

A nagyenergiás magfizika jövője a CERN ALICE kísérletben és tovább...

Barnaföldi Gergely Gábor, CERN LHC ALICE, MTA Wigner FK RMI, ELFT Vándorgyűlés, Sopron, 2019. augusztus 22.



A nagyenergiás magfizika jövője a CERN ALICE kísérletben és tovább...

Barnaföldi Gergely Gábor, CERN LHC ALICE, MTA Wigner FK RMI, ELFT Vándorgyűlés, Sopron, 2019. augusztus 22.

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

Kísérlet: Gy. Bencédi, L. Boldizsár, E. Dávid, Á. Gera, E. Frajna, G. Hamar, J. Imrek, T. Kiss, A. Misák, M. Varga-Kőfaragó, P. Lévai, T.M. Nguyen, B. Szilágyi, Á. Sudár, D. Varga, Z. Varga, O. Visnyei, R. Vértesi

Elmélet: D. Berényi, G. Bíró, T.S. Biró, A. Jakovác, Sz. Karsai, P. Lévai, P. Pósfay, B. Csurgay-Horváth, Á. Takács, M. Gyulassy, G.Y. Ma, G. Papp, K.M. Shen, X.N. Wang, B.W. Zhang.

Támogatás: K120660 (2016-2020)

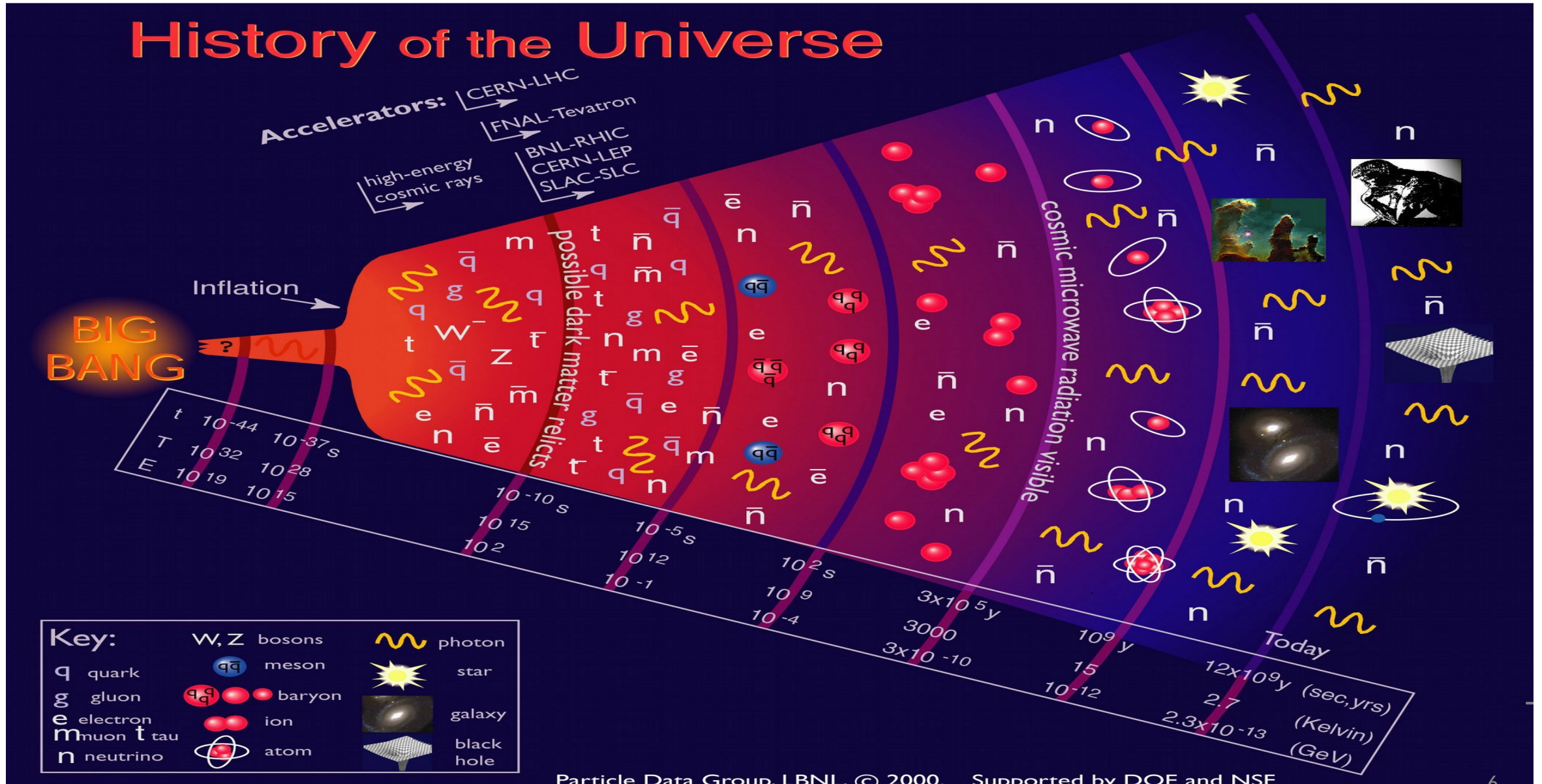


TARTALOM

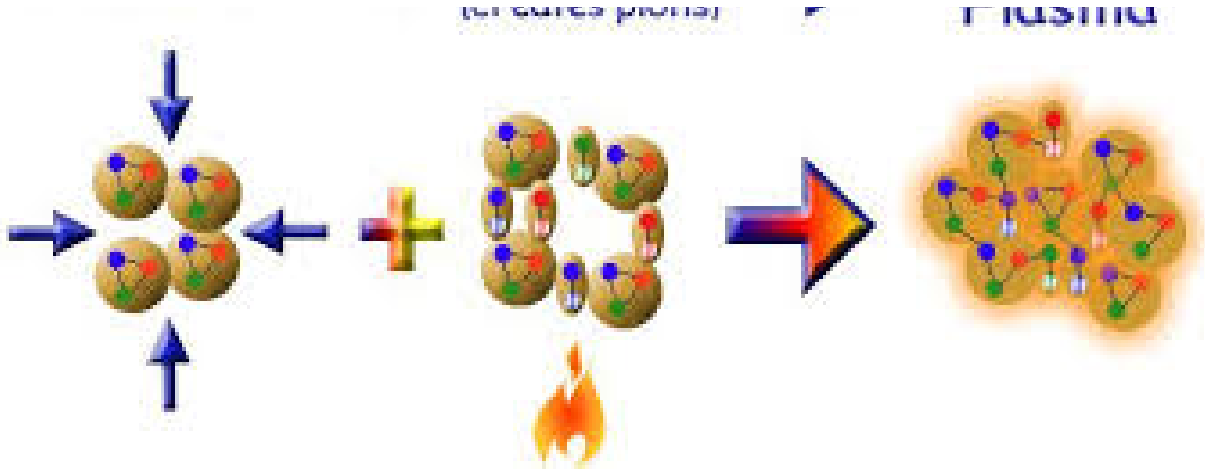
- Jelen: Atommagok nagyenergiás ütközéseinek vizsgálata
 - A CERN LHC ALICE kísérlet
Magyar ALICE Csoport tevékenységei
Kutatásfejlesztések az LS3-ig (TPC UG, DAQ UG)
 - Elméleti kutatások, fejlesztések
Nagyenergiás nukleáris effektusok vizsgálata (árnyékolás, jet elnyomás), fragmentáció nem-extenzív statisztikus fizikával
- Jövő: A nagyenergiás magfizika jövője a CERN-ben
 - Elméleti kutatások és szoftveres megoldások
Szoftverfejlesztések a jövő gyorsítóihoz (HIJING++)

A kutatások célja

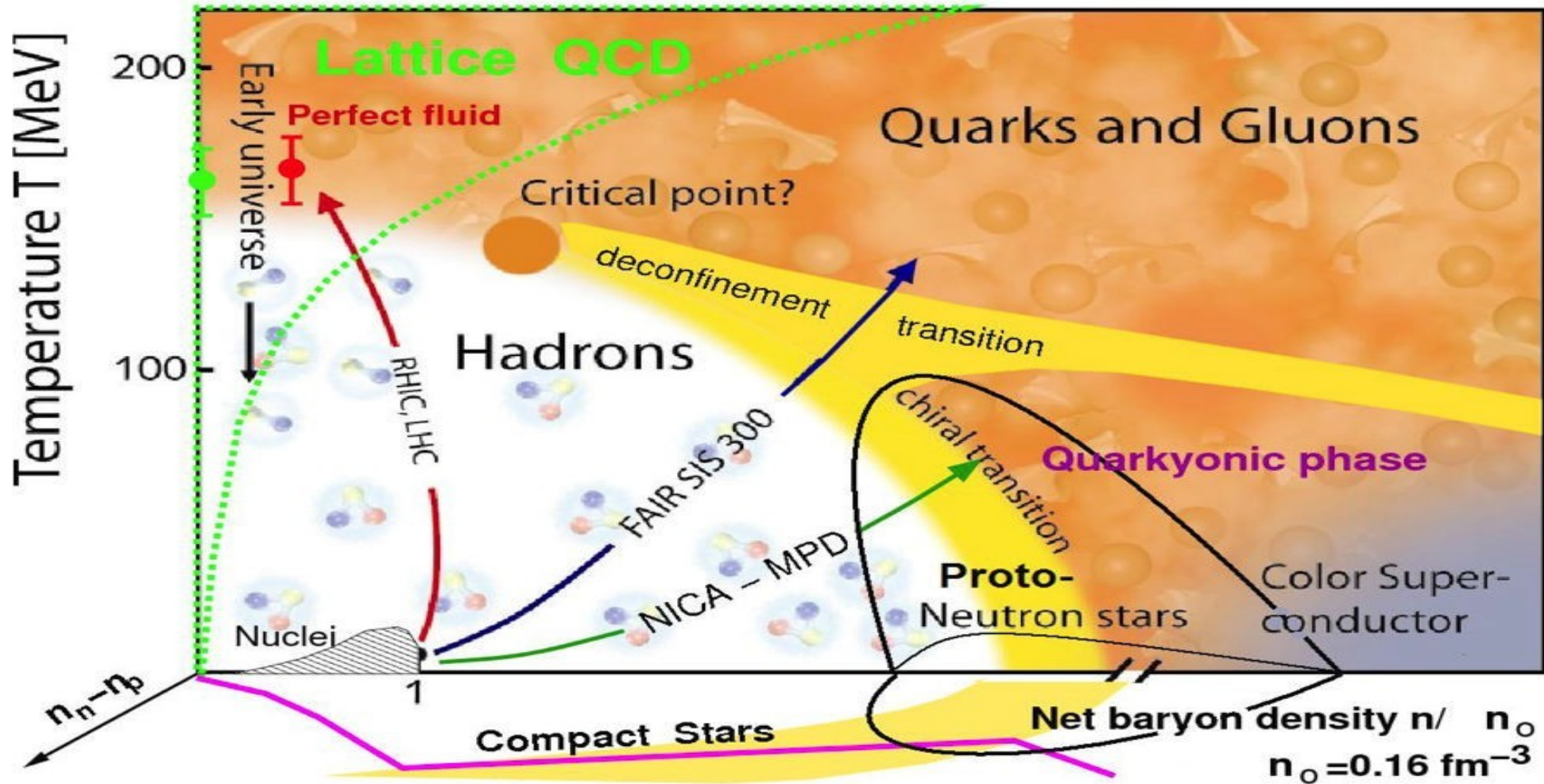
A korai Univerzum anyaga: forró sűrű ösanyag



A korai Univerzum anyaga a laborban: QGP



A korai Univerzum anyaga a laborban: QGP



A korai Univerzum anyaga a laborban: QGP

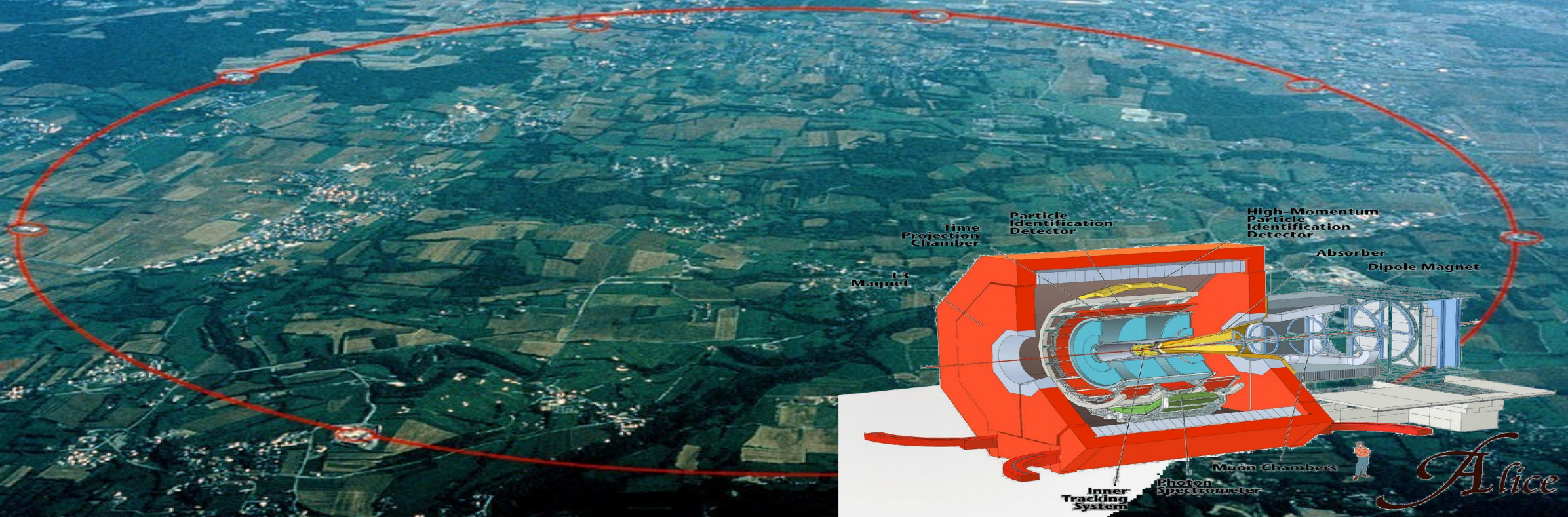
QGP: színes (QCD), nagy hőmérsékletű (részben) termalizált, sűrű, ideális folyadék

Vizsgálata: szignatúrák keresése – nincs királyi út, nincs direkt megfigyelés

- Részecskespektrumok vizsgálata, hadronkeltés
- Nehéz kvarkok (s,c,b,t) keletkezése (Vértesi R: CsDu3)
- Elektromágneses próbák: foton és lepton keletkezés vizsgálata
- Elliptikus folyás vizsgálata (Csörgő T: CsDe3)
- Részecskezaporok spektrumának eltolódása (jet-quenching)
- Fluktuációk, vizsgálata, HBT, Bose-Einstein korrelációk (Nagy M: CsDu3)

Az ALICE kísérleti együttműködés

ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet



ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet

1980 fő, 41 ország, 163 kutatóintézet, 200kCHF





Szolenoid mágnes 0.5 T

Kozmikus sugárzás trigger

„Forward” detektorok

- PMD
- FMD, T0, V0, ZDC

Specializált detektorok

- HMPID
- PHOS

-
-

Központi nyomkövető rendszer

- ITS
- TPC
- TRD
- TOF

MUON Spektrométer

- elnyelő anyagok
- nyomkövetők
- trigger kamrák
- dipól mágnes

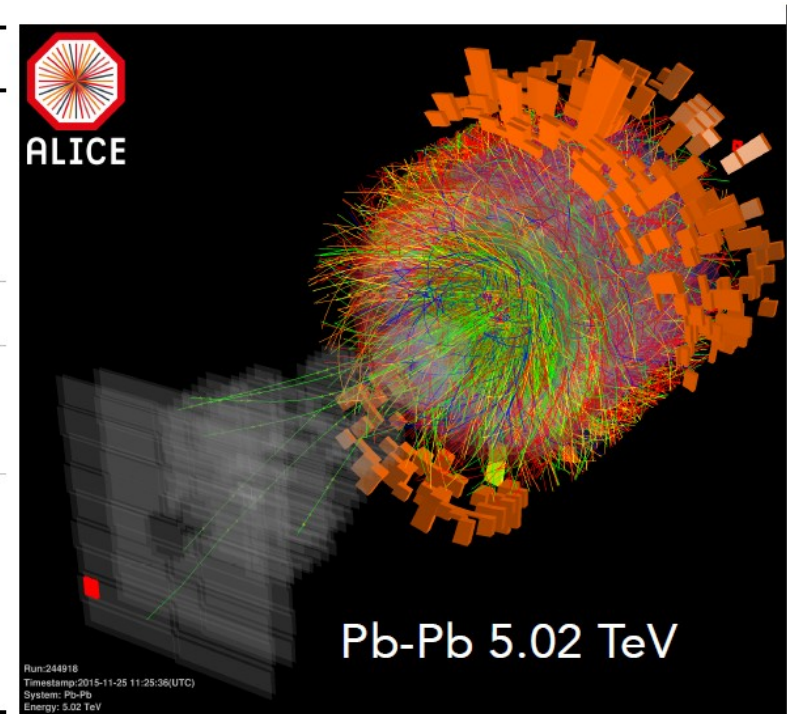


Az ALICE jelen kutatási irányai

Az erős kölcsönhatás, kollektív jelenségek és az erősen kölcsönható anyag fázisai

- 1) Kollektív viselkedés és hadronkémia
- 2) Parton részecskezár és partonanyag kölcsönhatás
- 3) Elektromágneses próbák
- 4) Vizsgálatok nehéz hadronokkal

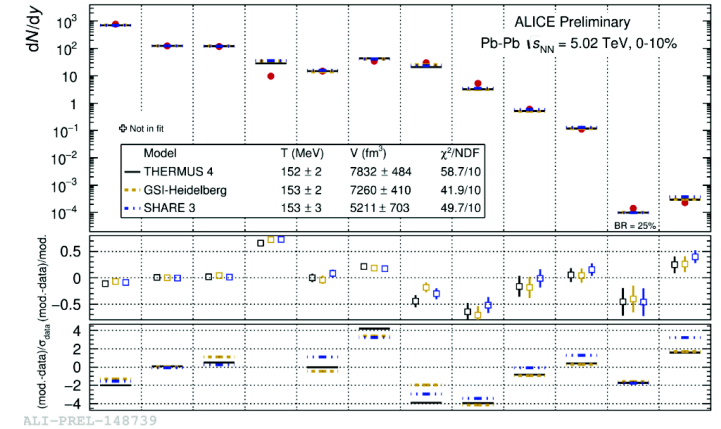
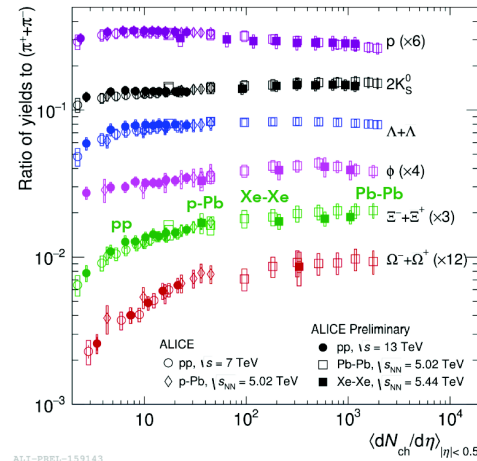
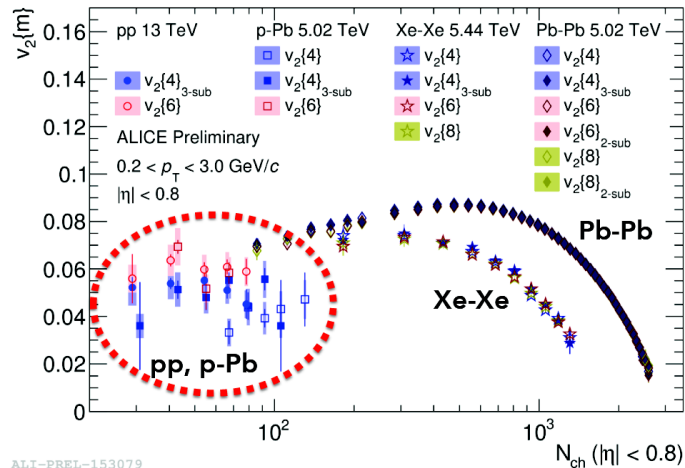
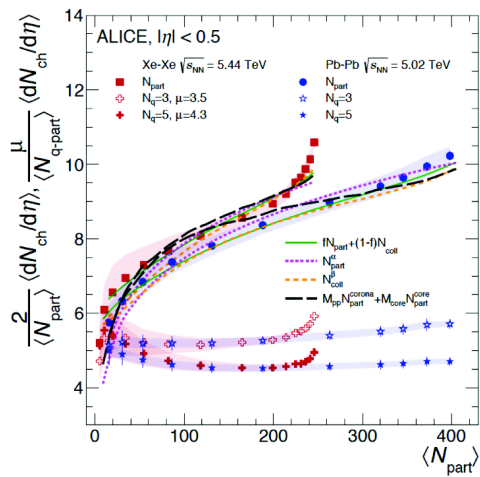
System	Year(s)	$\sqrt{s_{NN}}$ (TeV)	L_{int}
Pb-Pb	2010-2011	2.76	$\sim 75 \mu\text{b}^{-1}$
	2015	5.02	$\sim 250 \mu\text{b}^{-1}$
	by end of 2018	5.02	$\sim 1 \text{nb}^{-1}$
Xe-Xe	2017	5.44	$\sim 0.3 \mu\text{b}^{-1}$
p-Pb	2013	5.02	$\sim 15 \text{nb}^{-1}$
	2016	5.02, 8.16	$\sim 3 \text{nb}^{-1}, \sim 25 \text{nb}^{-1}$
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	$\sim 25 \text{pb}^{-1}$



Az ALICE jelen kutatási irányai

1) Kollektív viselkedés és hadronkémia

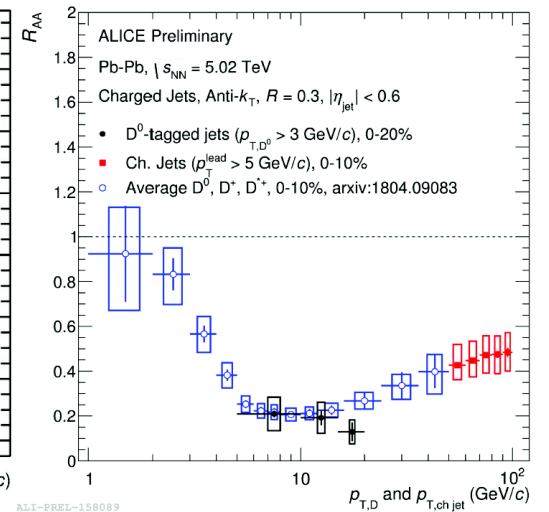
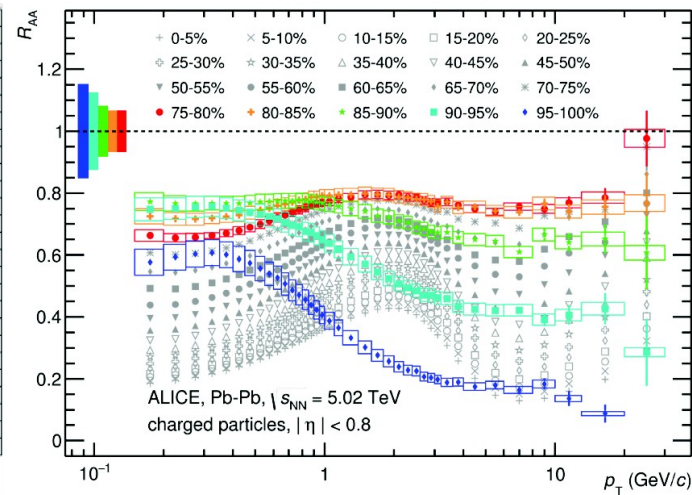
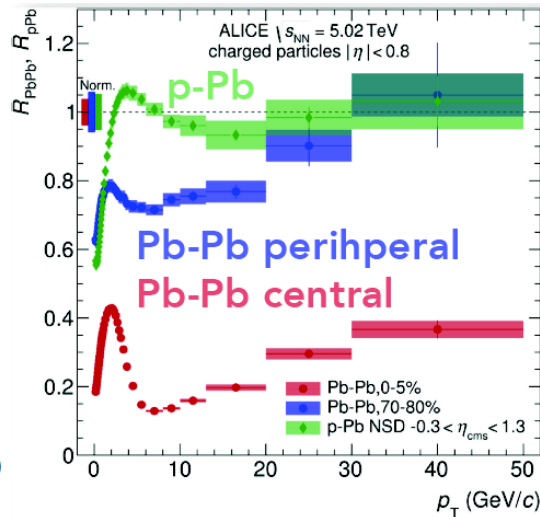
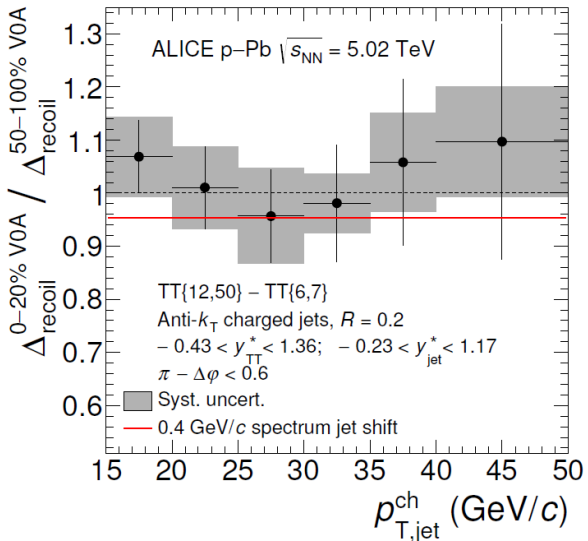
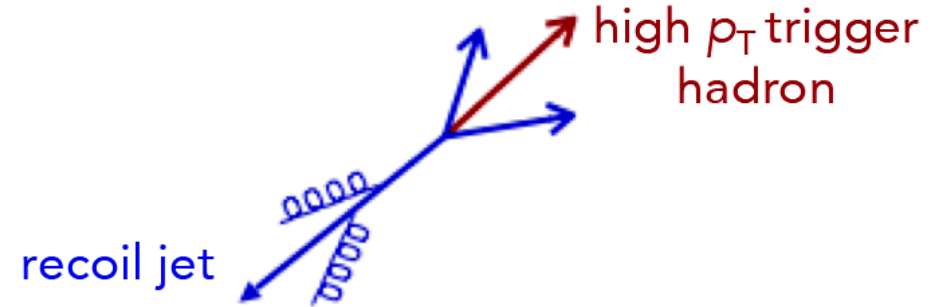
- XeXe \rightarrow Npart skálásértés
- Elliptikus folyás vizsgálata
- Hadrokémia tesztje (termális modellek jól működnek TeV-en is)



Az ALICE jelen kutatási irányai

2) Jet-anyag kölcsönhatás

- A pPb meghatározza a jet elnyomást → ha van is, gyenge elnyomás várható
- R_AA Ultra-periférikus rendszerek és XeXe vizsgálata
- Jet-szerkezet elemzés, D-tagged jetek

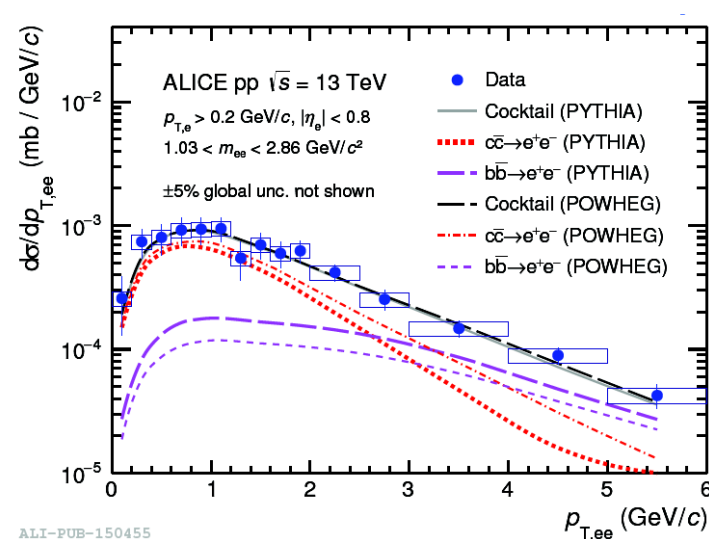
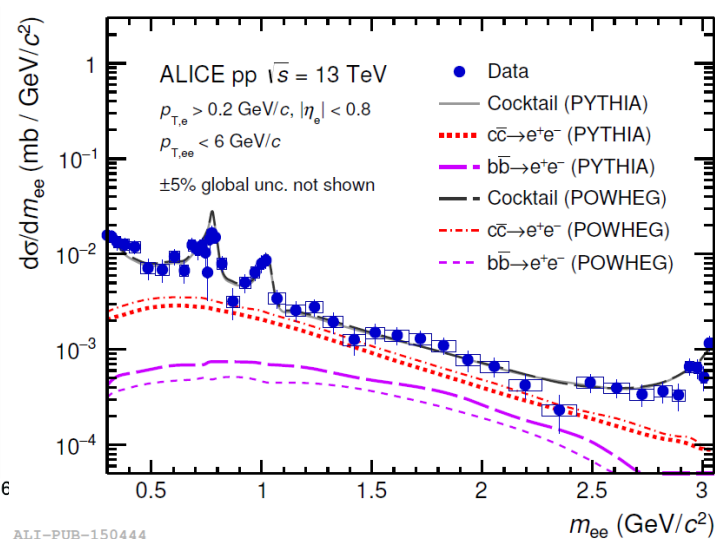
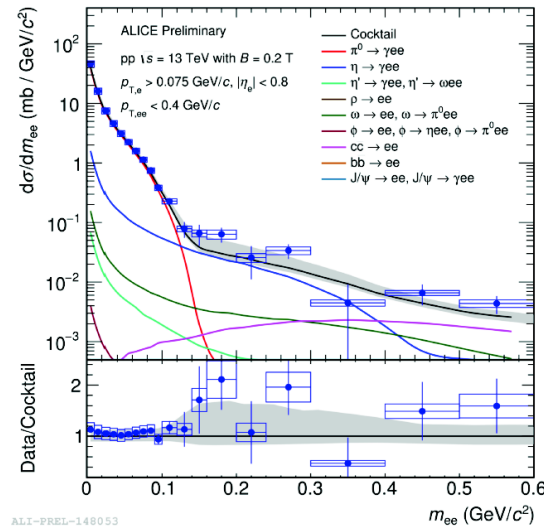
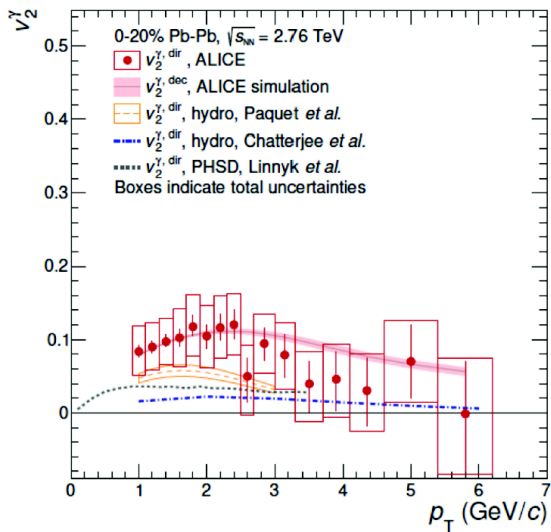


ALI-PREL-158089

Az ALICE jelen kutatási irányai

3) Elektromágneses próbák

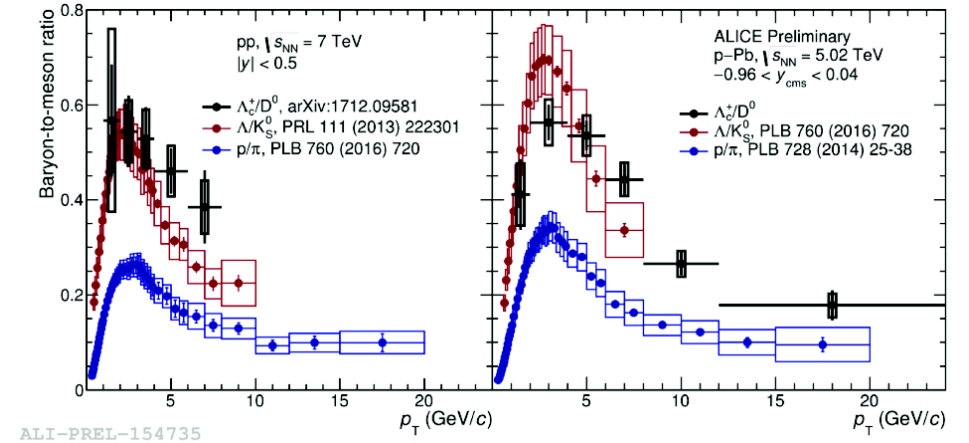
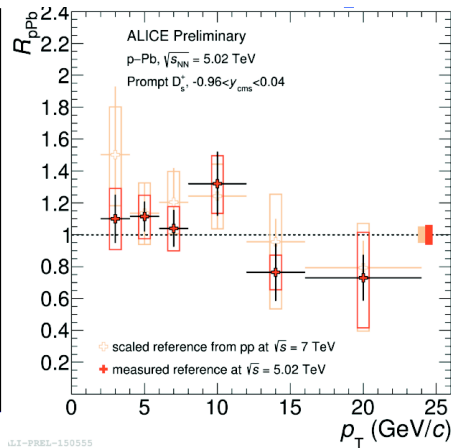
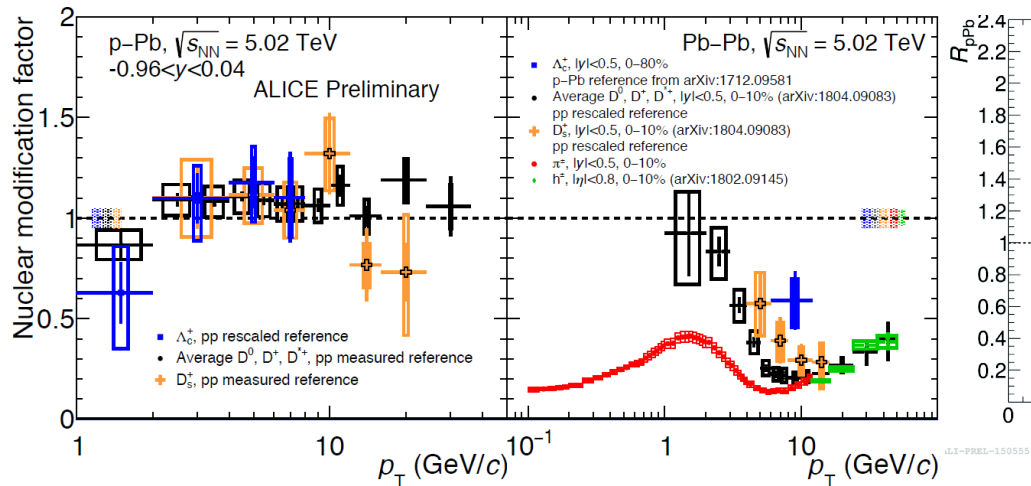
- Direkt foton elliptikus folyás (traszport modellel való egyezés)
- Kis tömegű di-leptonok mérése pp ütközésekben
- Nehéz hadronok mérése di-leptonokkal, pontosabb hátterek



Az ALICE jelen kutatási irányai

4) Vizsgálatok nehéz hadronokkal

- J/psi produkció → pontosabb nPDF
- Upszilon elnyomás mérése
- Rekombinációs modellek ellenőrzése XeXe és PbPb ütközésekben
- D mezon produkció
- Barion/mezon arány a c-szektorban hasonló



Egy kis ALICE történelem...



ALICE
2018

25 years
ANNIVERSARY
1993-2018

A magyar ALICE részvétel története dióhéjban

1990 Prehisztorikus idők

1992 Magyarország @ CERN (J. Zimányi, G. Vesztergombi)

1996 Magyarország @ ALICE (G. Vesztergombi, G. Pála, Z. Fodor)

Name	E-Mail address	Institute/Mail address
J. Schaubert	SMS CERNVM	CERN/EP
H. Satz	SATZ@ CERNVM	CERN-TH
J. Zimányi	HT47.ZIM@ ELLA.WWCP	Central Research Institute for Physics H-1525 Budapest 114, POB 70, Hungary
J. Osterlund	GARBOLO@ SELDC52	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 dióhéjban

2005 Csatlakoztunk az ALICE HMPID csoporthoz

- BGG, Lévai P, Varga D, Hamar G, Novitzky N

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

2009-2013 VHMPID (proto) kollaboráció

- Egy UG javaslat az ALICE HMPID detektorra
- Mexikói-Magyar bilaterális pályázat 2 évre

2015- Új generáció (HMPID és TPC analízis & TPC UG & ITS UG)

- M. Varga-Kőfaragó, Gy. Bencédi (ePLANET) Vértesi R, Harangozó Sz, Bíró G, Berényi D
- ALICE Analízis: 13 TeV pp és 14 TeV adat, b-tagging, hadron-korrelációk

2020- Kutatások a Nagy Leállás 2 után...

- ????

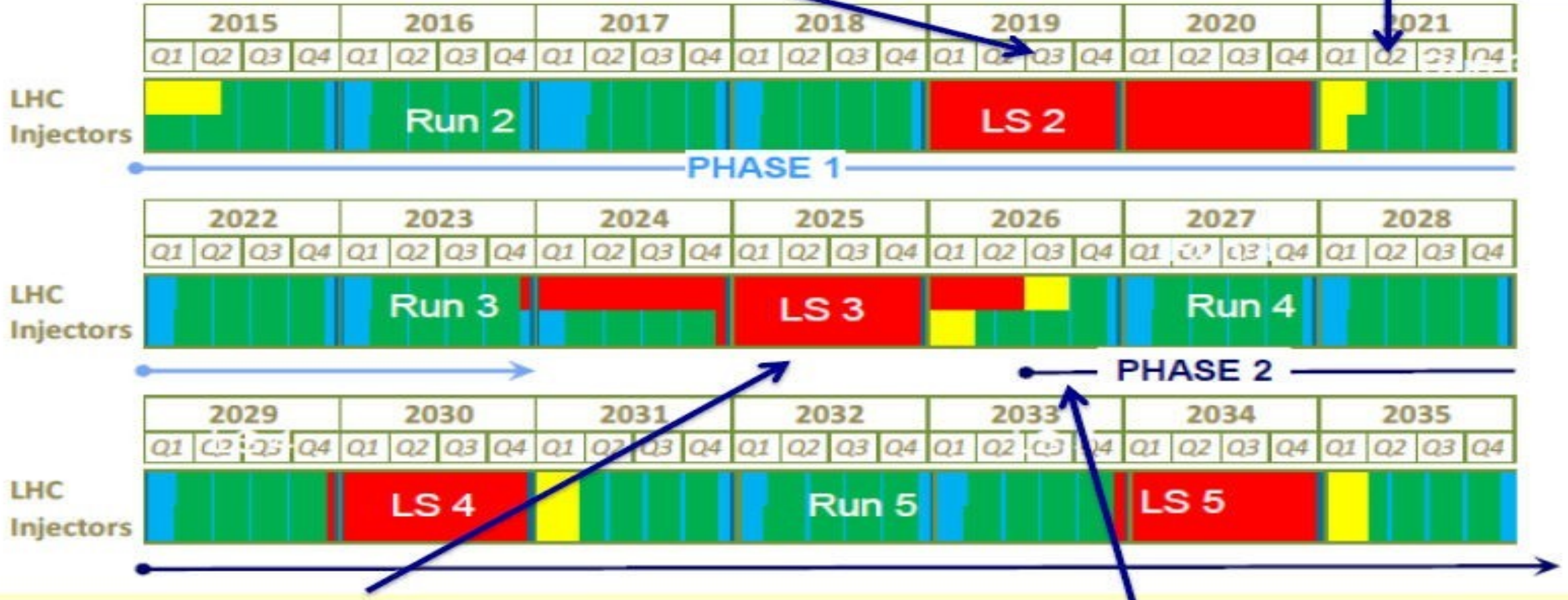
Az LHC Második Nagy Leállás (LS2)

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

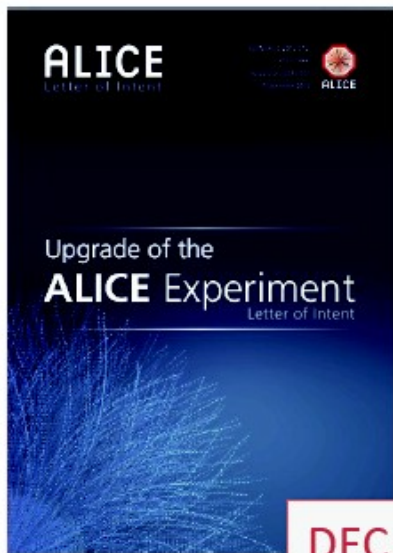
ATLAS, CMS major upgrade

HL-LHC, pp luminosity

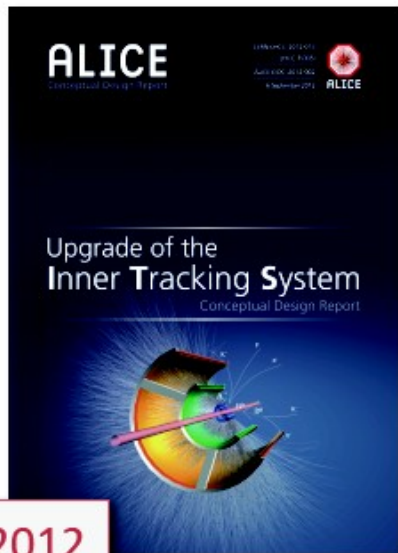
from 10^{34} (peak) to 5×10^{34} (levelled)

Kutatásfejlesztések a CERN ALICE kísérletben

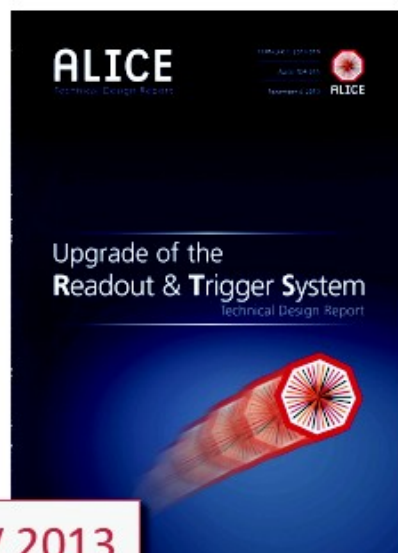
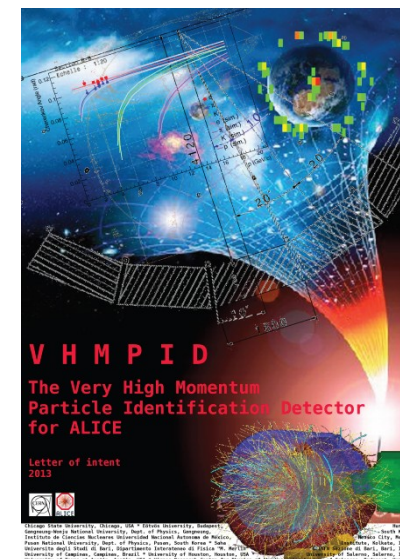
ALICE fejlesztések



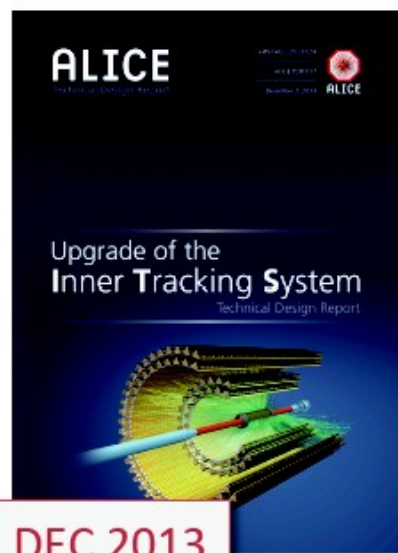
DEC 2012



SEP 2013



NOV 2013



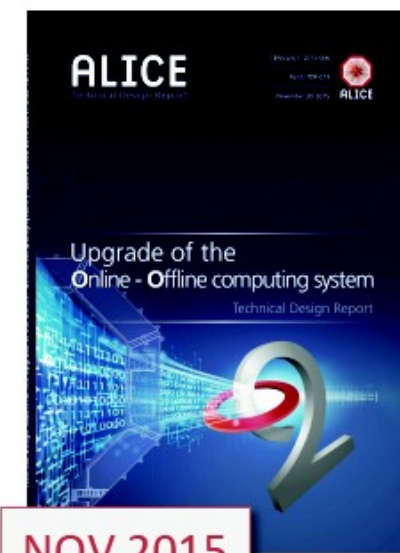
DEC 2013



MAR 2014



MAY 2015

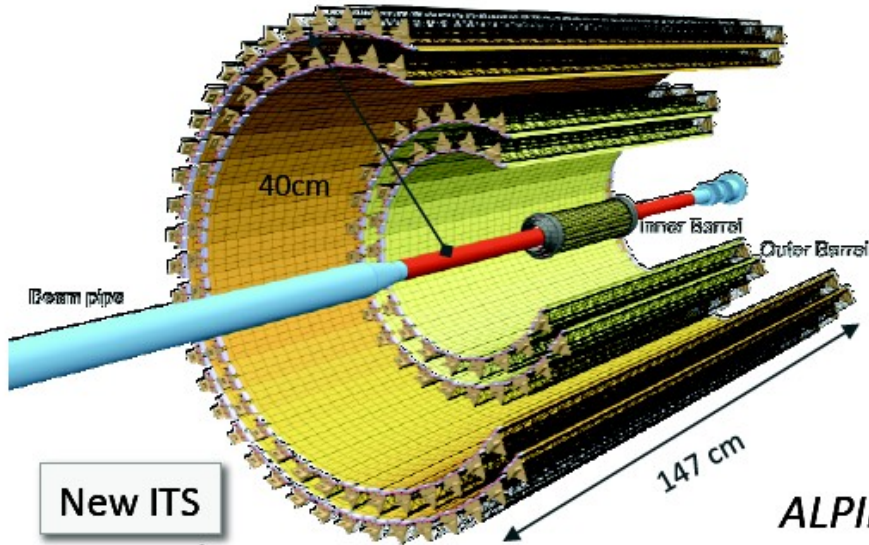


NOV 2015

A new ITS: closer to IP, thinner, higher position resolution



ALICE



New ITS

$1.5 \leq \eta \leq 1.5$

Closer to IP: 39mm → 22mm

Thinner: $\sim 1.14\%$ → $\sim 0.3\%$ (for inner layers)

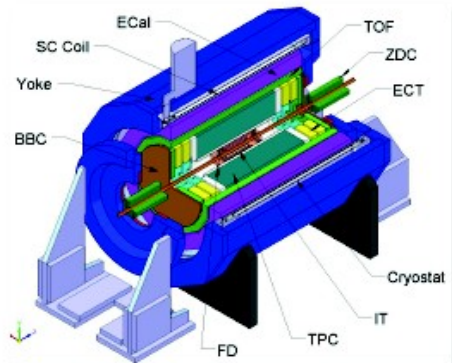
Smaller pixels: $50\mu\text{m} \times 425\mu\text{m}$ → $27\mu\text{m} \times 29\mu\text{m}$

Increase granularity ($\times 10^3$): 20 chan/cm³ → 2k pixel/cm³

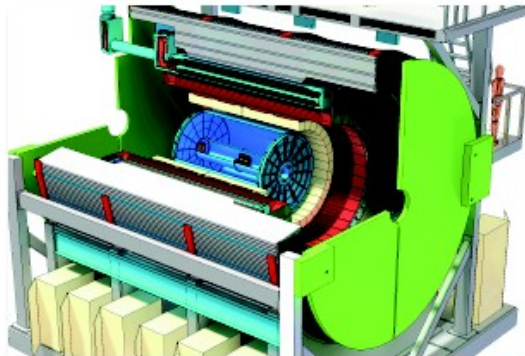
10 m² active silicon area: 12.5 G-pixels, $\sigma \approx 5\mu\text{m}$

ALPIDE (ALICE Pixel Detector) - Developed for the ALICE upgrade (ITS and MFT) will be used (or it is proposed) for several other HEP detectors and non HEP applications

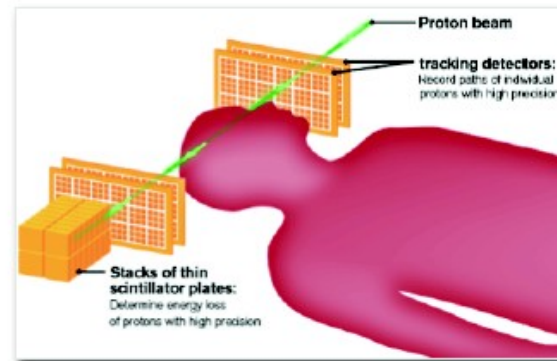
NICA MPD (@JINR)



sPHENIX (BNL)



proton CT (tracking)



CSES – HEPD2



...

ALICE fejlesztések: Új szilikon-pixel detektor

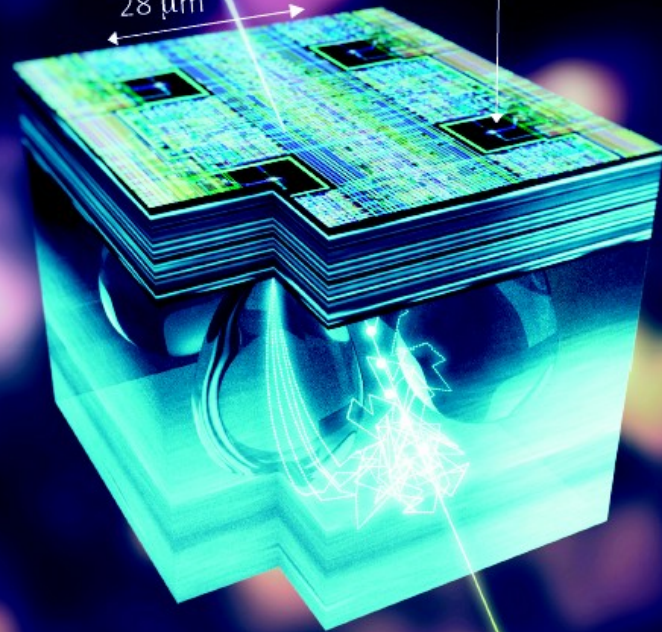
R&D: CERN, CCNU, IPHC, INFN, IRFU, NIKHEF, Yonsey

2 x 2 pixel volume

0.3 pJ / bit

28 μm

collection electrode



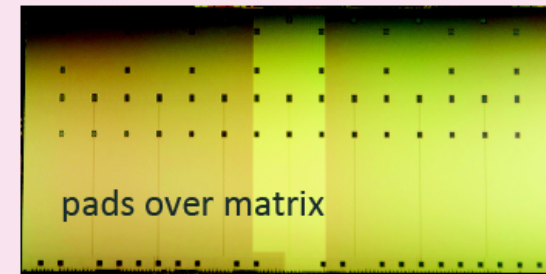
$C_{in} \approx 5 \text{ fF}$

$Q_{in} \text{ (MIP)} \approx 1300 \text{ e} \Rightarrow V \approx 40 \text{ mV}$

ALPIDE

30mm

IB: 50 μm thick



15mm

pads over matrix

130,000 pixels / cm^2 27x29x25 μm^3

spatial resolution $\sim 5 \mu\text{m}$

max particle rate $\sim 100 \text{ MHz} / \text{cm}^2$

fake-hit rate: $< 10^{-9}$ pixel / event

ALPIDE with modified CERN/Tower process:

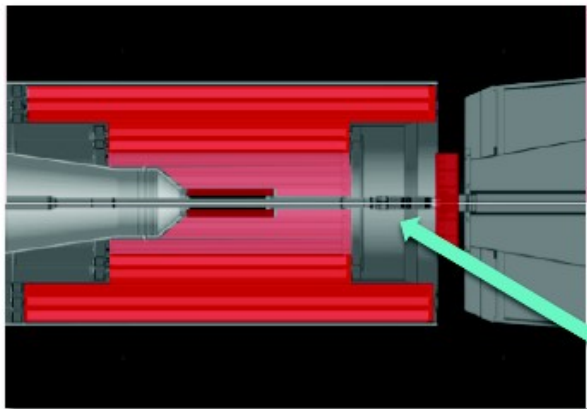
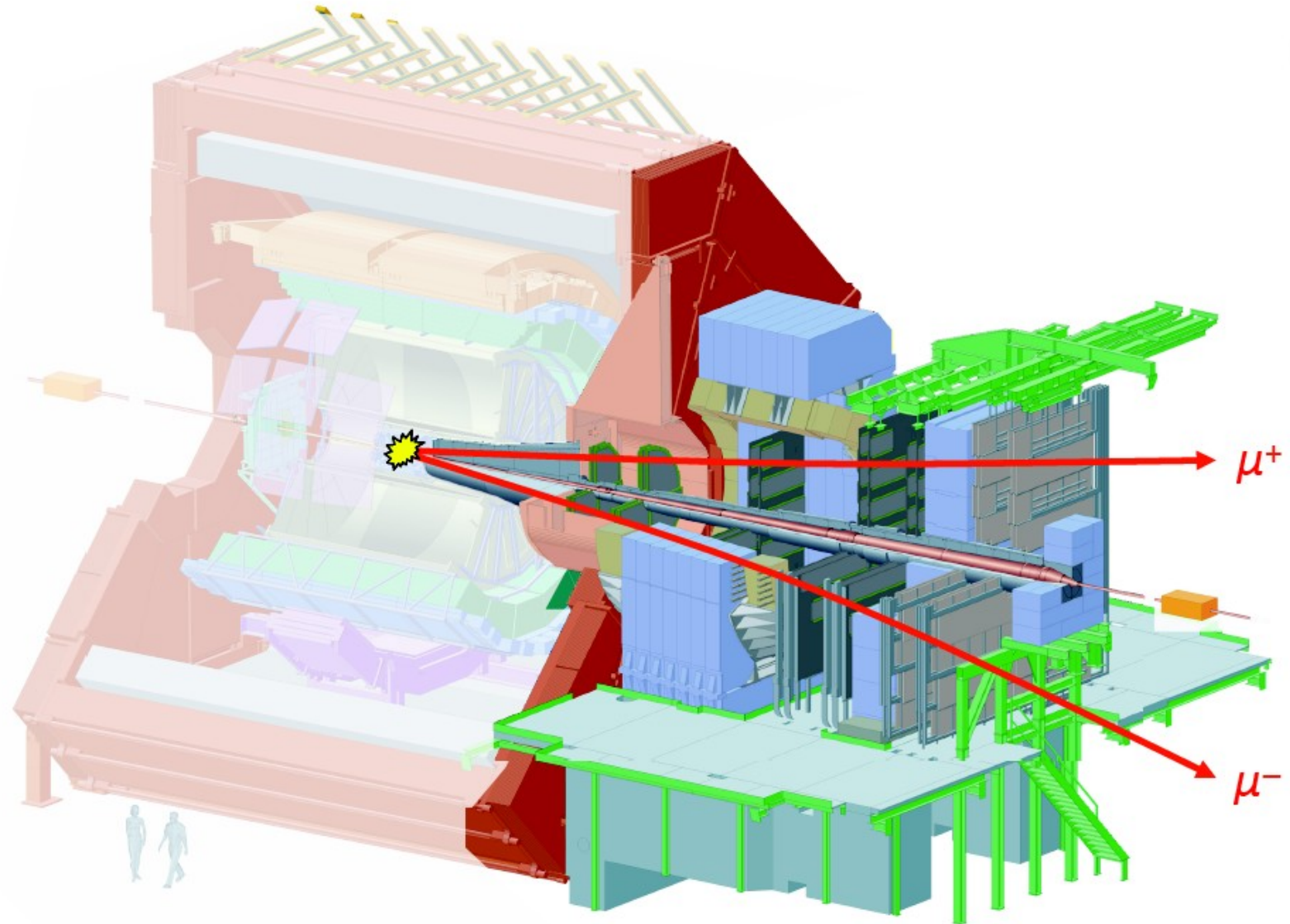
$\Rightarrow 10^{15} \text{ n/cm}^2$ (HL LHC, 2000/fb, $r > 15 \text{ cm}$)



Muon Spectrometer

- Hadron Absorber
- Dipole Magnet
- 10 tracking chambers
- Iron wall
- 4 trigger chambers

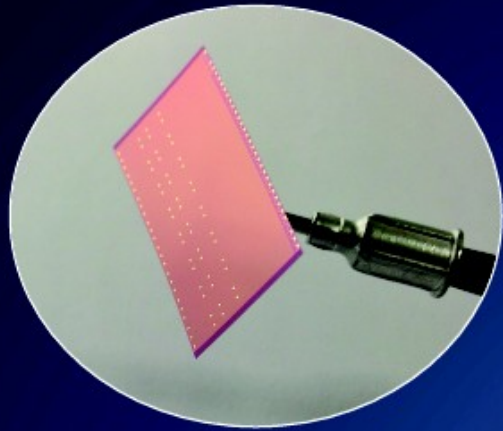
$$-2.5 < \eta < 4.0$$



.... add a silicon pixel telescope

MFT development ... a strong “synergy” with the ITS

5% of the ITS surface, twice the ITS inner barrel



same pixel chip

... and much more

B^+

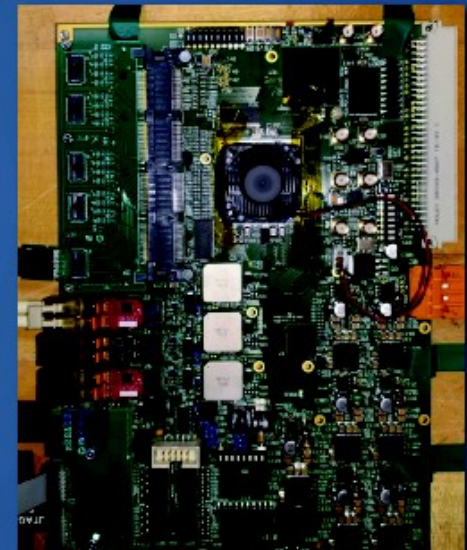
J/ψ

K^+

μ^-

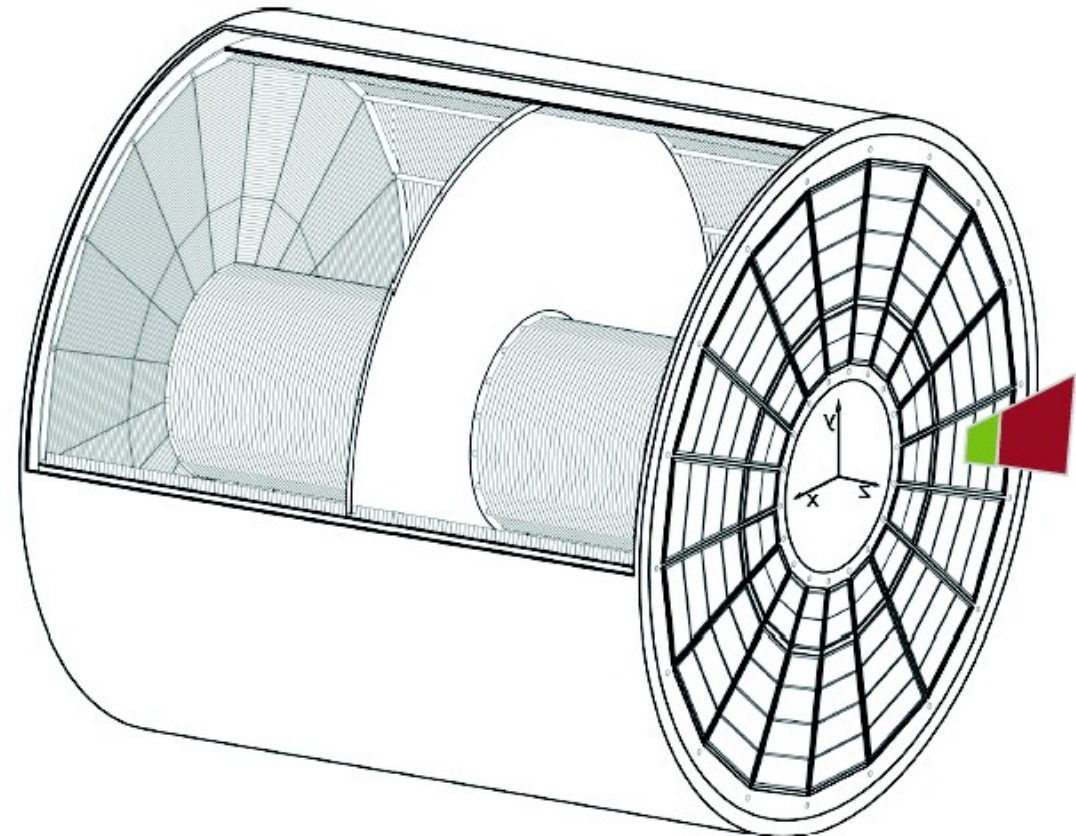
μ^+

same readout

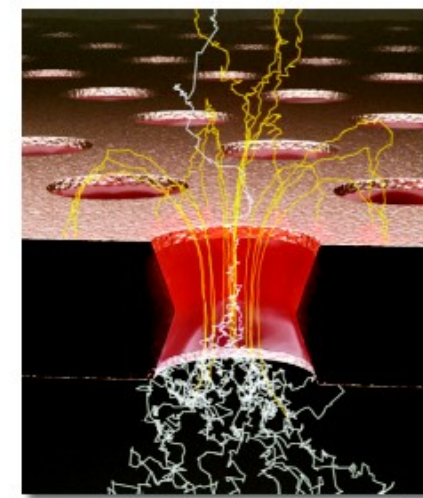
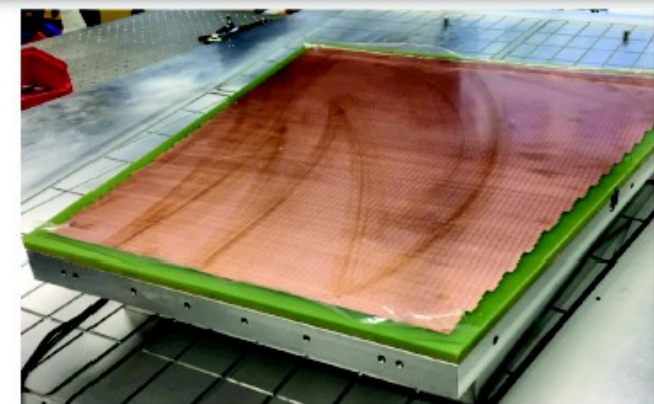
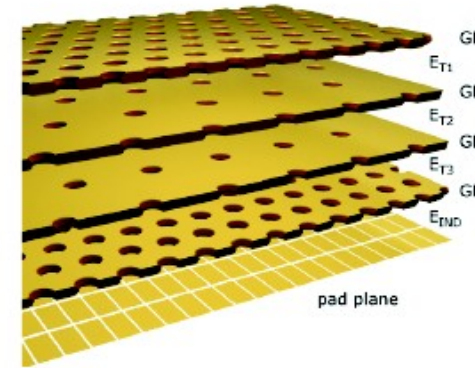
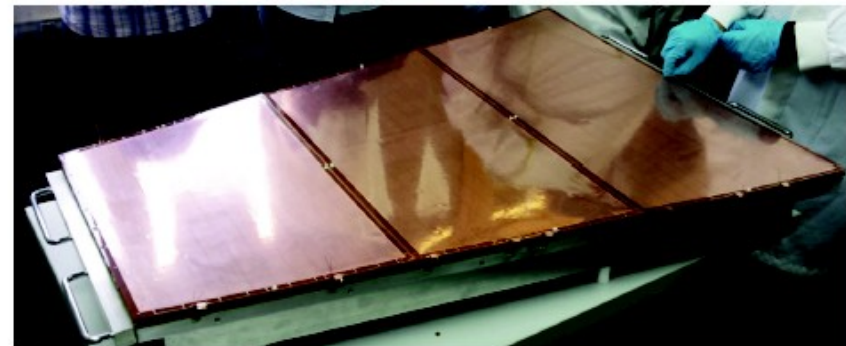


Gate-less TPC for continuous readout

Operate TPC at 50 kHz \Rightarrow no gating grid
Need to minimize IBF \Rightarrow Replace MWPC with 4-GEMs
100 m² single-mask foils GEM production



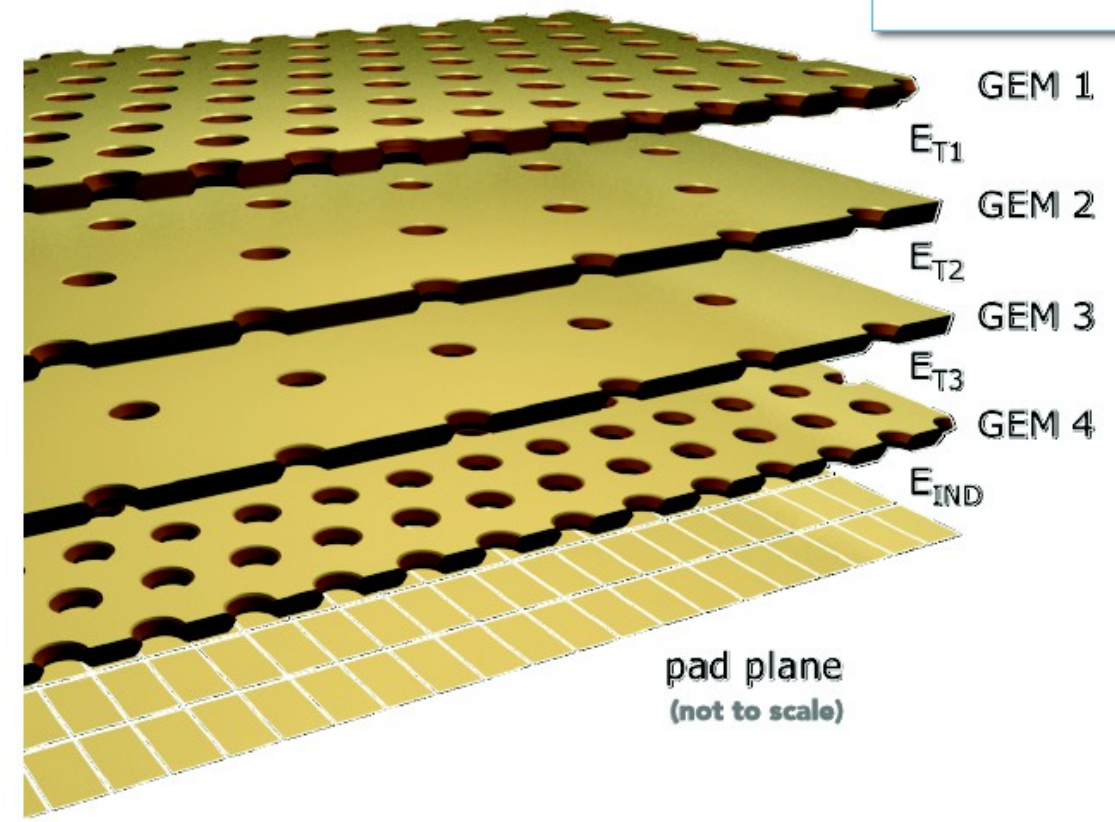
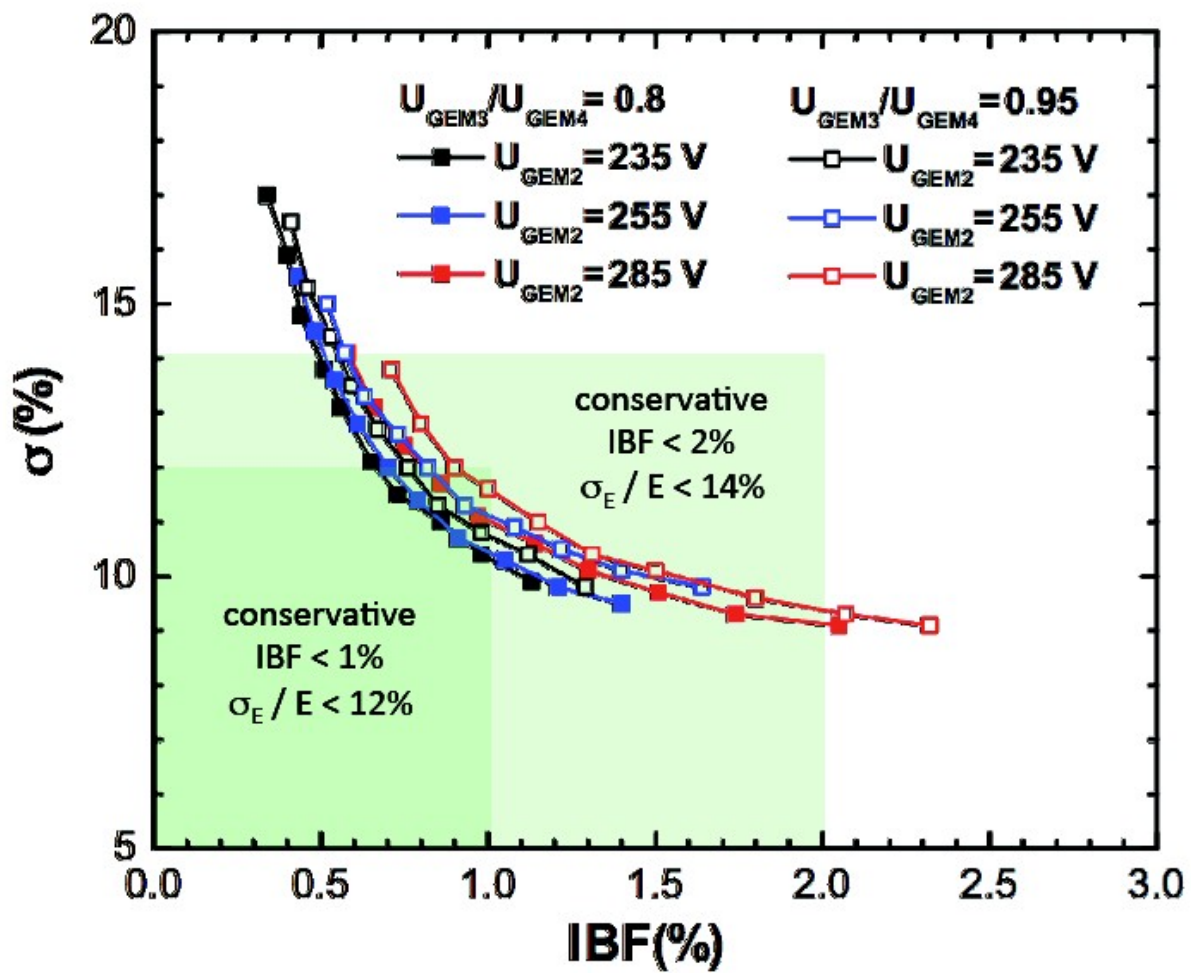
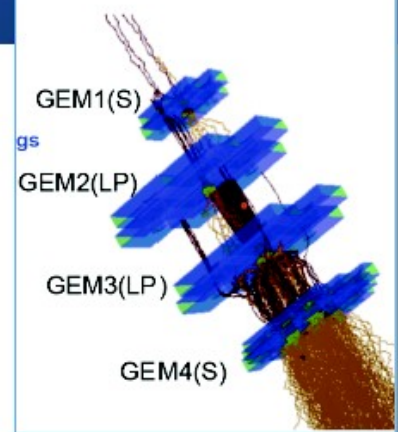
Read Out Chamber



\Rightarrow GEM provides ion backflow suppression to $< 1\%$
 \Rightarrow 524 000 pads readout continuously (10bit x 5MSPS) via 6552 links \Rightarrow 3.4 TByte/sec

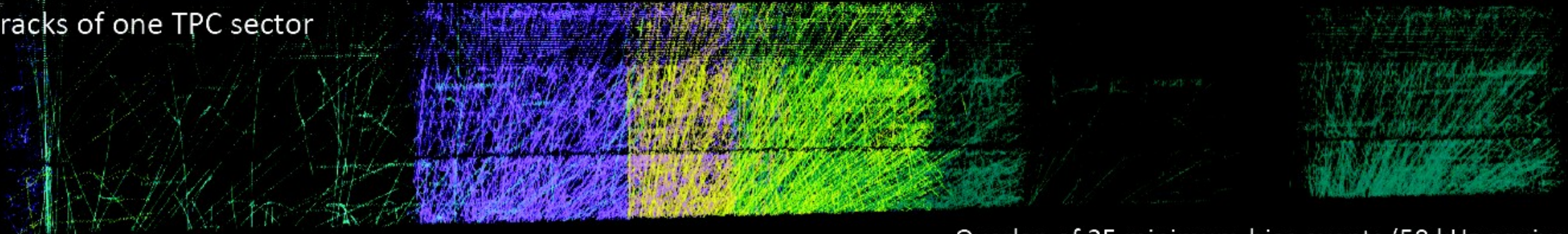
Quadruple GEM Stack (S-LP-LP-S configuration)

To get IBF < 1% (on a real device) is very tricky !





Tracks of one TPC sector



Overlap of 25 minimum-bias events (50 kHz equivalent rate)

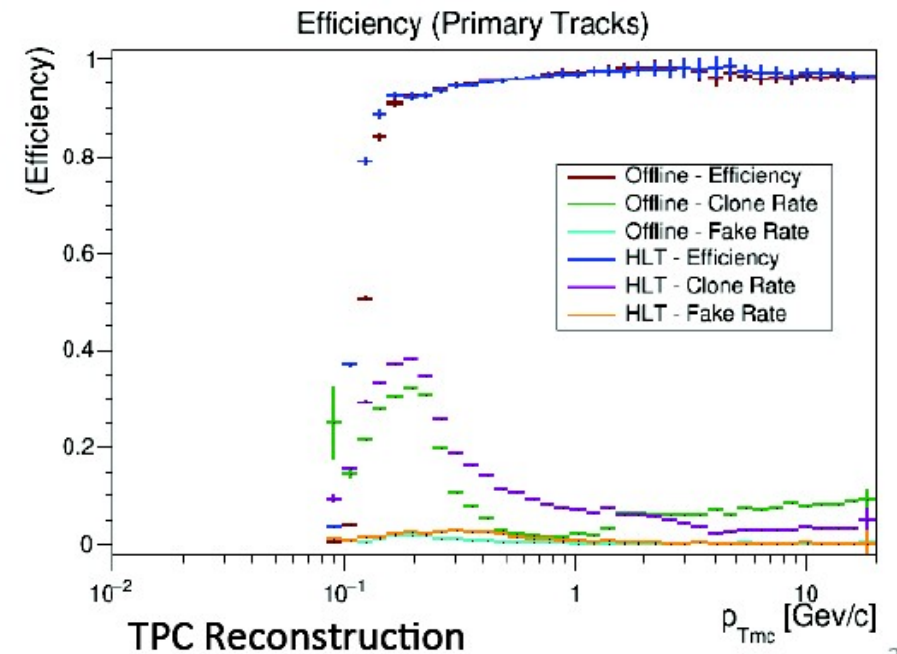
R&D and software framework mostly driven by online/offline calibration, reconstruction and compression of TPC data

Continuous stream of triggerless data

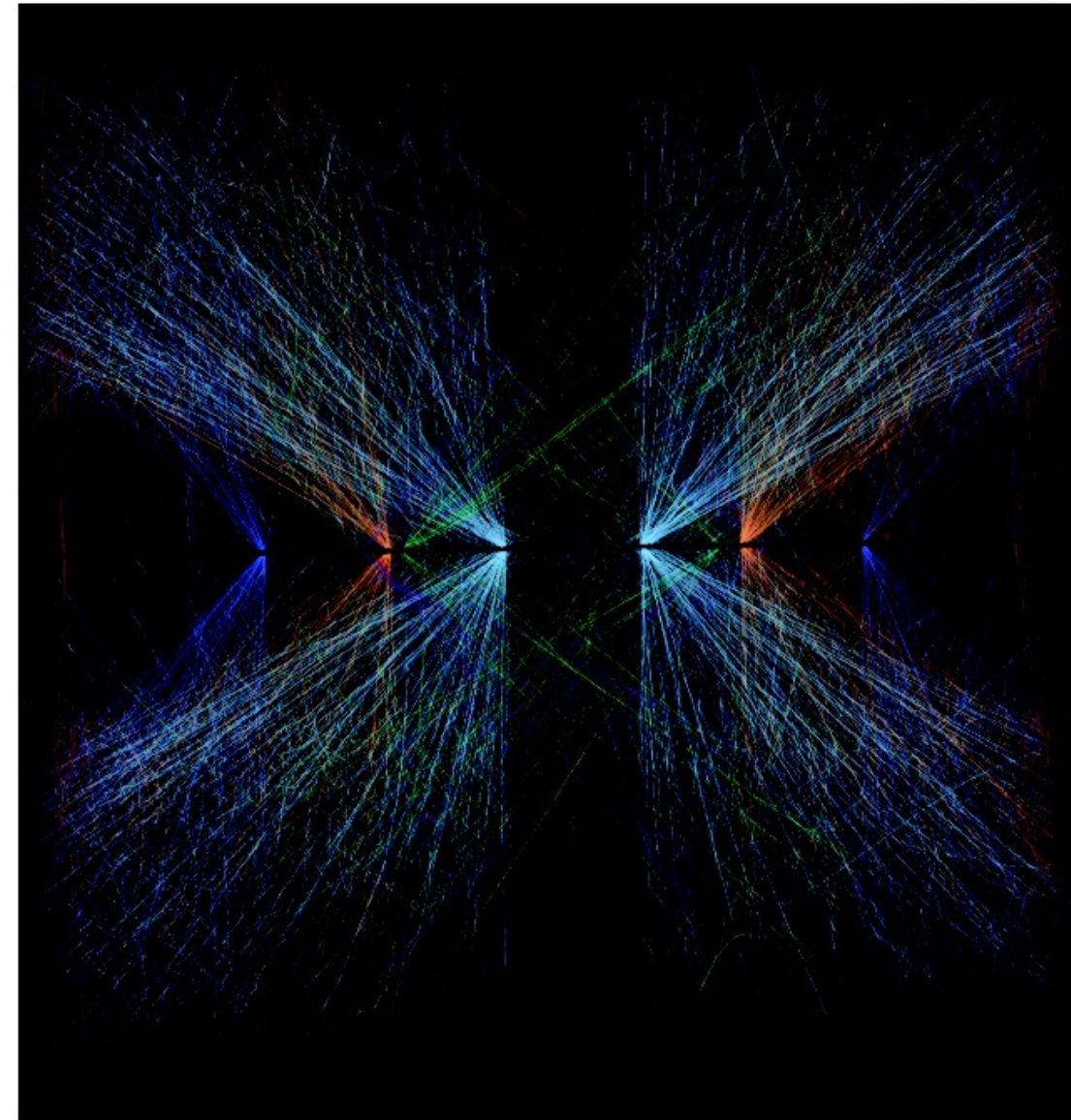
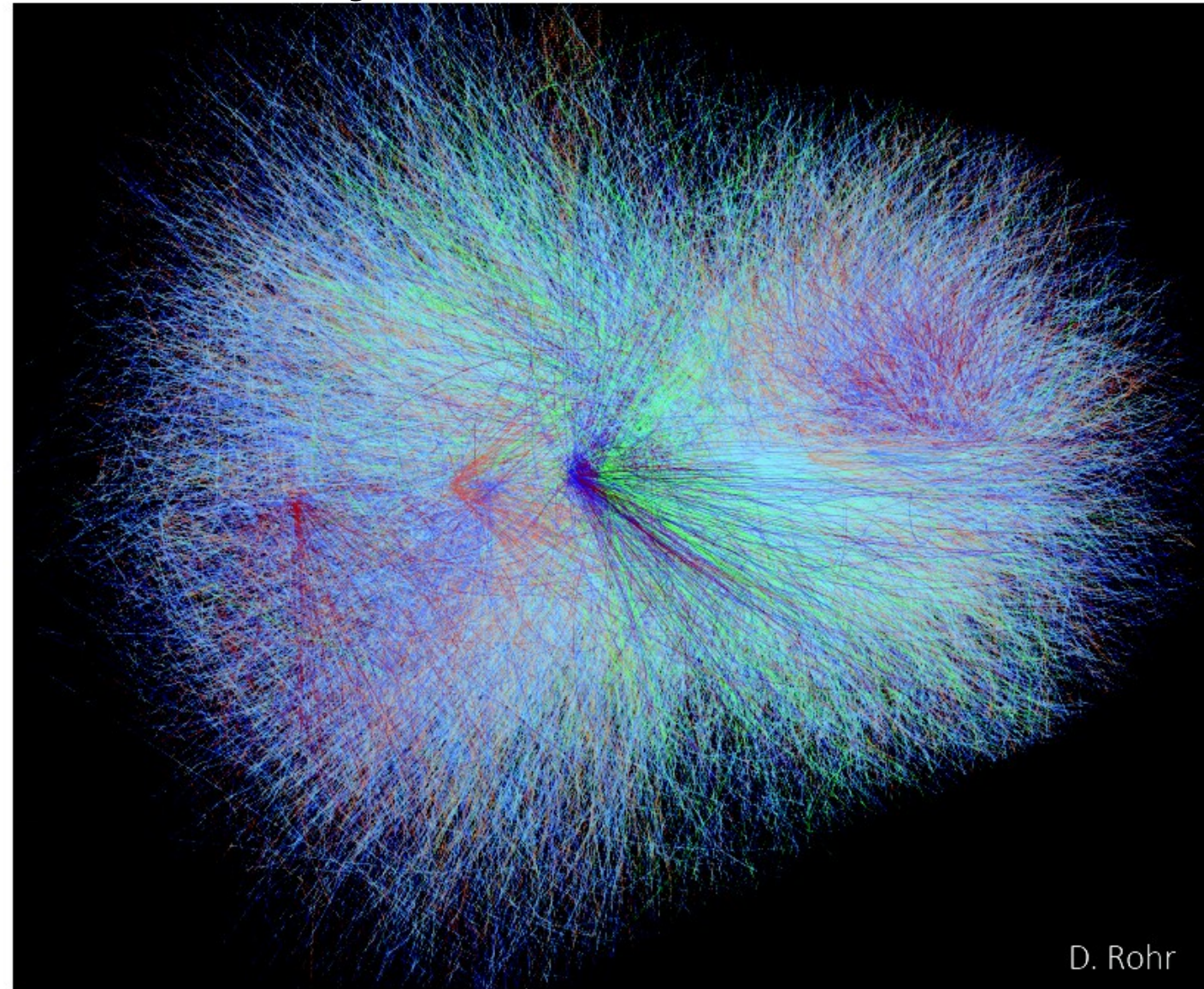
- High pile-up and occupancy
- Absence of T0 to convert TPC drift time into z coordinate
- Correction of large drift field distortions due to space-charge

⇒ Very complex calibration and reconstruction tasks

⇒ Very demanding in terms of computing resources



ALICE fejlesztések: 30kHz PbPb felbontás

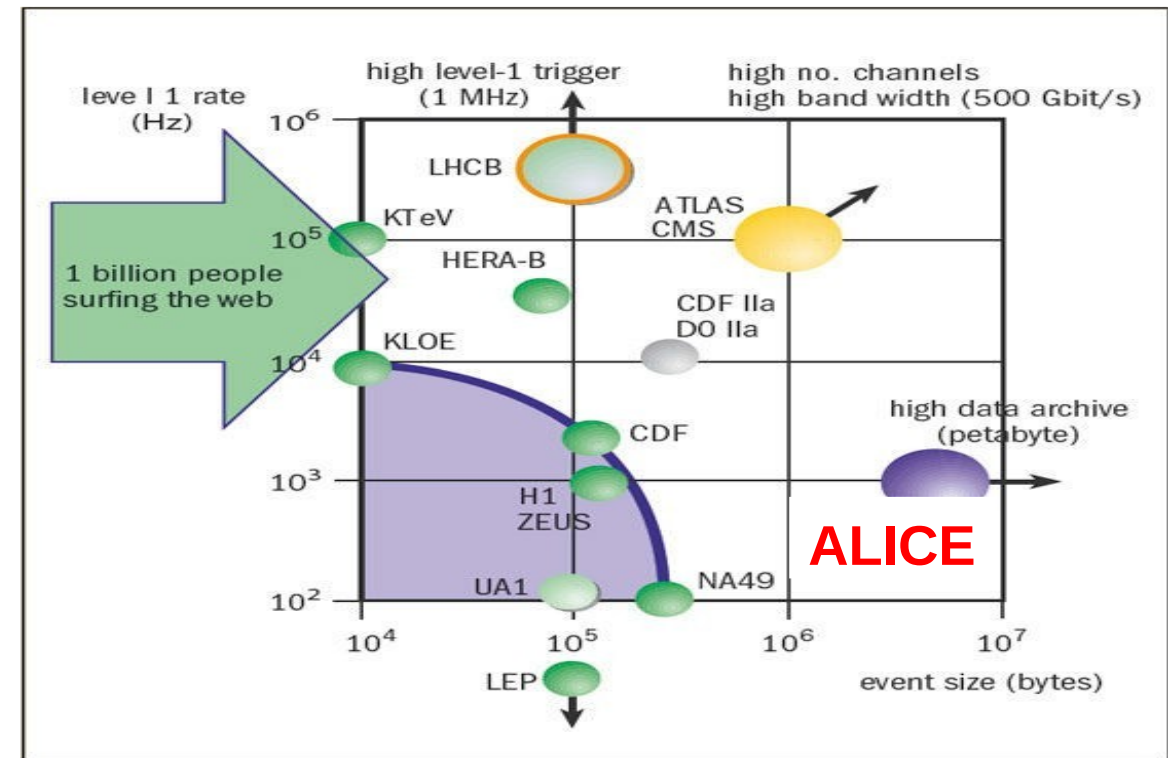
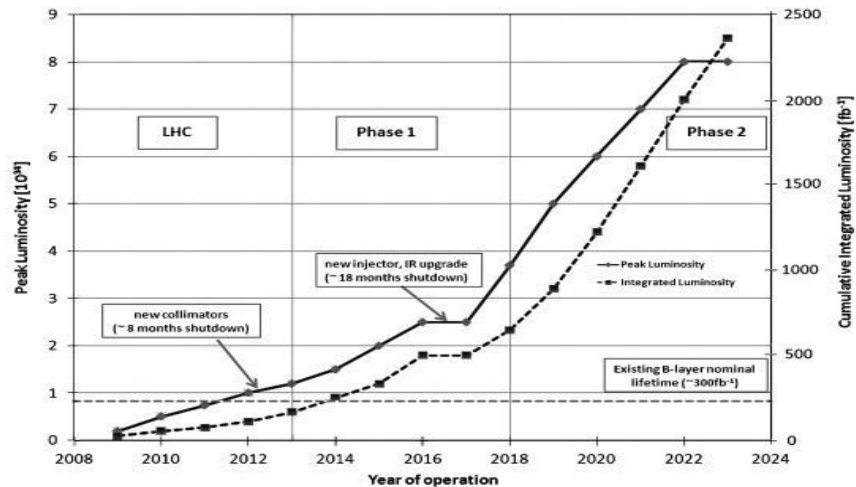


Megnövekedett luminozítás DAQ fejlesztés

- ALICE adatgyűjtő rendszere K+F:

Nehézion események

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



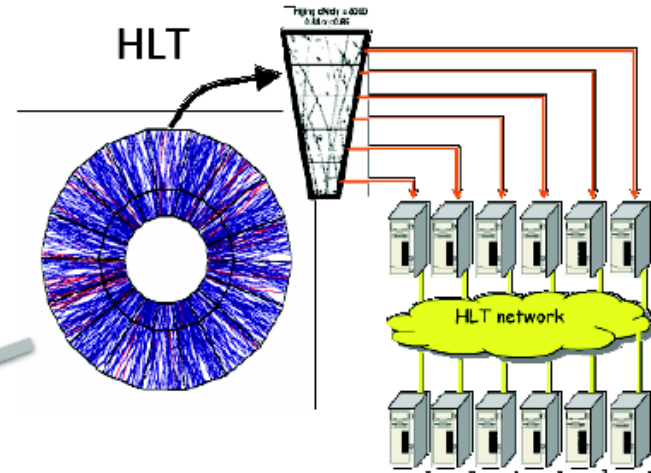
DAQ, HLT and Offline merge into a single project



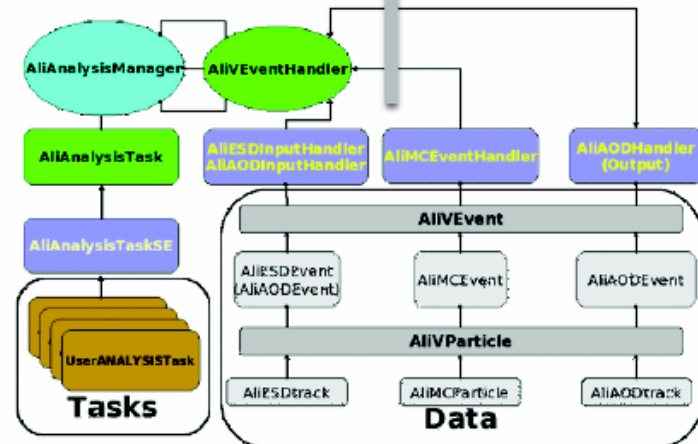
ALICE



Online



Offline



Online-offline (O^2) – A new concept for new requirements

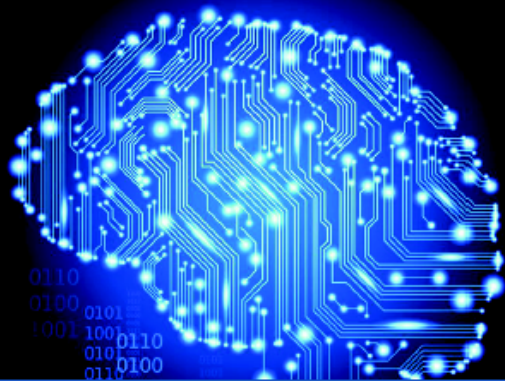


ALICE



New computing system

- Read-out the data of all interactions
- Compress data intelligently after online reconstruction
- One common online-offline system: O^2
- Online farm integrated in the Grid



x 100 data readout and processing

Raw data to online farm in continuous mode

HI run 3.4 TByte/s

Data reduction by zero (cluster) suppression.
No event discarded

500 GByte/s

Data reduction after online tracking
Only reconstructed data to storage

100 GByte/s

Data Storage - 1 year of compressed data

Tier0, Tier 1 and
Analysis Facilities

Asynchronous event
reconstruction with
final calibration

Detector FEE
8500 GBT links

270 First-Level
Processors (FLPs)

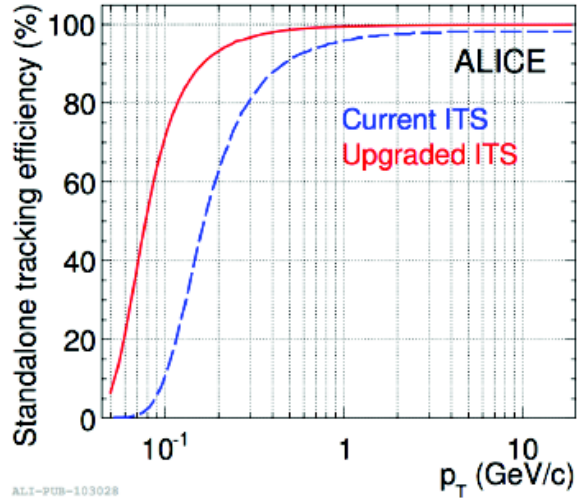
Switching Network

1500 Event Proc.
Nodes (EPNs)

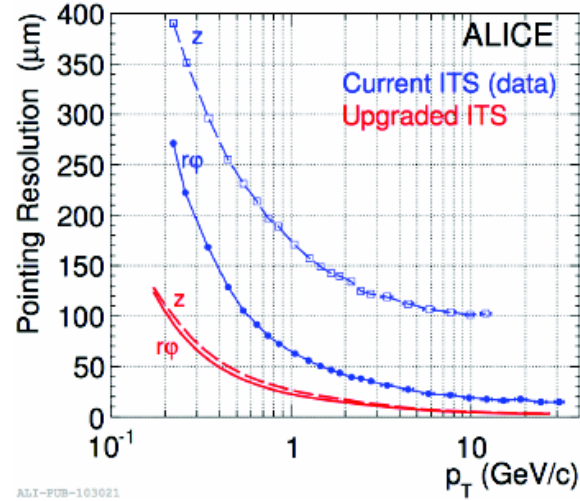
Switching Network

Write 120 GB/s
Read 45-75 GB/s
Capacity: tbd

A detektor-hatásfok javulása

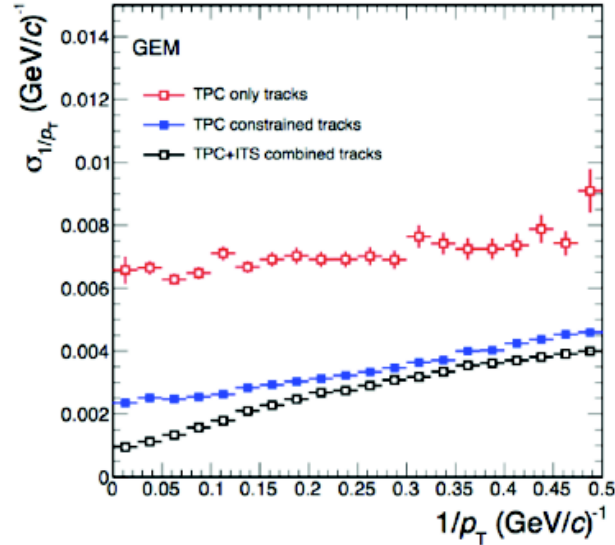
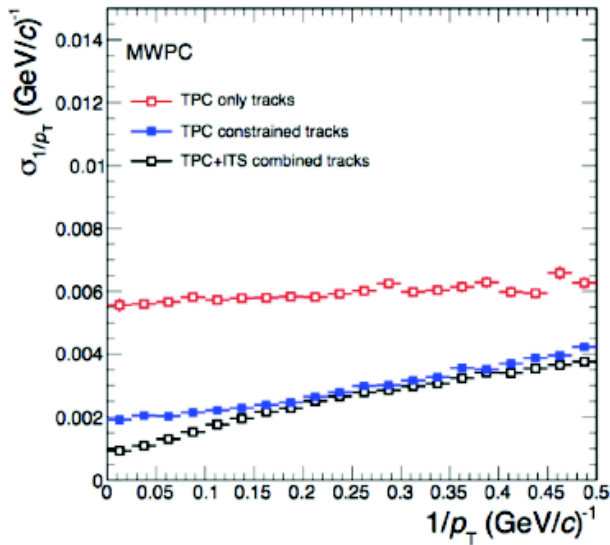


ALICE-PUB-103028



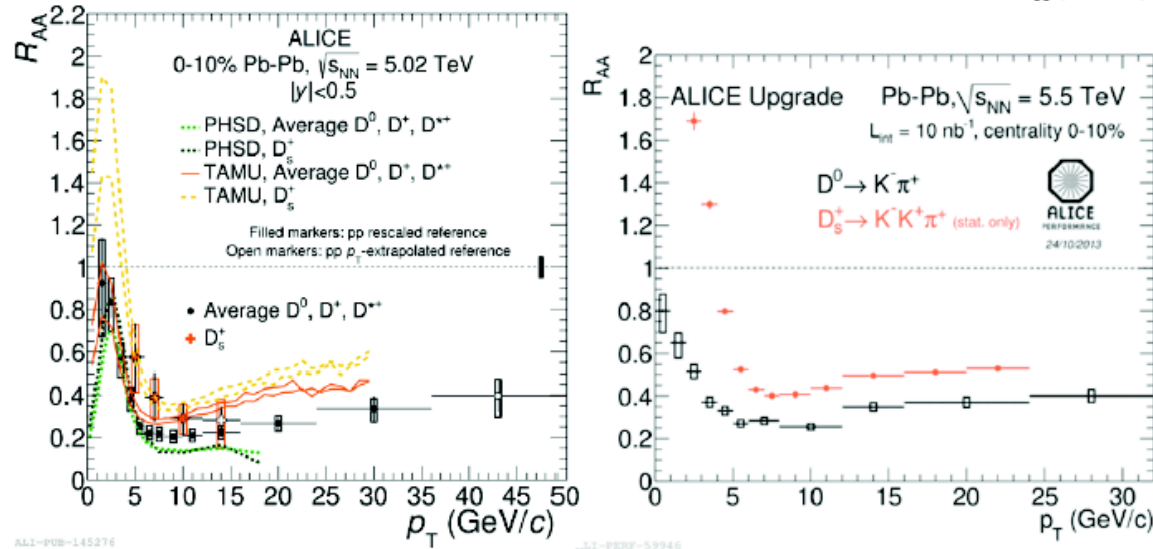
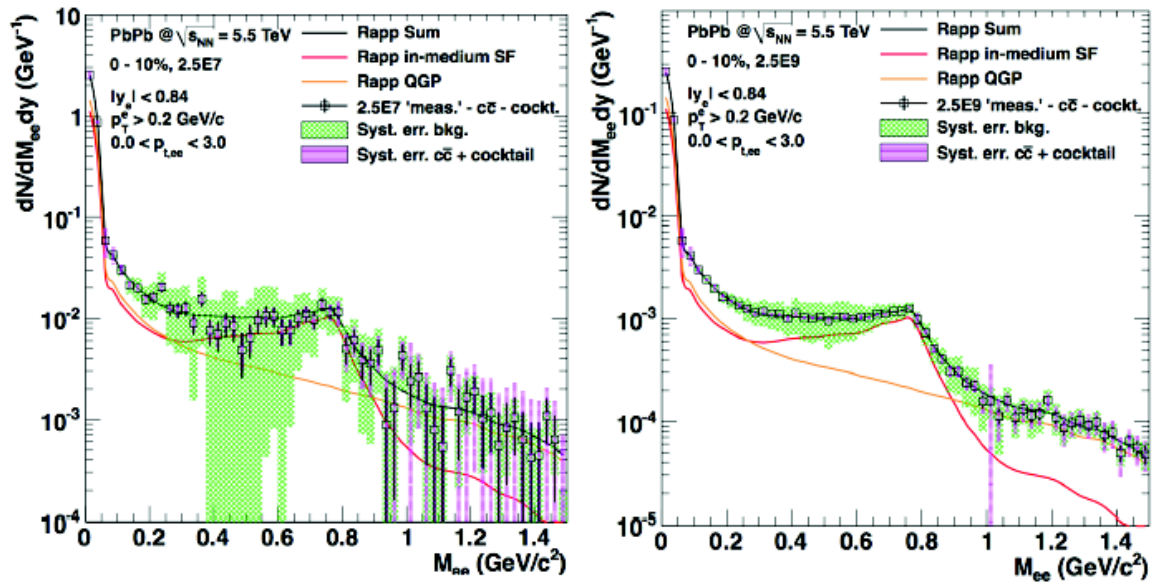
ALICE-PUB-103021

- **New ITS**
 - Improved tracking efficiency
 - Improved tracking resolution
 - Pointing resolution $\times 3$ better in transverse plane ($\times 6$ along beam)



- **New TPC Readout Chambers (GEM):**
 - Preserve momentum resolution for TPC + ITS tracks
 - Preserve particle identification via dE/dx ([arXiv:1805.03234](https://arxiv.org/abs/1805.03234), submitted to NIM A)

A fizikai mérések pontosságának javulása



- **Low Mass di-electrons**

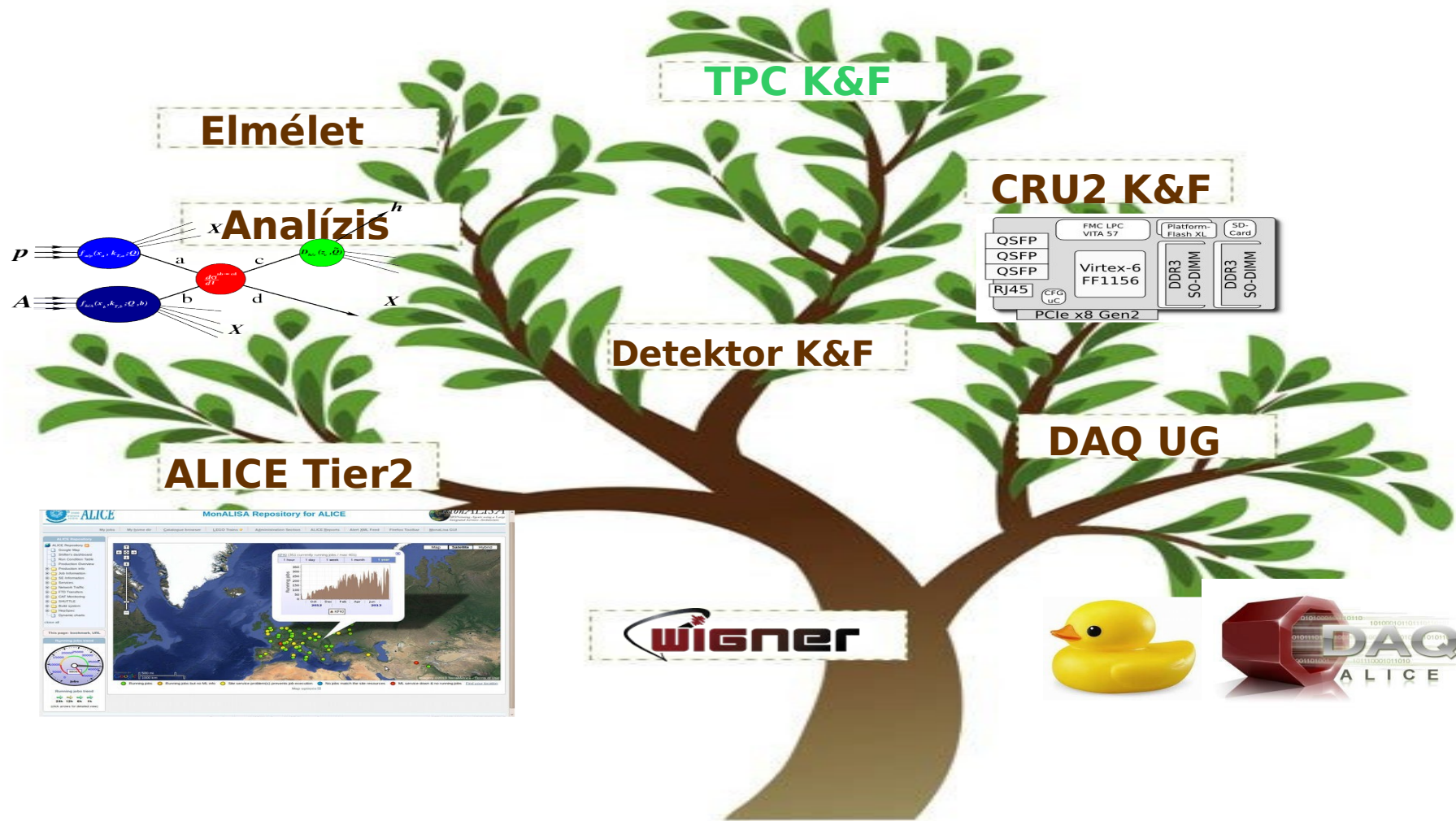
- Initial temperature from EM radiation
- Cocktail-subtracted distributions $|\eta| < 0.9$
- Improved uncertainty figures in Run 3 and 4

- **D^0, D^+, D_s production**

- Measure R_{AA} with percent-level precision down to low p_T
- Precise comparison between strange and non-strange D mesons

Részvétel az ALICE detektor fejlesztésében (2016-2020)

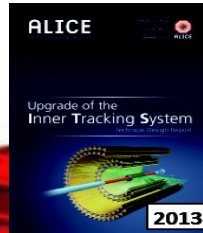
A Magyar részvétel az ALICE kísérletben



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

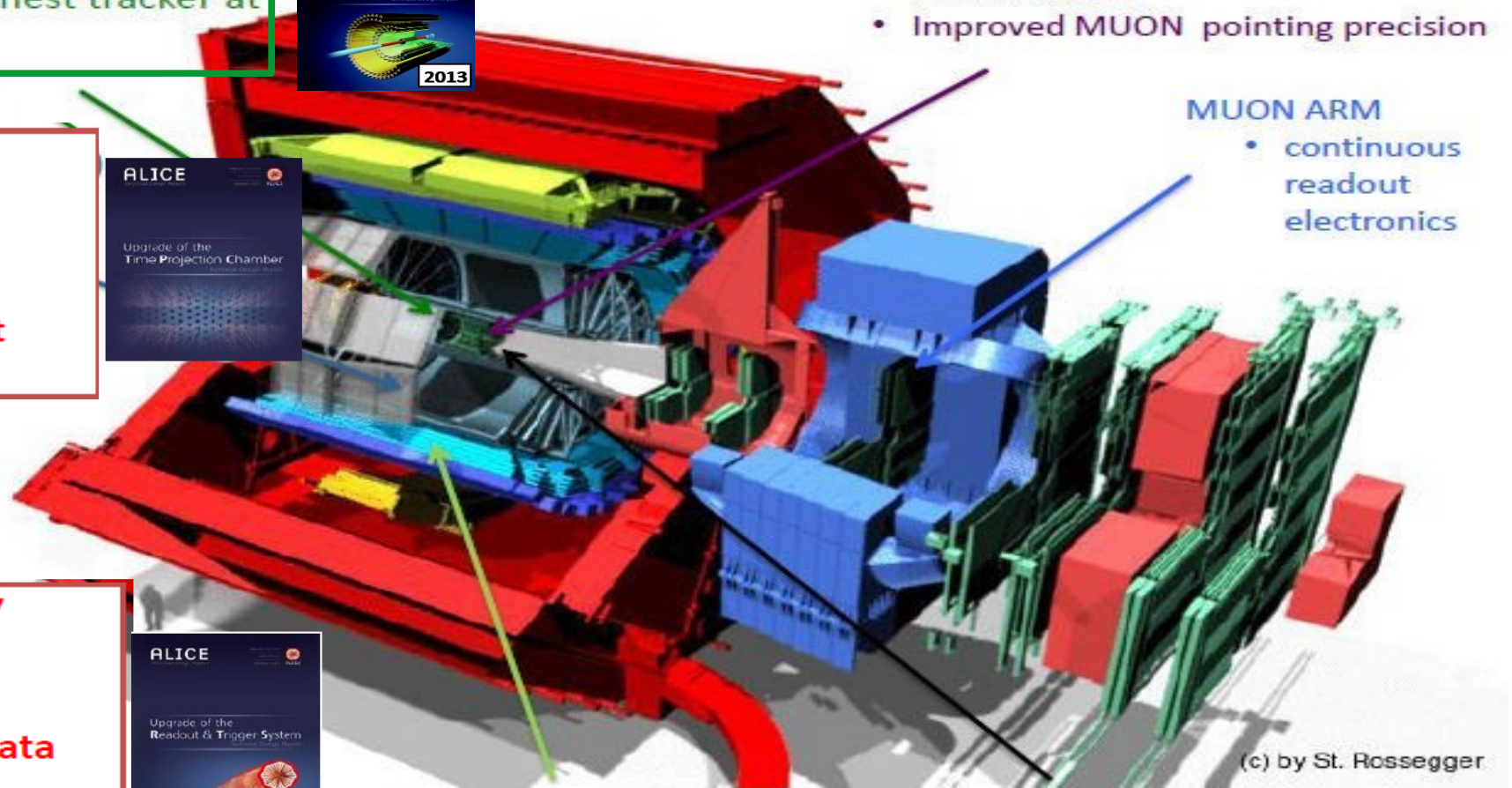


Muon Forward Tracker (MFT)

- new Si tracker
- Improved MUON pointing precision

MUON ARM

- continuous readout electronics



TOF, TRD

- Faster readout

New Trigger Detectors (FIT)

(c) by St. Rossegger

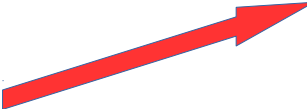
A világ legnagyobb GEM-alapú időprojekciós kamrájának (TPC) kutatásfejlesztése és építése

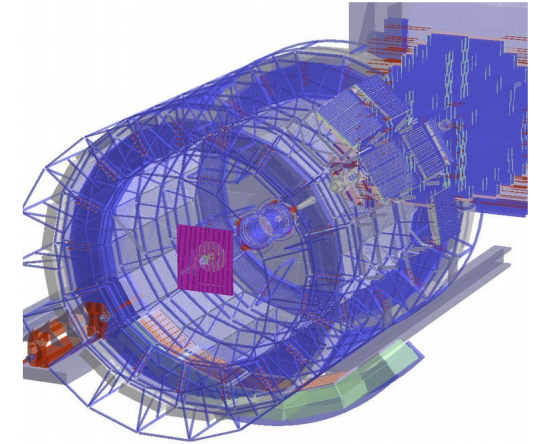
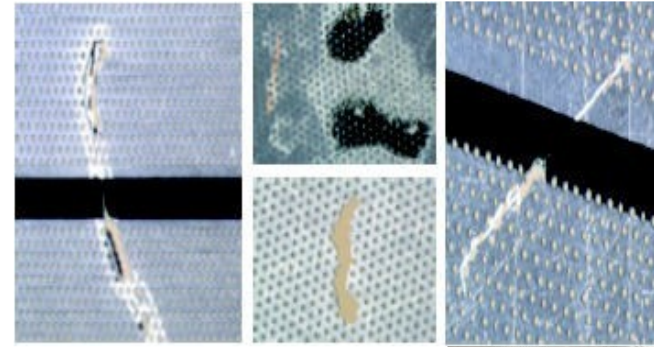
ReGaRD & Innovatív Gázdetektorok “Lendület” Kutatócsoport

Varga D (PI) Boldizsár L, Hamar G, Oláh L, Gera Á, Kapás K, Vargyas M.



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

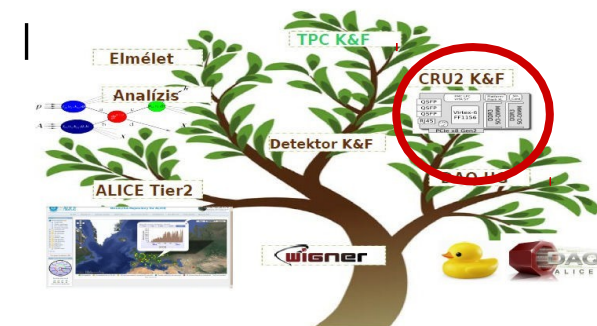
- GEM: Gázelektron Sokszorozó
Varga Dezső: ReGaRD & Lendület
Innovatív Gázdetektorok Kutatócsoport
- Magyar ALICE Csoport:
 - Fóliák minőség-ellenőrzése
 - Tárolás, tisztítása, dobozolása
 - GEM optikai szkennelés
 - Erősítés vizsgálata (R&D)
- **2019 Szeptember...**
Összeszerelés @ CERN 



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

Wigner DAQ Csoport & Wigner GPU Laboratory

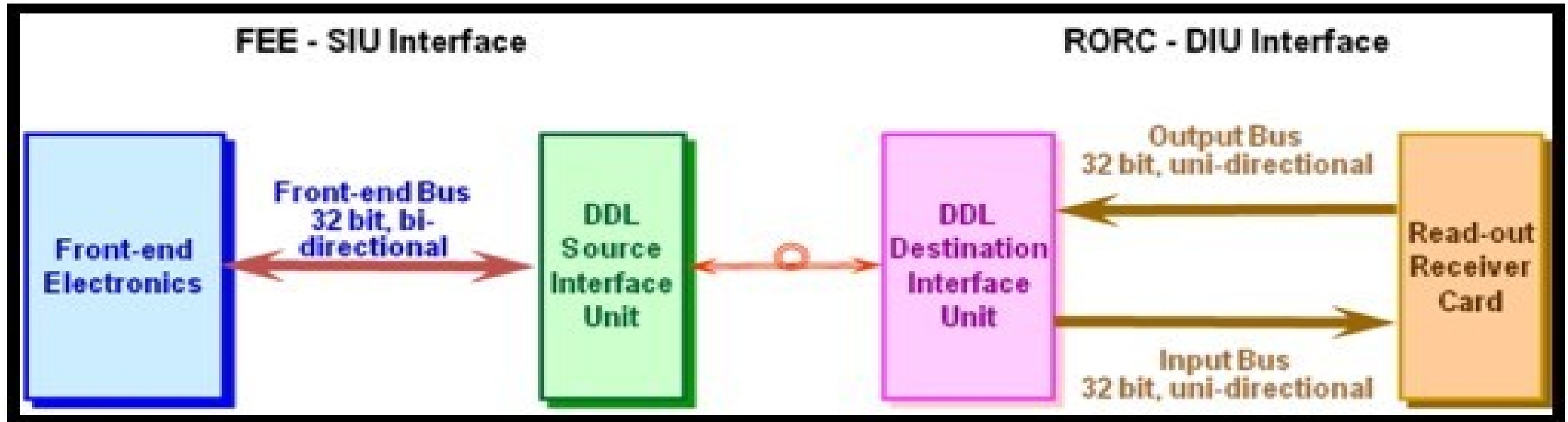
Imrek J, Dávid E, Kiss T, Biró G, Nguyen TM, Tölyhi T,



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)



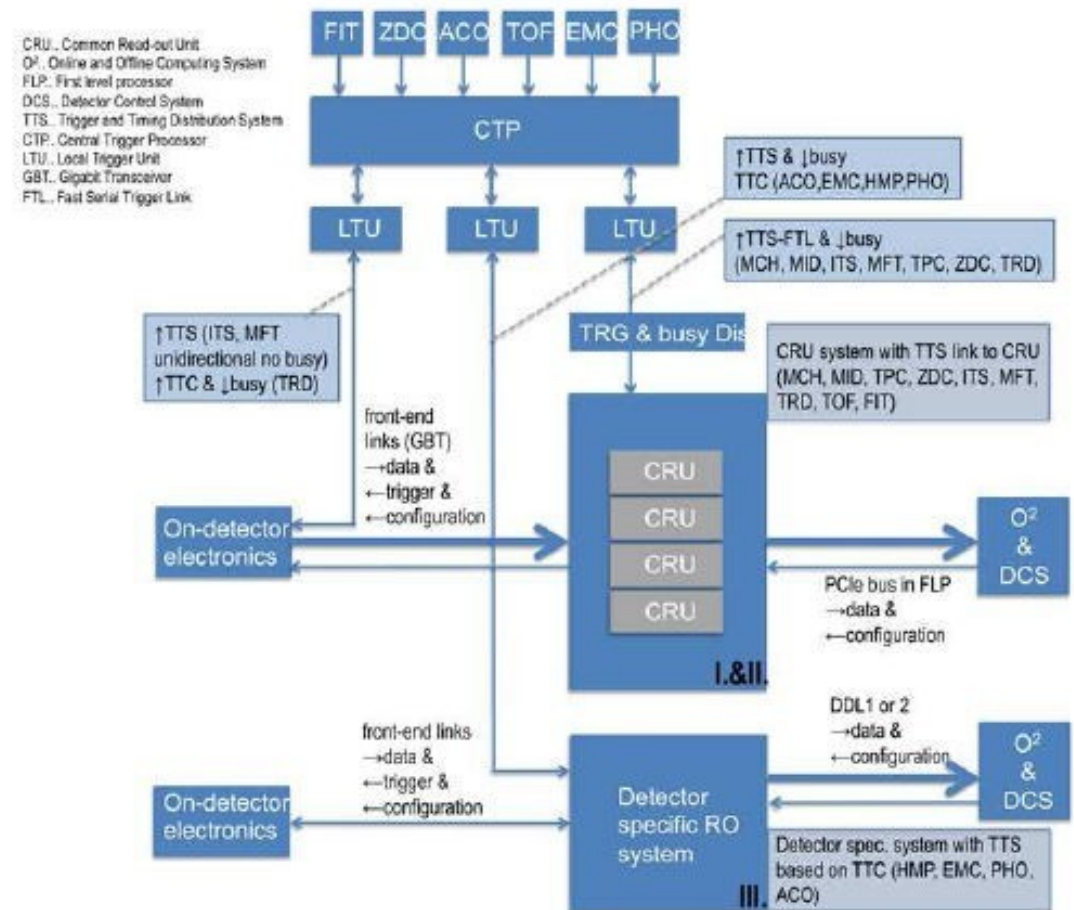
Magyar részvétel az ALICE kísérletben: Adatgyűjtő rendszer (DAQ)

- 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 Tb/s vagy akár 4,48 Tb/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.

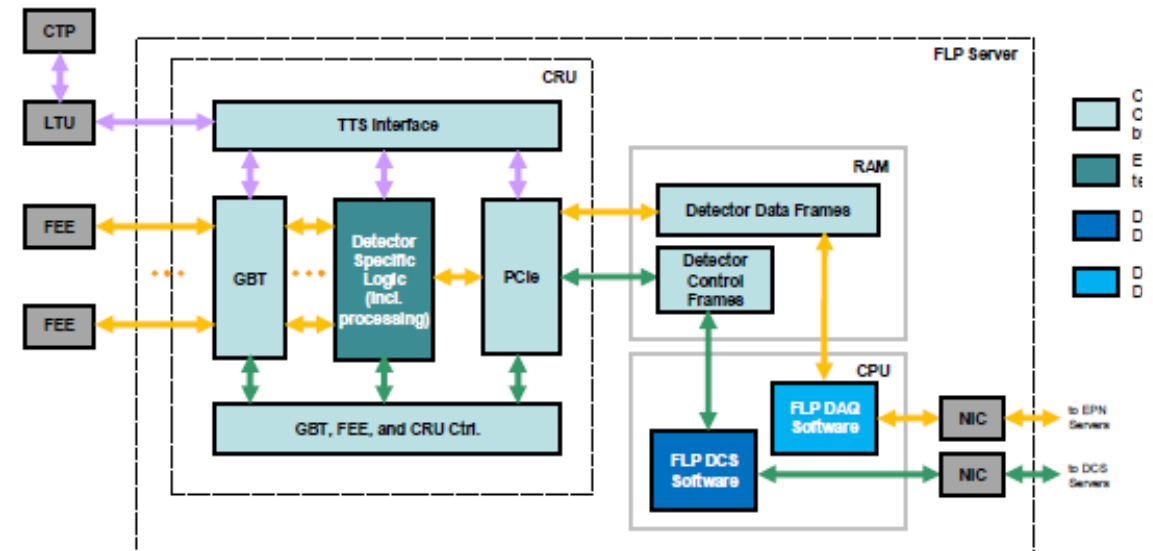
Jelenleg: 500 Hz PbPb upgrade után
– 50 kHz PbPb és 200 kHz pp

Standard GBTx linkek használata

3,2 Tb/s vagy akár 4,48 Tb/s

- kétirányú sávzélesség.

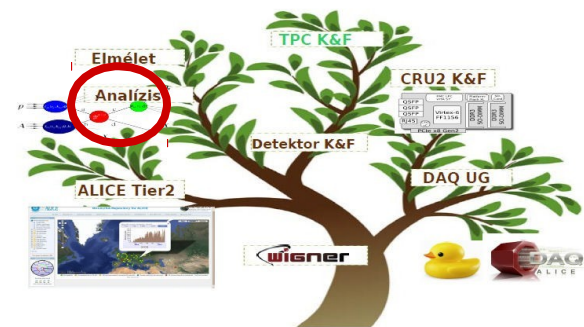
FPGA-alapú technológia, ami még tud gyorsabb is lenni



ALICE adatok elemzése

Wigner ALICE analízis csoport & Wigner GPU Laboratory

Bencédi Gy, Bíró G, Frajna E, Kis L, Misák A, Sudár Á, Szigeti B,
Varga-Kőfaragó M, Vértesi R.



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

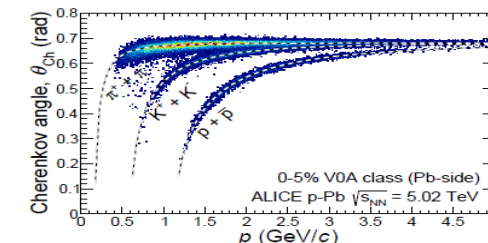
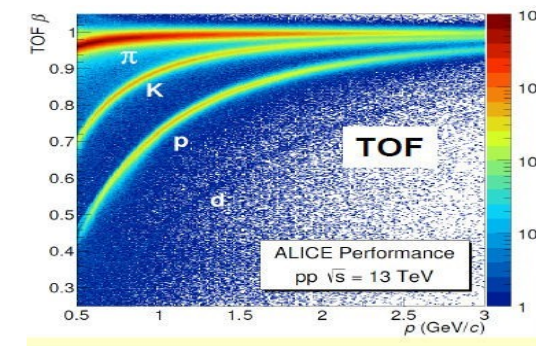
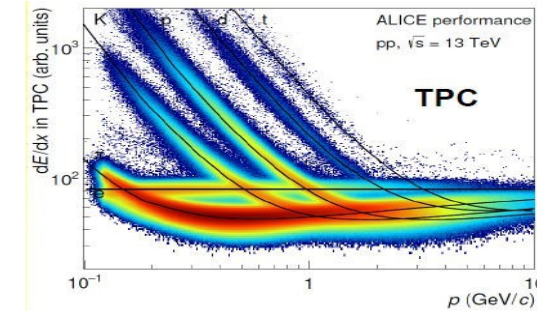
- kicsi $p_T < 1$ GeV/c és $p_T > 5$ GeV/c nagy impulzusú tartományban

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.

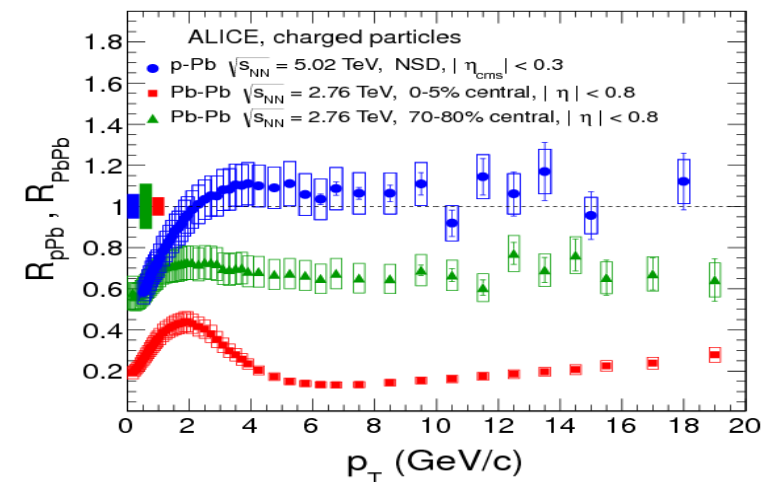
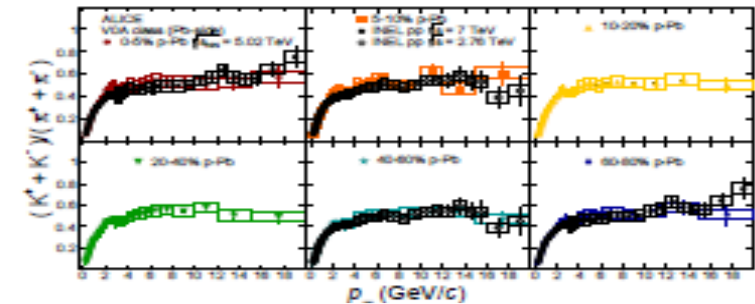
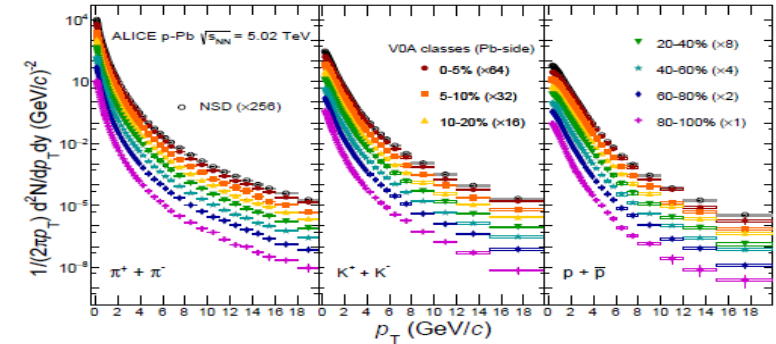
- Pion, kaon, proton spektrumok, hadronarányok, nukleáris módosulás faktor: pp 7 TeV (pp 13 TeV), PbPb 5 TeV, pPb 2.7 TeV

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

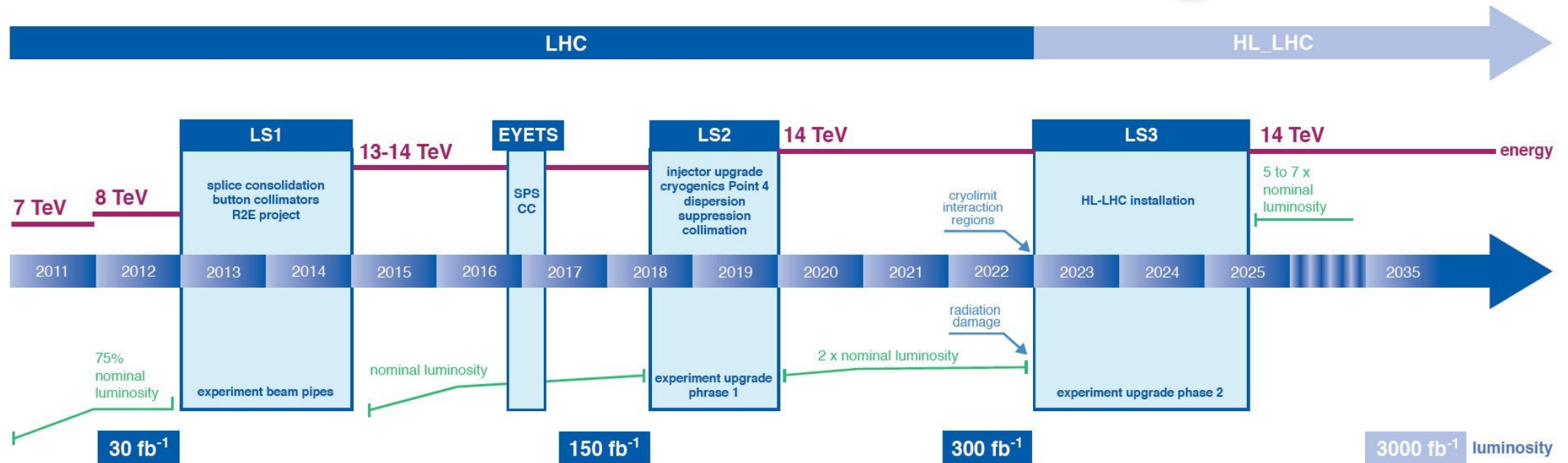


Run3+, a Második Nagy Leállítás után

Fejlesztések a távolabbi jövőbe (2020+)...

- Még több adat, jobb statisztika....

LHC / HL-LHC Plan



A sétapálcás/cilinderes nyúlón túl...

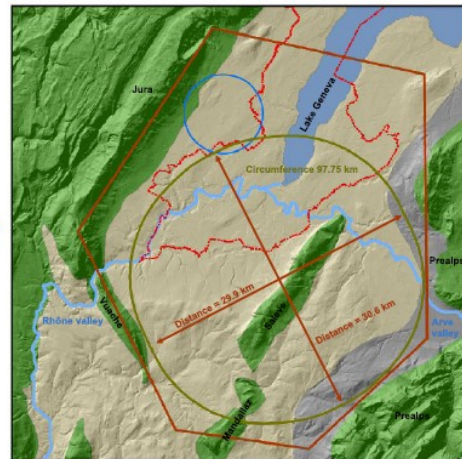
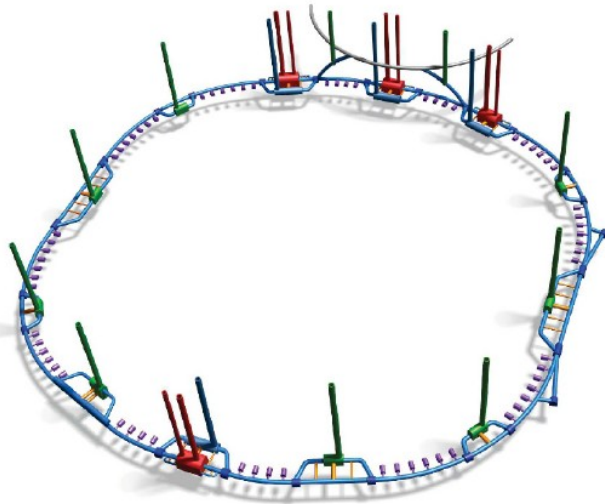
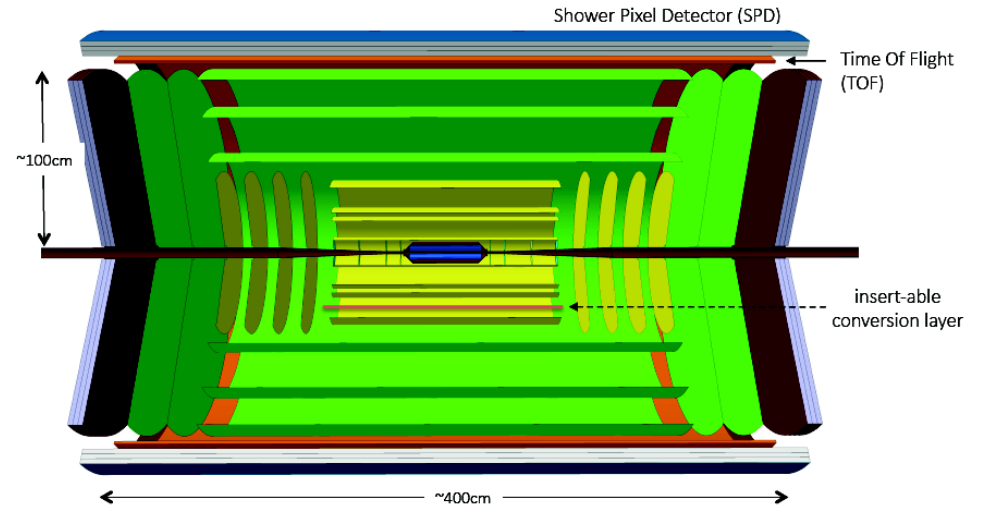
HE-LHC (arXiv1902.01210)

A next generation heavy-ion experiment:

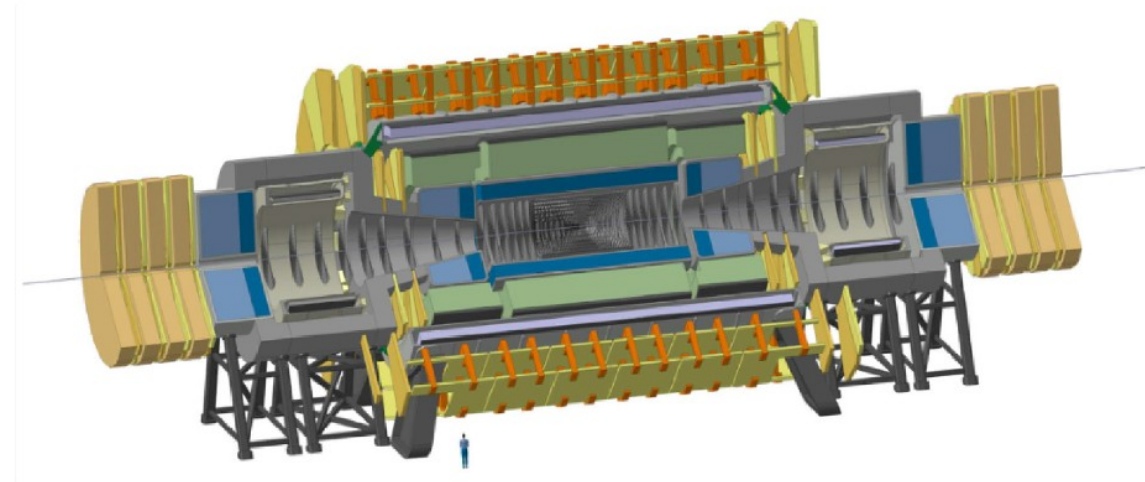
Nehéz kvarkok, kis tömegű dileptonok, szoft fizik

FCC-hh: Eur Phys. J. ST 228 (2019)

Future Circular Collider (Barna D. CSDu3)



— LHC shape — Study boundary — Molasse Carried
— FCC shape — Limestone — molasse

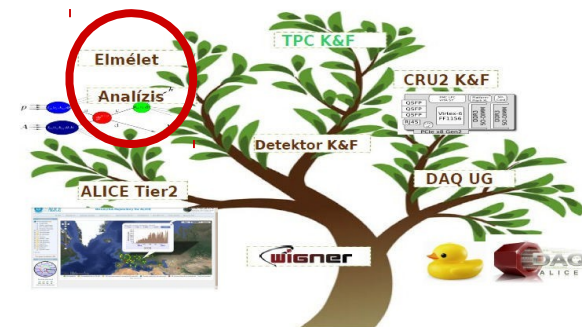


A háttér: elméleti kutatások és szoftverfejlesztések

Nehézionfizikai modellek és detektorszimulációk fejlesztése

Wigner GPU Laboratórium, Wigner Datacenter, ELTE, CCNU, LBNL

BGG, Bíró G, Biró TS, Futó E, SzM Harangozó, Gyulassy M, GY Ma, Levai P,
Nagy D, Németh M, Papp G, XN Wang BW Zhang

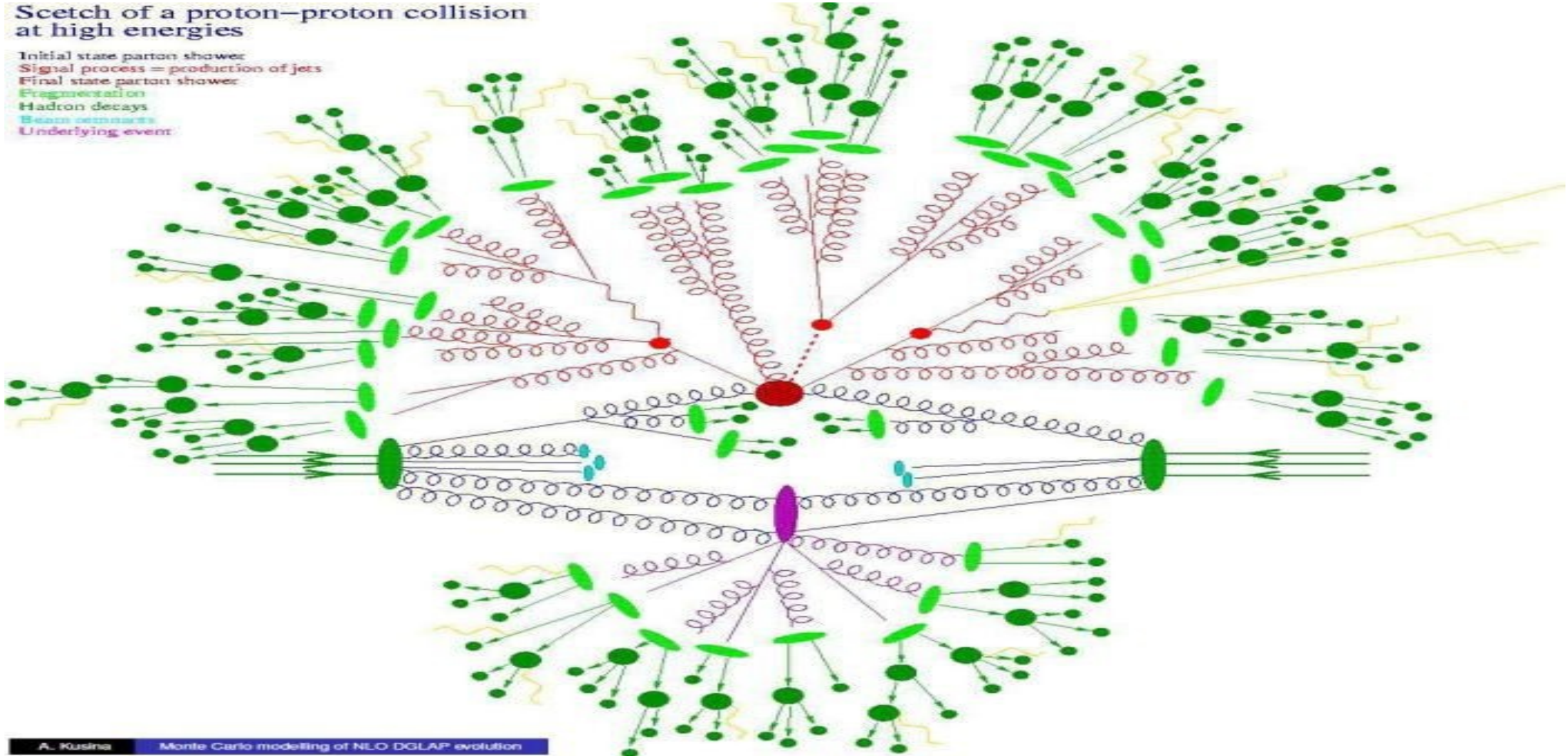


Elméleti szimulációk fejlesztése a távolabbi jövőbe...

- Pontosabb mérések → pontosabb elmélet → nagy számítások

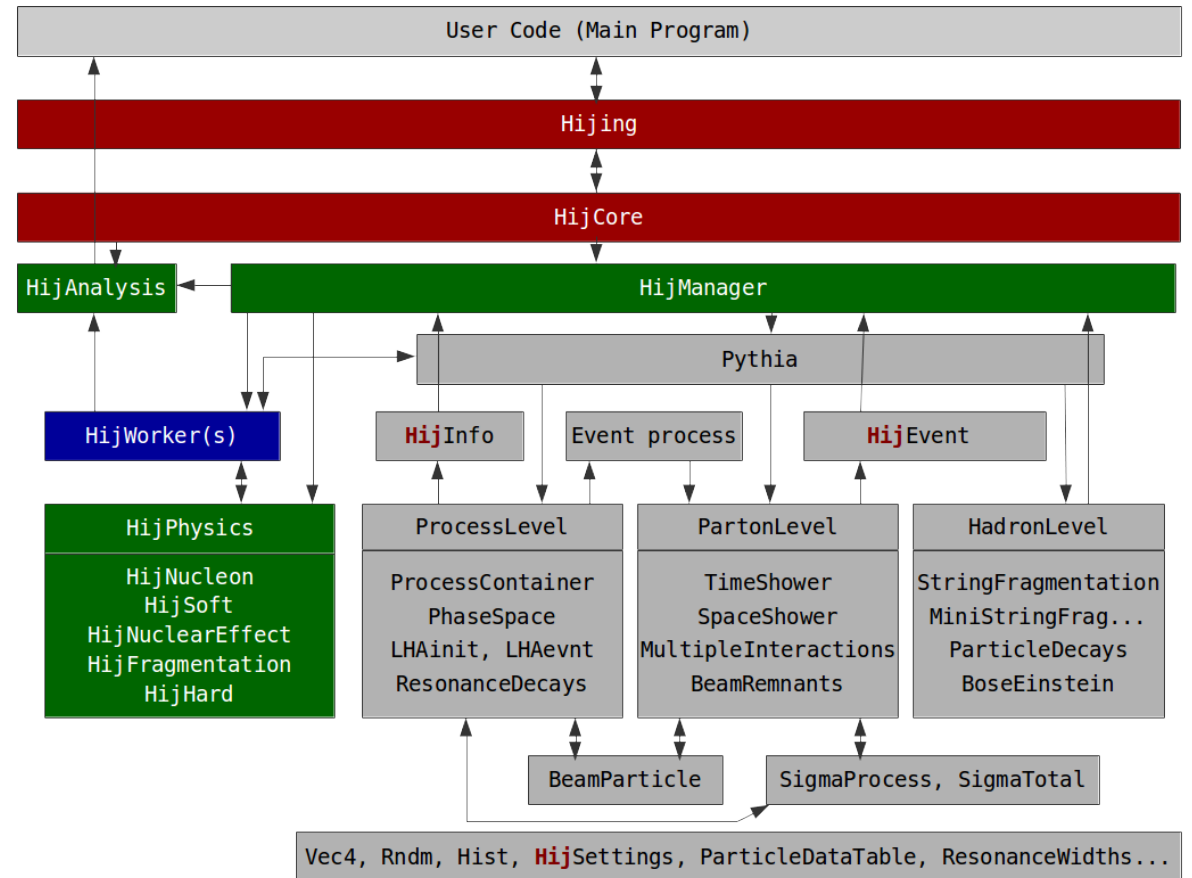
Sketch of a proton-proton collision at high energies

Initial state parton shower
Signal process = production of jets
Final state parton shower
Fragmentation
Hadron decays
Beam remnants
Underlying event



A nehézionfizikai részecske és jet szimulátor: HIJING++

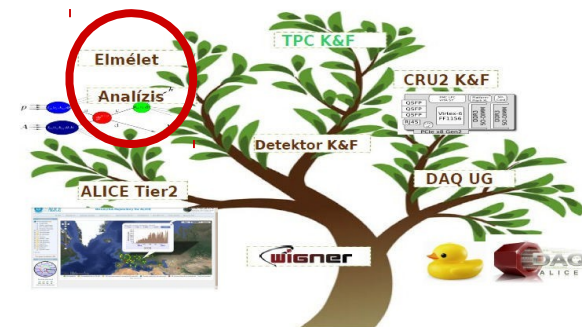
- HIJING++ (HIJING3.0)
 - PYTHIA 8 namespace megmaradt
 - PYTHIA-típusú hisztogramok OK
 - „HIJING main” alá van beillesztve
 - Standard C++ libek használata
 - Fizika:
 - PYTHIA8: Parton szint, szoft folyamatok, LUND modell, ARIADNE, fragmentáció
 - HIJING2: Nukleáris effektusok: többszörös szórás, árnyékolás
 - Új fizika:
 - Javított árnyékolás, GLV jet elnyomás, LHAPDF6, GLVB?



Az erősen kölcsönható anyag fázisainak elméleti vizsgálata

Nehézionfizika Kutatócsoport, Wigner GPU Laboratórium,
ELTE, CCNU, LBNL

T.S. Biro, G. Biró, A. Jakovác, Sz. Karsai, P. Pósfay, T. Takács



Az erősen kölcsönható anyag fázisai

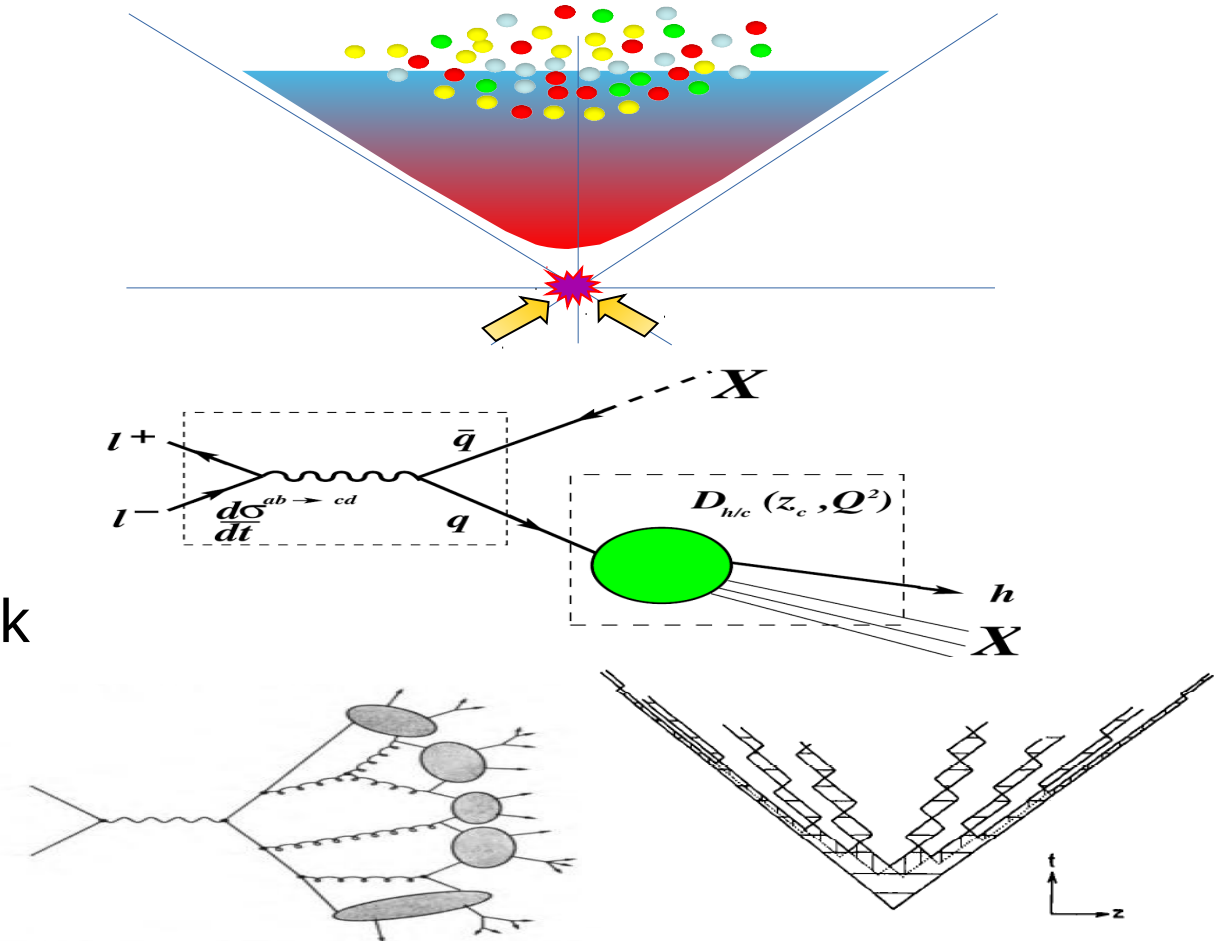
- Extrém sűrű és FORRÓ anyag: hadronizáció vizsgálata

Nagyenergiás ütközésben partonikus (q,g) folyamatokban a végállapotban hadronok keletkeznek.

A parton \rightarrow hadron átmenet a hadronizáció elméleti leírása mindmáig nem tiszta \rightarrow Fenomenologikus modellek

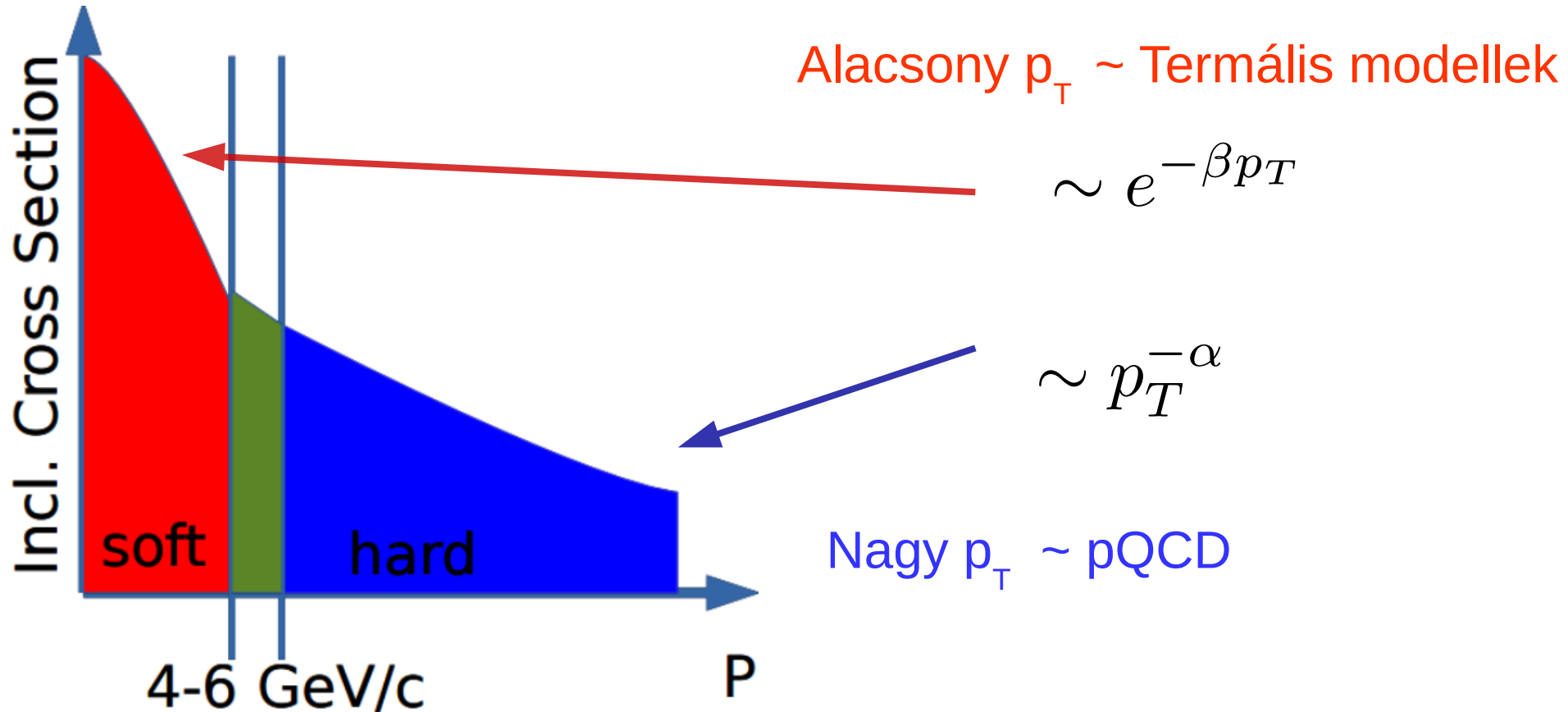
Fragmentációs modellek:

Feynman, Lund, string ,cluster, stb.



A hadronizáció vizsgálata Tsallis-Pareto alapú eloszlásokkal

Proton-proton ütközések azonosított, Inkluzív hadronspektruma



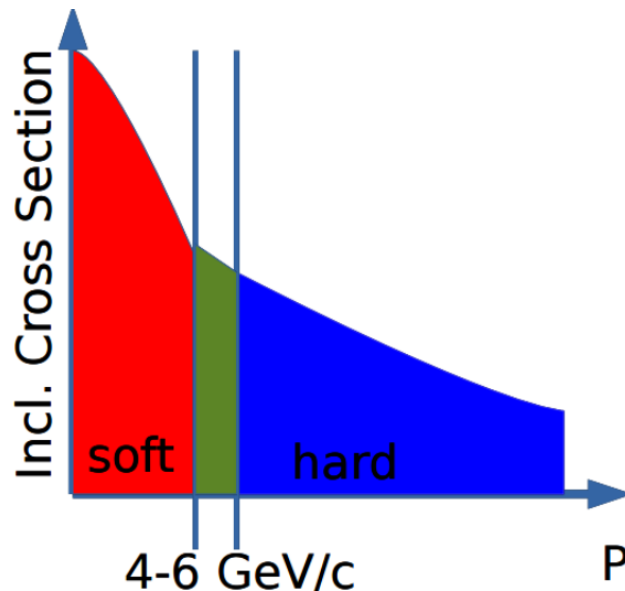
A hadronizáció vizsgálata Tsallis-Pareto alapú eloszlásokkal

Kísérleti tapasztalat: Tsallis-Pareto eloszlás

$$\frac{d\sigma}{dp_T} \sim \left[1 + \frac{q-1}{T} \varepsilon \right]^{-\frac{1}{q-1}}$$

$$\text{Kis } p_T: \quad \sim e^{-\varepsilon/T}$$

$$\text{Nagy } p_T: \quad \sim \varepsilon^{-\frac{1}{q-1}}$$



T – paraméter (body): Soft p_T

q – paraméter (tail): Hard p_T

A hadronizáció vizsgálata Tsallis-Pareto alapú eloszlásokkal

Extenzív statisztika: $S_{12} = S_1 + S_2$

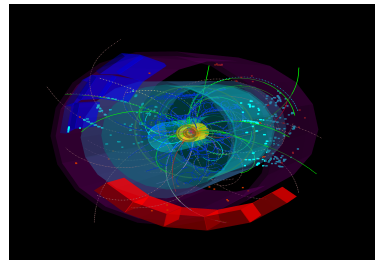
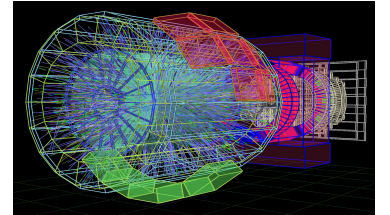
$S_S = - \sum_i p_i \ln p_i$ Boltzmann-Gibbs eloszlás: $\sim e^{-\beta \varepsilon}$

Nem-extenzív statisztika: $S_{12} = S_1 + S_2 + (q - 1)S_1 S_2$

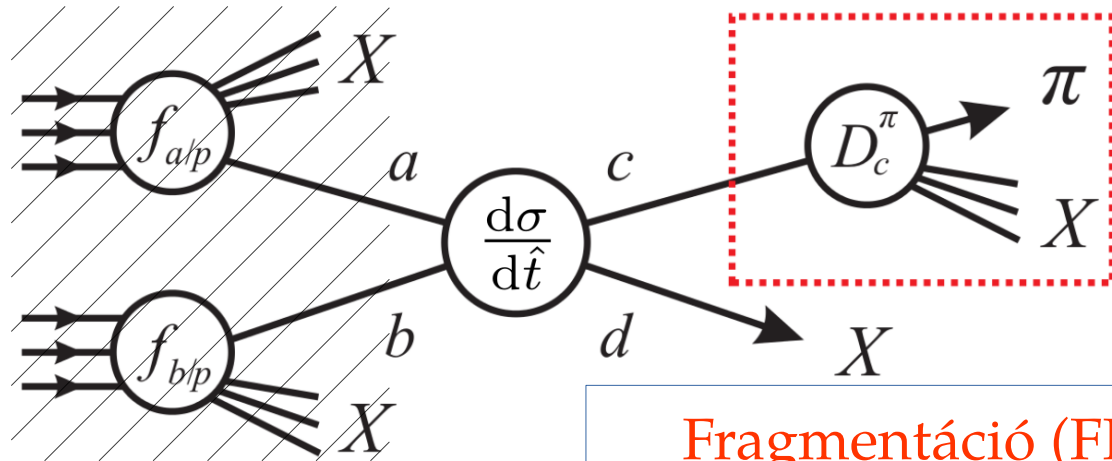
q-entrópia: $S_q = \frac{1}{q - 1} \left(1 - \sum_i p_i^q \right)$

Tsallis-Pareto eloszlás:

$$\sim \left[1 + \frac{q - 1}{T} \varepsilon \right]^{-\frac{1}{q-1}}$$

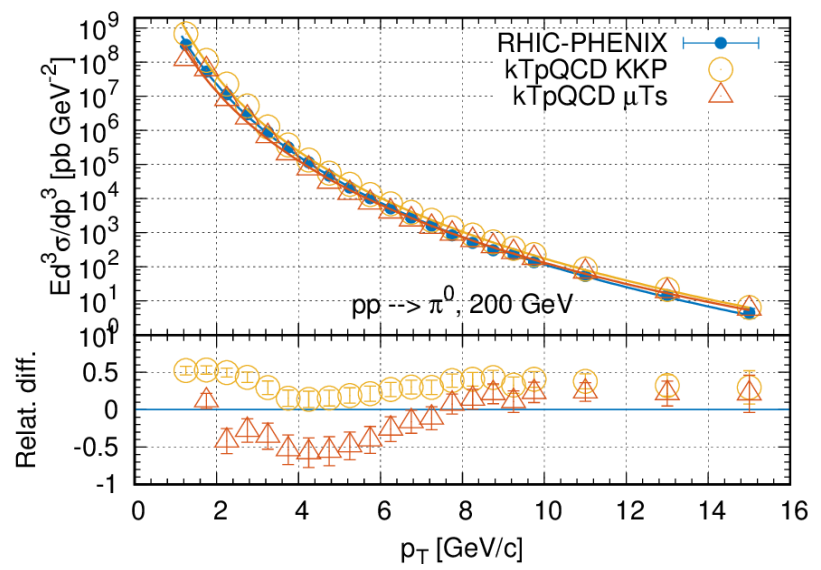
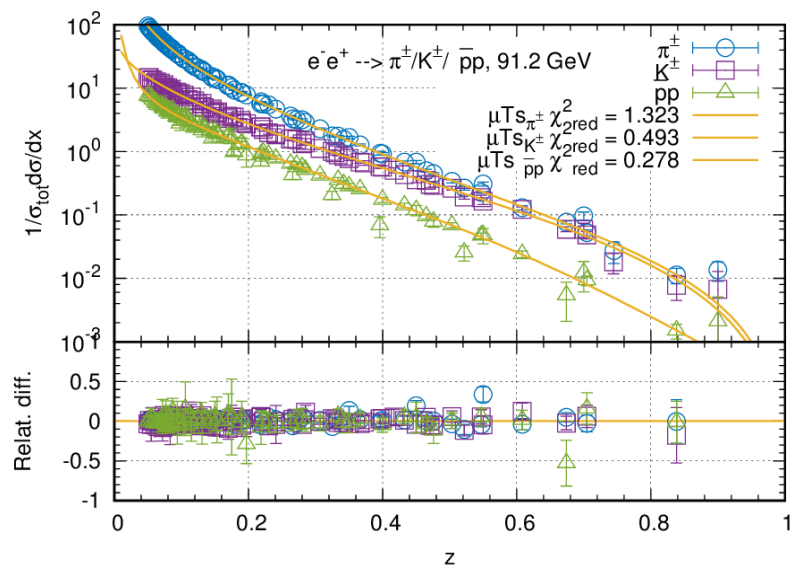


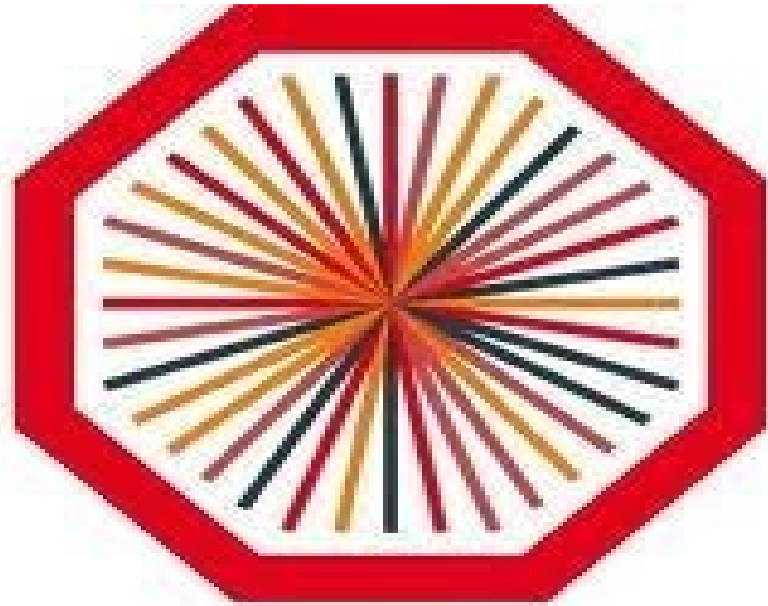
A hadronizáció vizsgálata Tsallis-Pareto alapú eloszlásokkal



Fragmentáció (FF)

$$\sim (1 - z) \left[1 - \frac{q - 1}{T} \frac{\sqrt{s}}{2} \log(1 - x) \right]^{-\frac{1}{q-1}}$$





ALICE

A JOURNEY OF DISCOVERY

NKFIH OTKA K120660 (2016-2020)



Elméleti szimulációk fejlesztése a távolabbi jövőbe...

- Még több adat, jobb statisztika....

