



ALICE

HUN
REN



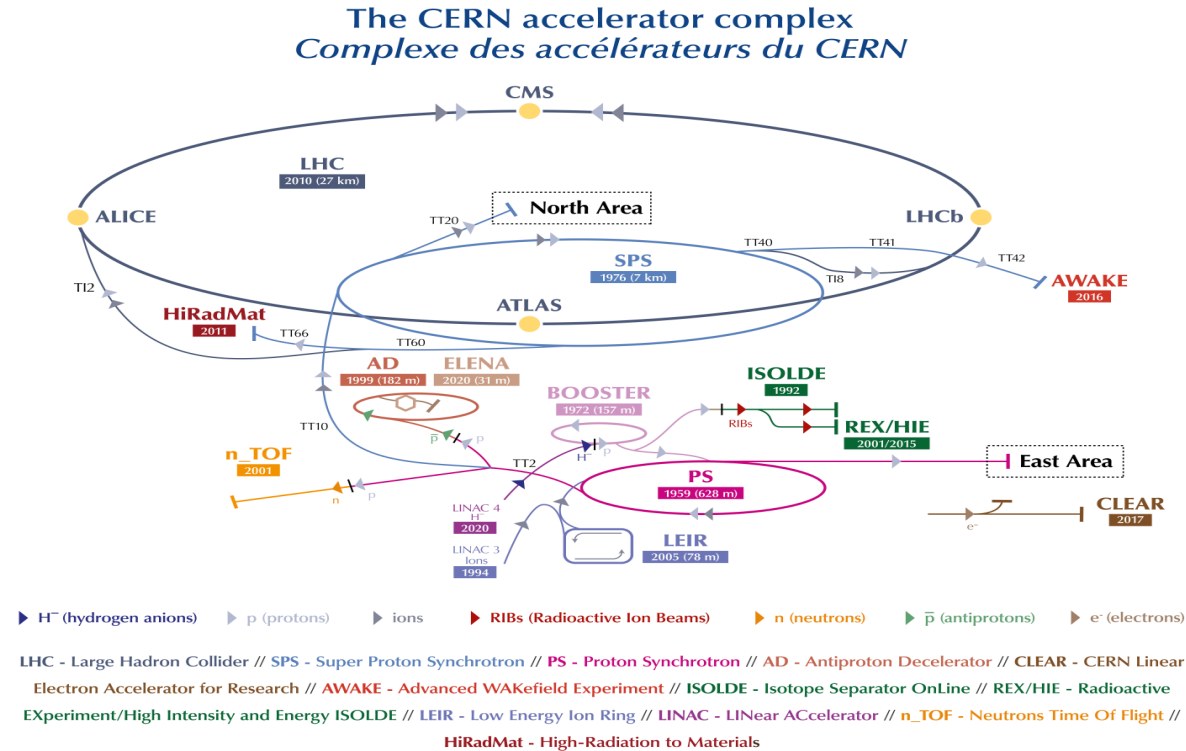
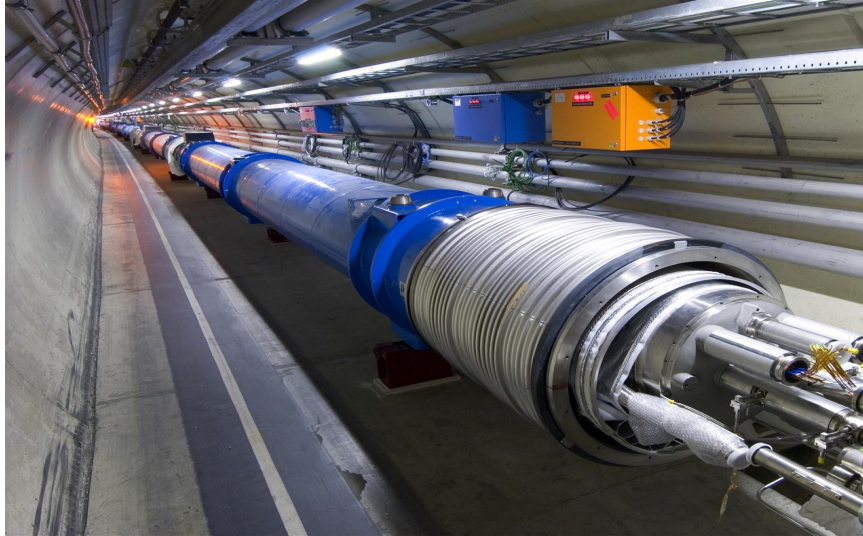
Új típusú eseményklasszifikáción alapuló részecskehozamok mérése a CERN ALICE kísérletben

PHYS. REV. D 111 (2025) 012010,
J. PHYS. G: NUCL. PART. PHYS. 51 125003 (2024)

Bencédi Gyula (HUN-REN Wigner FK)

Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2025
Pécsi Tudományegyetem, 2025. aug. 21-24.

ALICE a Nagy Hadronütköztetőnél (LHC)



Protonok és nehezebb atommagok ütköztetése (ólm, $^{208}_{82}\text{Pb}$, ^{129}Xe , oxigén, neon)

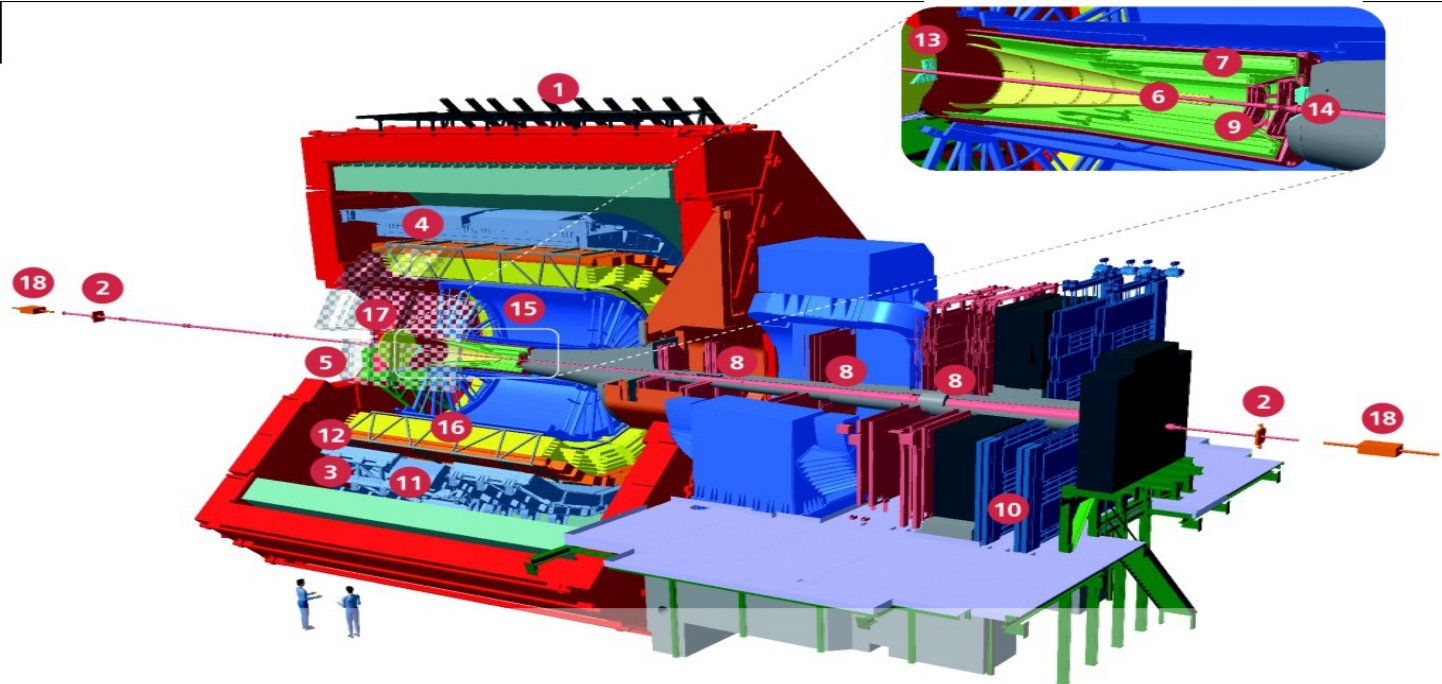
➔ Példa:

➔ nukleononkénti nyalábenegia $E_{\text{PbPb}} = 82/208 \cdot 3.5 \text{ TeV} = 1.38 \text{ TeV}$

➔ ütközési energia: $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 2.76 \text{ TeV}$ (nyalábenegia 3.5 TeV proton esetében)

➔ A főbb kísérleteknek van nehézion kutatási programja, de az ALICE egy dedikált kísérlet

ALICE – A Nagy Ion-Ütköztető Kísérlet



- 1 ACORDE | ALICE Cosmic Rays Detector
- 2 AD | ALICE Diffractive Detector
- 3 DCal | Di-jet Calorimeter
- 4 EMCal | Electromagnetic Calorimeter
- 5 HMPID | High Momentum Particle Identification Detector
- 6 ITS-IB | Inner Tracking System - Inner Barrel
- 7 ITS-OB | Inner Tracking System - Outer Barrel
- 8 MCH | Muon Tracking Chambers
- 9 MFT | Muon Forward Tracker
- 10 MID | Muon Identifier
- 11 PHOS / CPV | Photon Spectrometer
- 12 TOF | Time Of Flight
- 13 T0+A | Tzero + A
- 14 T0+C | Tzero + C
- 15 TPC | Time Projection Chamber
- 16 TRD | Transition Radiation Detector
- 17 V0+ | Vzero + Detector
- 18 ZDC | Zero Degree Calorimeter

➔ **Nehézion (ólom)** ütközésekre **optimalizált** kísérlet

➔ **Célja** az erősen kölcsönható **kvark-gluon plazma (QGP)** tulajdonságainak **tanulmányozása**

08/22/25

➔ **Egyedülálló** részecske-nyomkövetési és azonosítási tulajdonságok

Az ALICE detektor (Run 2, 2015-18)



Inner Tracking System

- trigger, vertex, nyomkövetés

Time Projection Chamber

- nyomkövetés, vertex, részecskeazonosítás

Time of Flight

- részecske-azonosítás

V0 detektorok (forward η)

- trigger
- **eseményklasszifikáció** töltött részecskék számának mérésén keresztül → jel amplitúdók a V0A és V0C detektorokban: **VOM**

Eseményszelekció:

- trigger: legalább egy beütés a V0 detektorokban
- legalább egy detektált részecske a $|\eta| < 1$ tartományban

Nyomkövetés, kinematikai tartomány:

- ITS and TPC részecskepályák
- $|\eta| < 0.8$ ($|y| < 0.5$), $0.15 < p_T < 20$ GeV/c

Nehézion ütközések és a Kvantumszíndinamika (QCD)

A nehézion fizika a nagyenergiás QCD fizikája:

A QCD főbb tulajdonságai:

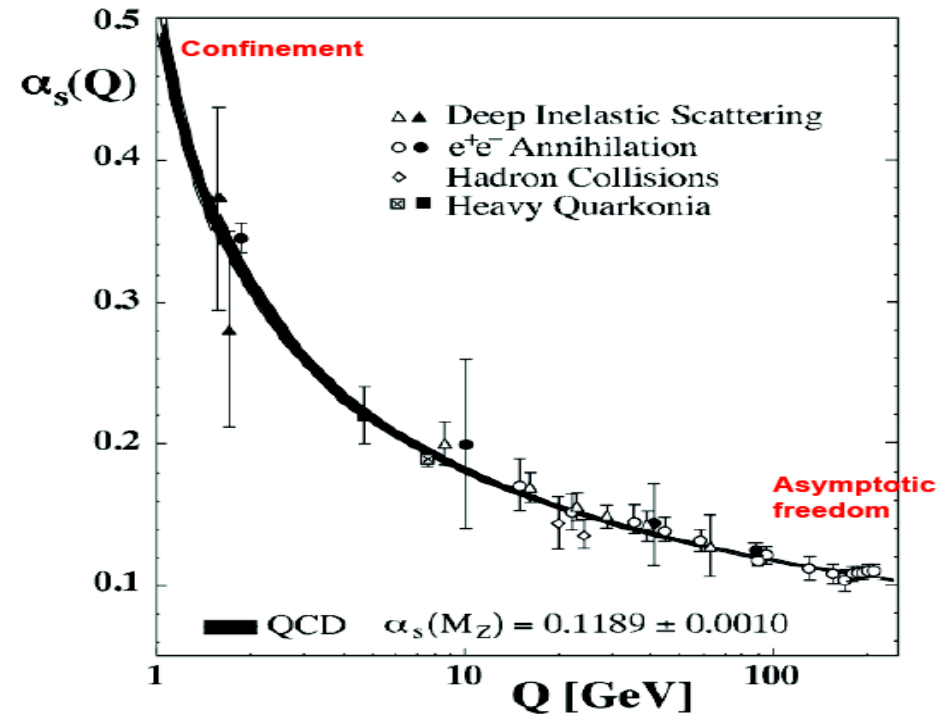
→ **Színbezárás:** a kvarkok a természetben csak szín-szinglett állapotban (hadronokba „zárva”: mezonok q -anti- q , barionok qqq) fordulhatnak elő

→ **Aszimptotikus szabadság:** a futó csatolási állandó csökken az impulzusátadás (Q) növekedésével

• Ab-initio számolások:

– **nagy Q érték:** a **QCD perturbatív** leírása alkalmazható

– **alacsony Q érték:** **rács (“Lattice”) QCD** alkalmazása



Nehézion ütközések és a Kvantumszíndinamika (QCD)

Quark-gluon plazma: extrém magas energiasűrűségnél és hőmérsékletnél a kvarkok és gluonok “szabadokká” válnak

bound
quarks &
gluons



$T_0 \approx 1/40 \text{ eV}$

Where is the phase
transition?
→ Lattice QCD

Critical temperature
 $T_c \approx 156 \text{ MeV}$

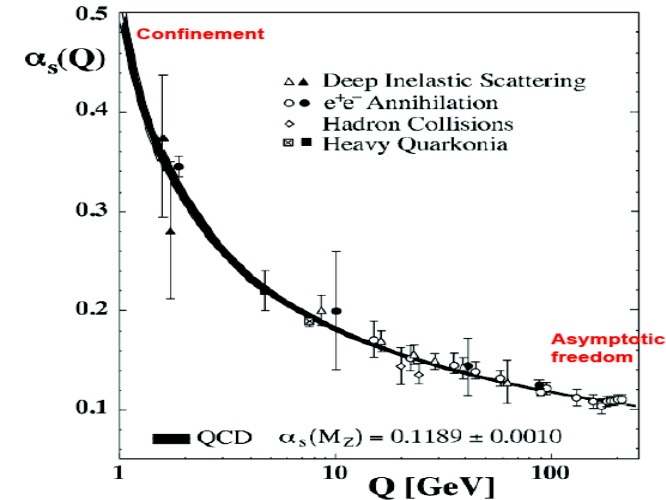
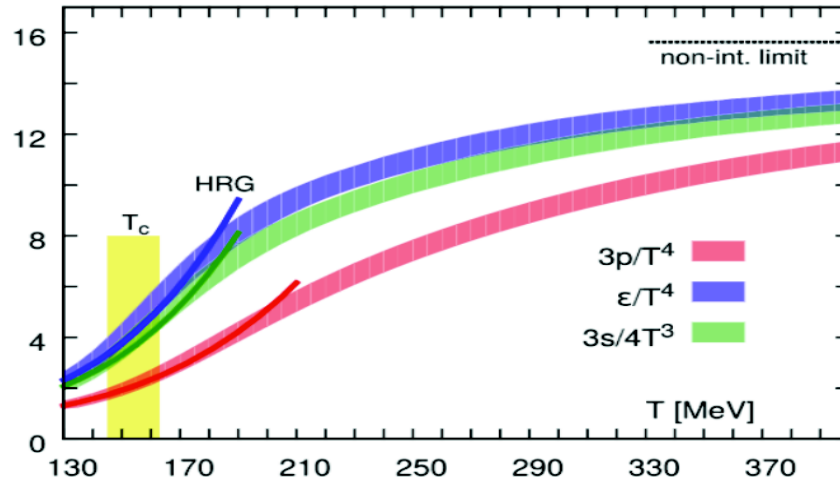
Asymptotic
freedom: free
quarks & gluons

$T \rightarrow \infty$

Temperature T

Összehasonlítás:

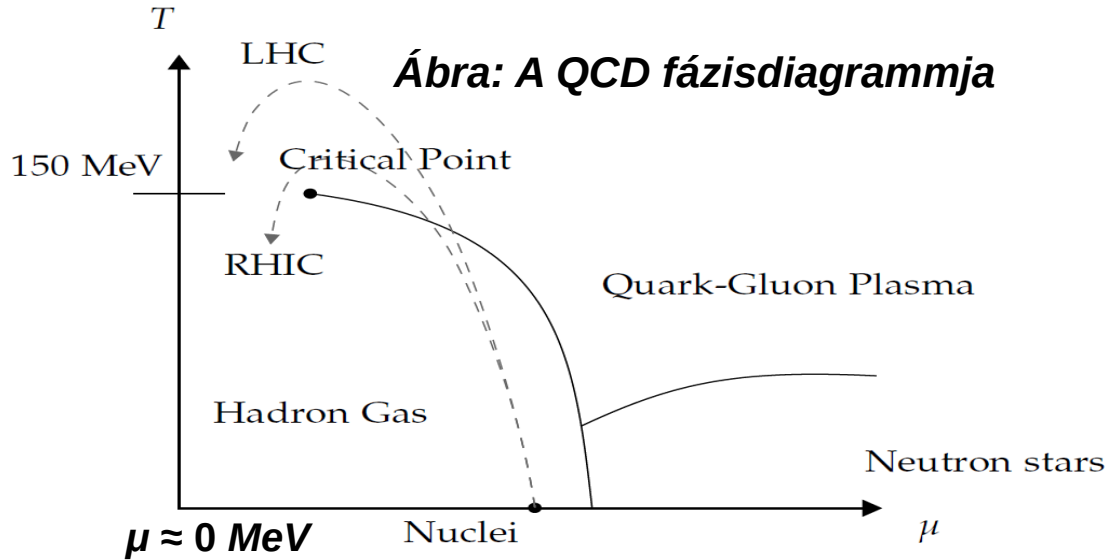
$T_c = 156 \text{ MeV} \approx 10^{12} \text{ K}$
Nap magja: $T \approx 10^7 \text{ K}$
Nap felszíne: $T \approx 5800 \text{ K}$



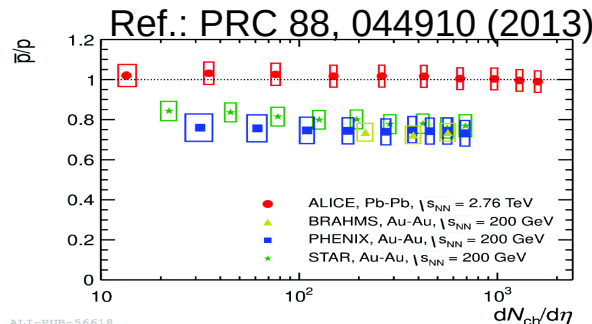
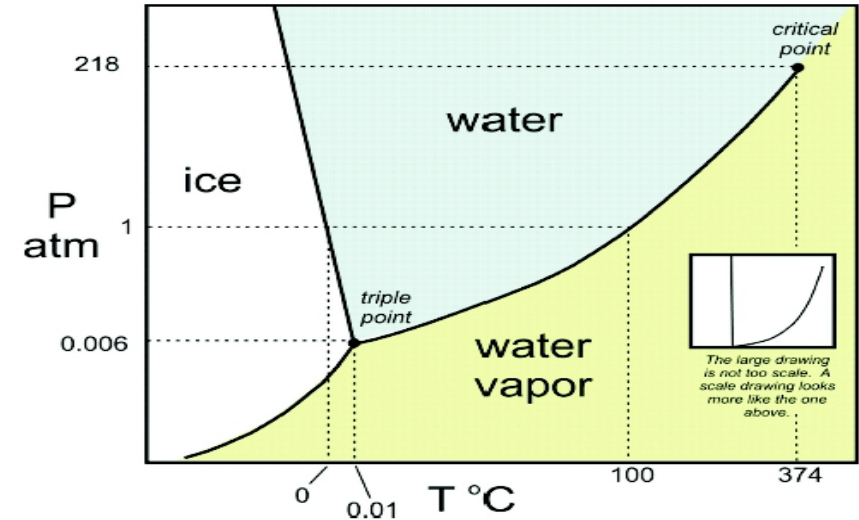
Termodinamikai mennyiségek markáns emelkedése
→ **Hadron-parton** szabadsági fokok **fázisátmenete**

Nehézion ütközések és a Kvantumszíndinamika (QCD)

A QCD aszimptotikus állapota: kvark-gluon plazma (QGP)

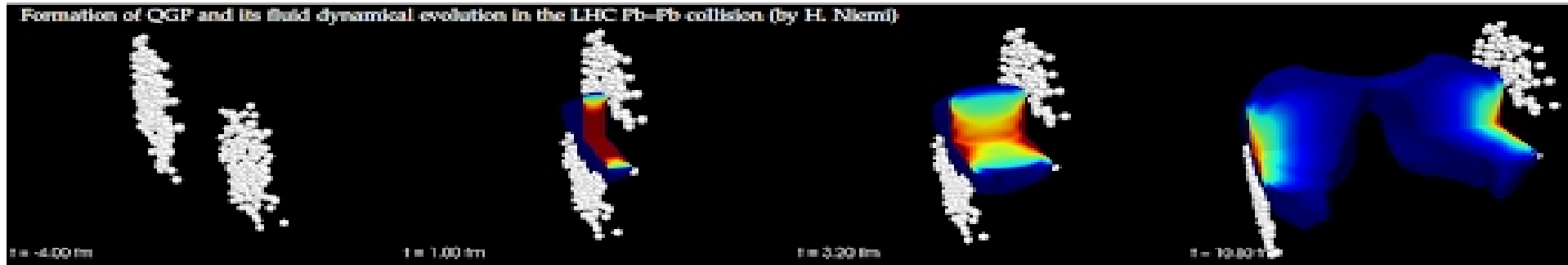


μ bariokémiai potenciál
= barionok és anti-barionok
számának különbsége



Nagy bumm a Világegyetemben, kis bumm a laboratóriumban

A kvark-gluon plazma (QGP) teridő fejlődése

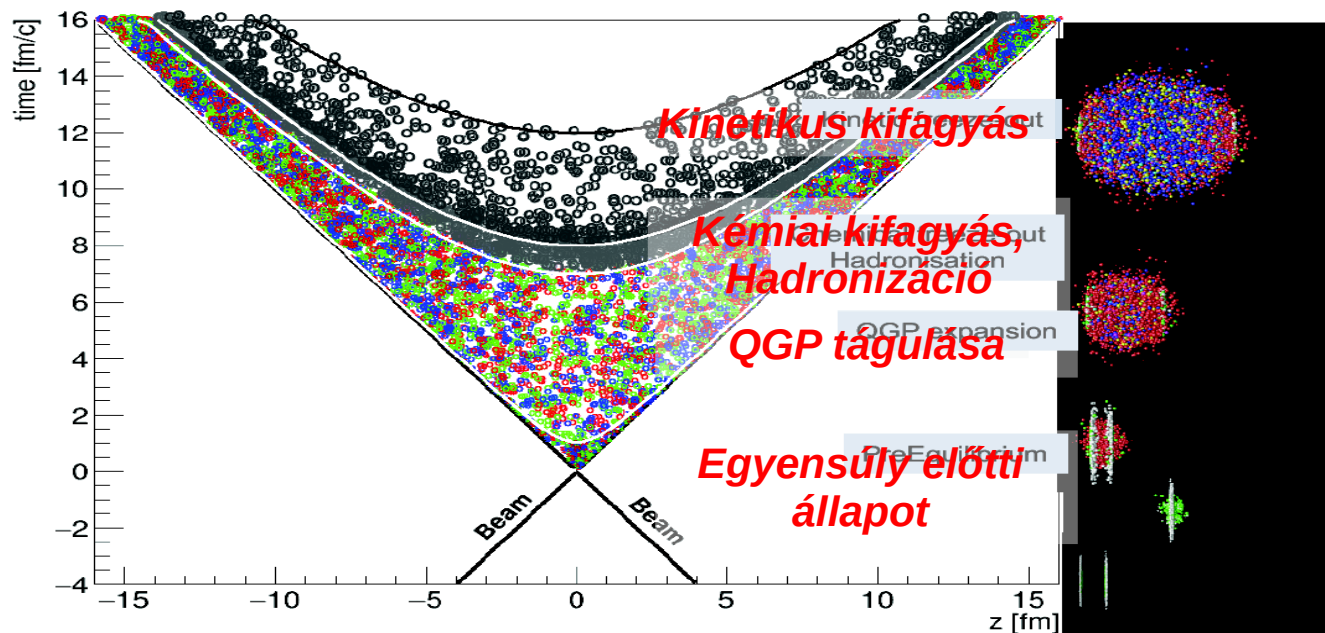


Kvark-gluon plazma keletkezése nehéz (ólom) ionok ütköztetésével

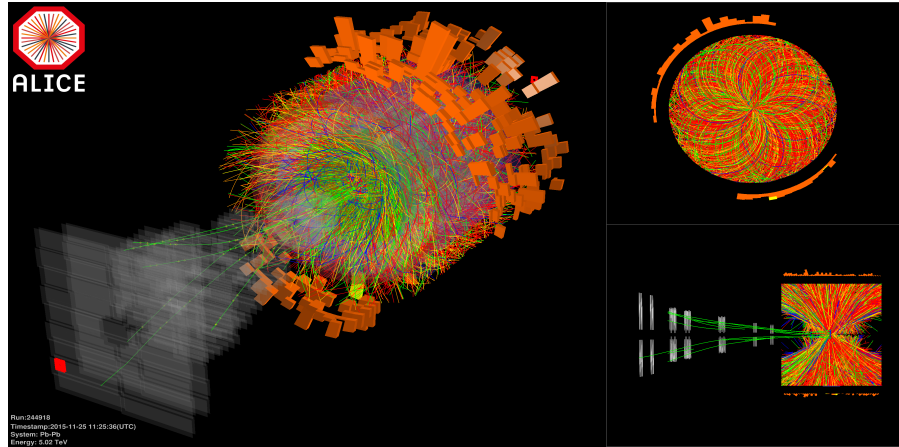
→ Forró: $T \sim 300$ MeV kezdeti hőmérséklet
Kísérletből: $T = 304 \pm 11 \pm 40$ MeV
Ref.: Phys. Lett. B 754 (2016) 235-248

→ Rövid élettartam: $\sim 10^{-23}$ másodperc

08/22/25



“Kifagyott” állapot: A keletkező részecskék számának mérése



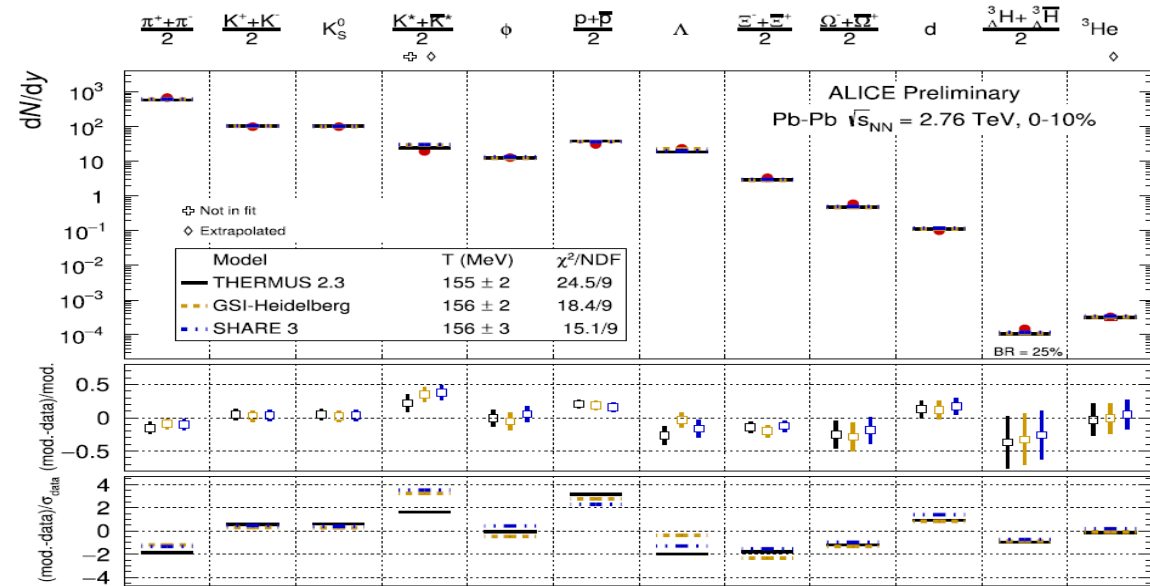
- Egy centrális ólom-ólom ütközésben
~2000 részecske keletkezik

- A részecskék lokális termális egyensúlyban vannak:

→ **Termális modellek** leírják a könnyű kvarkokat (u,d,s) tartalmazó hadronok hozamait

→ **kémiai egyensúly kísérletből:**

$T_{kin} \approx 156 \text{ MeV}$ (jó egyezés a rács QCD-vel)



ALI-PREL-94600

QGP karakterisztikus tulajdonsága: kollektív viselkedés

Kétrészecske korrelációk

1) Kollektív folyás szignatúrája: a végállapotú részecskék azimutális eloszlásának anizotrópiája

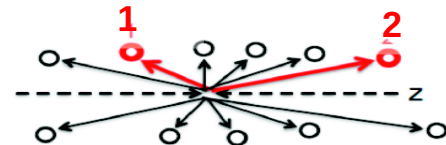
2) Szögeloszlás megadható:

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_R)] \right)$$

Radiális folyás, v_1 – direkt folyás, v_2 – elliptikus, ... folyás, ...stb.

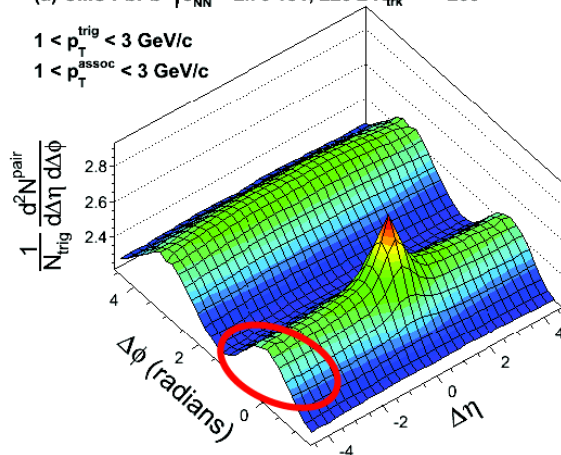
3) Két részecske esetében:

$$\frac{dN^{\text{pair}}}{d\Delta\phi} = \frac{N^{\text{pair}}}{2\pi} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} V_{n\Delta} \cos n\Delta\phi \right)$$



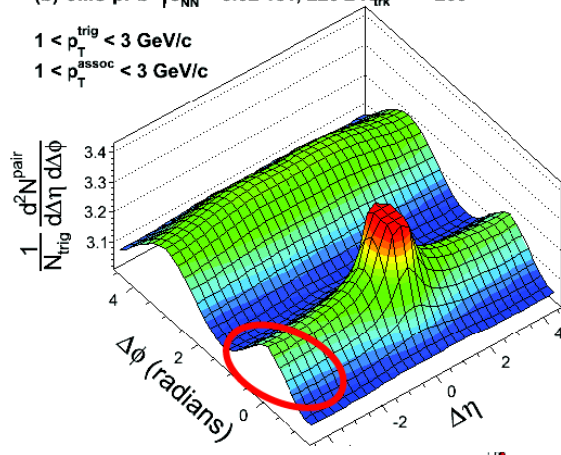
(a) CMS PbPb $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, $220 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 260$

$1 < p_T^{\text{trig}} < 3$ GeV/c
 $1 < p_T^{\text{assoc}} < 3$ GeV/c

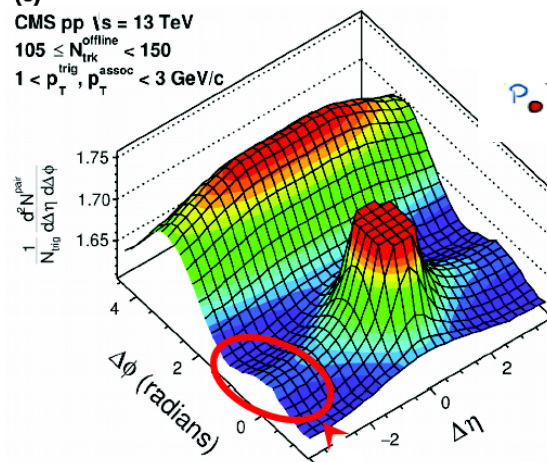


(b) CMS pPb $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, $220 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 260$

$1 < p_T^{\text{trig}} < 3$ GeV/c
 $1 < p_T^{\text{assoc}} < 3$ GeV/c

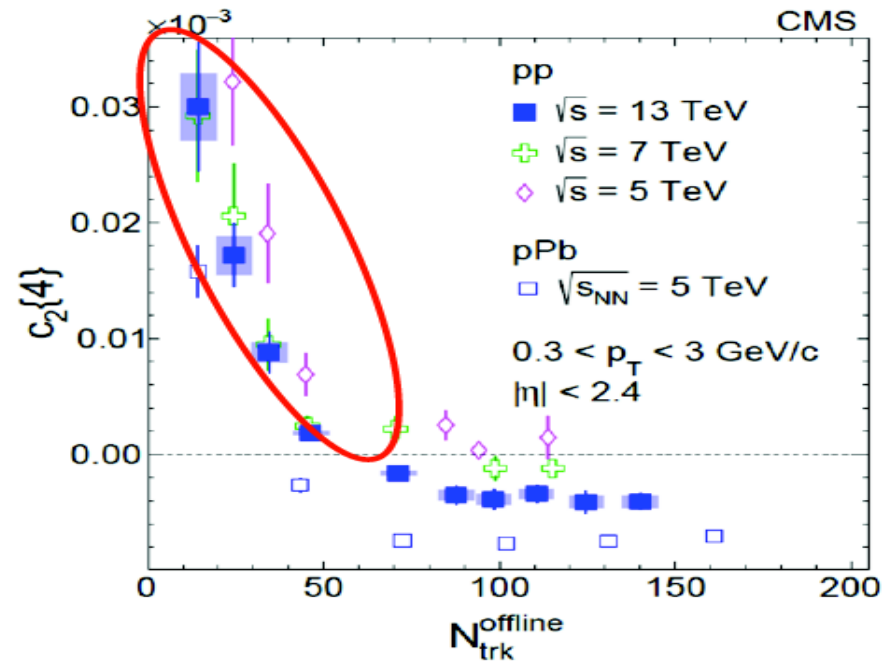
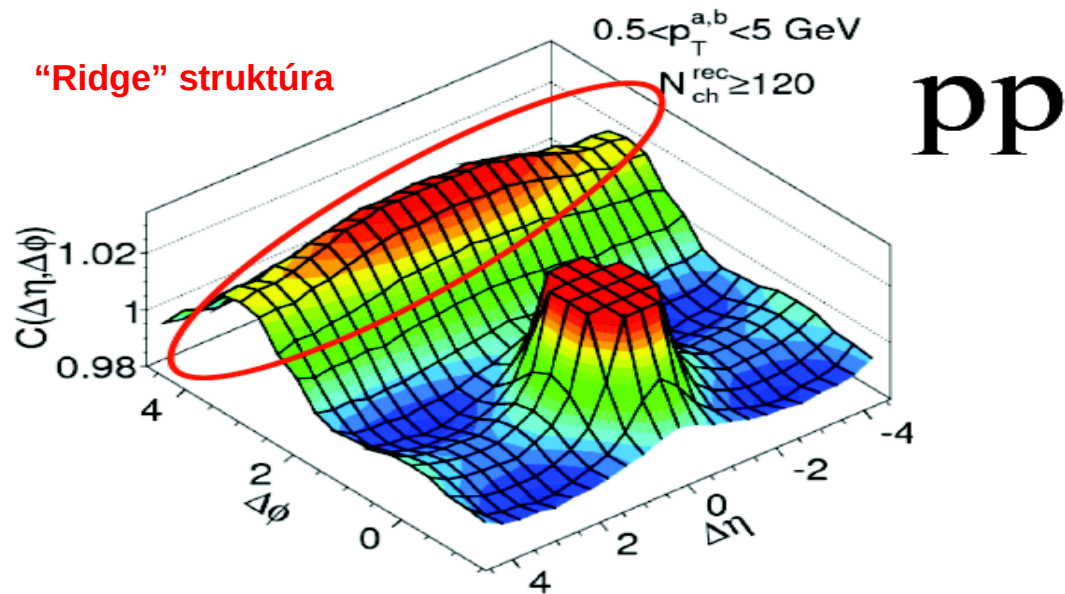


(c) CMS pp $\sqrt{s} = 13$ TeV
 $105 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 150$
 $1 < p_T^{\text{trig}}, p_T^{\text{assoc}} < 3$ GeV/c



QGP karakterisztikus tulajdonsága: kollektív viselkedés

Kétrészecske korrelációk



Hosszútávú korrelációs struktúra

Sokrészecske jel: folyási együttjátszók

➔ Kollektív jelenségek kis rendszerekben is megfigyelhetők

➔ **“Ridge” struktúra:** első kísérleti bizonyítéka a folyásszerű jelenségeknek proton-proton ütközésekben nagy végállapotú részecskeszám mellett

Kollektív viselkedés kis rendszerekben: nyitott kérdések

Nyitott kérdések:

- 1.) Hidrodinamikai modellek nem írják le a többrészcskés korrelációs mennyiségeket
- 2.) Részecskezáporok (jetek) energiavesztését nem figyelték meg

A megfigyelt kollektív effektusok eredete nem tisztázott:

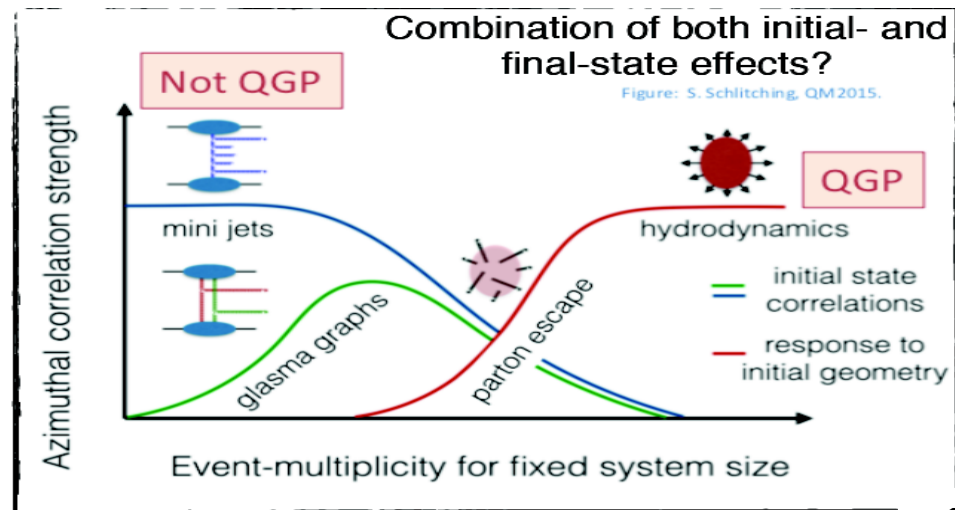
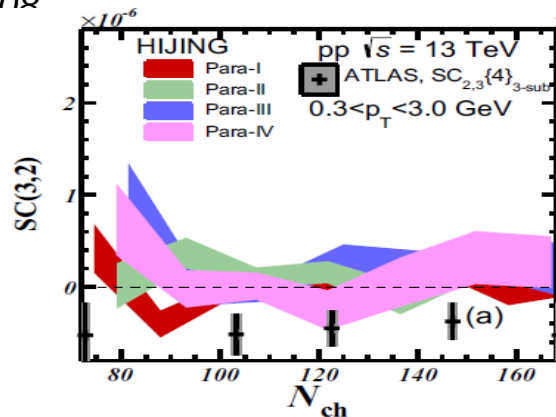
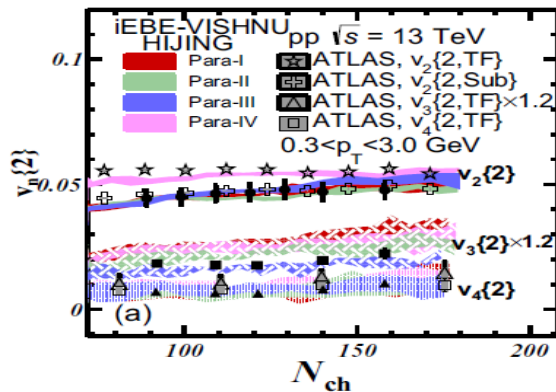
A kollektív viselkedéshez nem szükséges feltétel a QGP, vákuum-QCD effektusok produkálhatnak ilyen:

Például a PYTHIA modell

- Sokparton-kölcsönhatás
- Szín-újrarendezés

08/22/25

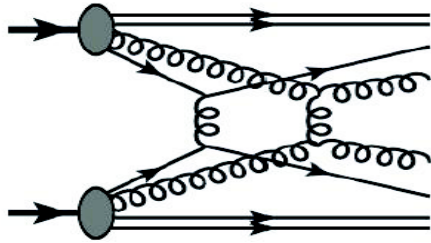
Ref.: NPA A 1005 (2021) 121



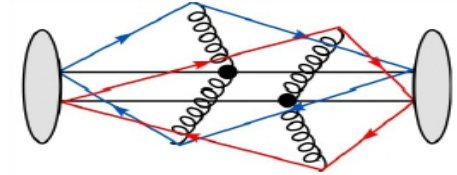
Proton-proton ütközések modellezése

Monte Carlo eseménygenerátorokkal

PYTHIA modell: standard eszköz a proton-proton ütközések leírására
(vezető rendű QCD folyamatok, nem tartalmaz QGP leírást)



Sokparton kölcsönhatás:
több kemény folyamat egy pp ütközésben



Szín-újrendezés:

- hadronizáció előtt a színhúrok "rövidre zárása"
- kísérleti adatok helyes leírása: átlag p_T és folyás

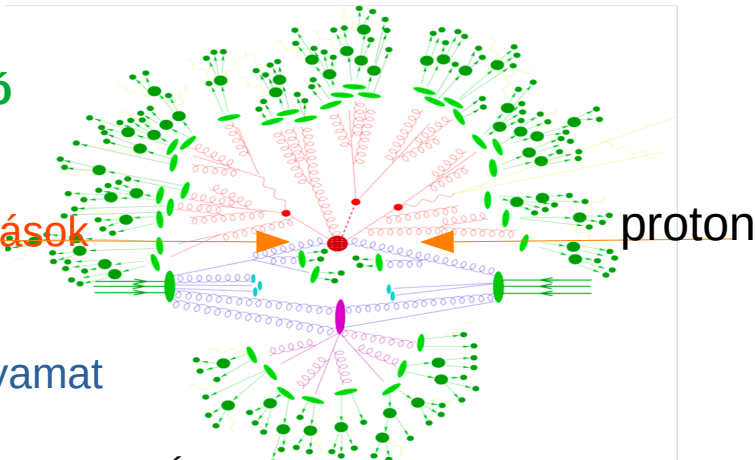
Ref.: PRL 111, 042001 (2013)

1. Hadronizáció

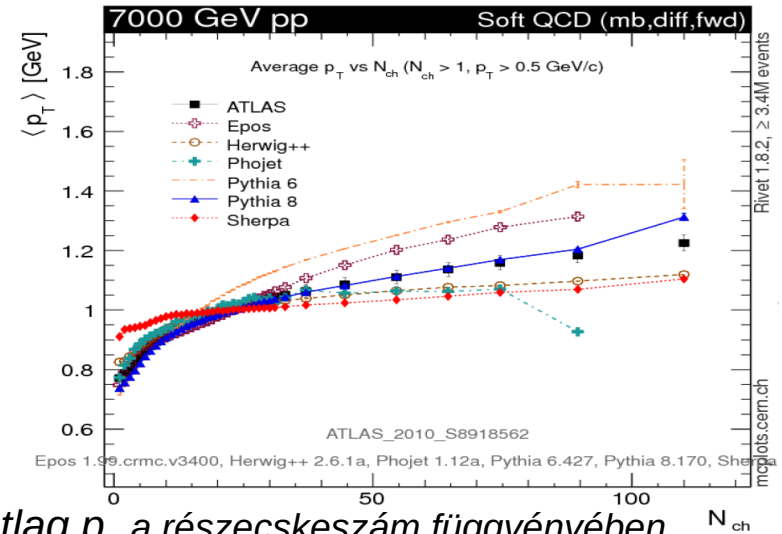
2. Gluon sugárzások

3. "Kemény" folyamat

4. Háttéreseemény



Ábra: Sematikus proton-proton ütközés a szimulációban



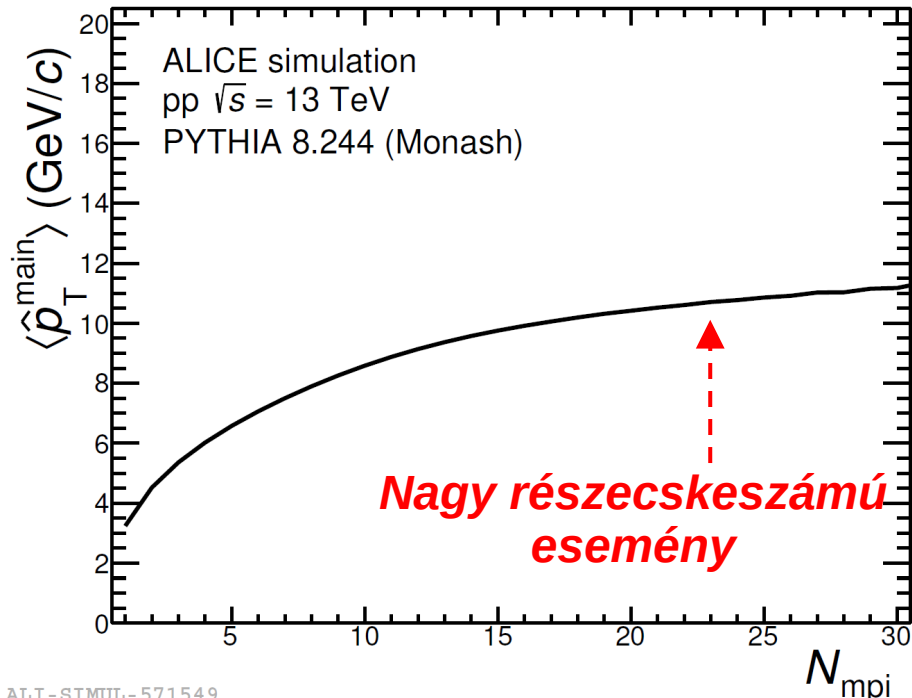
Ábra: átlag p_T a részecskeszám függvényében

08/22/25

Kis rendszerek nagy részecskeszámánál: mért jelek kísérleti torzítása

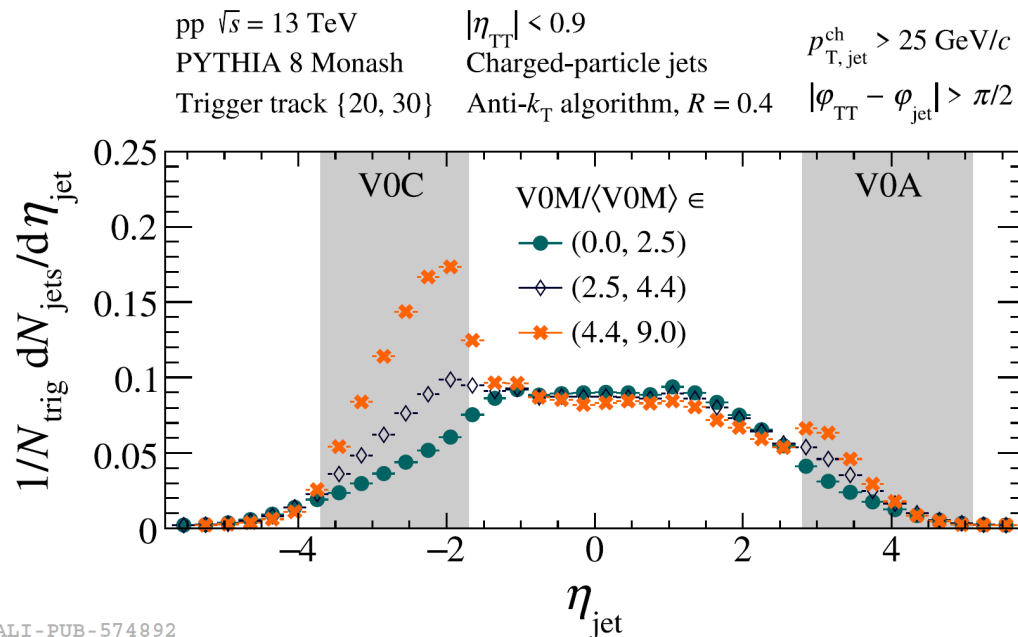
Nagy részecskeszámú ütközések:

nagy számú sokparton kölcsönhatás (N_{MPI})



Nagy részecskeszámú esemény

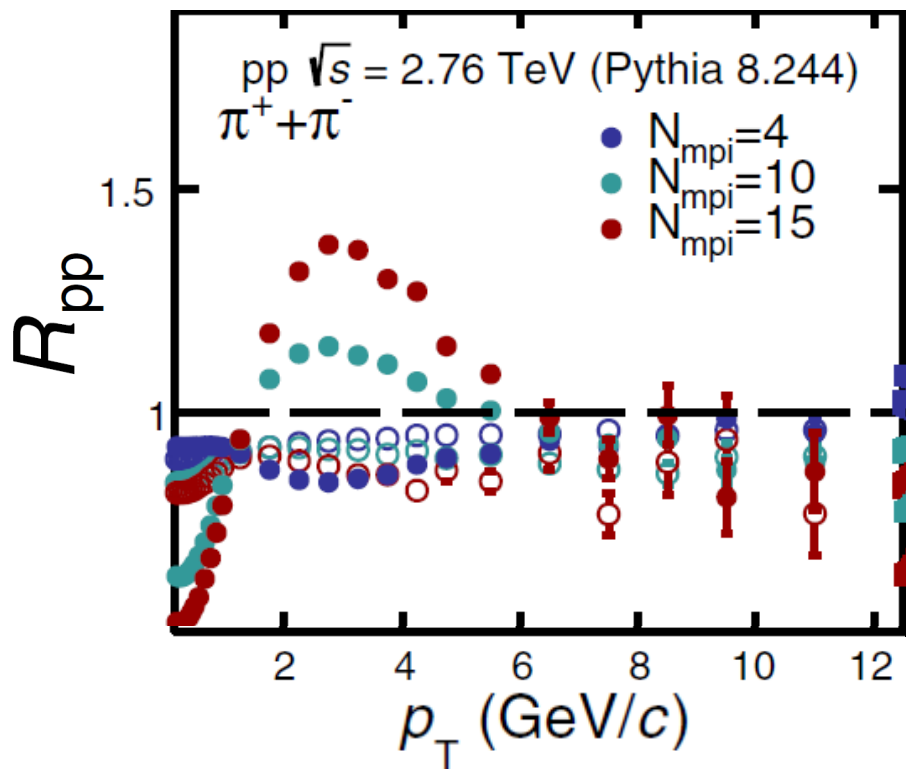
- **jet-ek hozamának megnövekedése** a forward η régióban → **jelek torzítása miatt**
- **“jet elnyomás”** a lokális részecskeszám fluktuációk miatt



Motiváció

Cél: részecskehozamok tanulmányozása olyan eseményekben,
melyek érzékenyek az MPI, CR és lokális részecskeszám fluktuációkra

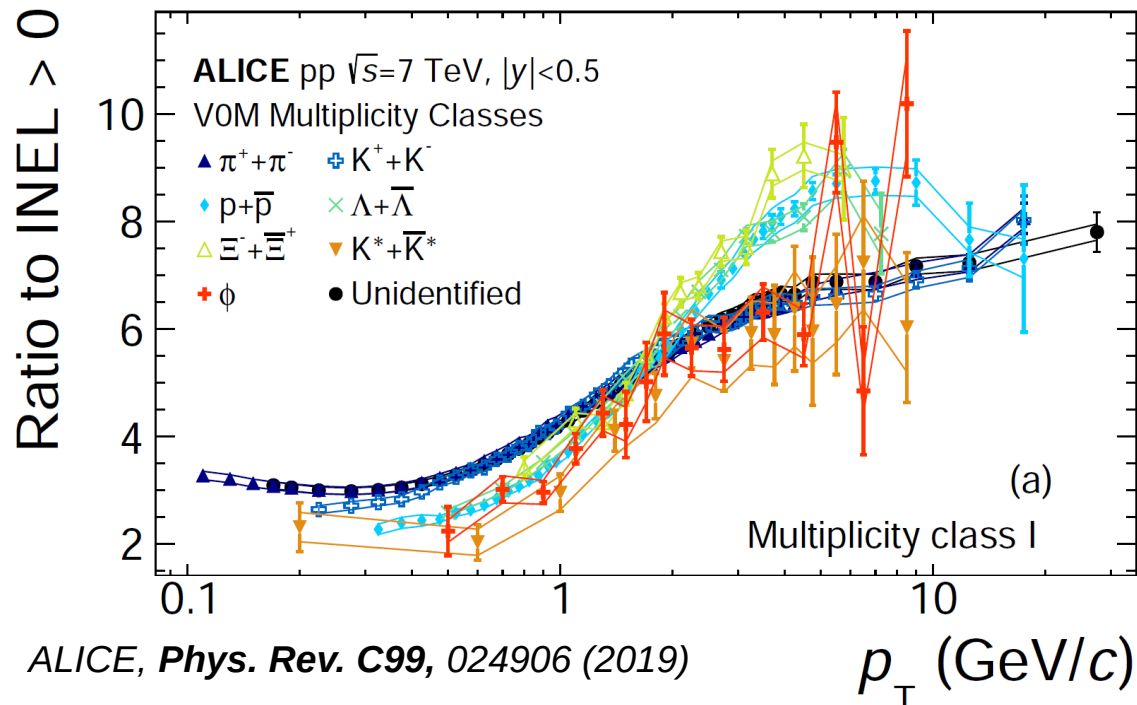
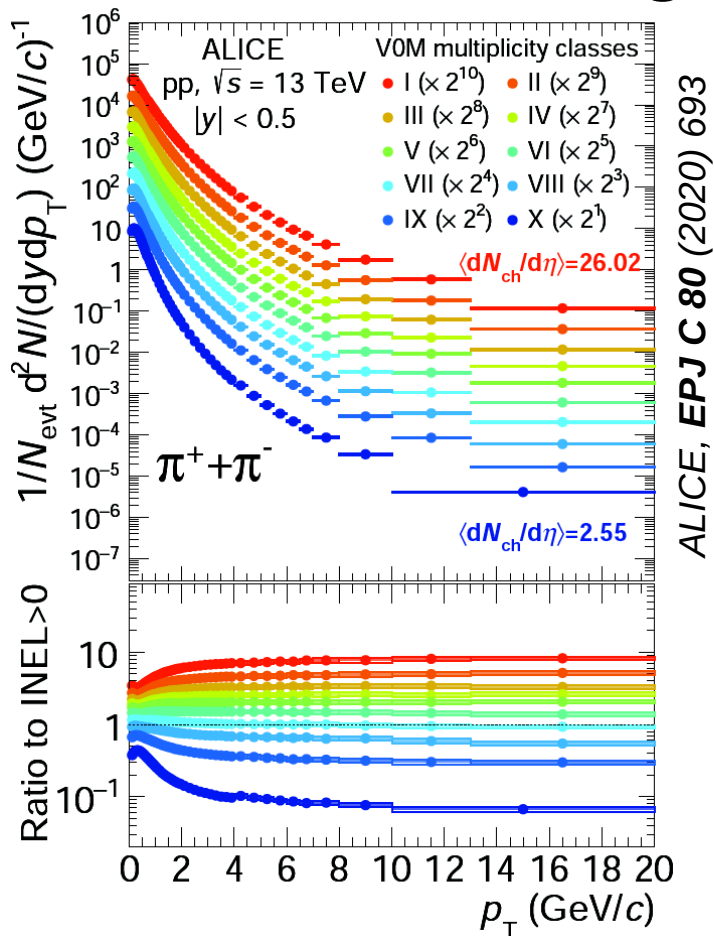
A. Ortiz et al., PRD 102 (2020) 7, 076014



$$R_{\text{pp}} = \frac{d^2 N_{\text{ch}}^{\text{MPI selection}} / \langle N_{\text{MPI selection}} \rangle d\eta dp_T}{d^2 N_{\text{ch}}^{\text{min. bias}} / \langle N_{\text{min. bias}} \rangle d\eta dp_T}$$

Arány: “nagy MPI” pp ütközések hozama az “átlagos” (minimum bias, MB) ütközések hozamához képest

Eddig mért ALICE eredmények

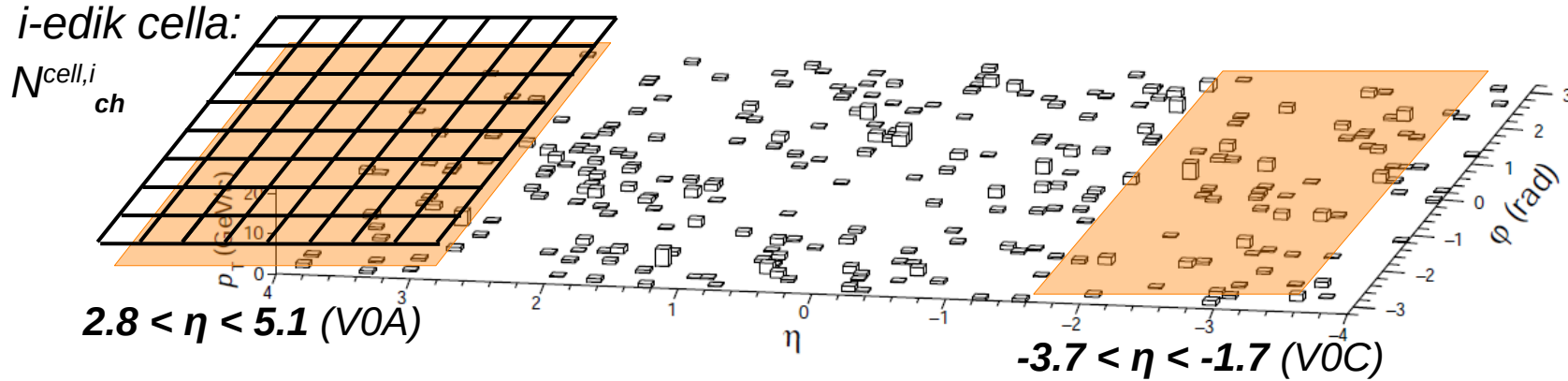


Eddig: torzítás az alkalmazott eseményválogatás miatt nagy p_T értékeknél
Új típusú eseményválogatás szükséges, mely mérsékli a torzítást

Új típusú eseményklasszifikáció

- **Részecskeszám mérése $\eta - \varphi$ információ felhasználásával**
 $2.8 < \eta < 5.1$ (V0A), $-3.7 < \eta < -1.7$ (V0C) és φ azimutális irányban (8x8 cella)

PYTHIA 8.303 (Monash 2013), pp $\sqrt{s} = 13$ TeV, $N_{\text{mpi}}=24$, $N_{\text{ch}}=325$, $\rho=0.58$

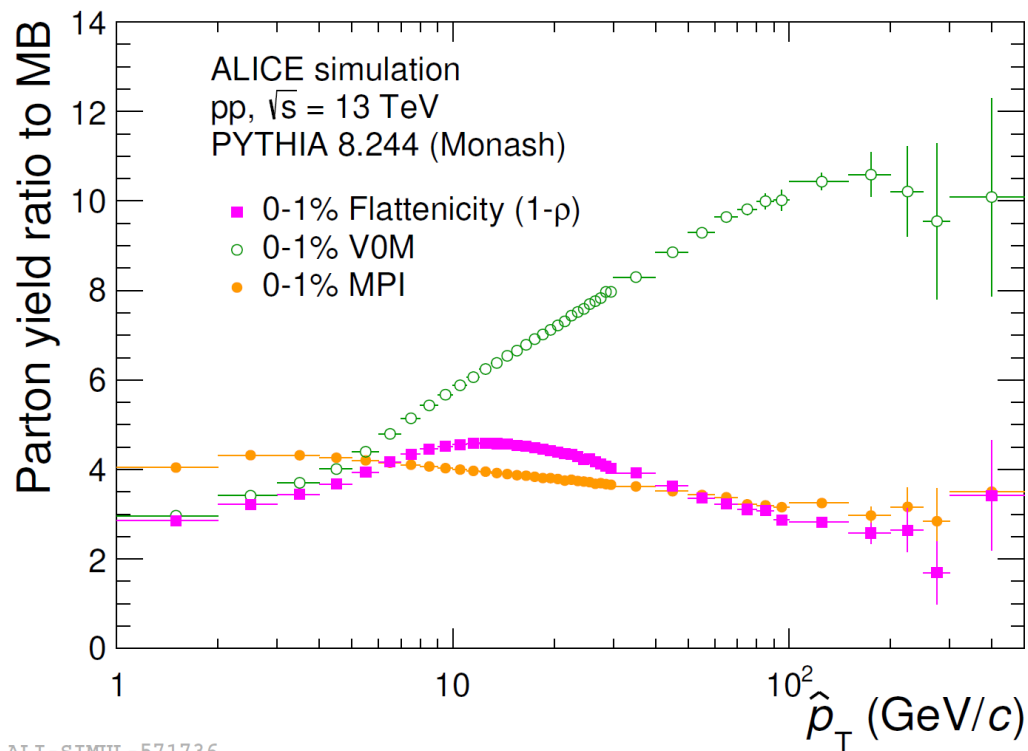


A. Ortiz et. al,
Rev.Mex.Fis.Suppl. 3 (2022) 4, 040911

- $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$: **töltött részecskék száma az i -edik cellában**
- $\langle N_{\text{cell},\text{ch}} \rangle$: **esemény szerinti átlagos részecskeszám $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$**
- **Ütközési eseményenként megmérjük a köv. arányt:**
- ezt a klasszifikációt **“Flattenicity”**-nek nevezzük

$$\rho = \frac{\sqrt{\sum_i (N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{cell},\text{ch}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{cell},\text{ch}} \rangle}$$

Szimulált részecskehozamok nagy p_T -n: V0M és flattenicity szelekció esete



ALI-SIMUL-571736

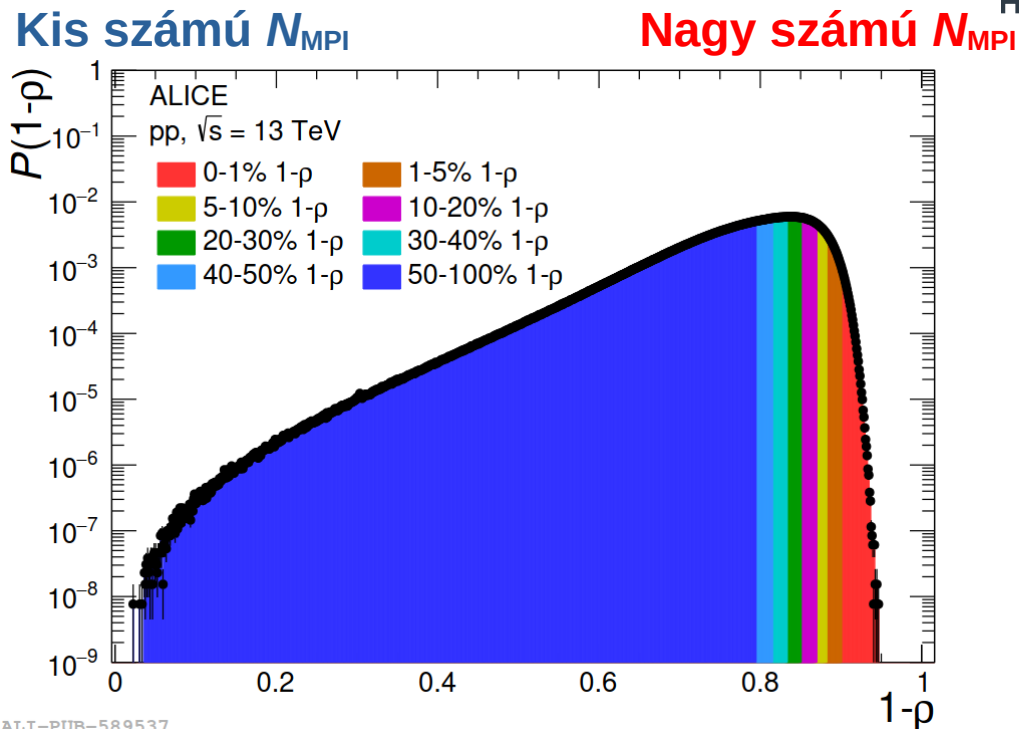
- Arány:** partonok hozama a “legaktívabb” (0-1% hatáskeresztmetszetű) eseményben az “átlagos” (MB) eseménybeli hozamhoz képest

$$\text{ratio}(\hat{p}_T) = \frac{\left. \frac{1}{N_{\text{ev}}} \frac{dN_{\text{parton}}}{d\hat{p}_T} \right|_{1\% \text{ xsec}}}{\left. \frac{1}{N_{\text{ev}}} \frac{dN_{\text{parton}}}{d\hat{p}_T} \right|_{\text{MB}}}$$

- V0M szelekció** (korábbi mérésekben): nagy p_T értékeknél torzítás (jet bias)
- Flattenicity szelekció:** nagy p_T értékeknél hasonló viselkedést mutat **a sokparton kölcsönhatáson** alapuló szelekcióval

- Adathalmaz:
2016–18 LHC pp ütközések 13 TeV tkp. energián, 1.6×10^9 esemény (integrált luminozitás: 21 nb^{-1})
- A továbbiakban a $1 - \rho$ definíciót alkalmazzuk: más, eseményt mérő mennyiségekkel direkt összehasonlítható
- Szisztematikus bizonytalanságok $\sim 10\%$

$$\rho = \frac{\sqrt{\sum_i (N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

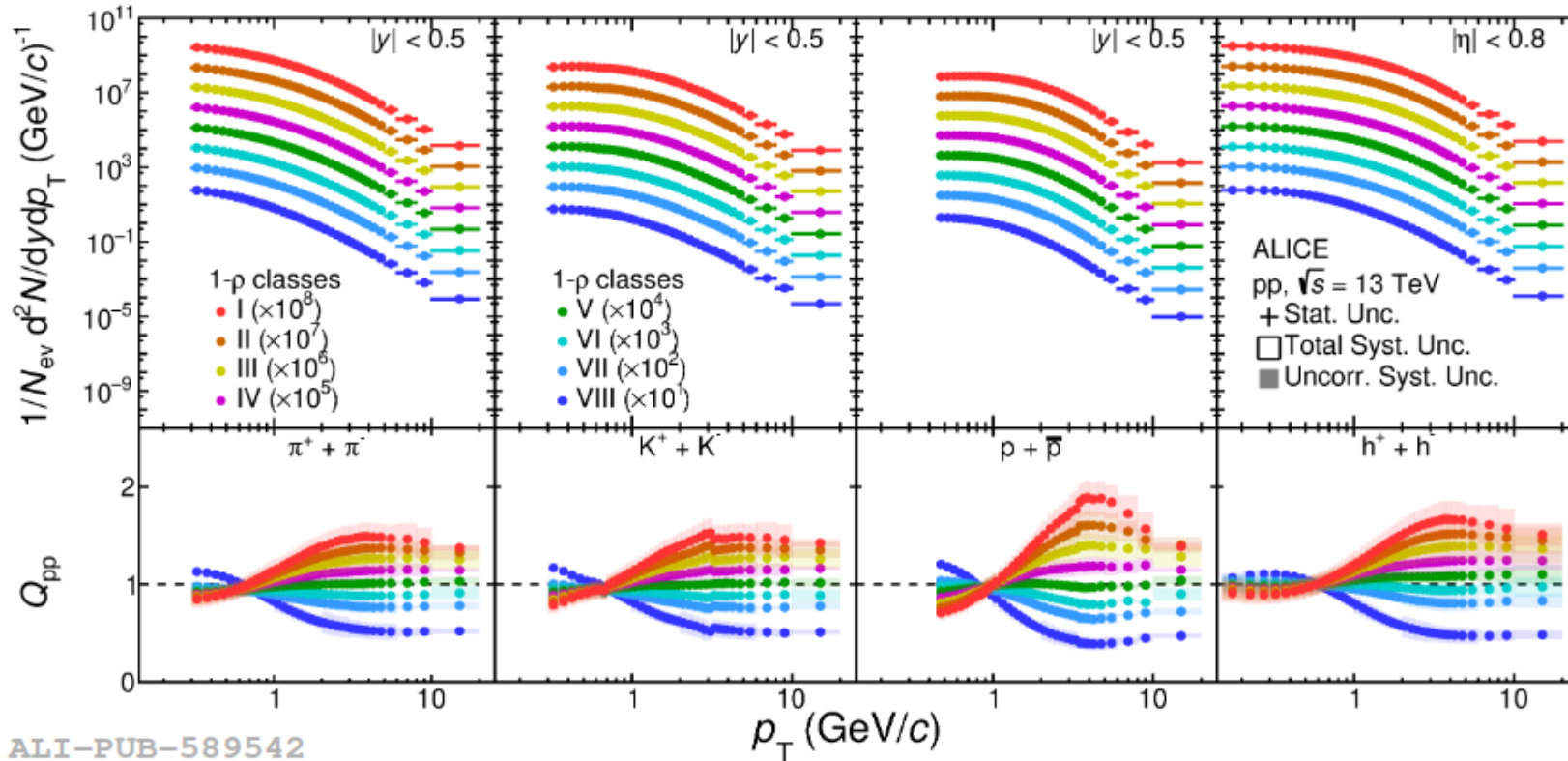

 $1 - \rho \rightarrow 0$

- Jeteket (is) tartalmazó események

 $1 - \rho \rightarrow 1$

- Izotróp részecskeeloszlás

Eredmények: p_T spektrumok és Q_{pp} arányok



ALI-PUB-589542

$\langle dN_{ch}/d\eta \rangle_{|\eta| < 0.8}$
 $\approx 3.2 \times \langle N_{ch} \rangle^{MB}$

 $\langle dN_{ch}/d\eta \rangle_{|\eta| < 0.8}$
 $\approx 0.5 \times \langle N_{ch} \rangle^{MB}$

Események "alakja":
 Jet-szerű izotróp

Hozam arányok:

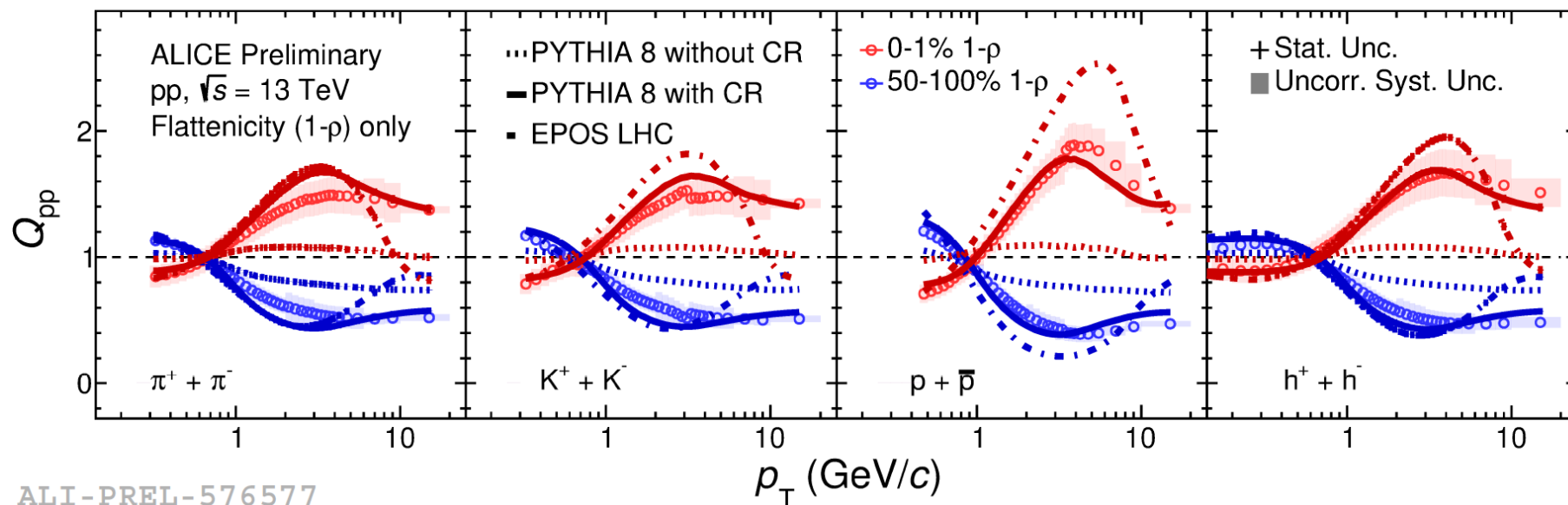
$$Q_{pp} = (d^2N / \langle dN_{ch}/d\eta \rangle / d\eta dp_T)^{1-\rho_{class}} / (d^2N / \langle dN_{ch}/d\eta \rangle / d\eta dp_T)^{Minimum}$$

1) $p_T < 10$ GeV/c: részecskeszám növekedésével markáns csúcs (0–1% 1-p, I. eseményosztály)

2) $p_T > 10$ GeV/c: $Q_{pp} \sim 1$, a nagy p_T -s folyamatok gyengén érzékenyek a szelekcióra (korábban nem láttuk!)

A Q_{pp} arány összehasonlítása modellekkel

$$Q_{pp} = \frac{\left(\frac{d^2 N / d\eta dp_T}{\langle dN_{ch} / d\eta \rangle} \right)^{1-\rho} \text{ class}}{\left(\frac{d^2 N / d\eta dp_T}{\langle dN_{ch} / d\eta \rangle} \right)^{\text{Min. bias}}}$$



ALI-PREL-576577

- **PYTHIA 8** Monash 2013 (MPI és CR effektusokkal) jó leírja az adatokat
- **EPOS LHC** (parametrizált kollektív hidrodinamikával) részben írja csak le az adatokat

PYTHIA 8 - *Comput.Phys.Commun.* 191 (2015) 159-177; EPOS LHC - *Phys. Rev. C* 92, 034906

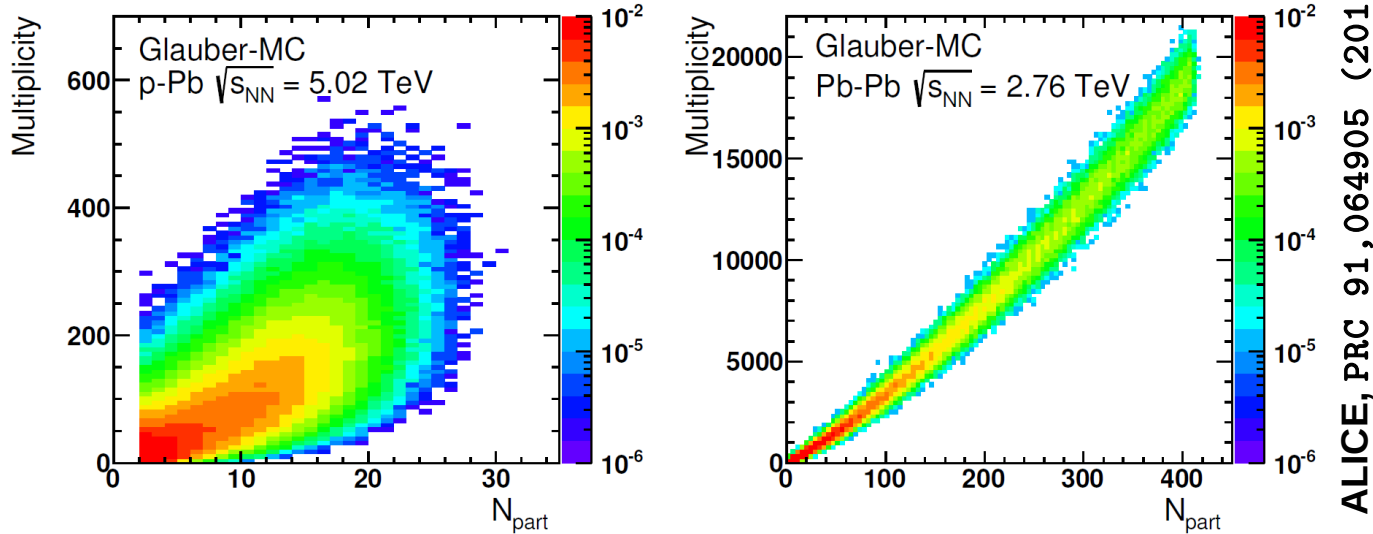
Bencédi Gyula, HUN-REN Wigner FK

Események “alakja”:
 izotróp
 Jet-szerű

“Flattenicity” proton-ólom ütközésekben

J. PHYS. G: NUCL. PART. PHYS. 51 125003 (2024)

- **Proton-ólom ütközések:** N_{part} eloszlások szélességéhez képest **jelentős részecskeszám fluktuációk**
- **Fluktuációk** különböző típusú ütközésekből: nagy Q^2 “kemény” folyamatok vagy **N-N ütközés sok MPI**



- Gyenge korreláció az ütközési geometria (N_{part}) és az esemény aktivitása (rész.szám) között
- A “kemény” p-N folyamatok torzítottak → nem teljesül az N_{coll} skálázás → $R_{\text{pA}} \neq 1$ ($p_T > 10 \text{ GeV}/c$)
- **Megoldás:**
 - lassú nukleonok mérése (ZDC) “forward η ” régióban (ALICE, PRC 91, 064905 (2015))
 - Új eseményszelekció (Flattenicity) alkalmazása?

“Flattenicity” proton-ólom ütközésekben

J. PHYS. G: NUCL. PART. PHYS. 51 125003 (2024)

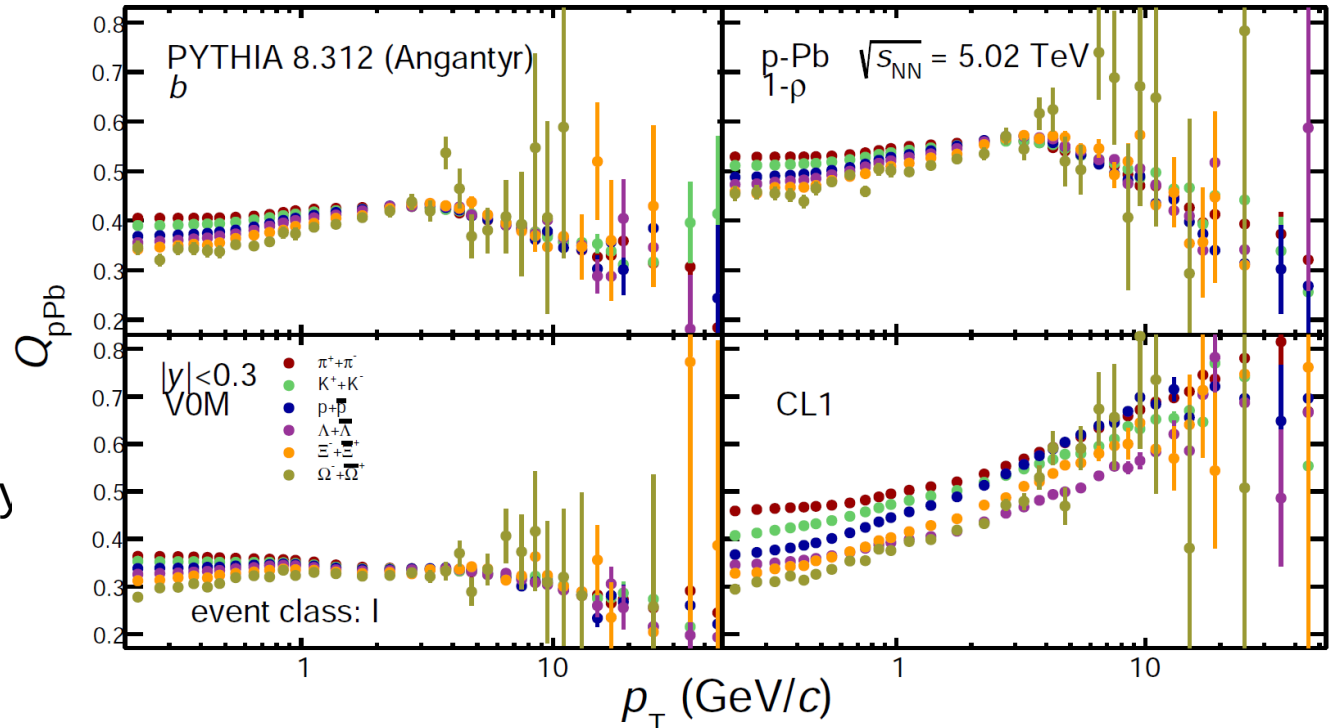


- Flattenicity tesztelése a nukleáris módosulási faktoron:
$$Q_{\text{pPb}}(p_T) = \frac{dN^{\text{pPb}}/dp_T}{\langle N_{\text{coll}} \rangle dN^{\text{PP}}/dp_T}$$

- Centrális eseményben:

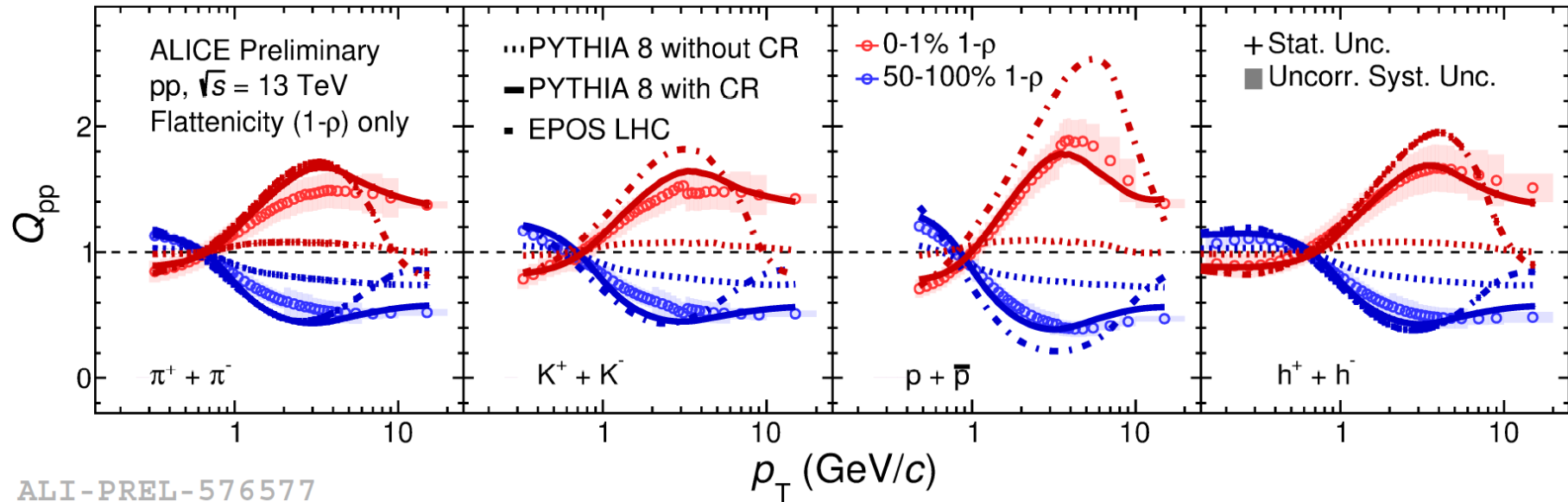
(1) **impakt-paraméter és Flattenicity szelekció:**
 Q_{pPb} hasonló p_T fejlődés

(2) középrapiditás szelekció:
nem-fizikai effektus, kemény folyamatok torzítása miatt



Összefoglalás

- Az ALICE elsőként mérte meg új típusú eseményklasszifikációval ("Flattenicity") a töltött részecskehozamokat proton-proton ütközésekben 13 TeV tkp. energián



ALI-PREL-576577

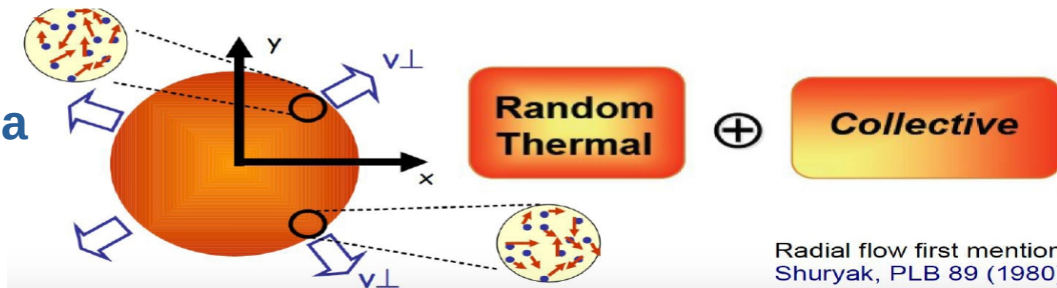
- Megmutattuk, hogy a sokparton kölcsönhatásokra érzékeny, új eseményszelekció jelentősen csökkenti a korábbi eseményválogatás miatti (kemény folyamatok miatti) torzítást
- A PYTHIA mikroszkópikus modell (színhurok és sokparton kölcsönhatás figyelembevételével) jó kvalitatív leírását adja a mérési adatoknak

Tartalék diák

A kvark-gluon plazma (QGP) kísérleti tanulmányozása

“Lágy próbák”: a “folyás” (flow)

Folyási kép: részecskék kollektív mozgása

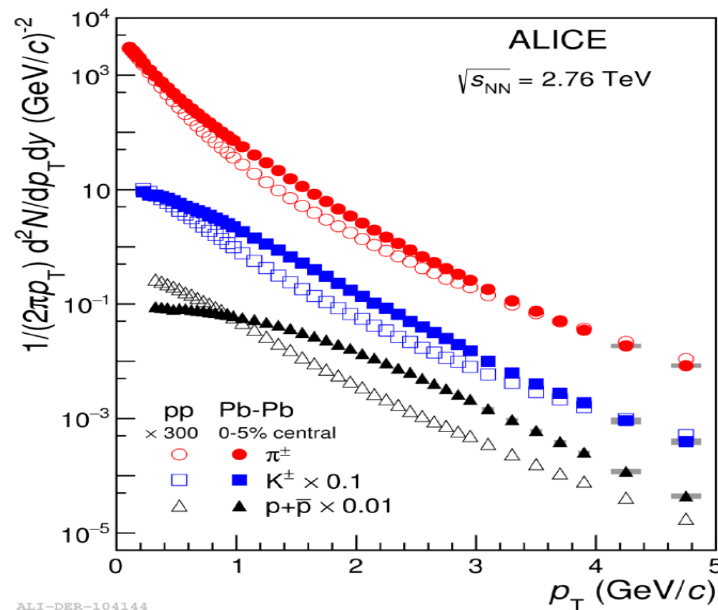


Radial flow first mentioned:
Shuryak, PLB 89 (1980) 253

Radiális folyás (nyomásgradiensek hatására radiális hidrodinamikai tágulás):

- természetes következménye a kölcsönható rendszer vákuumba történő tágulásakor
- A p_T spektrumok alakjának változása függ a részecske tömegétől $p = \beta\gamma \cdot m$
- **A töltött hadronok 95%-a 2 GeV/c alatti** (transzverzális) impulzuseloszlással keletkezik
→ “lágy” folyamat → pQCD nem alkalmazható

08/22/25



A kvark-gluon plazma (QGP) kísérleti tanulmányozása

“Lágy próbák”: a “folyás” (flow)

Térbeli deformáció

Folyási kép: részecskék kollektív mozgása

Elliptikus folyás:

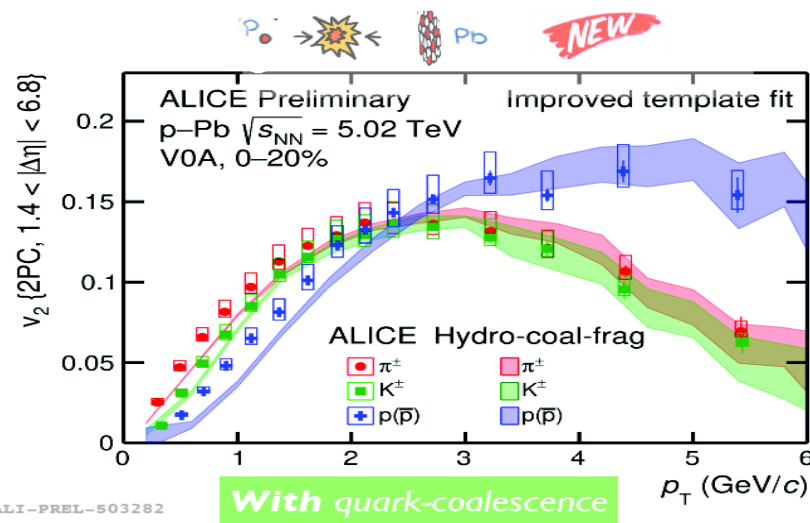
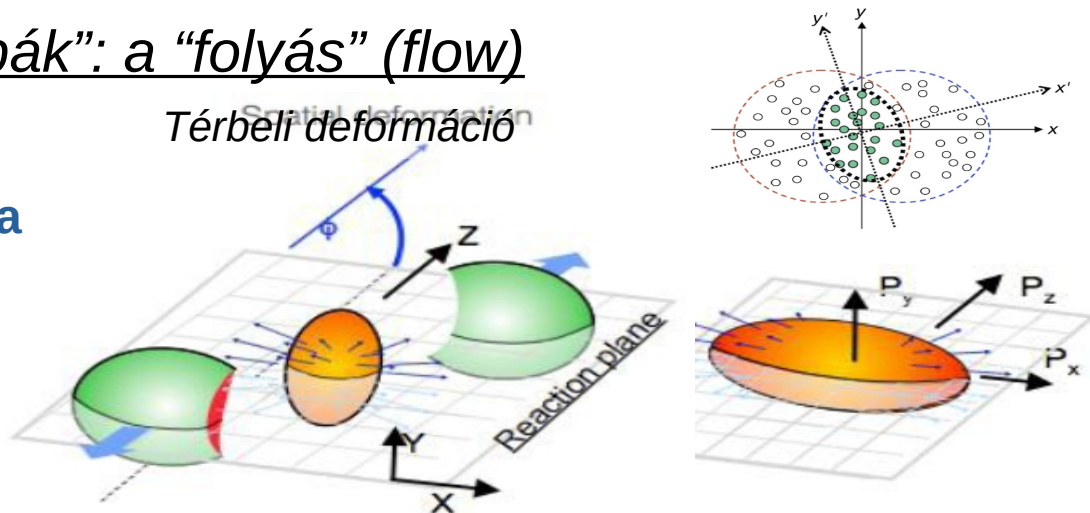
→ Kezdeti állapotban térbeli anizotrópia
→ végállapotú impulzus anizotrópia

→ A QGP kölcsönható közeg kezdeti feltételekre adott válasza érződik a végállapotú részecskék szögeloszlásán

$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos[n(\phi - \Psi_R)] \right)$$

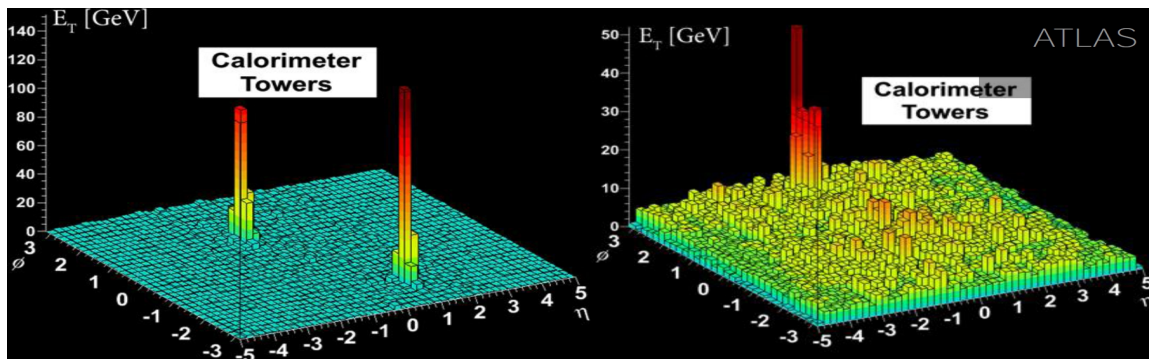
Radiális folyás, v_1 – direkt folyás, v_2 – elliptikus, ...

08/22/25



A kvark-gluon plazma (QGP) kísérleti tanulmányozása

“Kemény próbák”: nagy p_T -s hadronok, jetek

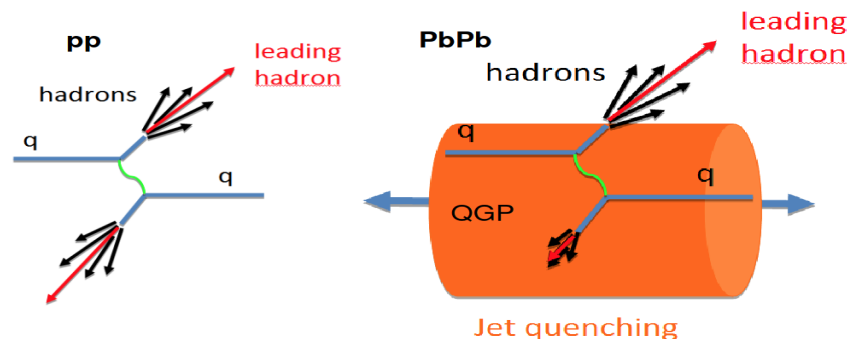


Peripheral Pb-Pb



[PRL105:252303,2010]

Central Pb-Pb



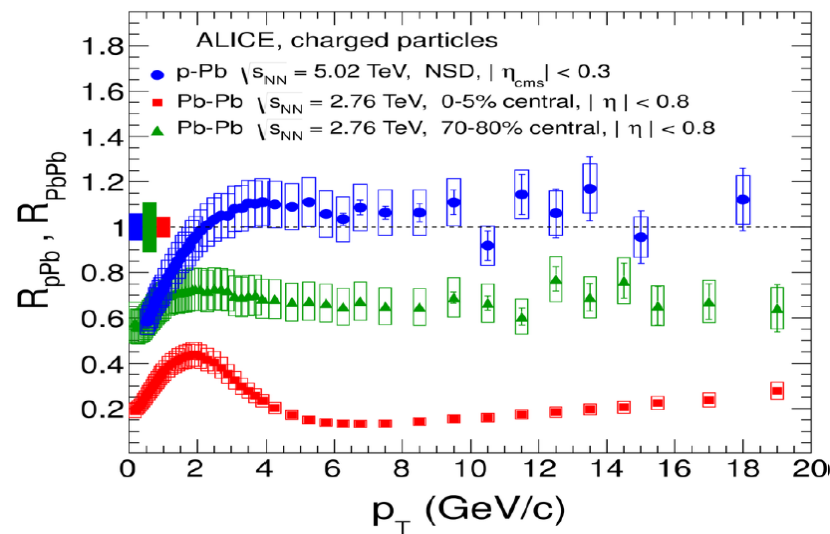
➔ perturbatív QCD leírás alkalmazható:

$$p_T \gg \Lambda_{\text{QCD}} \quad (\tau \approx 1/p_T \approx 0.1 \text{ fm}/c),$$

➔ nagy n -ű töltött hadronok hozamának



$$R_{pA} = \frac{dN_{pA} / dp_T}{\langle N_{\text{coll}} \rangle dN_{pp} / dp_T}$$

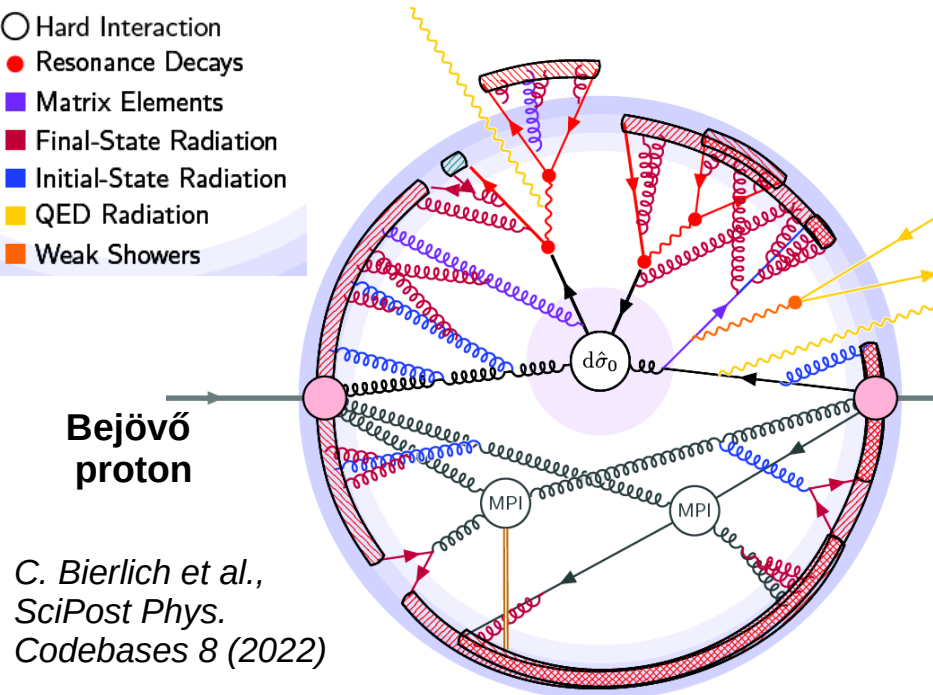


Nagyenergiás proton-proton ütközés:

kemény parton-parton kölcsönhatás és háttéreseemény (UE) PYTHIA 8-ben modellezve

- Hard Interaction
- Resonance Decays
- Matrix Elements
- Final-State Radiation
- Initial-State Radiation
- QED Radiation
- Weak Showers

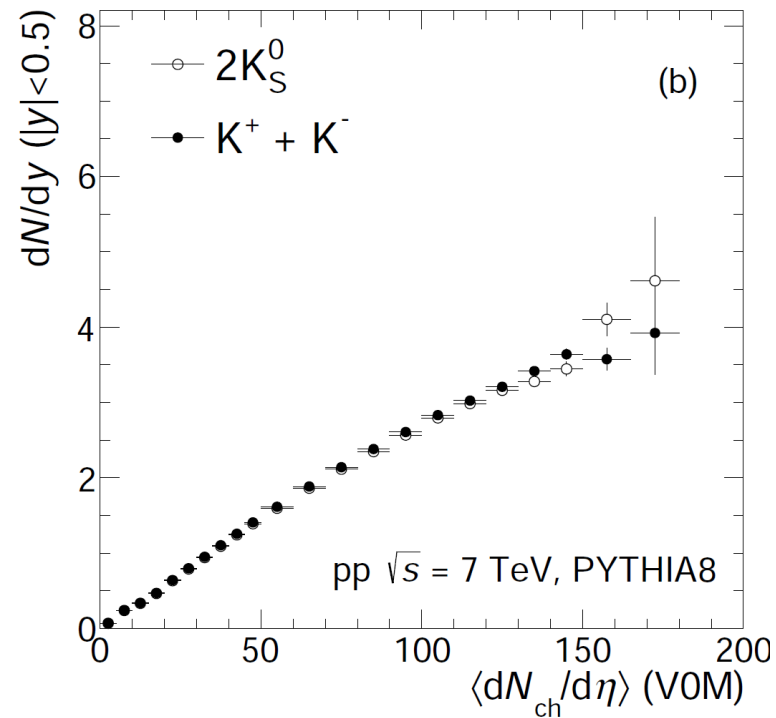
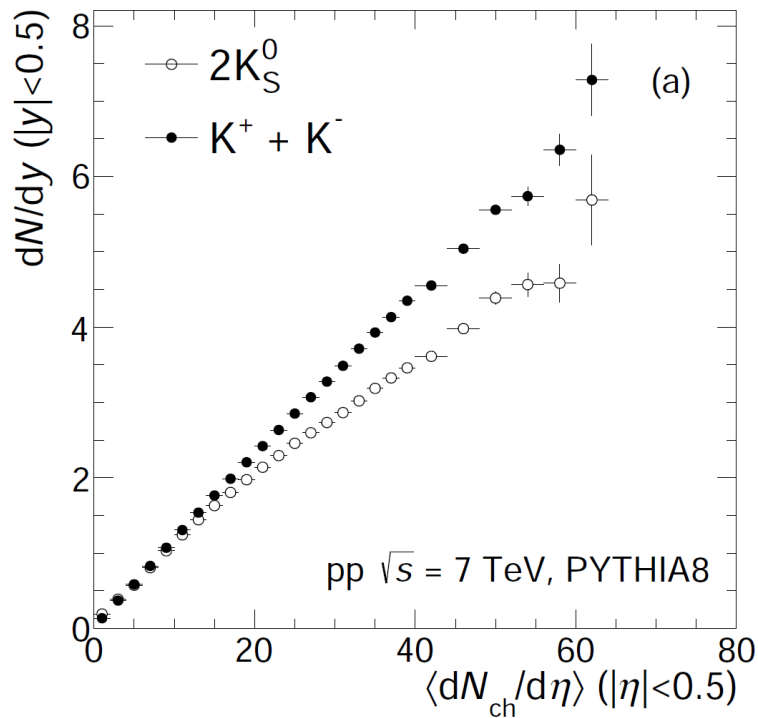
- Multiparton Interactions *PYTHIA 8 - Comp.Phys.Com. 191 (2015) 159-177*
- Beam Remnants*
- Strings
- Ministrings / Clusters
- Colour Reconnections
- String Interactions



Egy proton-proton ütközés modellezése
a PYTHIA 8 eseménygenerátorral
(hadronizáció nélkül).

(1) UE sokparton kölcsönhatást (MPI)
tartalmaz → mérések az LHC-nál

(2) Végállapotú hadronok tulajdonságai
érzékenyek az MPI és más nem
perturbatív végállapotú effektusokra:
szín újrarendeződés (Color Reconnection, CR)



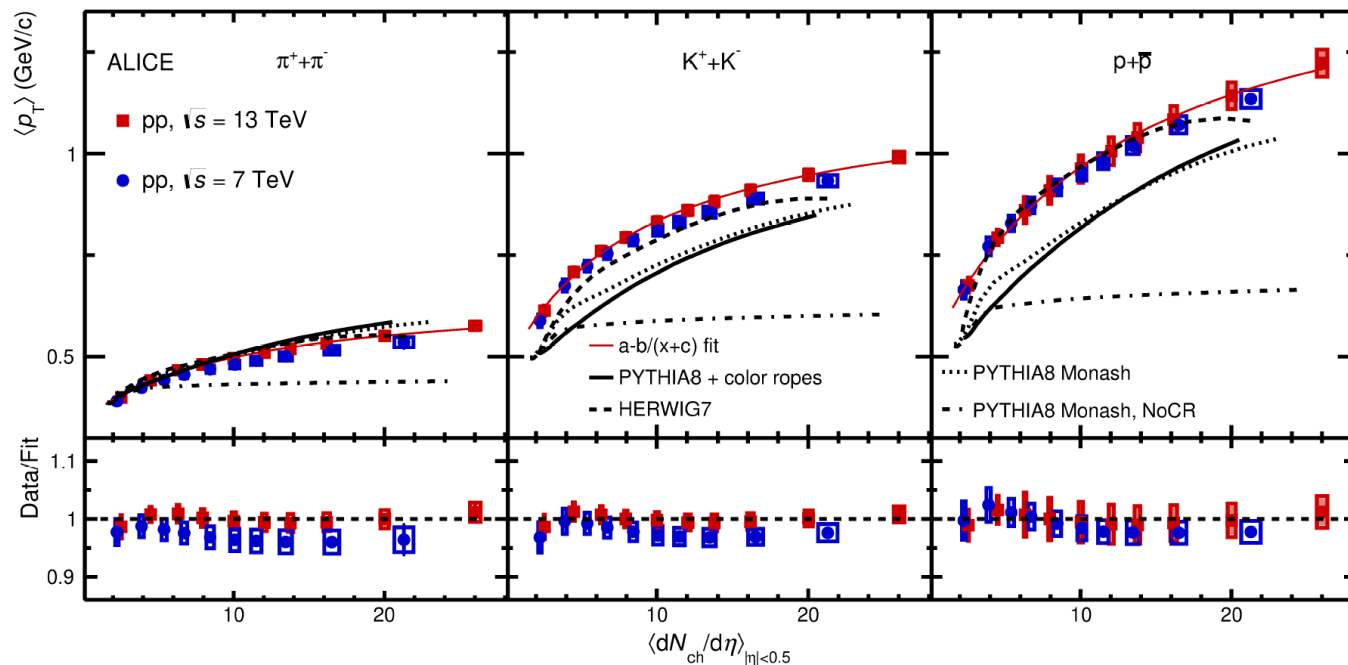
Multiplicity dependence of charged and neutral kaon yields obtained using
 (a) *mid-pseudorapidity charged particle multiplicities ($|\eta|<0.5$) and*
 (b) *the charged particle multiplicities within the pseudorapidity range corresponding to the V0A and V0C detectors (denoted by VOM, corresponding to $-3.7<\eta<-1.7$ and $2.8<\eta<5.1$) in PYTHIA8 simulations of inelastic pp collisions at 7 TeV*

Average transverse momenta of π , K, and p as a function of charged-particle multiplicity density

CR in pp collisions with large number of MPI is particularly pronounced:

→ correlation between the average transverse momentum and charged-particle multiplicity

→ mass dependent and reminiscent of radial flow effects in heavy-ion collisions



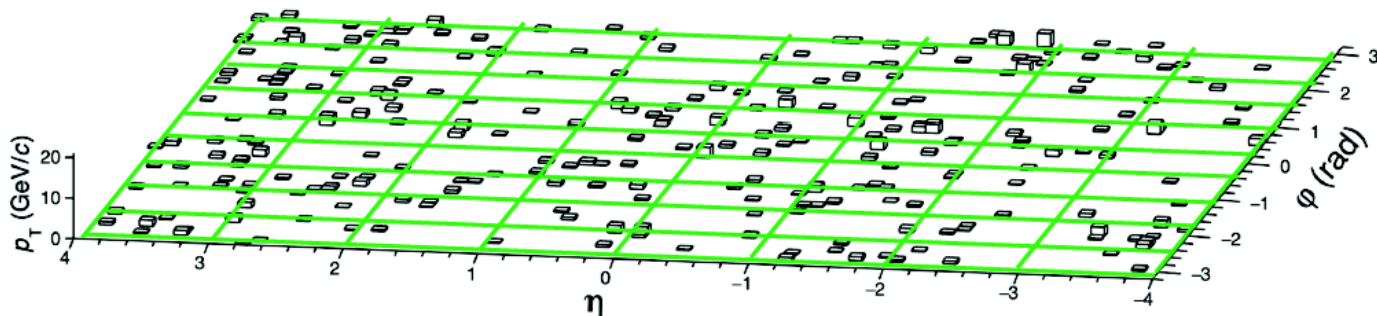
ALI-PUB-498582

ALICE Collaboration, EPJ C 80 (2020) 693

MC studies on Flattenicity

Define a grid in the $\eta - \phi$ plane: $N_{\text{cell}} = 10 \times 8$

Phys. Rev. D 107, 076012



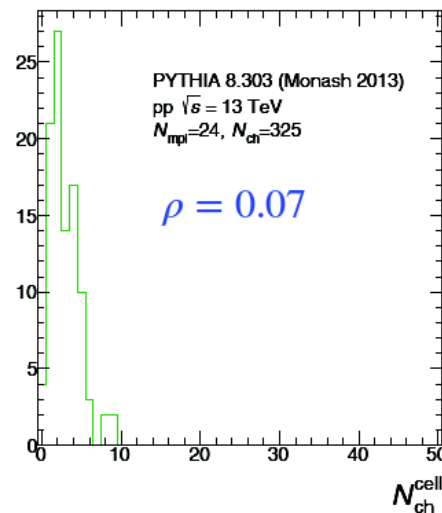
The $N_{\text{ch}}^{\text{cell}}$ distribution is obtained (EbE)

Measure the charged-particle multiplicity in the i -th cell: $N_{\text{ch}}^{\text{cell},i}$

For each event Flattenicity is computed:

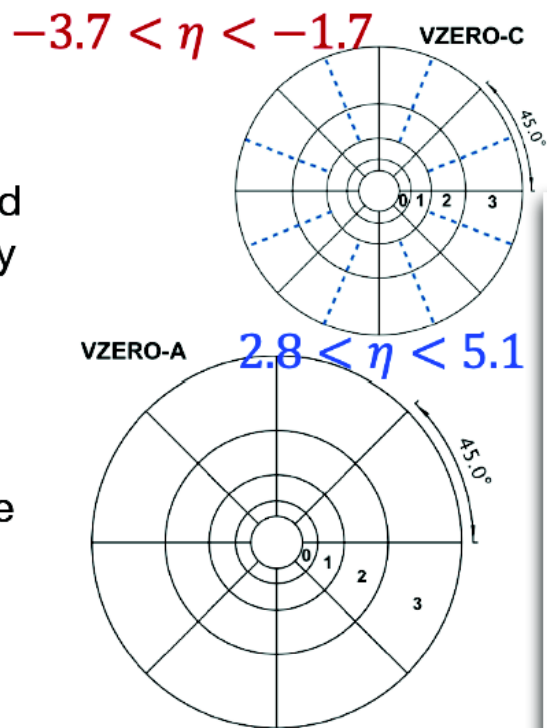
$$\rho = \frac{\sqrt{(N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

Events with isotropic distribution of particles are expected to have small ρ ($\rho \rightarrow 0$)



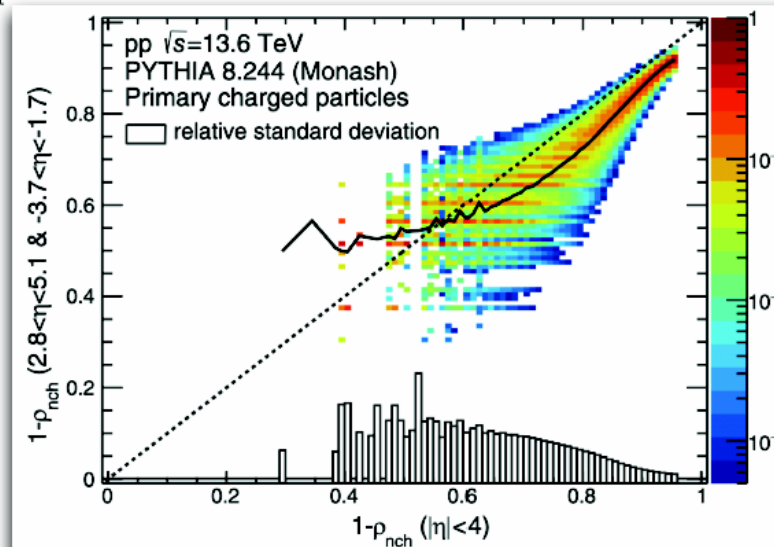
MC studies on Flattenicity

Based on MC simulations, Flattenicity measured in the pseudorapidity interval covered by the ALICE V0A and V0C detectors is strongly correlated with the shape of the events measured in eight units of pseudorapidity



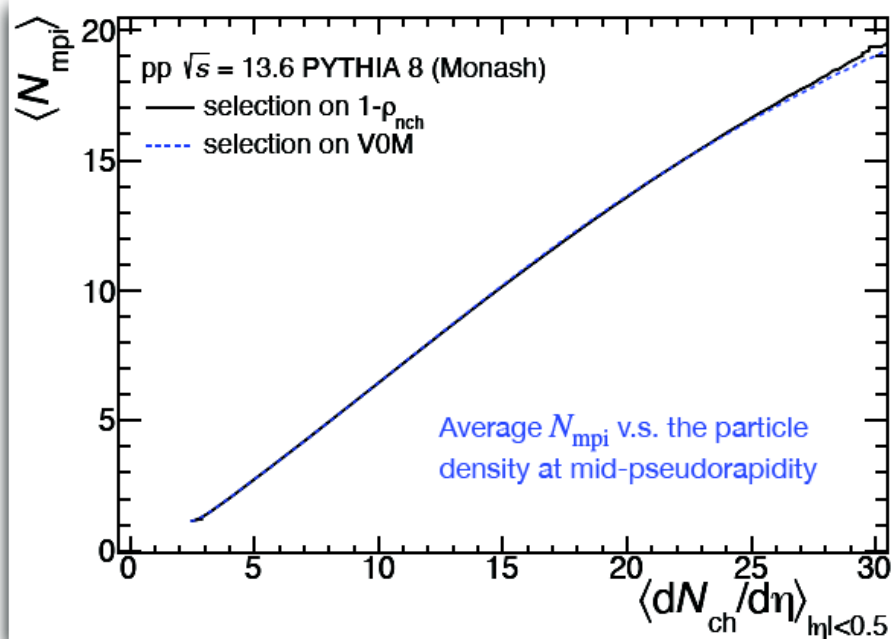
$$\rho = \frac{\sqrt{(N_{\text{ch}}^{\text{cell},i} - \langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle)^2 / N_{\text{cell}}^2}}{\langle N_{\text{ch}}^{\text{cell}} \rangle}$$

Phys. Rev. D 107, 076012

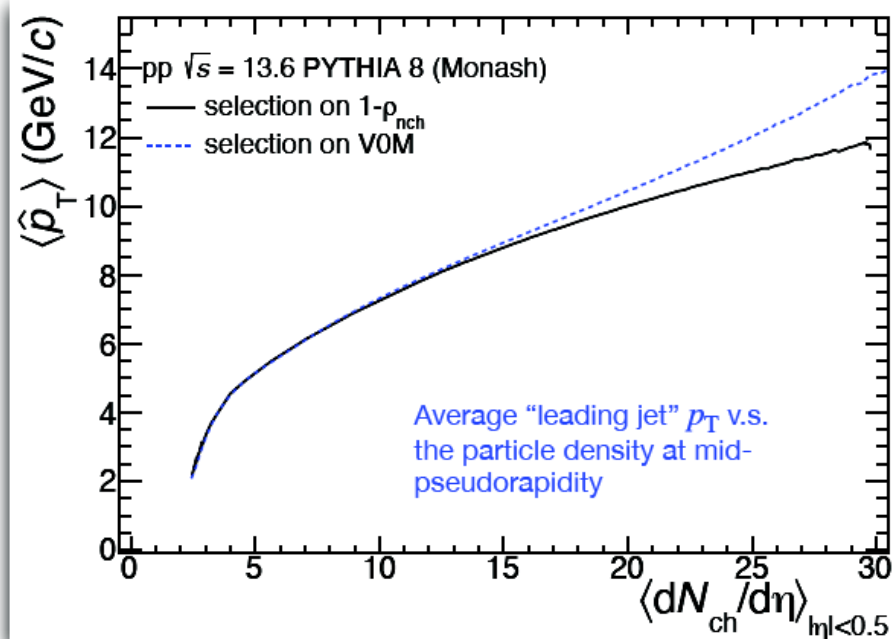


MC studies on Flattenicity

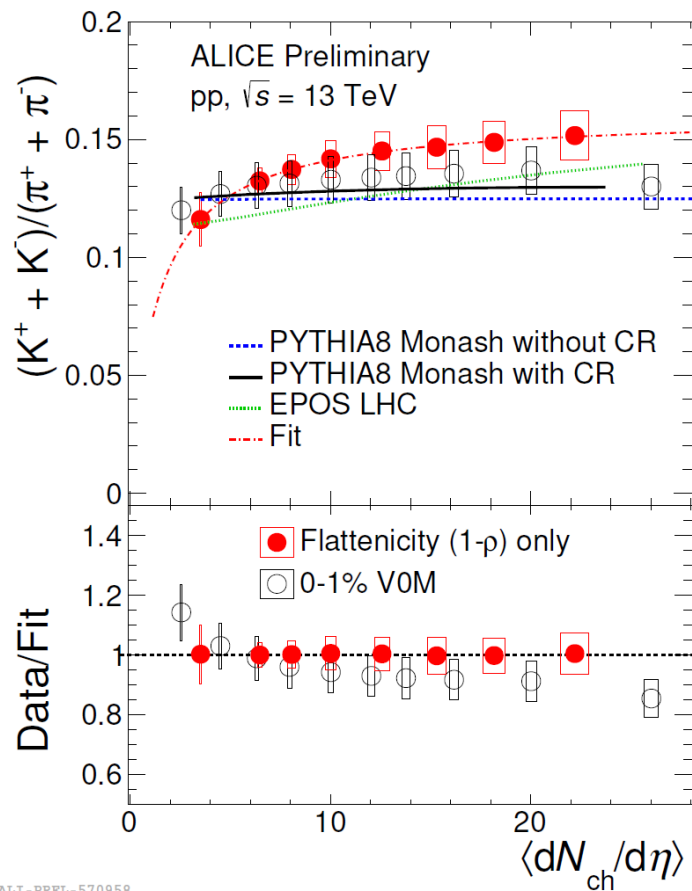
Same sensitivity to MPI as the
VOM multiplicity estimator



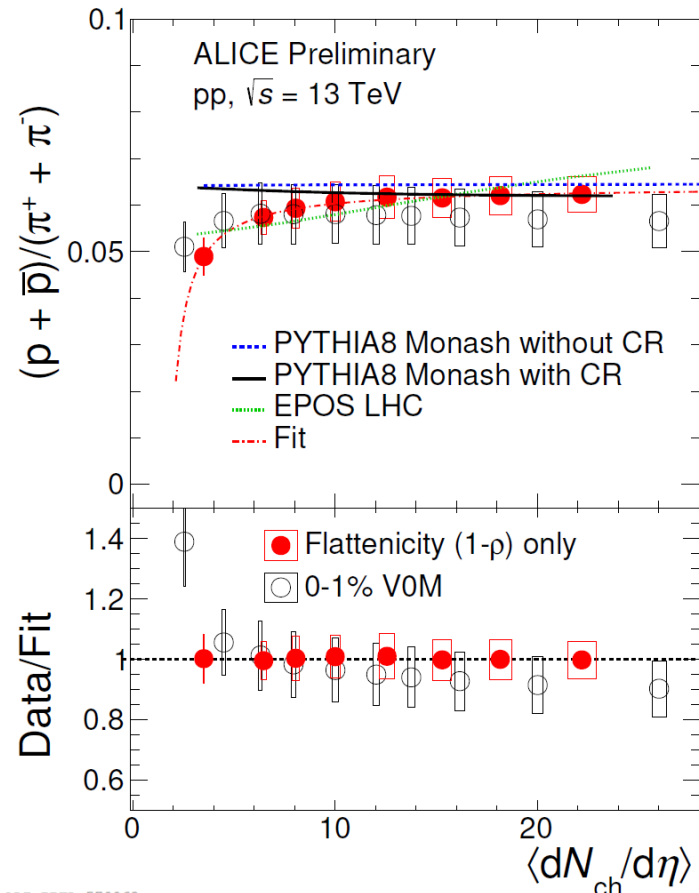
Flattenicity selects “softer” pp
collisions than the VOM estimator



K/π and p/π particle ratios



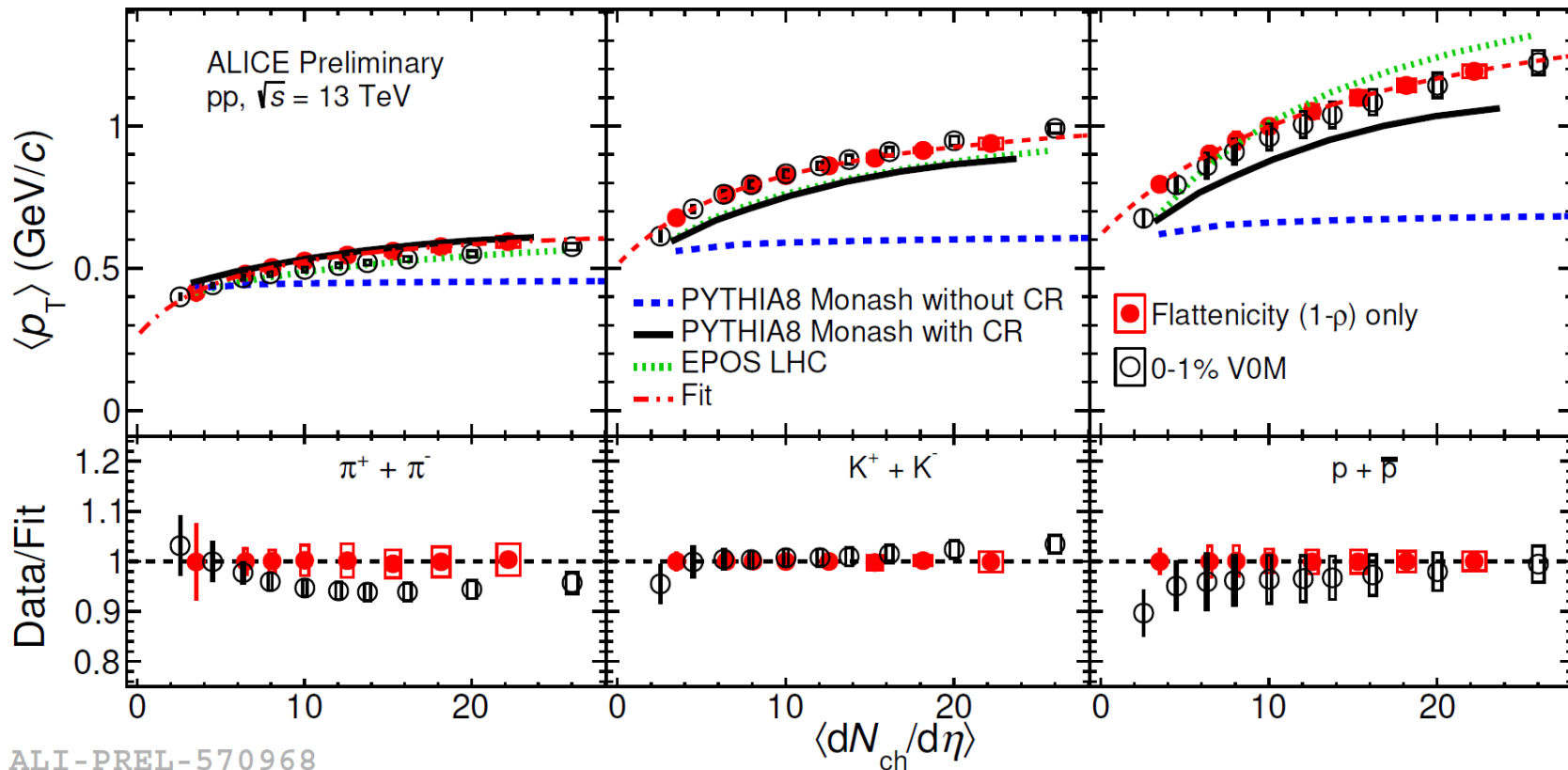
ALI-PREL-570958



ALI-PREL-570963

- **K/π: Flattenicity selection** → **hint of a steeper increase** w.r.t. the V0M selection
 - PYTHIA 8 and EPOS LHC describe the data

Average transverse momentum



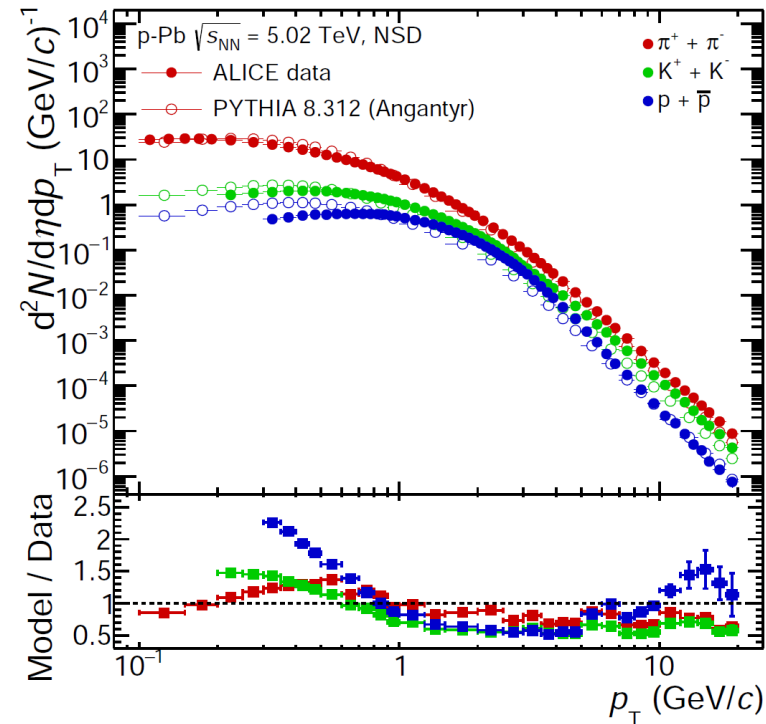
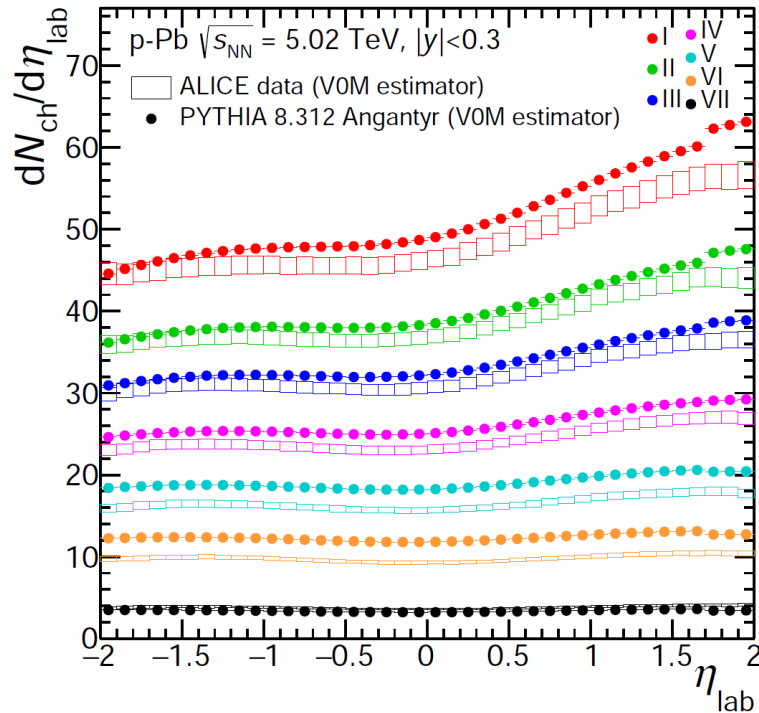
ALI-PREL-570968

Flattenicity selection:

- **Pions indicate a hint of a steeper increase** w.r.t. the V0M selection
- Kaons and protons agree with results from V0M within uncertainties
- PYTHIA with CR and EPOS LHC describe the data qualitatively

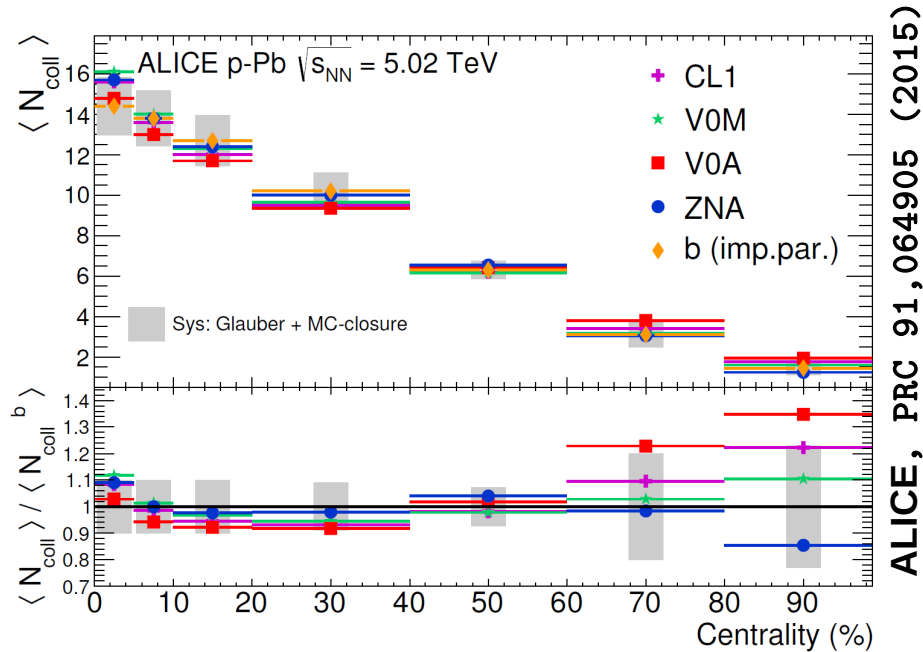
“Flattenicity” proton-ólom ütközésekben

- **PYTHIA 8.312 Angantyr modell** a p-Pb ütközések leírására:
(1) *Glauber modell* + Gribov korrekció, (2) *Szín úrarendezés (CR)* csak egy adott N-N ütközésre
- Flattenicity érzékenységének tesztelése az ütközés impakt-paraméterétől



“Flattenicity” proton-ólom ütközésekben

- **Korábbi eseményklasszifikációk** (V0M, CL1, ... stb.) érzékenyek a résztvevő nukleonok (N_{part}) számának fluktuációira



- **Flattenicity alkalmazása:** jobb klasszifikáció az p-Pb ütközés centralitására

