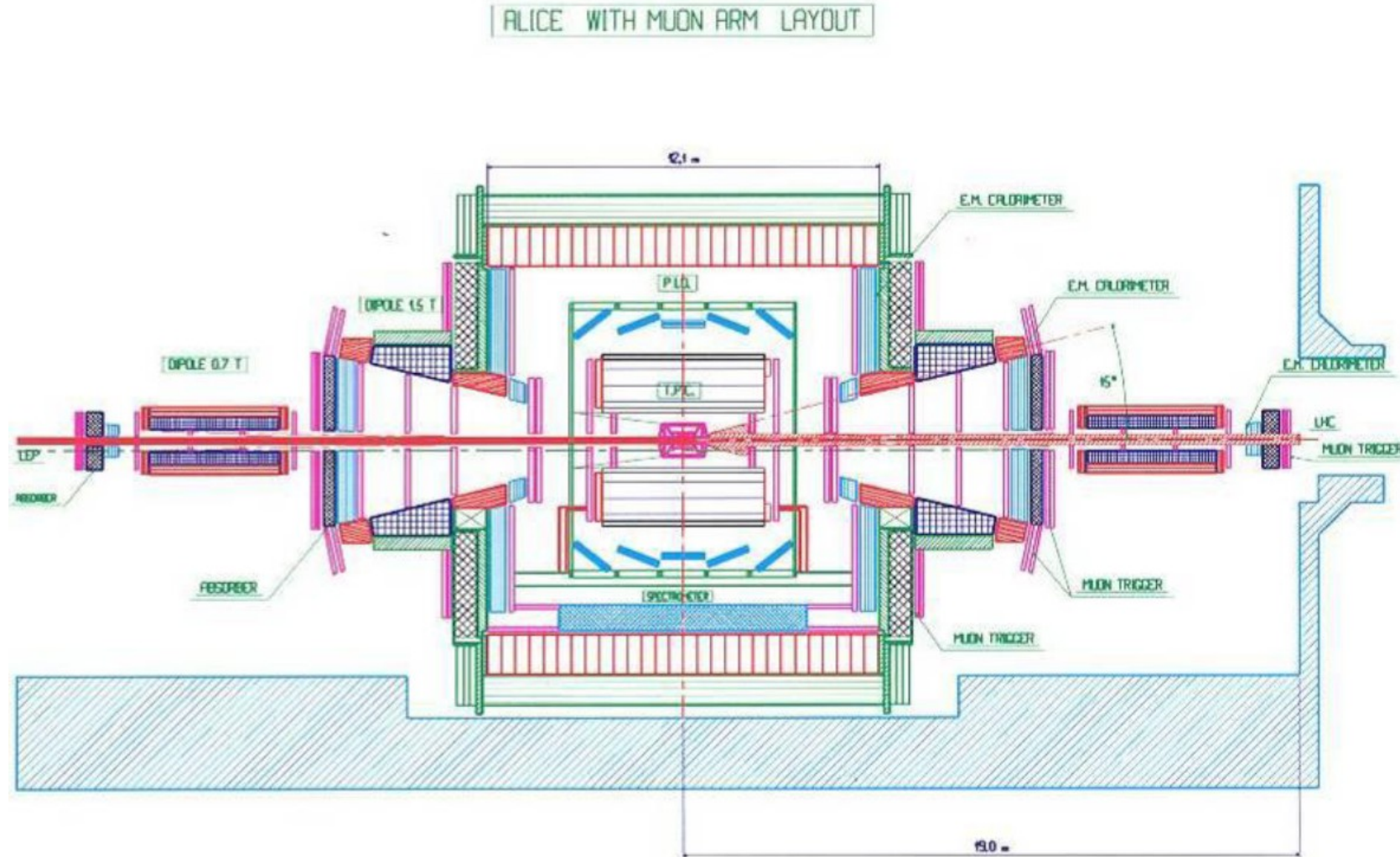
Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Terv 1993-ban



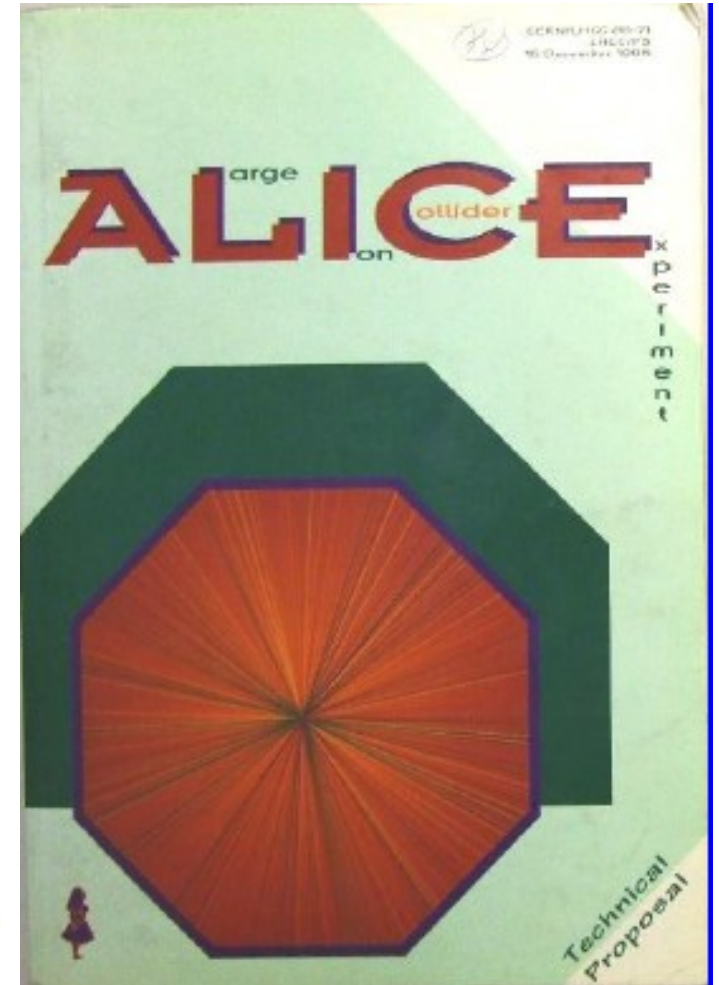
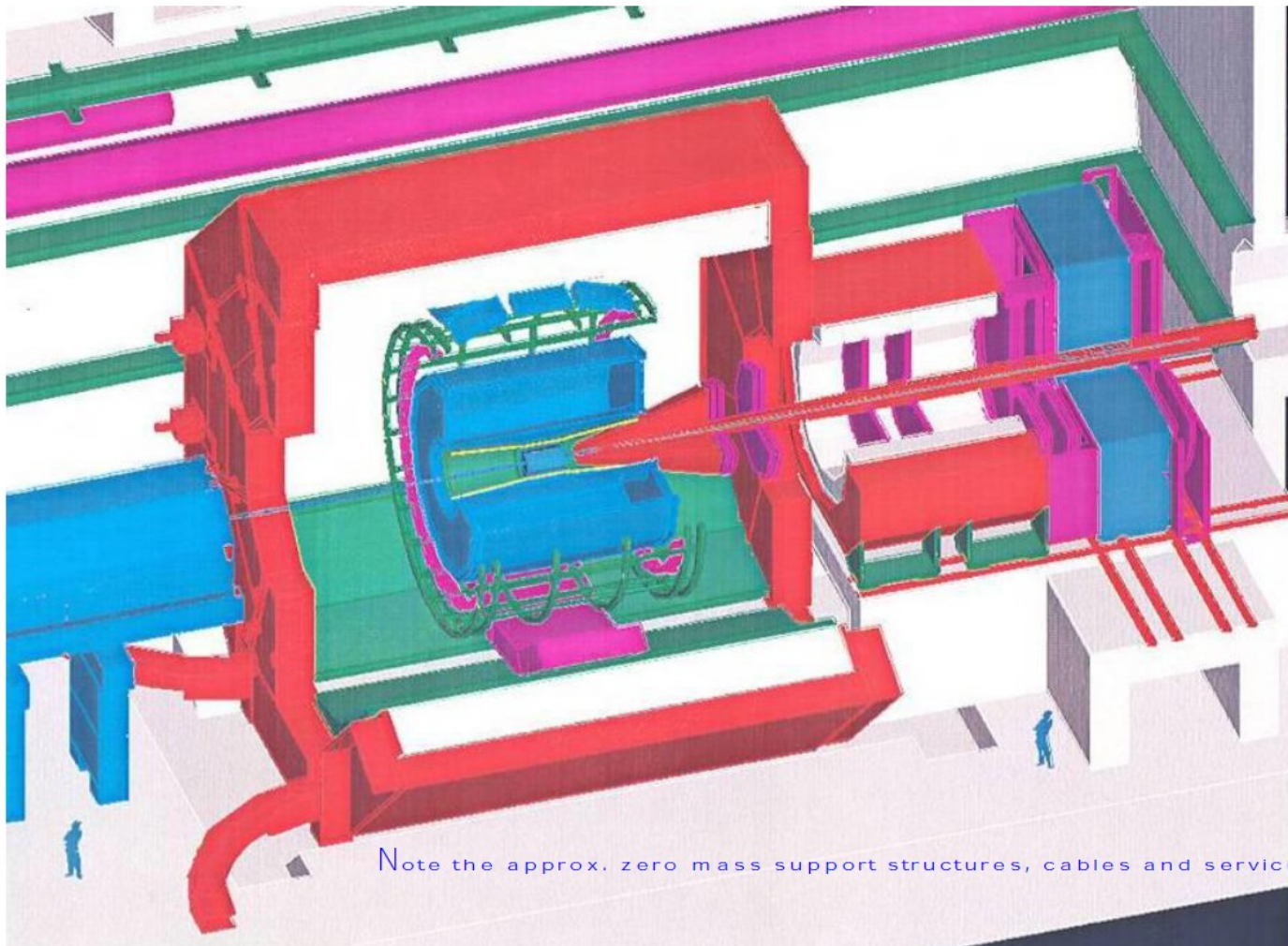
Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Terv 1994-ben



Az ALICE kísérlet története – dióhéjban

- Terv 1995-ben (végső)



A magyar ALICE részvétel története

- 1990 Prehisztorikus idők
- 1992 Magyarország @ CERN (J. Zimányi, G. Vesztergombi)
- 1996 Magyarország @ ALICE Lol (J. Zimányi, G. Vesztergombi)

Name	E-Mail address	Institute/Mail address
J. Schaubert	SMS CERNVM	CERN/EP
H. Satz	SATZ@ CERNVM	CERN-TH
J. Zimányi	H747.ZIM@ ELLA.WWCP	Central Research Institute for Physics H-1525 Budapest 114, POB 70, Hungary
J. Osterlund	GARBOLO@ SELDG52	DEP. OF PHYSICS, UNIV. OF LUND, SÖLVEGATAN 17, S-223 62 LUND, SWEDEN
S. Nilsson	SN@SESHF91 SN@VAND-PH	Stockholm University, Fysikum Vanadisvägen 9, 11346 STOCKHOLM Sweden
J. M. GAGO	GAGO@ CERNVM	LIP - Av. Elias Garcia, 14 - 1000 Lisbon
P. Bordalo	PAULA@UXL	LIP - Av. Elias Garcia, 14 - 1000 Lisbon
L. Kluberg	KLUBERG@ CERNVM	LPNHE Ecole Polytechnique 91128 Palaiseau FRANCE
F. Vazeille	VAZEILLE CERNVM	LPCCF - Clermont-Ferrand 63177 AUBIERE France
B. Chaurand	CHAURAND @FACPNTH	LPNHE Ecole Polytechnique 91128 Palaiseau FRANCE
-	CASTOR	LPC CERN.out - Ferrara



A magyar ALICE részvétel története

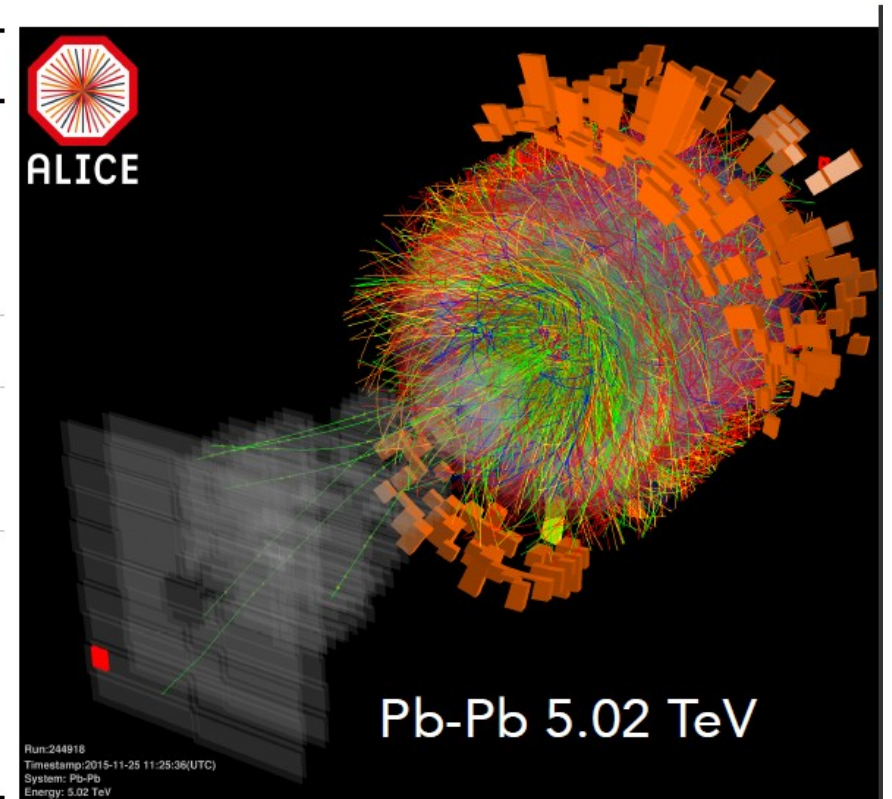
- 1996-2005 ALICE TPC építés és DAQ fejlesztés
 - Pállá G, Fodor Z, Kiss T, Tölyhi T, Dénes E, Rubin Gy, (Veszergombi Gy)
- 2005 Csatlakoztunk az ALICE HMPID csoporthoz, ALICE Tier-2
 - ALICE mágneses tér mérése, HMPID építése és teszt,
 - BGG, Lévai P, Boldizsár L, Varga D, Hamar G, Novitzky N, Molnár L, Bencze Gy, Futó E
- 2006 egy hónap ösztöndíj 'PostDoc' a mexikói UNAM-on (HELEN)
 - Az AliROOT alapú HMPID és VHMPID elemzések
 - Jet elemzések, jet quenching: S. Pochybová, Bencédi Gy, Agócs A, Molnár L, Kiss G, Kovács L,
- 2009-2013 VHMPID (proto) kollaboráció
 - Egy UG javaslat az ALICE HMPID detektorra → VHMPID
 - Harangozó Sz, Oláh L, Kalmár G
- 2015- Új generáció (HMPID és TPC analízis & TPC UG & ITS UG)
 - ALICE Analízis: 7 TeV és 13 TeV pp , b-tagging, hadron-korrelációk, TPC QA, DAQ CRU2, ALICE IF
 - Lowe A, Volpe G, Varga-Kőfaragó M, Vértési R, Bíró G, Berényi D, Gera A, Varga Z, Visnyei O, Imrek J, Tuan M, Frajna E, Szigeti B, Sudár Á, Vargyas M

Jelen: részvétel az ALICE detektor
fejlesztésében és adatanalízisben
(2016-2020)

Az ALICE jelen kutatási irányai

- 1) Kollektív viselkedés és hadronkémia
- 2) Jet-anyag kölcsönhatás
- 3) Elektromágneses próbák
- 4) Nehéz hadronok vizsgálata

System	Year(s)	$\sqrt{s_{NN}}$ (TeV)	L_{int}
Pb-Pb	2010-2011	2.76	$\sim 75 \mu\text{b}^{-1}$
	2015	5.02	$\sim 250 \mu\text{b}^{-1}$
	<i>by end of 2018</i>	5.02	$\sim 1 \text{nb}^{-1}$
Xe-Xe	2017	5.44	$\sim 0.3 \mu\text{b}^{-1}$
p-Pb	2013	5.02	$\sim 15 \text{nb}^{-1}$
	2016	5.02, 8.16	$\sim 3 \text{nb}^{-1}, \sim 25 \text{nb}^{-1}$
pp	2009-2013	0.9, 2.76, 7, 8	$\sim 200 \mu\text{b}^{-1}, \sim 100 \text{nb}^{-1}, \sim 1.5 \text{pb}^{-1}, \sim 2.5 \text{pb}^{-1}$
	2015, 2017	5.02	$\sim 1.3 \text{pb}^{-1}$
	2015-2017	13	$\sim 25 \text{pb}^{-1}$



ALICE adatok elemzése itthon

ALICE adatok elemzése – azonosított hadronok vizsgálata

- Feladat: Hadronok spektrumának mérése részecske azonosítással (pion, kaon, proton)

- Nehéz feladat, több detektor végzi:

TPC+TOF – Időprojekciós kamra+repülési idő

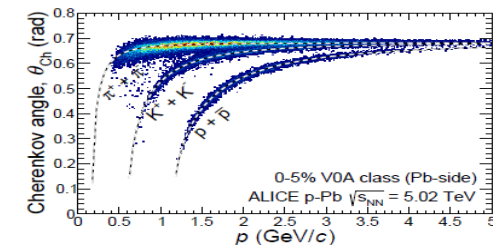
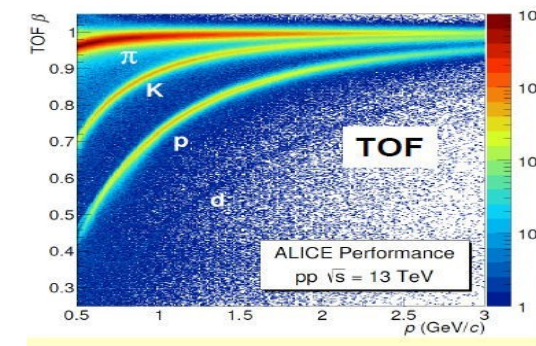
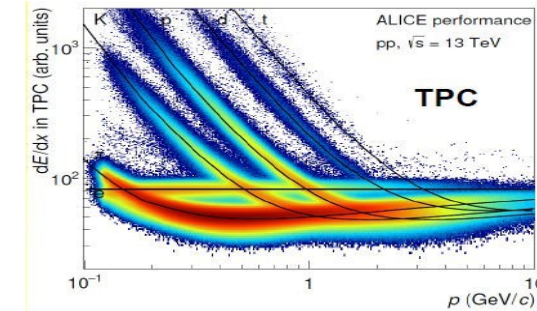
- kicsi $p_T < 1$ GeV/c és $p_T > 5$ GeV/c nagy impulzusú tartományban

HMPID – RICH, Cserenkov detektor

- $1 \text{ GeV/c} < p_T < 5 \text{ GeV/c}$ közepes impulzusú tartományban

ITS – másodlagos vertex módszer

- Azonosított hadronspektrumok
→ tömeg és ízfüggés, triggerelt korrelációk



ALICE adatok elemzése – azonosított hadronok vizsgálata

- Eredmények:

TPC+TOF – Bencédi Gy.

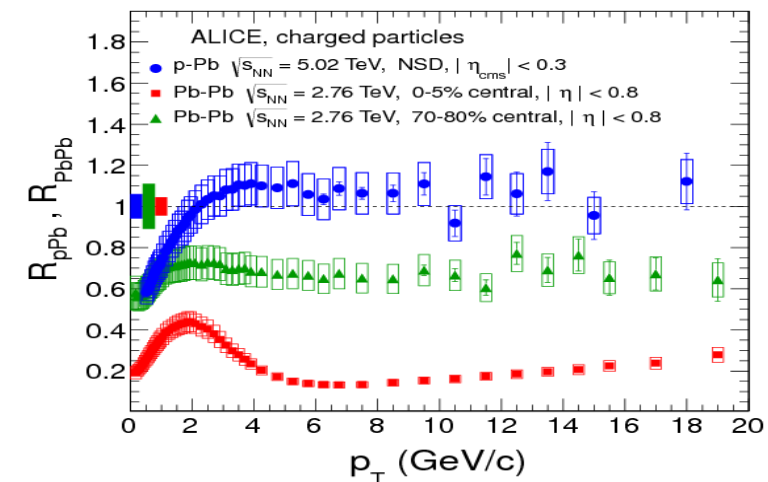
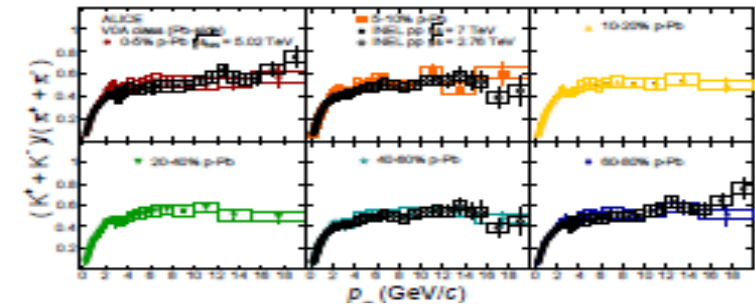
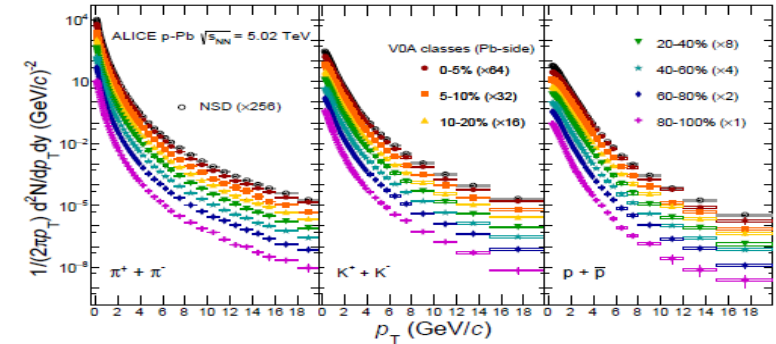
- Pion, kaon, proton spektrumok, hadronarányok, nukleáris módosulás faktor: pp 7 TeV (pp 13 TeV), PbPb 5 TeV, pPb 2.7 TeV

HMPID & ALICE IF – Visnyei O

- Pion, kaon proton spektrumok, hadronarányok, kvark/gluon jetek szeparációja
- HMPID Cserenkov radiátor öregedés-vizsgálata

- ITS – Vértesi R, Kőfaragó M, Szigeti B

- B-jetek vizsgálata, tagged bomlások
- Részecskekorrelációk vizsgálata



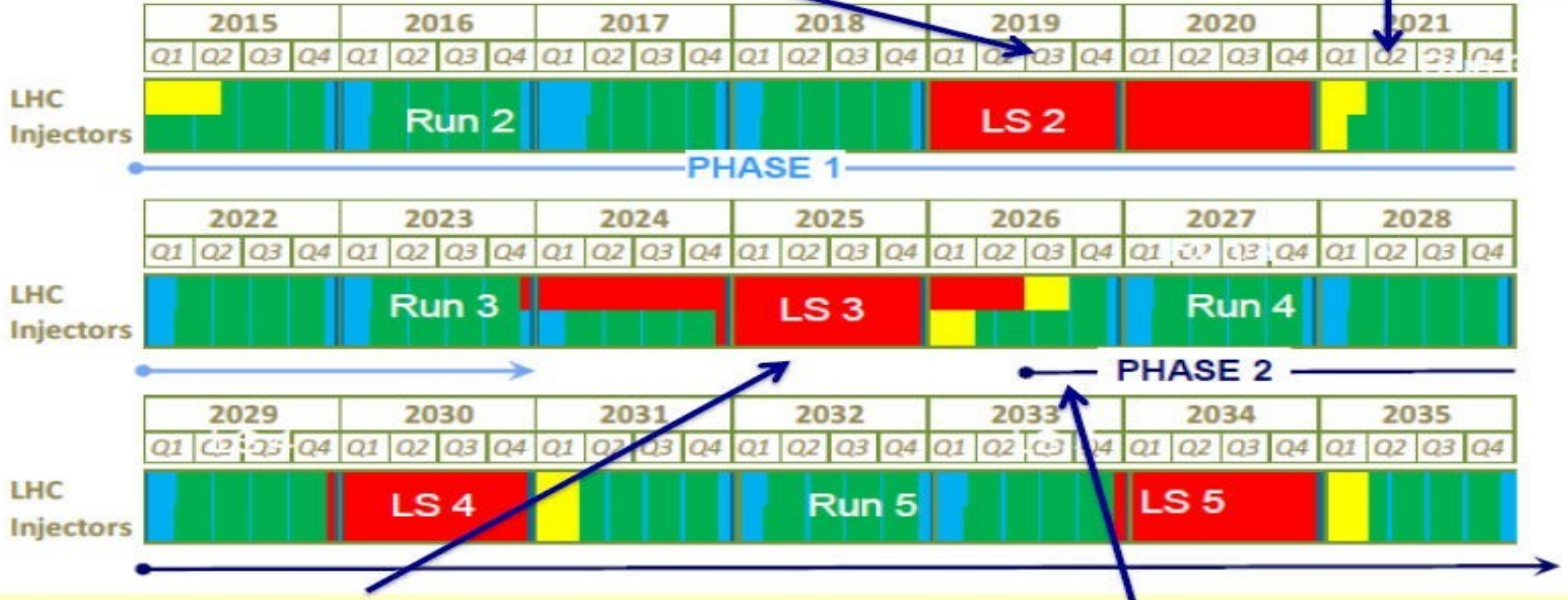
Hazai kutatásfejlesztések a CERN ALICE kísérletben

A Nagy Hadronütköztető (LHC) fejlesztési terve

PHASE I Upgrade

ALICE, LHCb major upgrade
ATLAS, CMS ,minor' upgrade

Heavy Ion Luminosity
from 10^{27} to 7×10^{27}



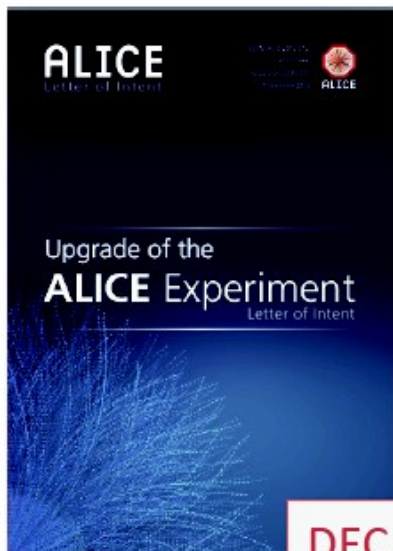
PHASE II Upgrade

ATLAS, CMS major upgrade

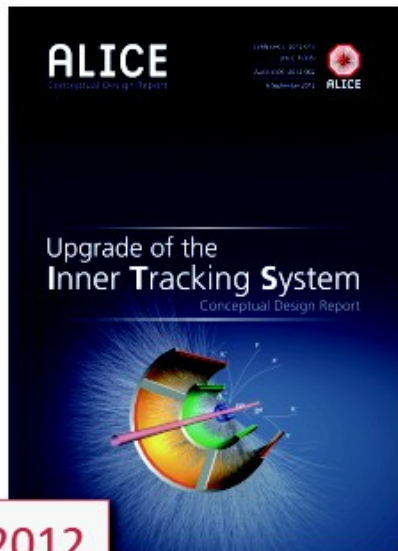
HL-LHC, pp luminosity

from 10^{34} (peak) to 5×10^{34} (levelled)

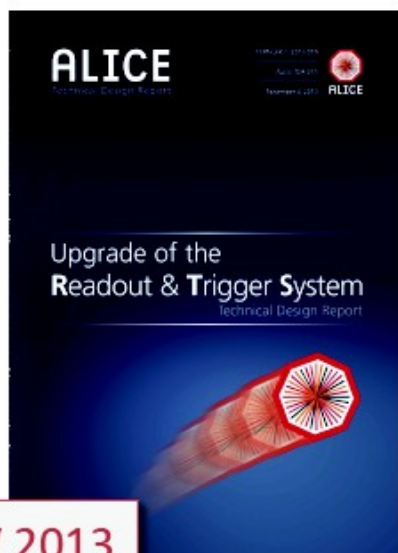
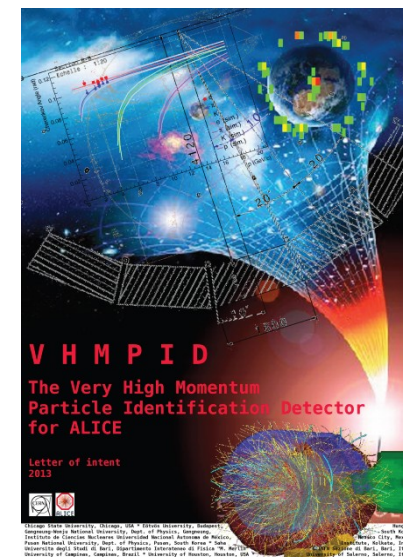
ALICE fejlesztések



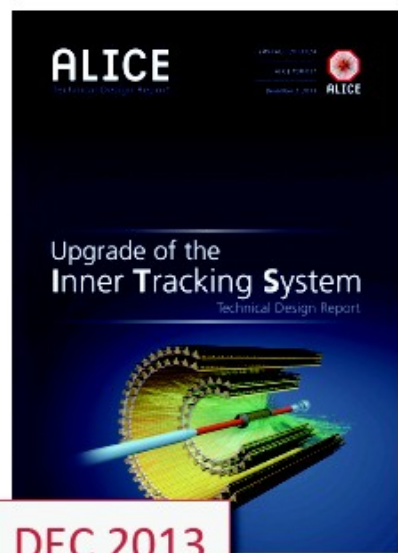
DEC 2012



SEP 2013



NOV 2013



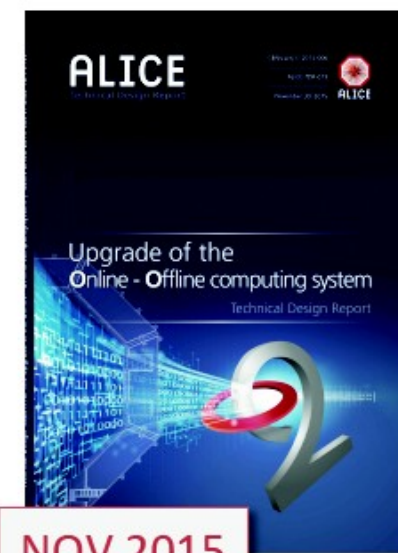
DEC 2013



MAR 2014



MAY 2015

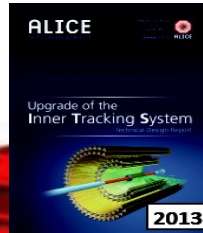


NOV 2015

Magyar hozzájárulás az LS2 ALICE fejlesztésekhez

New Inner Tracking System (ITS)

- improved pointing precision
- less material -> thinnest tracker at the LHC



TPC

- Micropattern gas detector technology
- continuous readout



New Central Trigger Processor (CTP)

Data Acquisition (DAQ)/ High Level Trigger (HLT)

- new architecture
- on line tracking & data compression
- 50kHz PbPb event rate

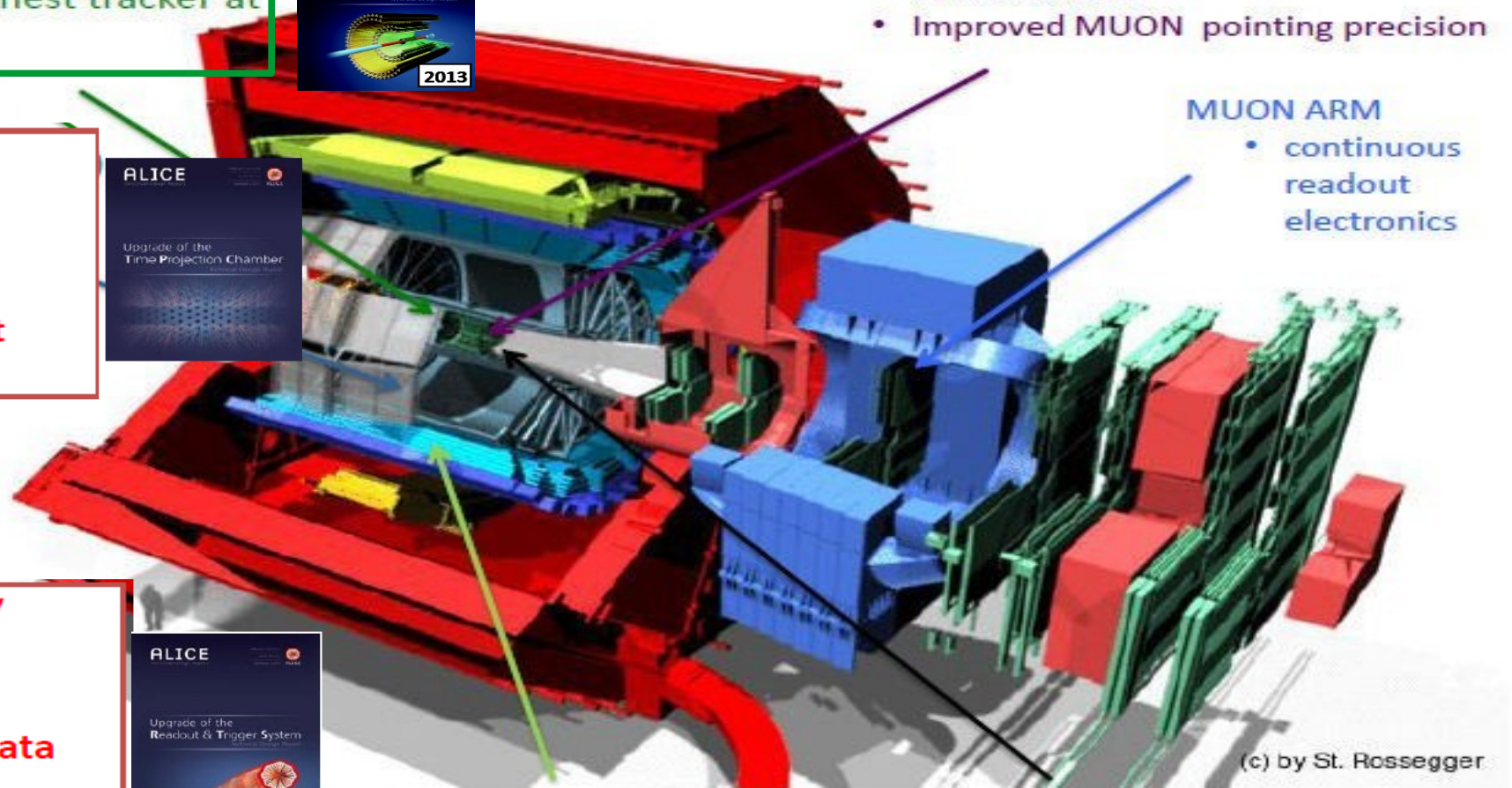


Muon Forward Tracker (MFT)

- new Si tracker
- Improved MUON pointing precision

MUON ARM

- continuous readout electronics



TOF, TRD

- Faster readout

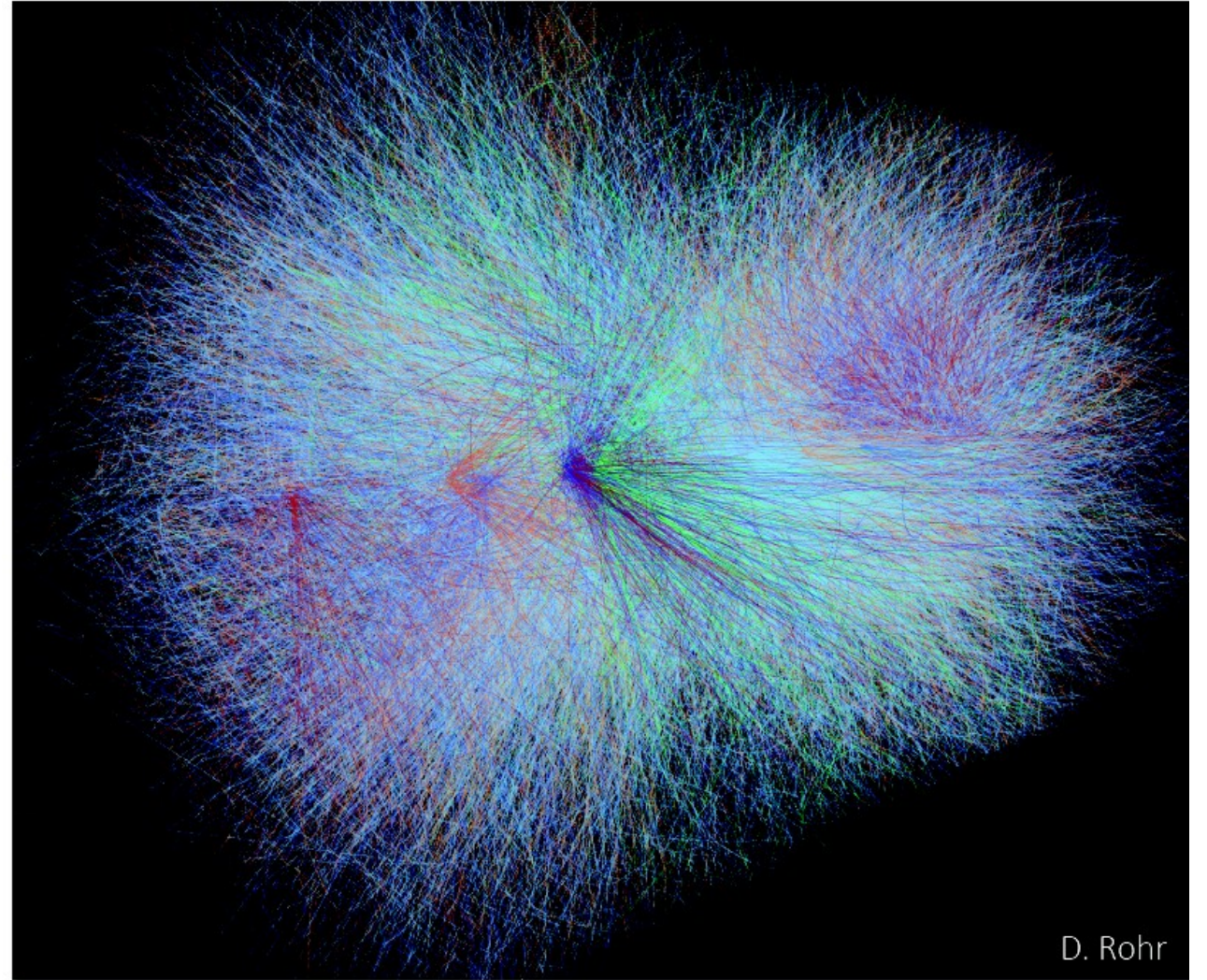
New Trigger Detectors (FIT)

(c) by St. Rossegger

A világ legnagyobb GEM-alapú időprojekciós kamrájának (TPC) kutatásfejlesztése és építése

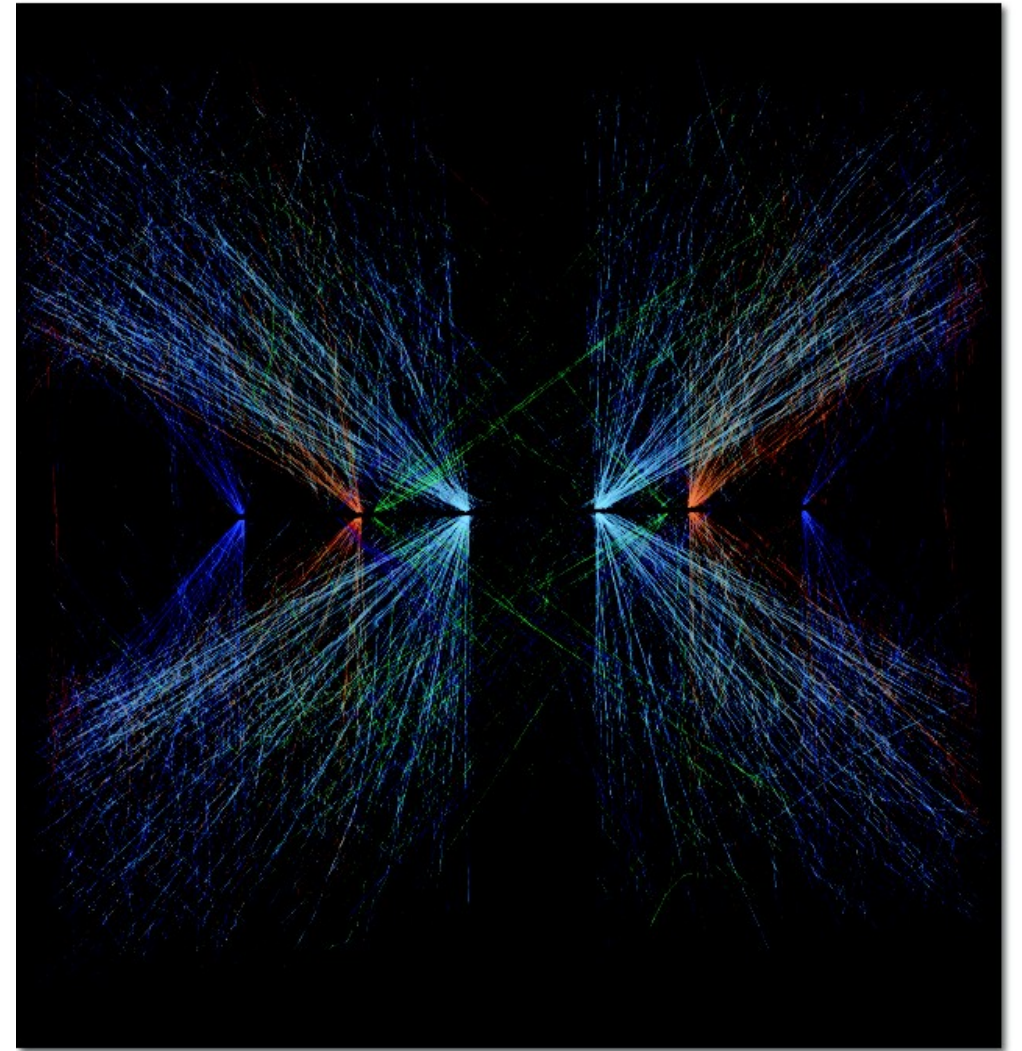
Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

- Ma: Világ Legnagyobb Időprojekciós kamrája 88 m³
- Fejlesztés: MWPC → GEM
- Nagy luminozitás mellett:
 - Proton-proton 2 MHz
 - Ólom-ólom: 50 kHz
- TPC 30 kHz mellett →



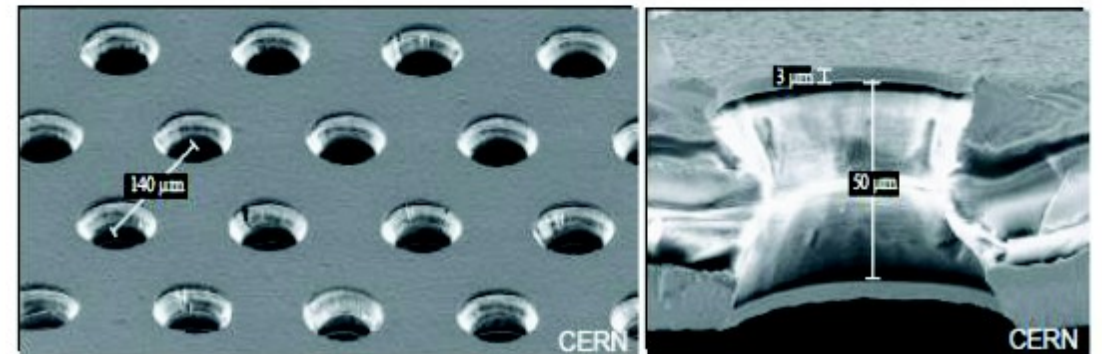
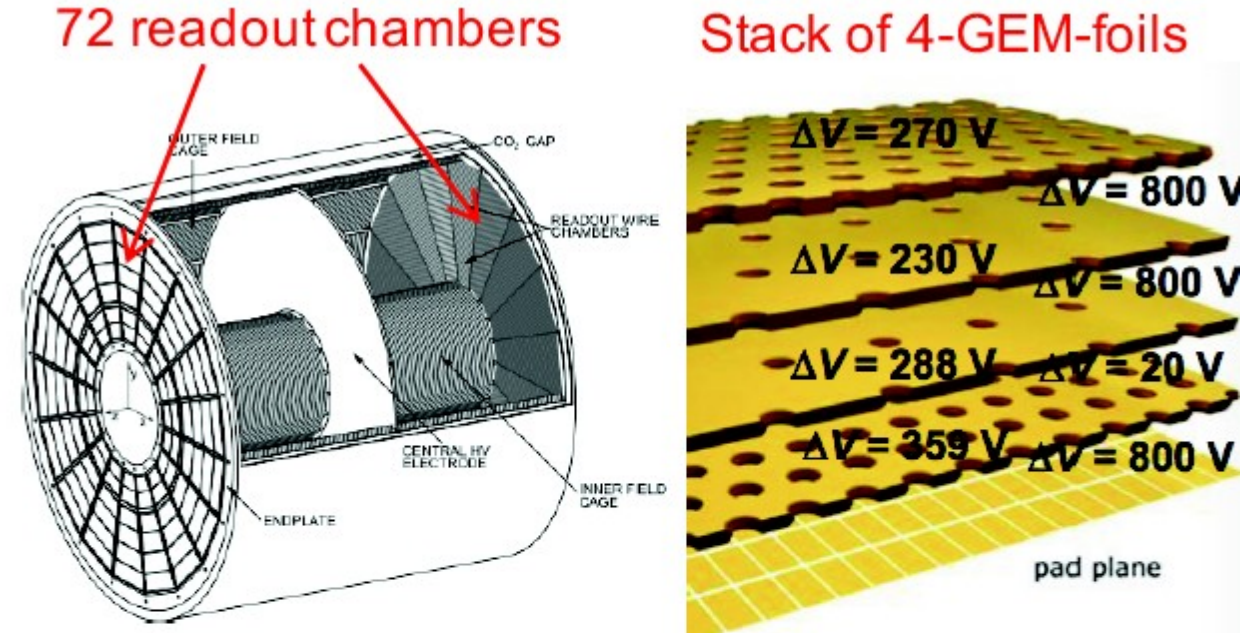
Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

- Ma: Világ Legnagyobb Időprojekciós kamrája 88 m³
- Fejlesztés: MWPC → GEM
- Nagy luminozitás mellett:
 - Proton-proton 2 MHz
 - Ólom-ólom: 50 kHz
- TPC 30 kHz mellett
Ha csak 30° szeletben



Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

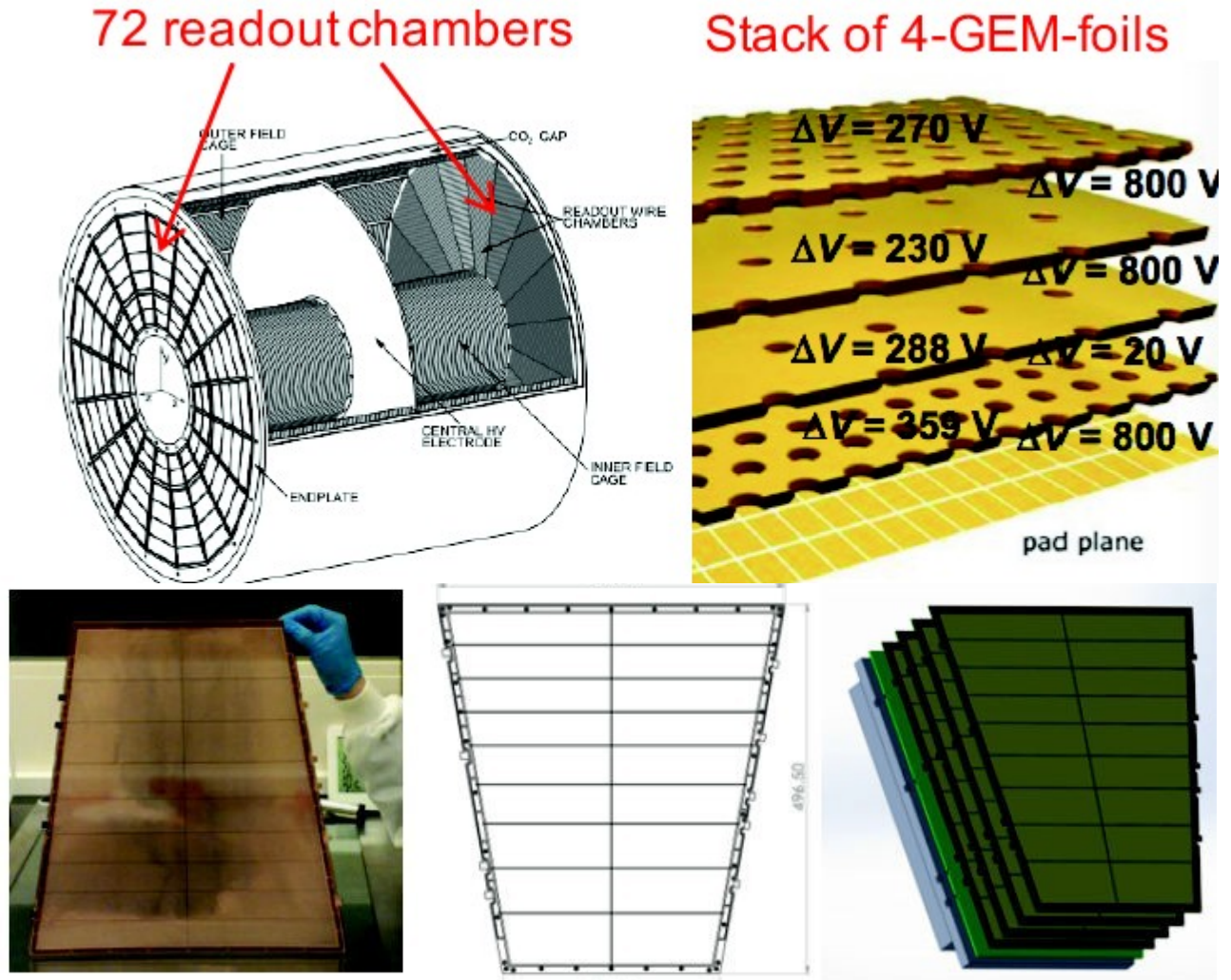
- Ma: Világ Legnagyobb Időprojekciós kamrája 88 m³
 - Fejlesztés: MWPC → GEM
 - Nagy luminozitás mellett:
 - Proton-proton 2 MHz
 - Ólom-ólom: 50 kHz
 - Folyamatos
 - kiolvasás Ne(90%)
 - CO₂ (10%)
- E=0.4 kV/cm



Electron microscope photograph of a GEM foil

Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

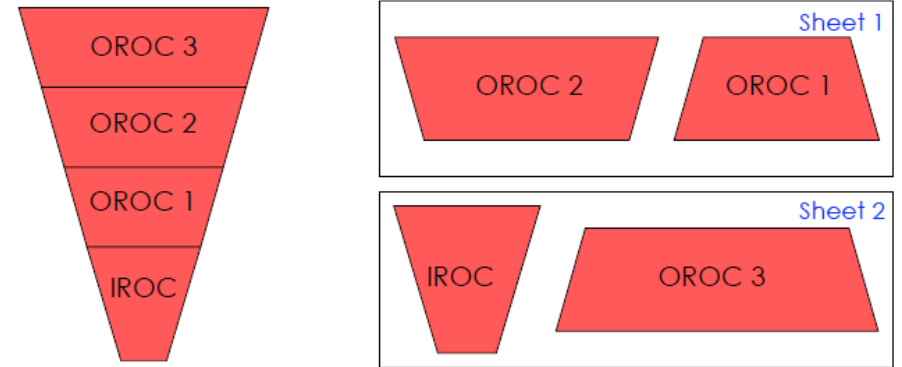
- Ma: Világ Legnagyobb Időprojekciós kamrája 88 m³
 - Fejlesztés: MWPC → GEM
 - Nagy luminozitás mellett:
 - Proton-proton 2 MHz
 - Ólom-ólom: 50 kHz
 - Folyamatos
 - kiolvasás Ne(90%)
 - CO₂ (10%)
- E=0.4 kV/cm



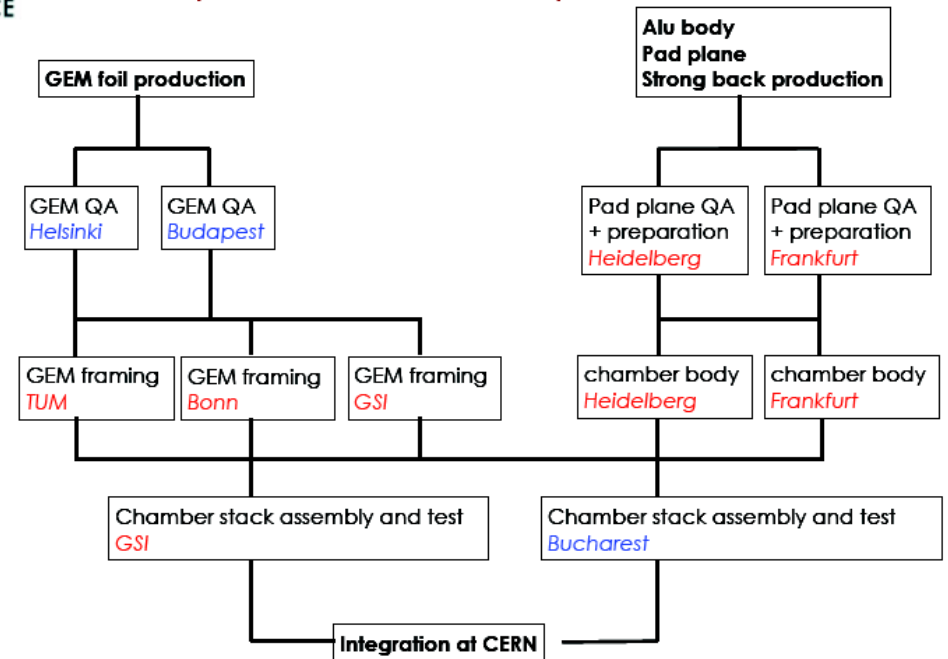
Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

- Ma: Világ Legnagyobb Időprojekciós kamrája 88 m³
- 288 sheet#1 + 288 sheet#2 = 576 darab itt +25% extrával számolunk
- 180 IROC 540 OROC fólia folyamatban +15% extrával
- számolunk PI OROC fóliákra:

FELADAT ELVÉGEZVE

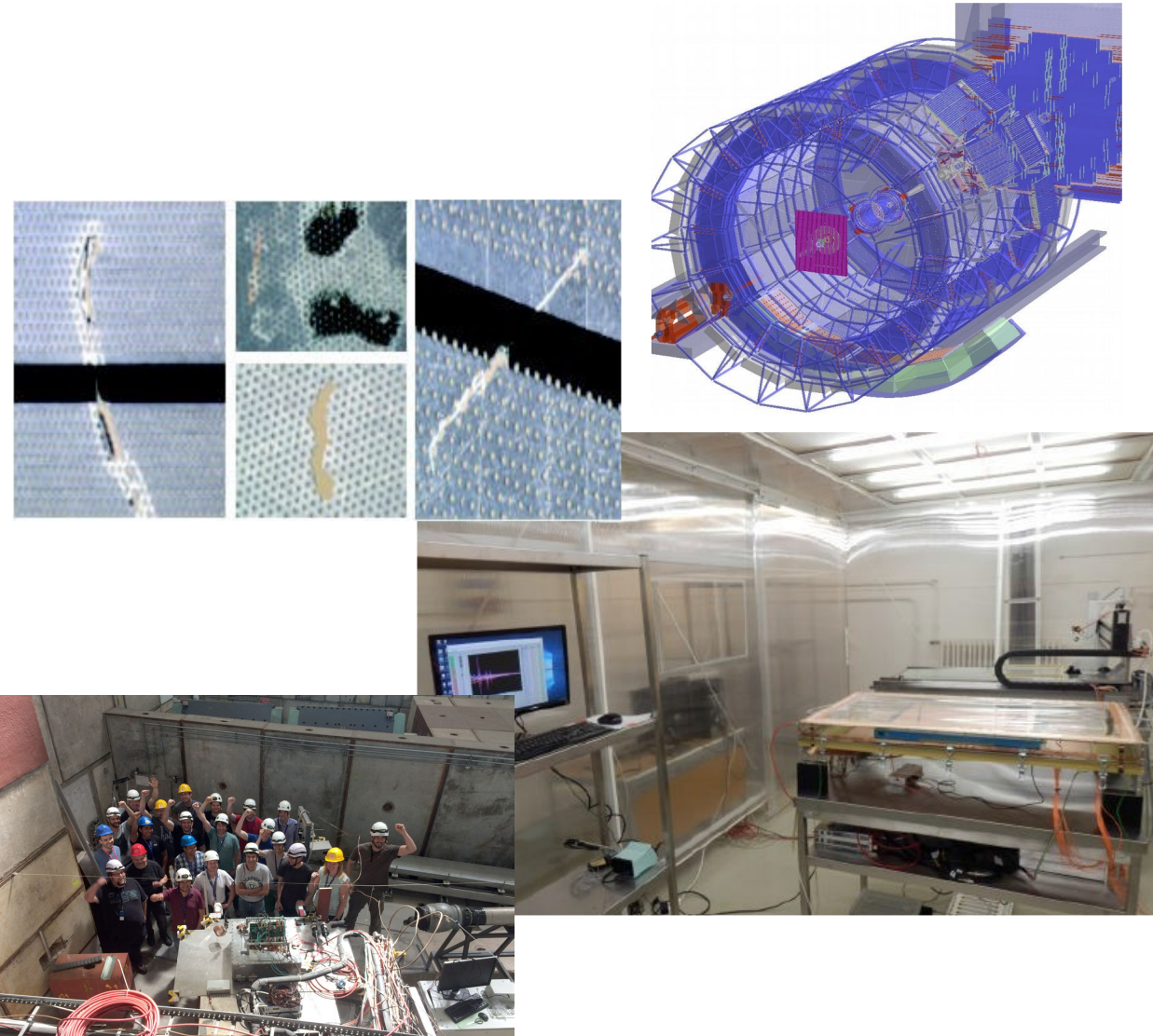


OROC production in Europe



Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Időprojekciós kamra K+F (TPC)

- GEM: Gázelektron Sokszorozó
Varga Dezső: ReGaRD & Lendület
Innovatív Gázdetektorok Kutatócsoport
- Magyar ALICE Csoport:
 - Fóliák minőség-ellenőrzése
 - Tárolás, tisztítása, dobozolása
 - GEM optikai szkennelés
 - Erősítés vizsgálata (R&D)
- **2018 Szeptembertől...**
CERN nyalábtesztek
Összeszerelés a CERNben



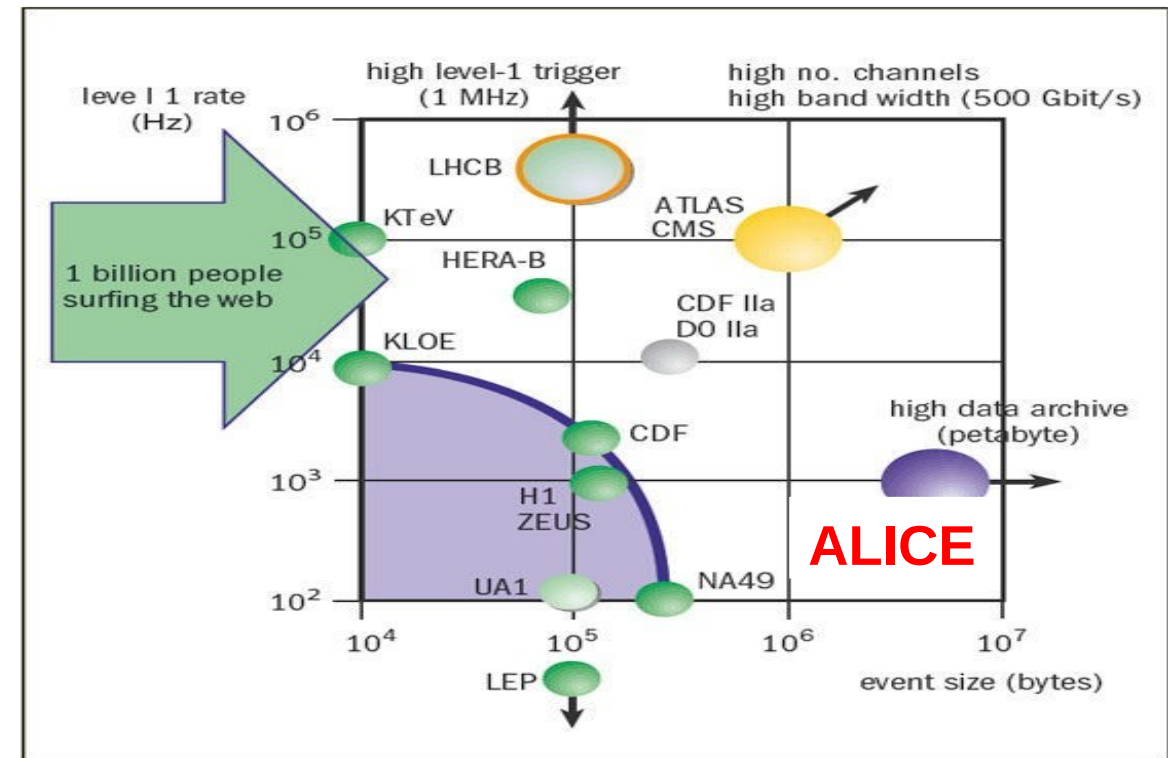
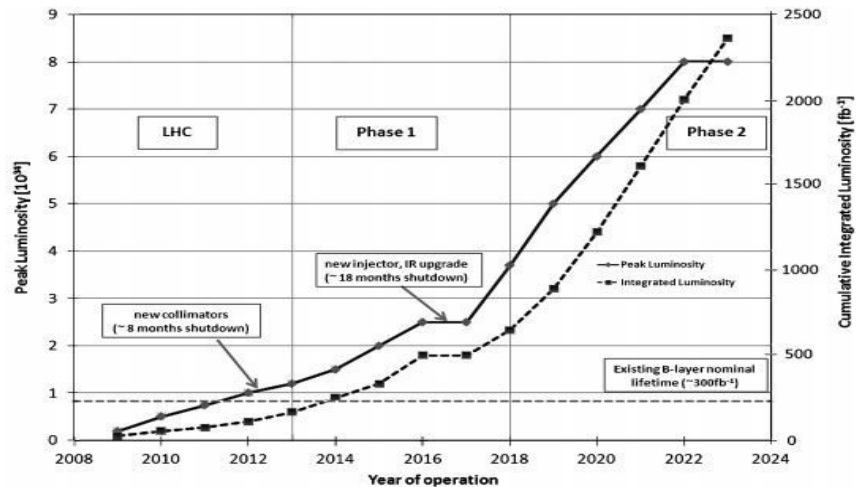
Új adatgyűjtő és -feldolgozó (DAQ)
rendszer fejlesztése
ALICE O² CRU2 projekt

Megnövekedett luminozítás DAQ fejlesztés

- ALICE adatgyűjtő rendszere K+F:

Nehézion események

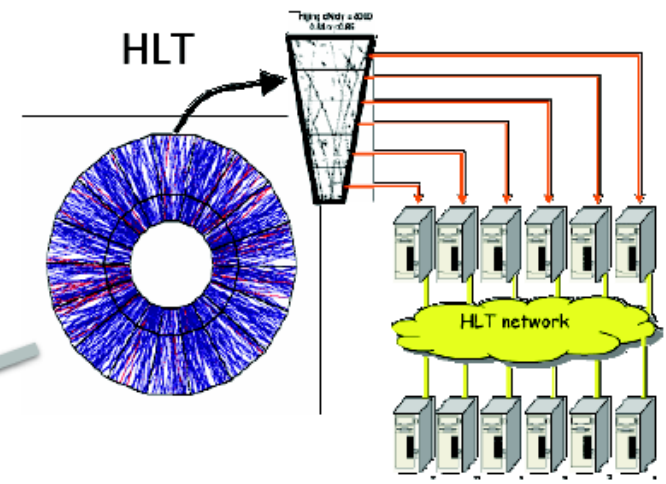
- sok adat, nagy eseményméret
- komplex, diverz aldetektorok
- Nagyobb luminozítás → több adat



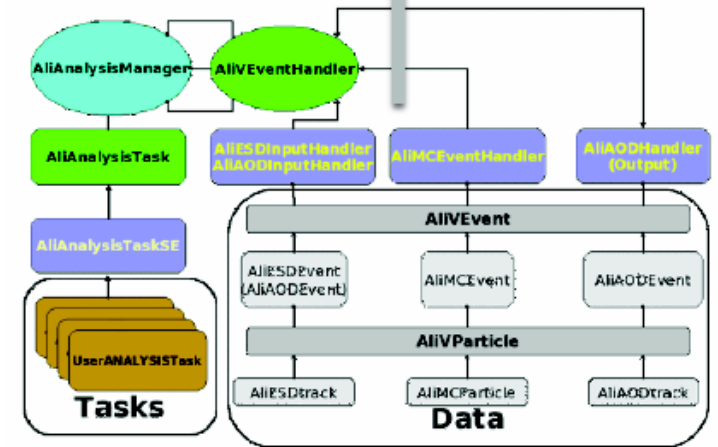
Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Adatgyűjtő rendszer (DAQ)



Online



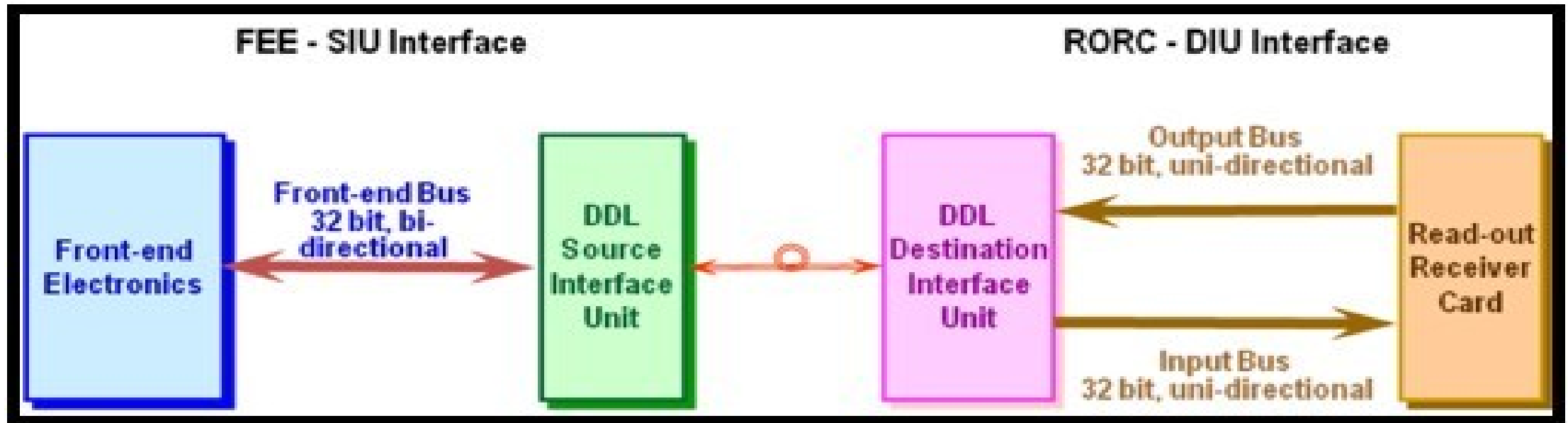
Offline



Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Adatgyűjtő rendszer (DAQ)

ALICE DAQ/DDL adatgyűjtő/továbbító rendszer

A frontend elektronikák (FEE) és a adatgyűjtő számítógépek közötti kapcsolat a Detektor Data Link (DDL) és a Read-Out Receiver Card (RORC)

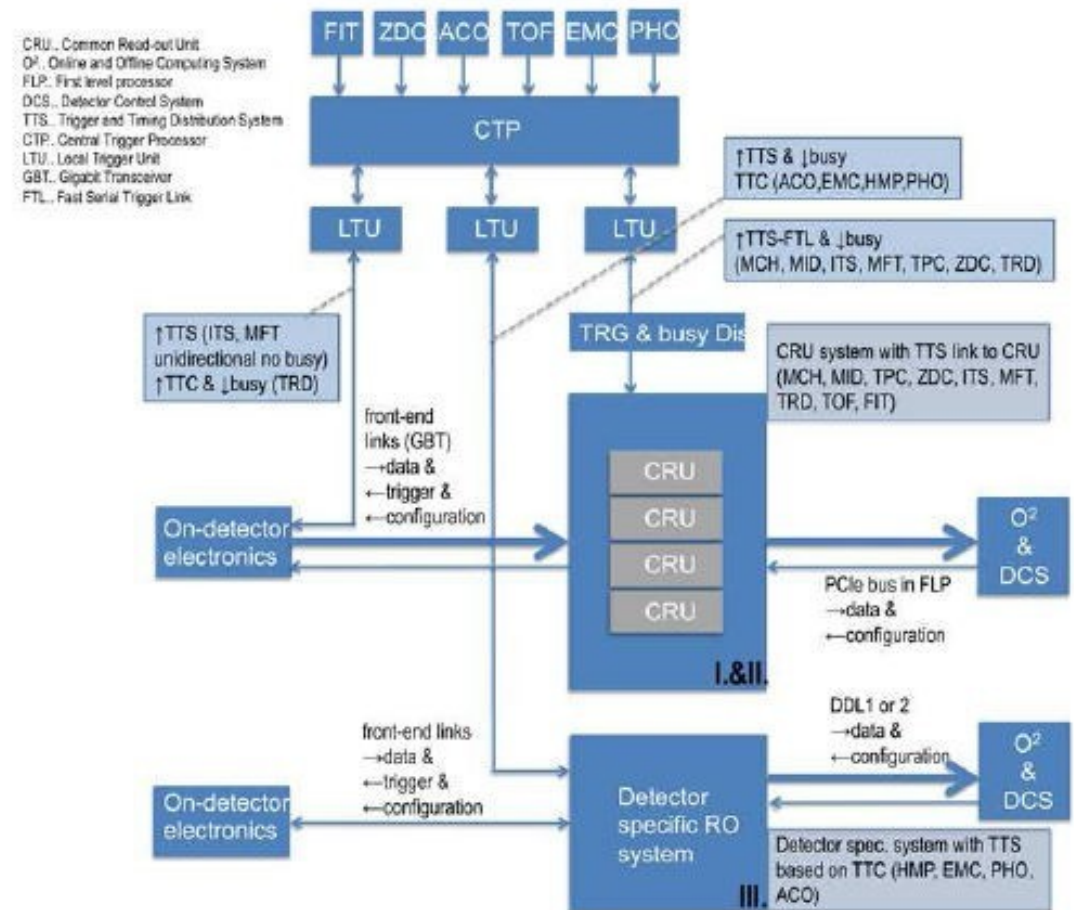


Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Adatgyűjtő rendszer (DAQ)

- ALICE új adatgyűjtő CRU2 K+F:

- CRU – Common Readout Unit
- Nincs „igazi” trigger, nem várnak a detektorelemek egymásra, utólagosan is eldönthető, hogy kell-e az esemény, ill. mire használható → gyorsaság.
- Jelenleg: 500 Hz PbPb upgrade után 50 kHz PbPb és 200 kHz pp

Standard GBTx linkek használata
3,2 Gb/s vagy akár 4,48 Gb/s
kétirányú sáv szélesség.



Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Adatgyűjtő rendszer (DAQ)

- ALICE új adatgyűjtő CRU2 K+F:

- CRU – Common Readout Unit
- Nincs „igazi” trigger, nem várnak a detektorelemek egymásra, utólagosan is eldönthető, hogy kell-e az esemény, ill. mire használható → gyorsaság.

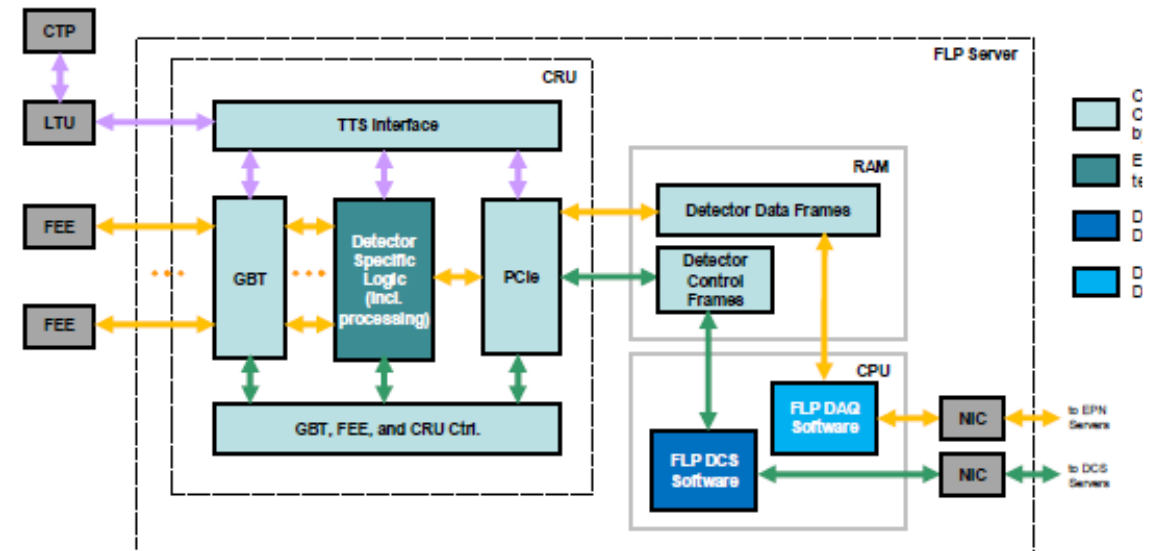
Jelenleg: 500 Hz PbPb upgrade után
– 50 kHz PbPb és 200 kHz pp

Standard GBTx linkek használata

3,2 Gb/s vagy akár 4,48 Gb/s

- kétirányú sávszélesség.

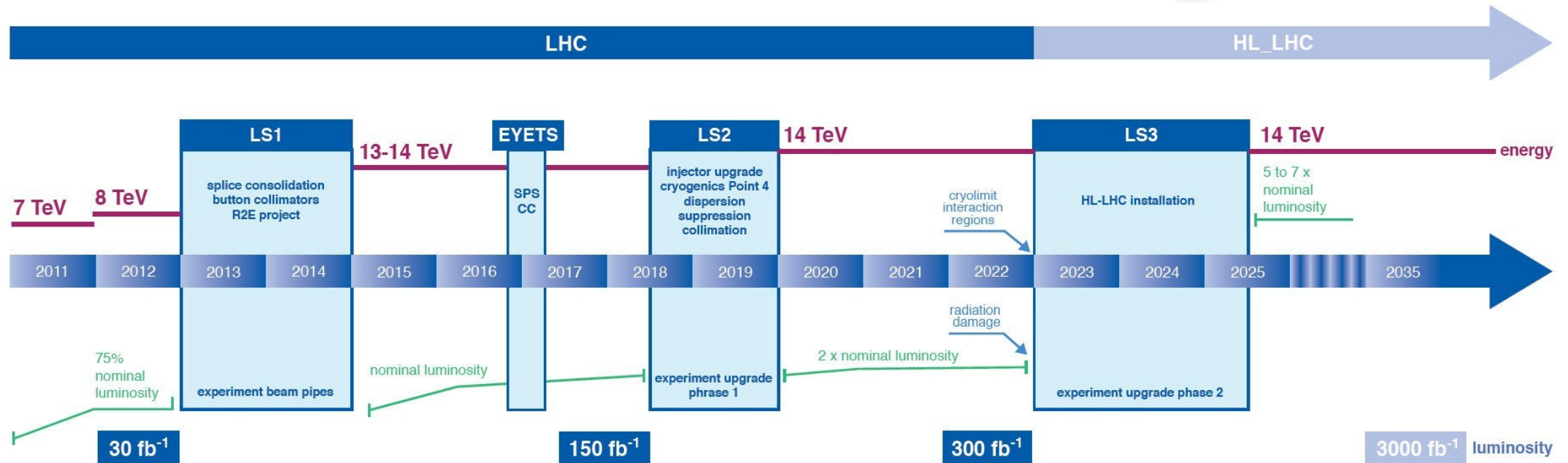
FPGA-alapú technológia, ami még tud gyorsabb is lenni



Távolabbi jövő...

- Még több adat, jobb statisztika....

LHC / HL-LHC Plan







WIGNER