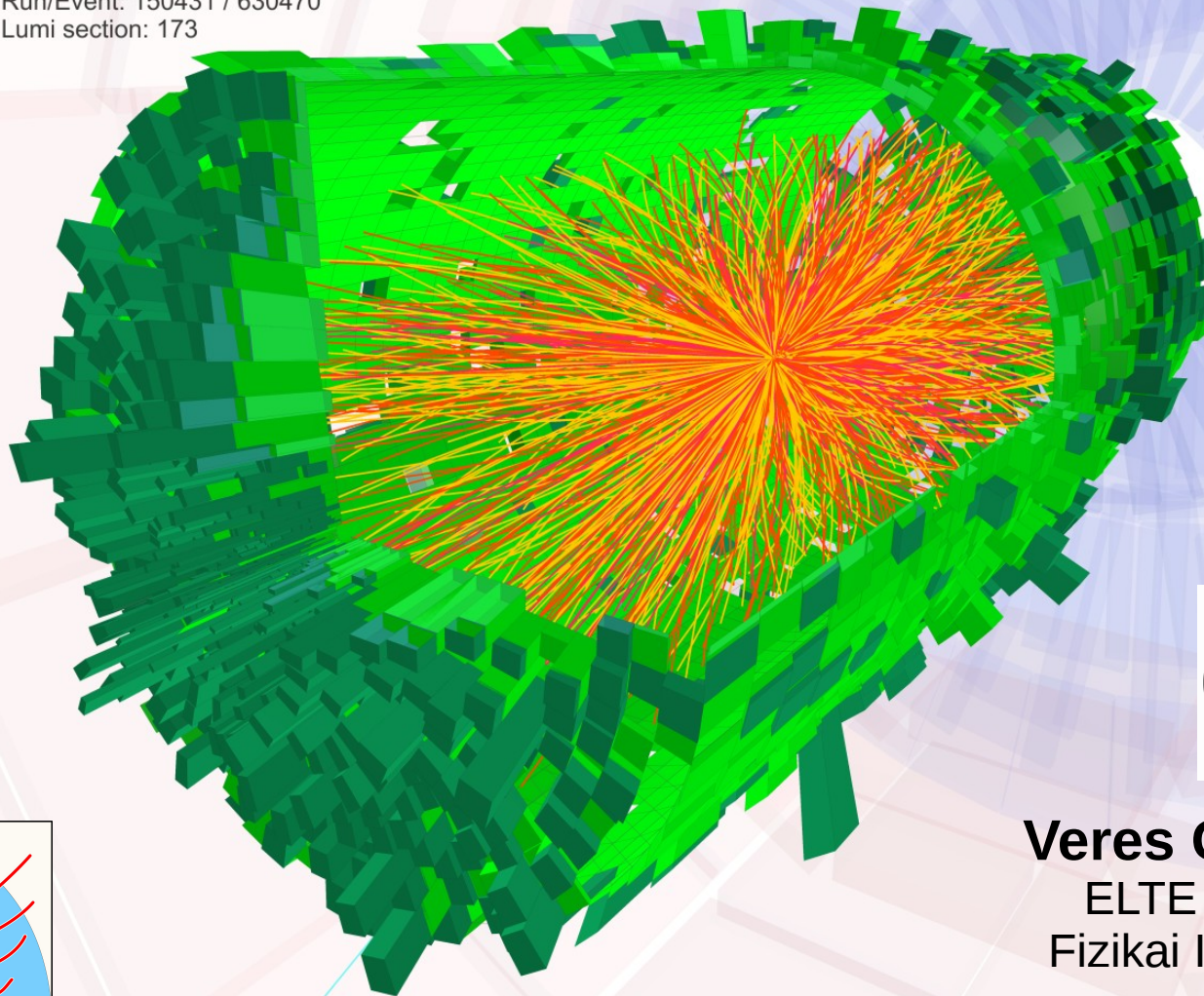


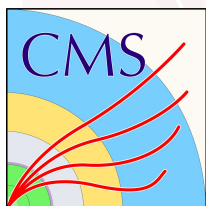
Nehézion-fizika: CMS



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST
Run/Event: 150431 / 630470
Lumi section: 173



Veres Gábor
ELTE TTK
Fizikai Intézet



CERN25 – Magyarok a nagyenergiás fizika élvonalában. Magyarország 25 éve a CERN tagállama
Tudományos ülés, Magyar Tudományos Akadémia, 2018. november 14.

Előzmények: SPS

NA35, NA49, NA61
álló céltárgyas kísérletek

Detektorfejlesztés:

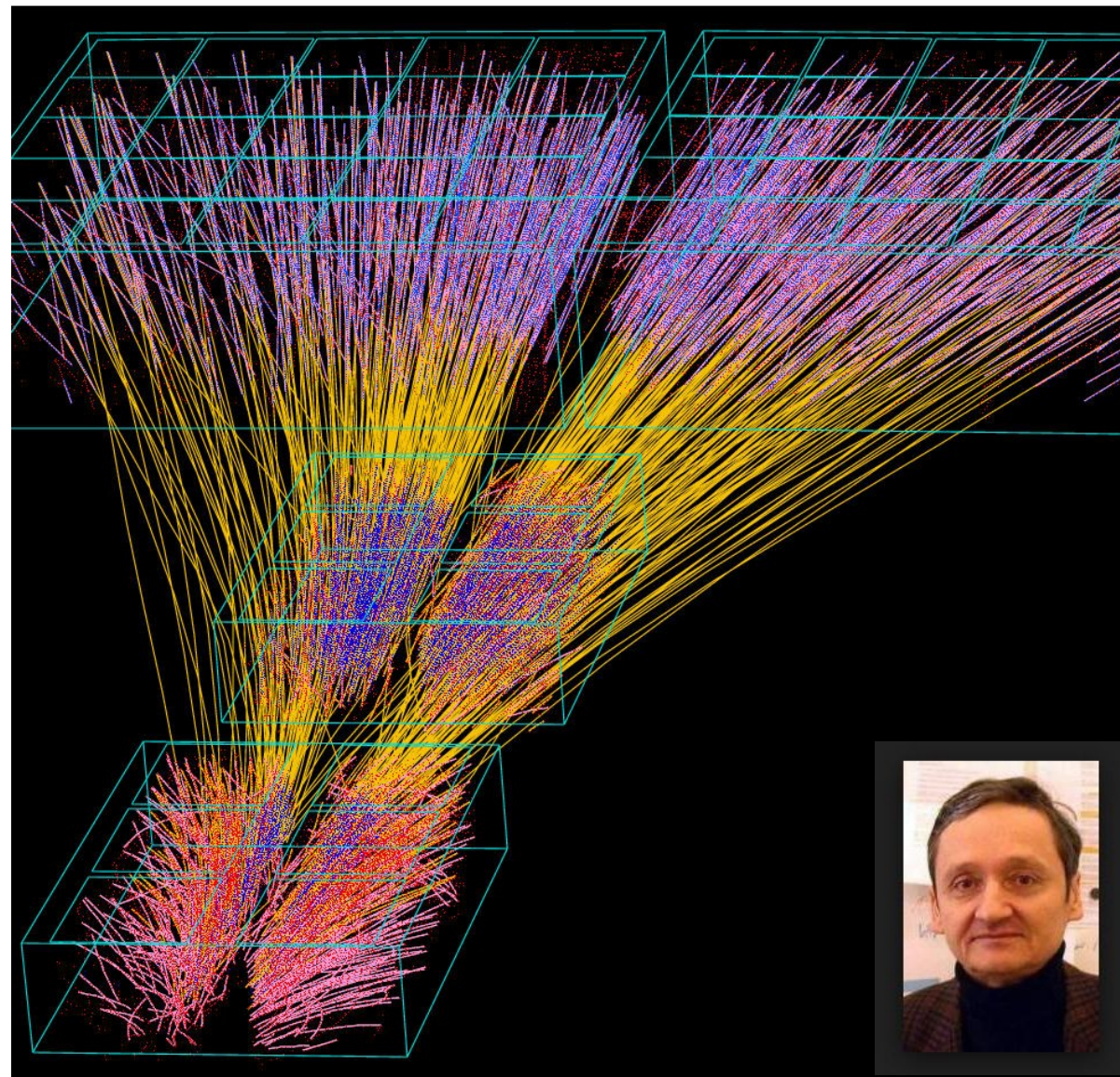
- Repülési idő fal
- Sokszálas ionizációs kamra
- Céltárgy körüli ionizációs kamra
- kalorimetria

Analízis módszertan:

- Részecskepálya-rekonstrukció
- V0 rekonstrukció
- dE/dx kalibráció
- Részecske-azonosítás, stb.

Fizikai eredmények:

- Azonosított részecskék
- Bose-Einstein korrelációk
- Barion-megállás
- Barion-mezon korrelációk
- Nagy p_T : elnyomás p+p-hez képest



kb. 1993-2001 (de máig is)

Vesztergombi György, Siklér Ferenc, Veres Gábor, Barna Dániel, Varga Dezső, László András, γ .

Előzmények: RHIC

PHOBOS és PHENIX
ütközőnyalábos kísérletek

Detektorfejlesztés:

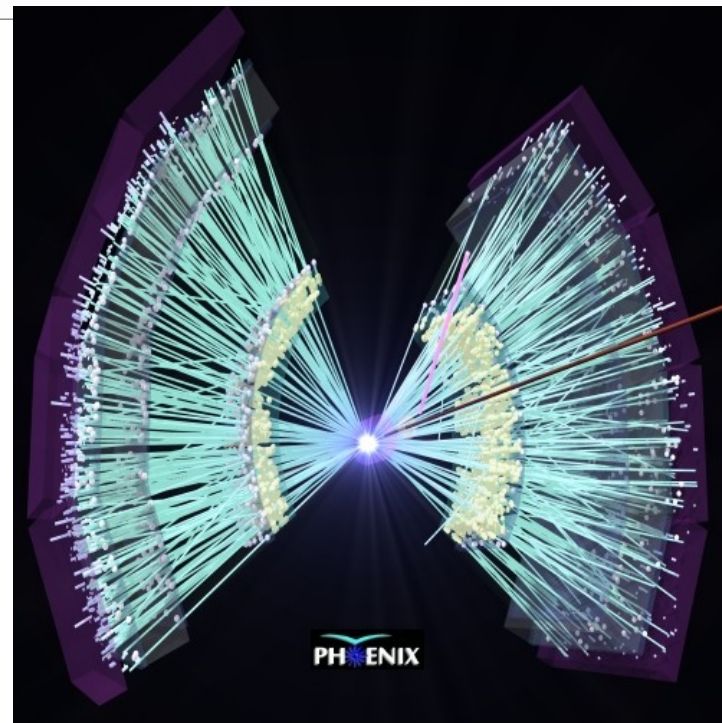
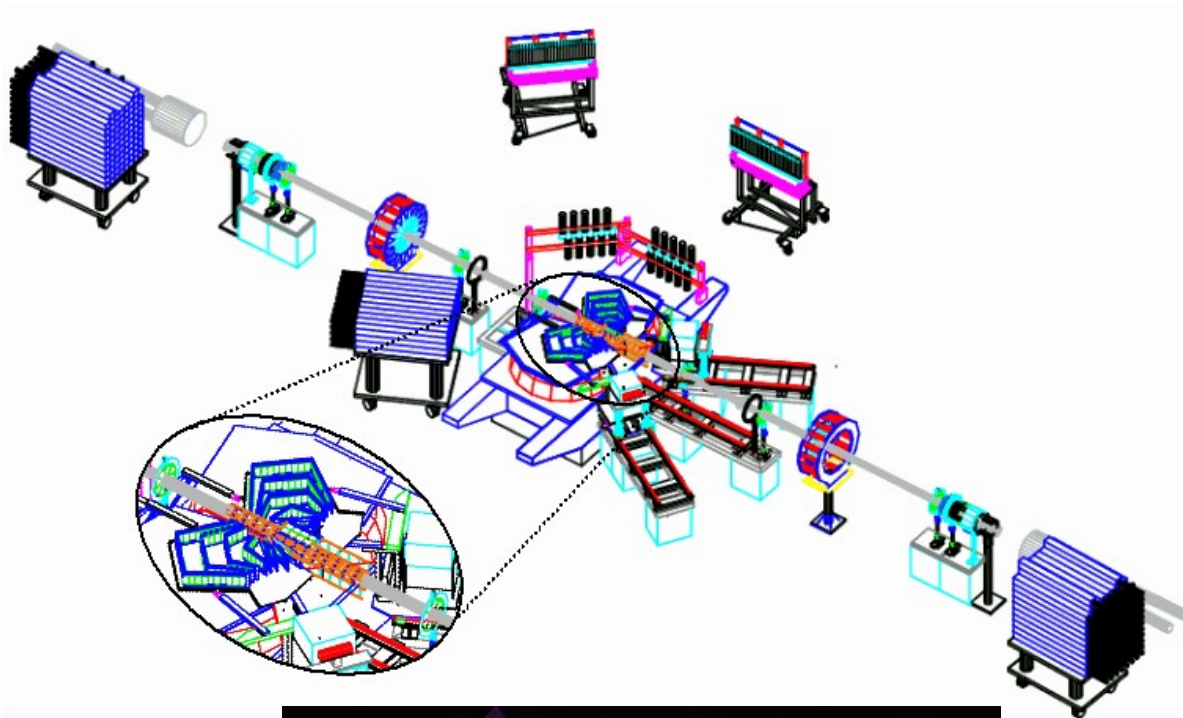
- Spektrométer trigger fal
- Repülési idő fal
- Neutron kaloriméter (nulla szögű)

Analízis módszertan:

- Részecskepálya-rekonstrukció
- dE/dx kalibráció,
- Részecske-azonosítás,
- Repülési idő kalibráció, stb.

Fizikai eredmények:

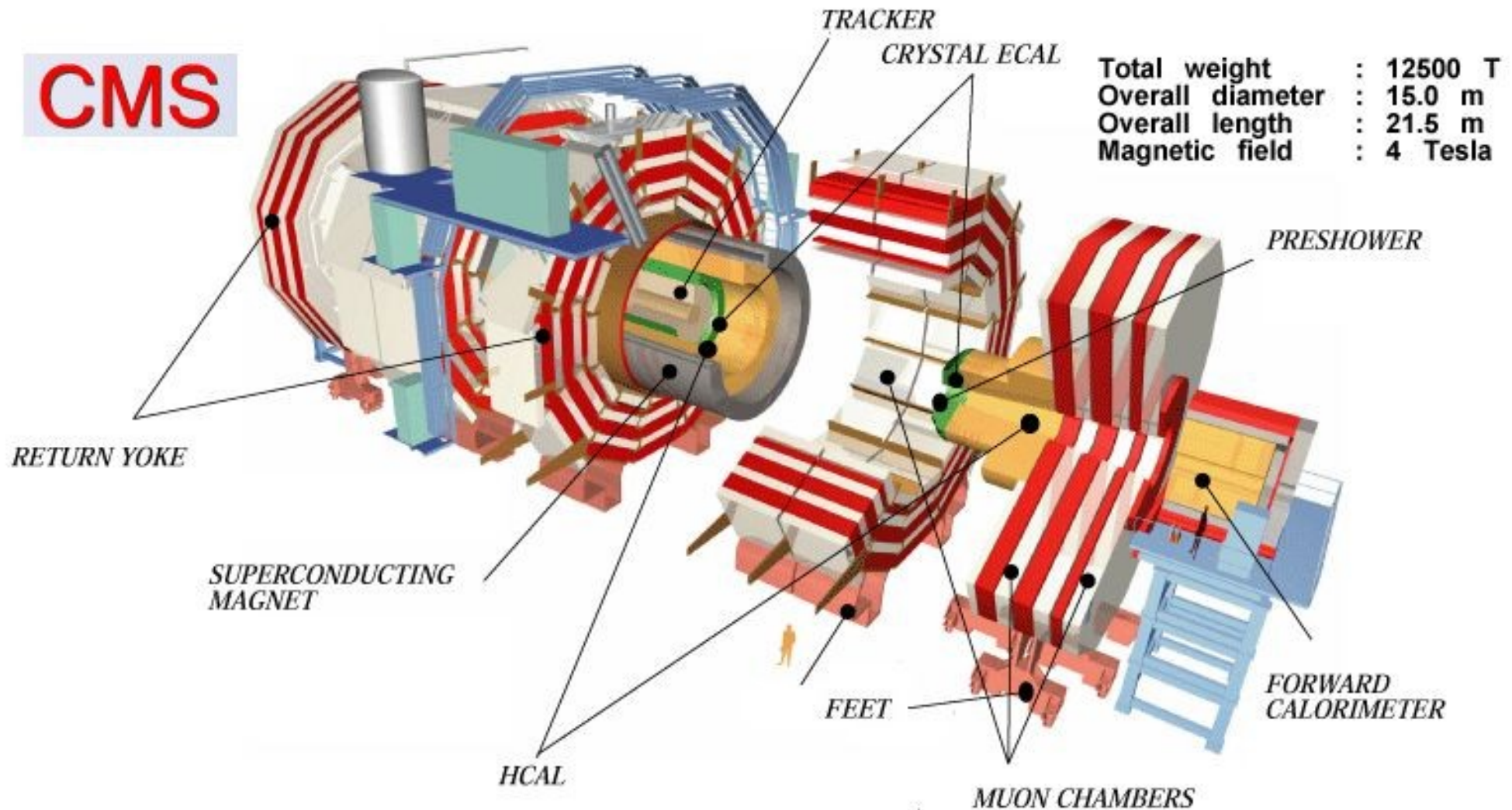
- Azonosított részecskék
- Bose-Einstein korrelációk
- Nagy p_T : elnyomás p+p-hez képest
- Töltött részecske multiplicitás-eloszlások



kb. 2002-2005 (de máig is!)

Veres Gábor, Csanád Máté,
Nagy Márton, Csörgő Tamás,...

A CMS kísérlet: nehézion-detektor?!



Előnyei a nehézion-fizikában:

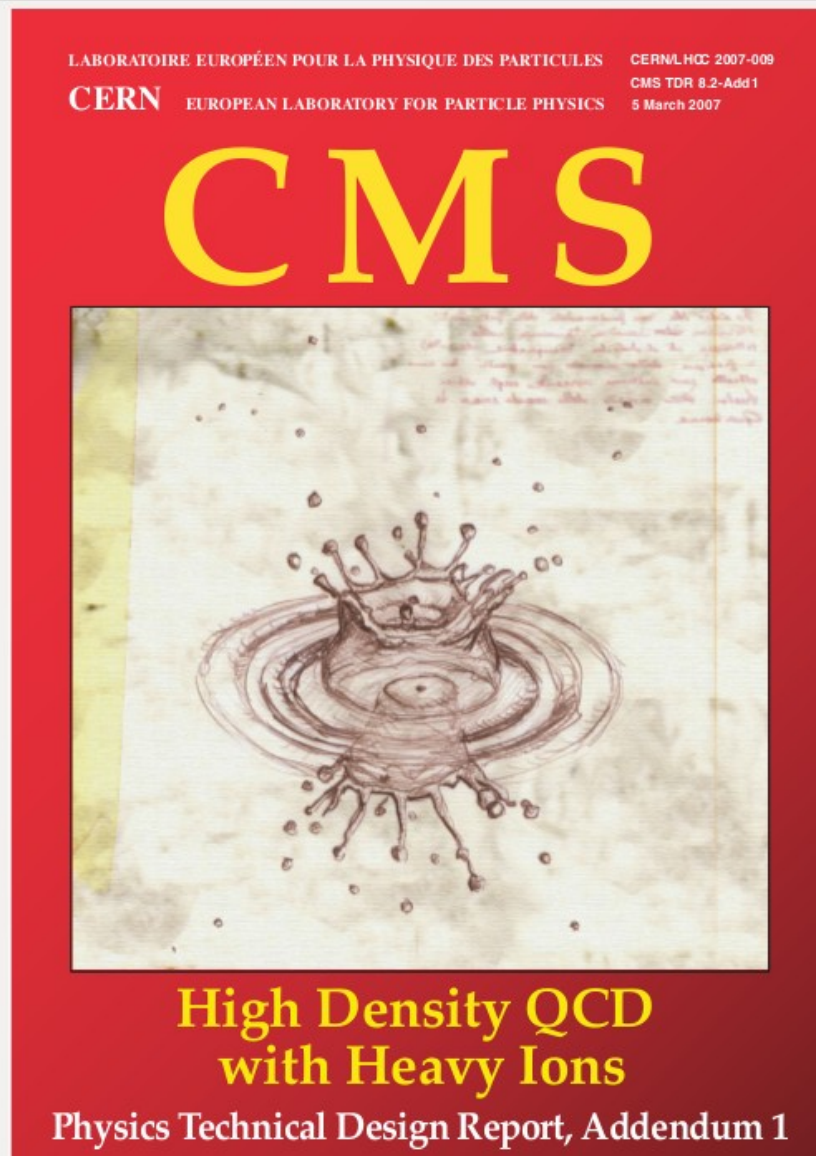
Óriási **térszöget** fed le a töltött részecske nyomkövető (korrelációk mérése)

Nagyon **precíz** és nagy térszögű **müon** detektorok (Υ , J/ψ , Z , W mérése)

Pontos és nagy lefedettségű **kaloriméterek** (jet-ek mérése)

Rugalmas **trigger** rendszer, 100 kHz kiolvasási **frekvencia**, 7 kHz elmentett adat

Technical Design Report



A CMS nehézion-program kezdete: 2005-2007.

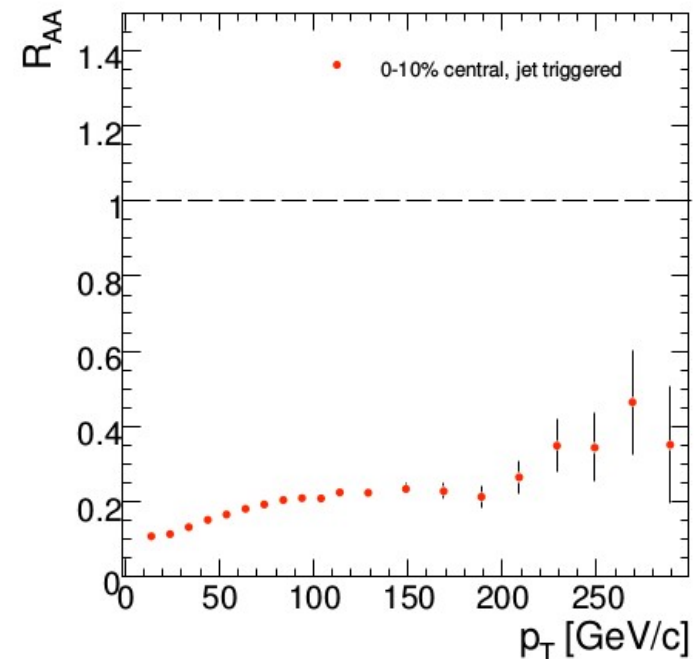
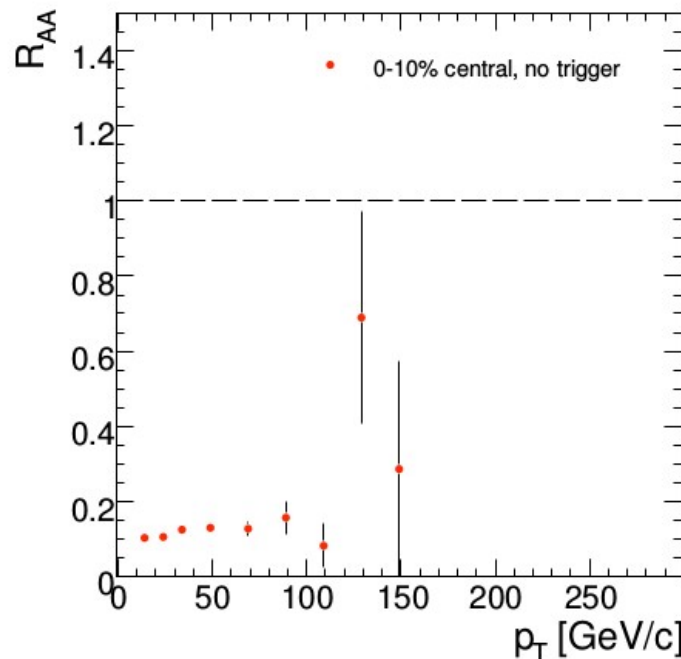
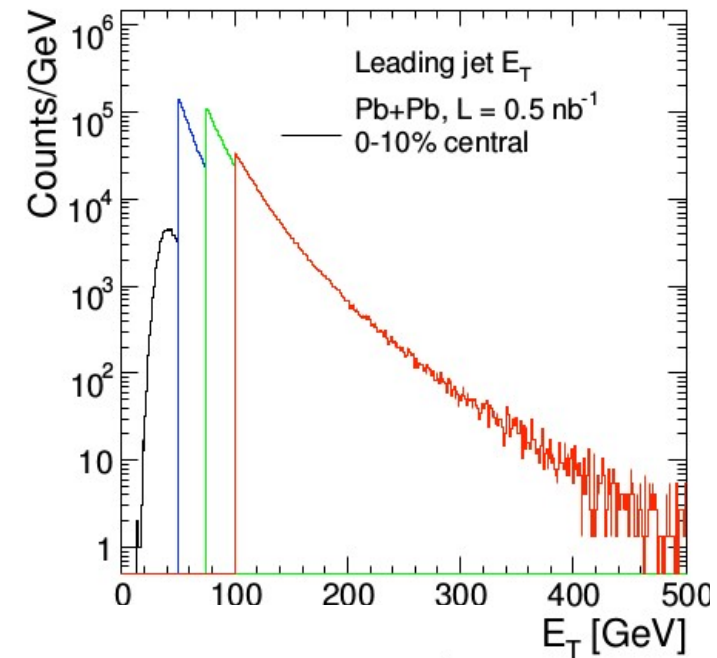
- Részletes technikai felkészülés az LHC beindulására
- Annak bizonyítása, hogy a CMS detektor képes elviselni több tízezer keletkező részecskét ütközésenként
- Kalorimetriában, müon detektálásban és térszöglefedettségben a CMS nagyon versenyképes az ALICE-hoz képest
- Pontos tervek a fizikai analízisekre (amelyek azóta már megvalósultak)

Technical Design Report

Sokféle ötlet a CMS detektorok felhasználására nehéion-fizikában.

Egy példa: jet-triggerek alkalmazása töltött részecskék mérésére nagy impulzusnál.

$$R_{AA}(p_T, \eta; b) = \frac{\sigma_{pp}^{\text{inel}}}{\langle N_{\text{coll}} \rangle} \frac{d^2 N_{AA}/dp_T d\eta}{d^2 \sigma_{pp}/dp_T d\eta}$$



Nyaláb-szcintillációs számlálók

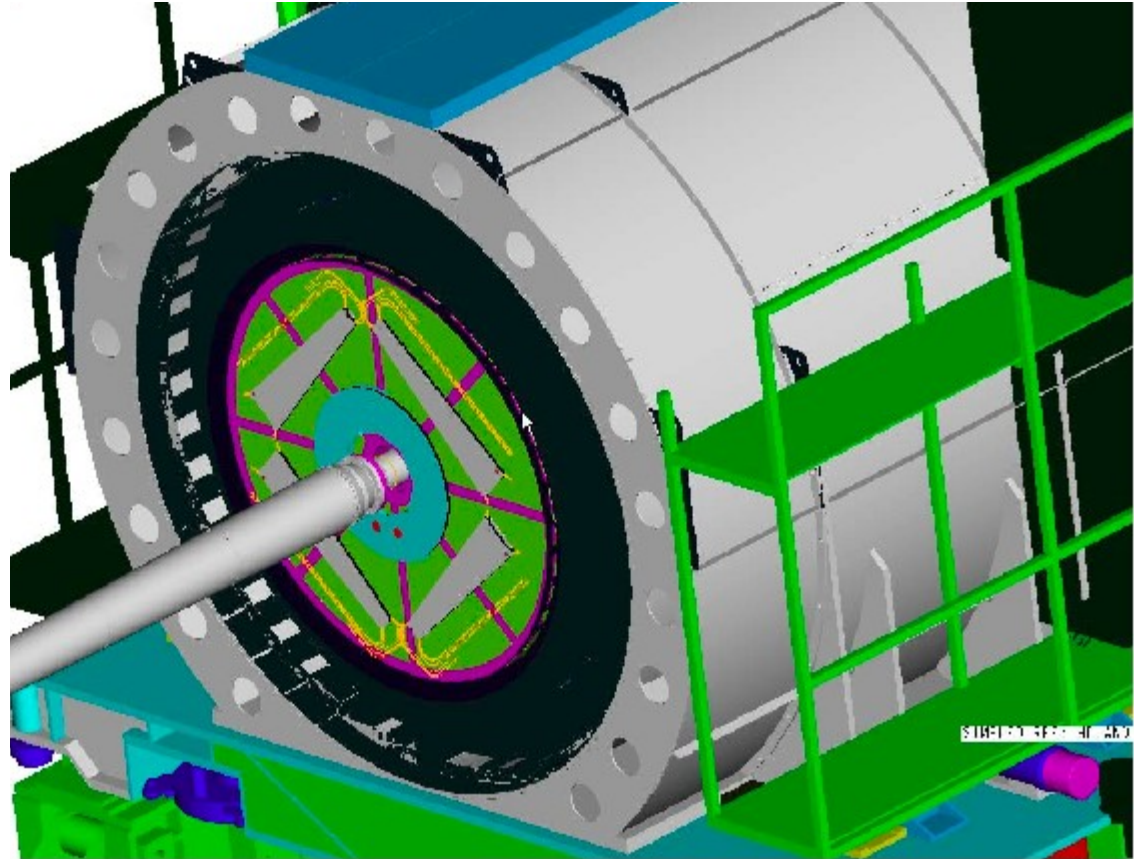
Az ütközések nagy **érzékenységű**
Regisztrálása (0.1 Hz ütközési ráta!)

Az **ütközés definíciója:**
a detektor jeleinek koincidenciája

Szcintilláló lapok
a HF kaloriméterre erősítve

Trigger logika:

- **minimum bias** triggererek
- **centrális** ütközés triggererek
- **beam halo** müon triggererek
- **nyaláb-gáz** triggererek



A CMS (nehézion-program) hosszú ideig erre a detektorra támaszkodott az ütközések definiálásánál.

Nulla-szögű (neutron) kaloriméter

140 méterre az ütközési ponttól

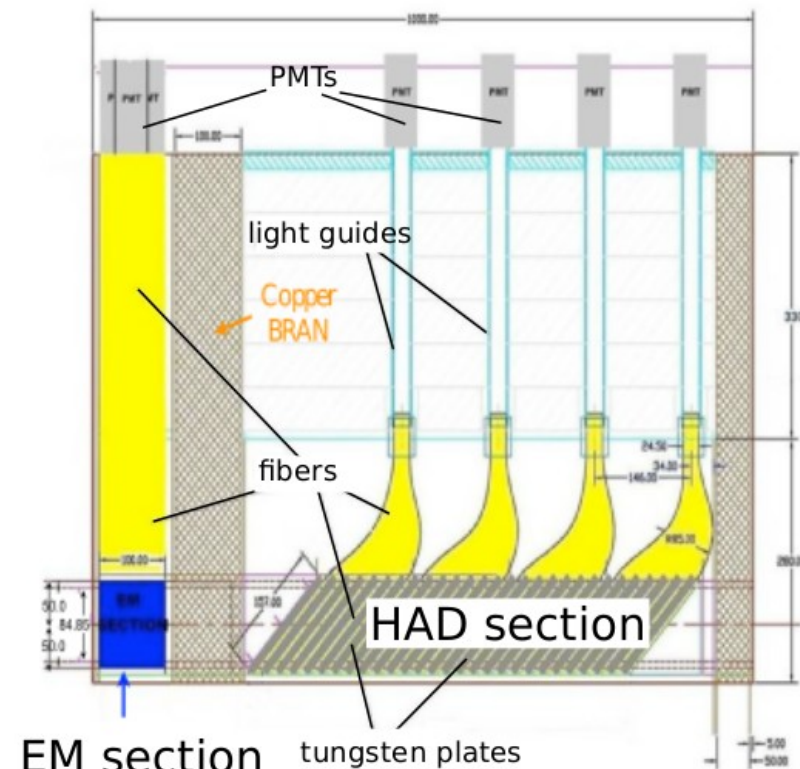
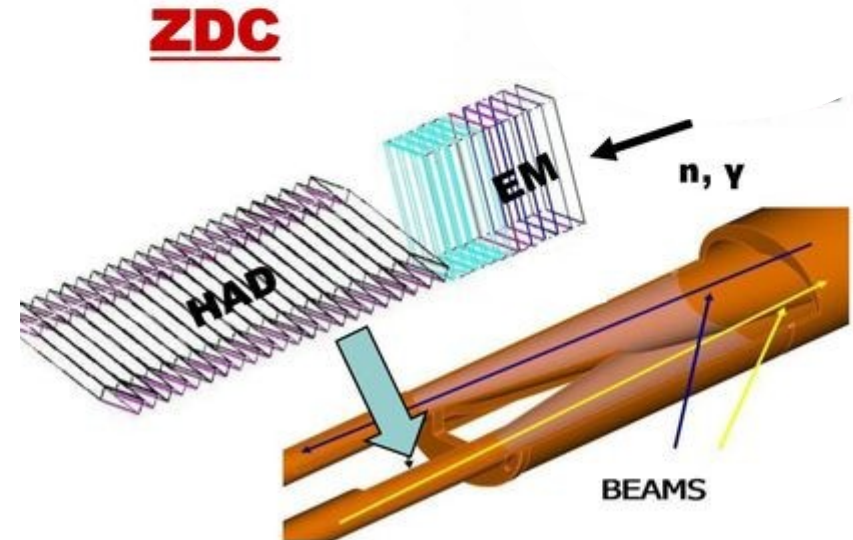
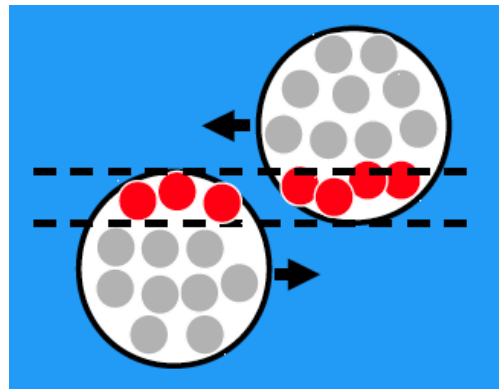
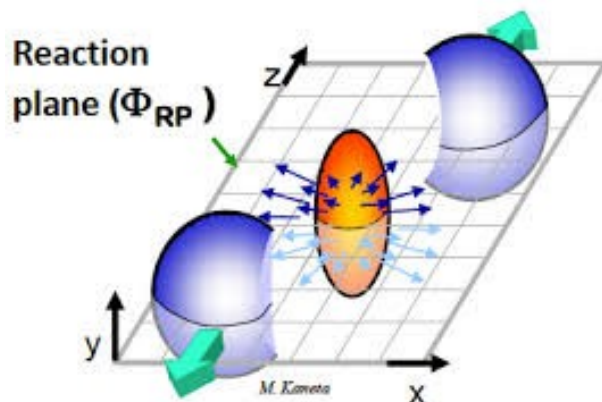
A mágnesek a töltött részecskéket eltérítik, csak a semlegesek érhetik el a detektort, főleg neutronok.

Használata:

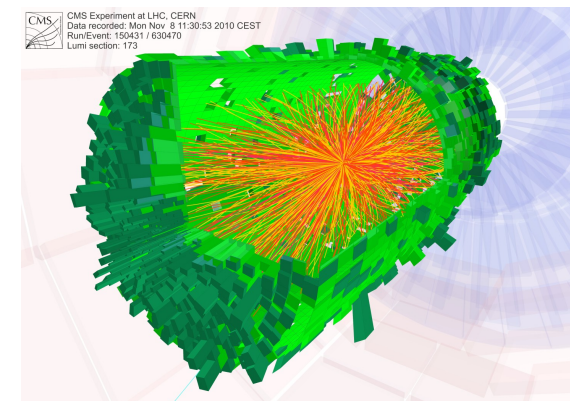
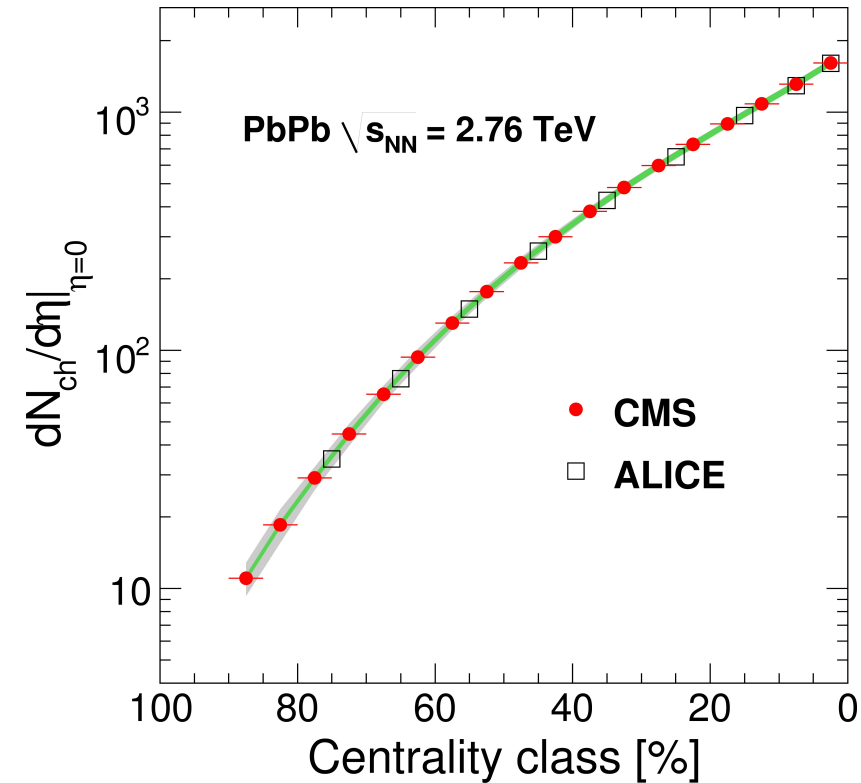
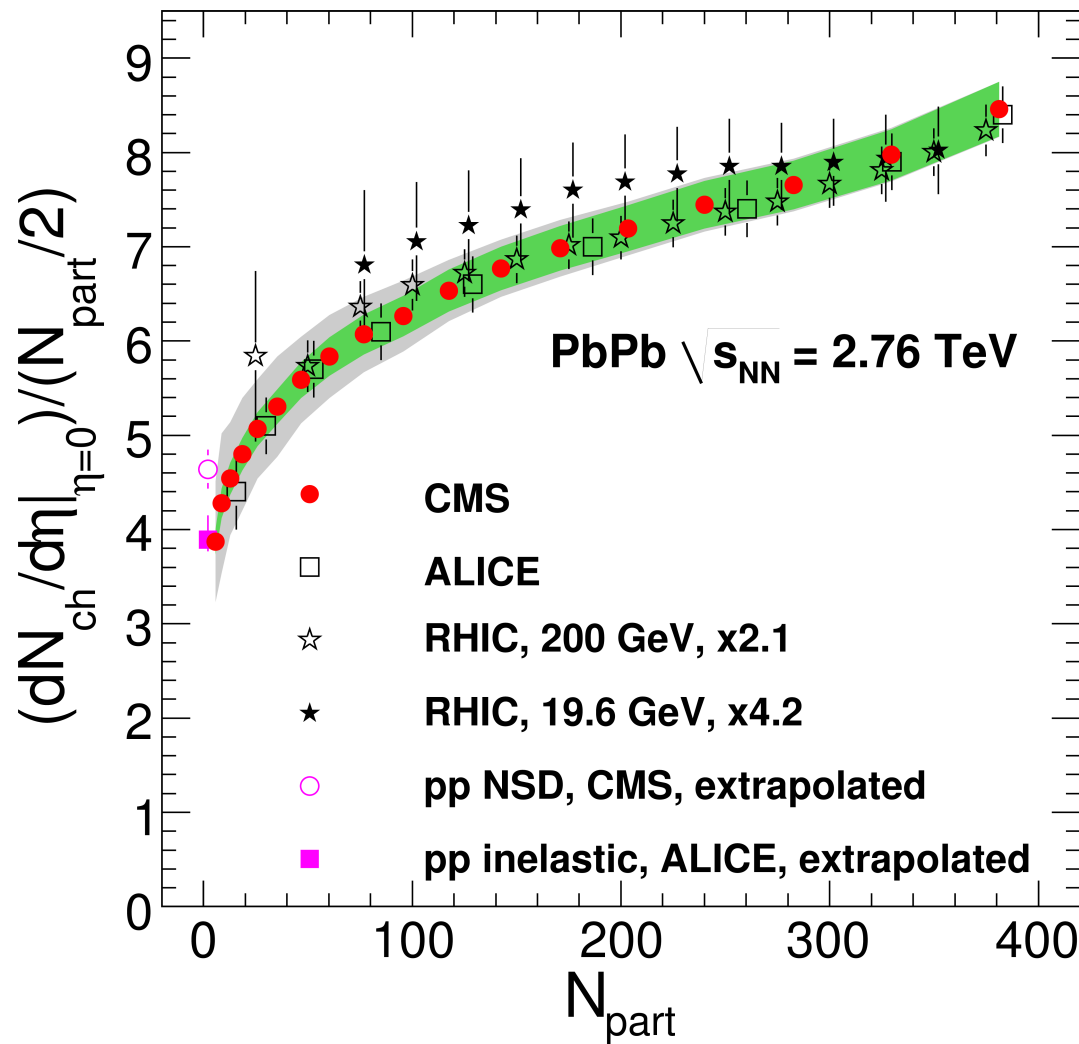
- Centralitásmérés
- Eseménysík mérése
- Ultraperiférikus ütközések

Feladataink:

- Energia-kalibráció
- Adatfeldolgozás optimalizálása
- Neutron-eloszlások
- centralitásmérés



Részecskeszám Pb+Pb ütközésekben



Világrekord ütközési energia

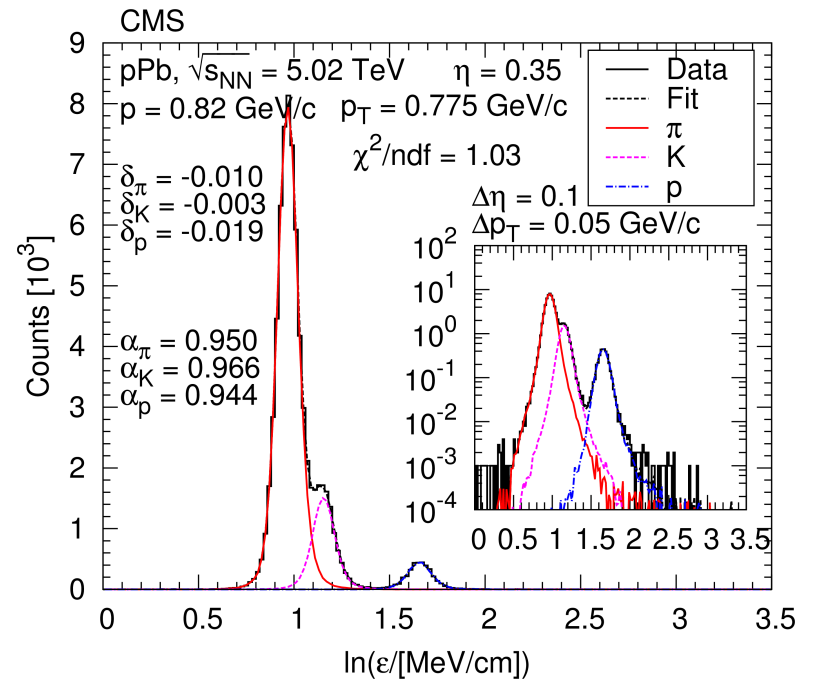
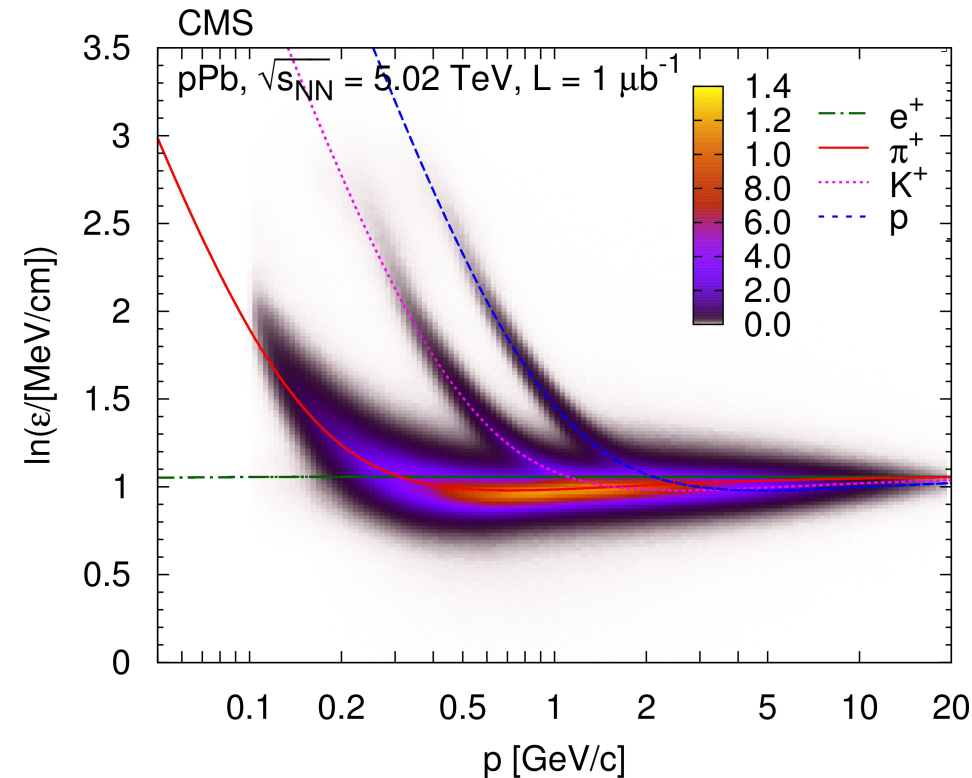
Mágneses tér nélküli mérés

$dN/d\eta \approx 1612$ centrális ütközésben

Összesen részecskék tízezrei keletkeznek

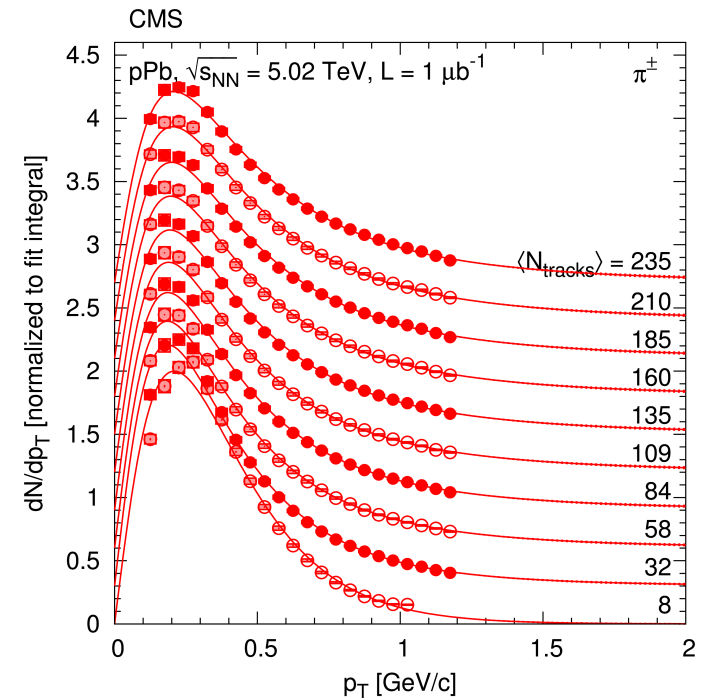
Megszorítás a hidrodinamikai fejlődés kezdeti feltételére

Azonosított részecskék: p+Pb



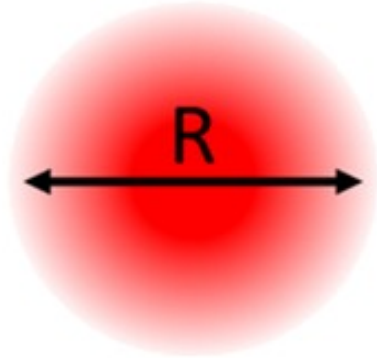
Részecske-azonosítás energiavesztéséből
 Fontos skálázási tulajdonságok – multiplicitás szerepe

EPJC 74 (2014) 2847
 Siklér Ferenc

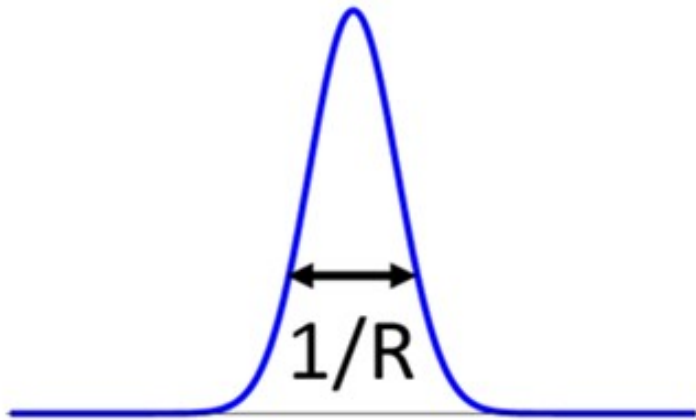


Bose-Einstein korrelációk

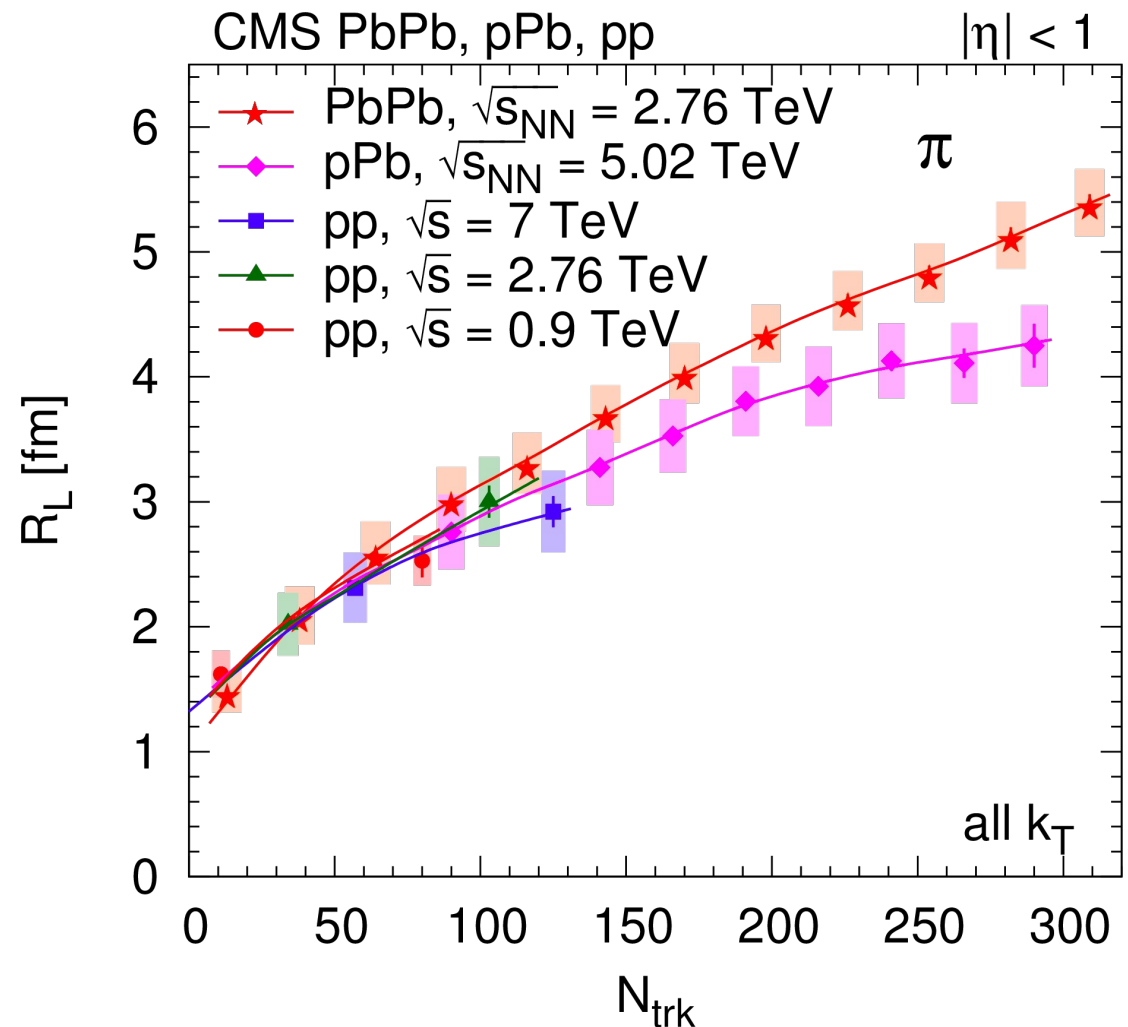
Térben kiterjedt “forrás”



Impulzus-korrelációs függvény



Azonos (azonosított) részecskék közötti kvantum-korreláció
A részecskeforrás “mérete” mérhetővé válik



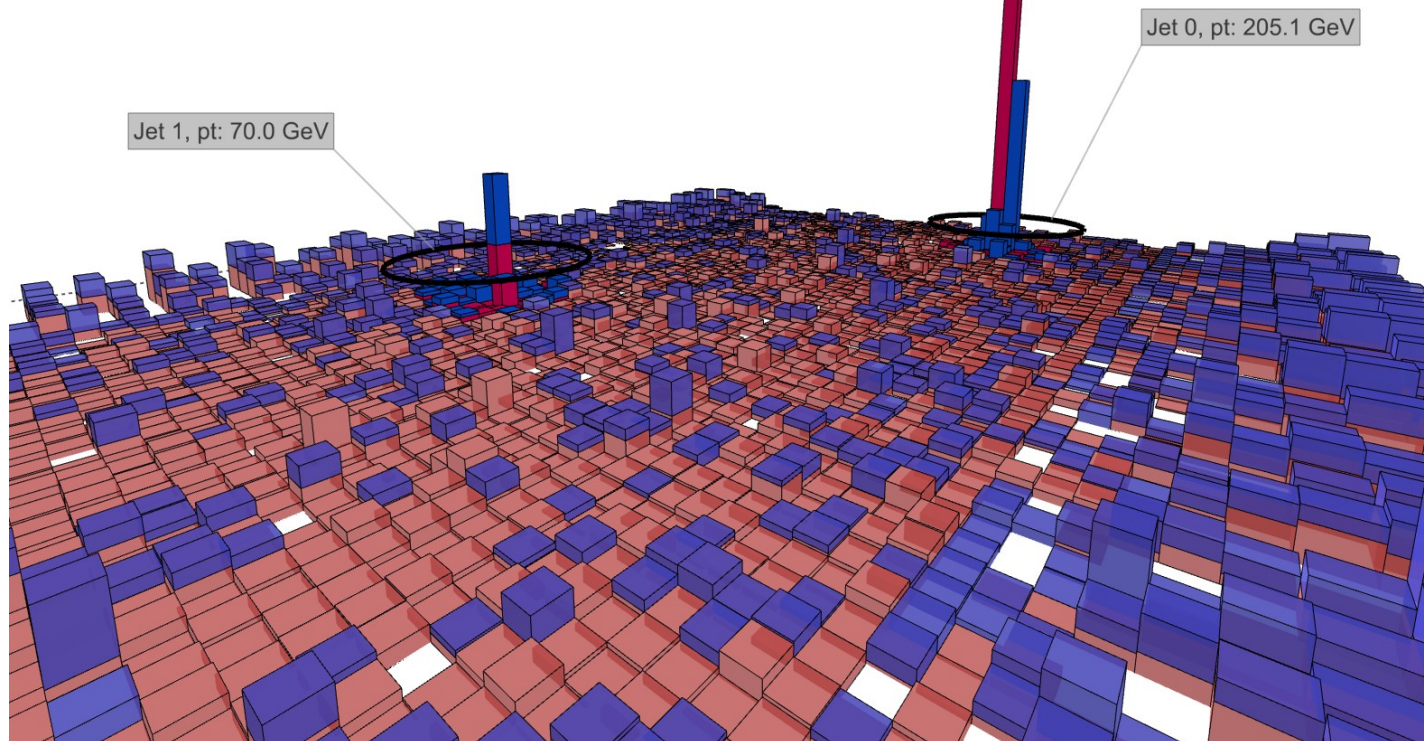
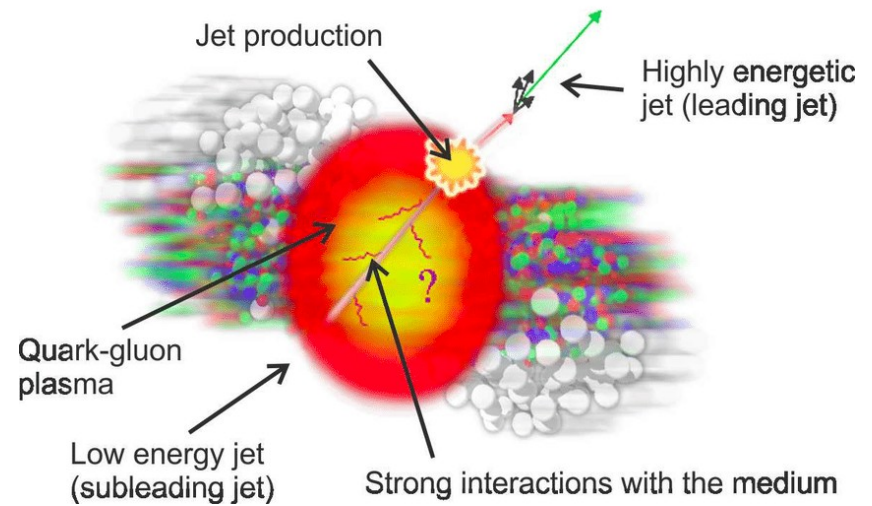
Skálázás és univerzalitás:
multiplicitás szerepe

Jet quenching

Érdekes megfigyelés:
Nagy energiájú jet-ek gyakran
nagyon aszimmetrikusak
Pb+Pb ütközésekben!

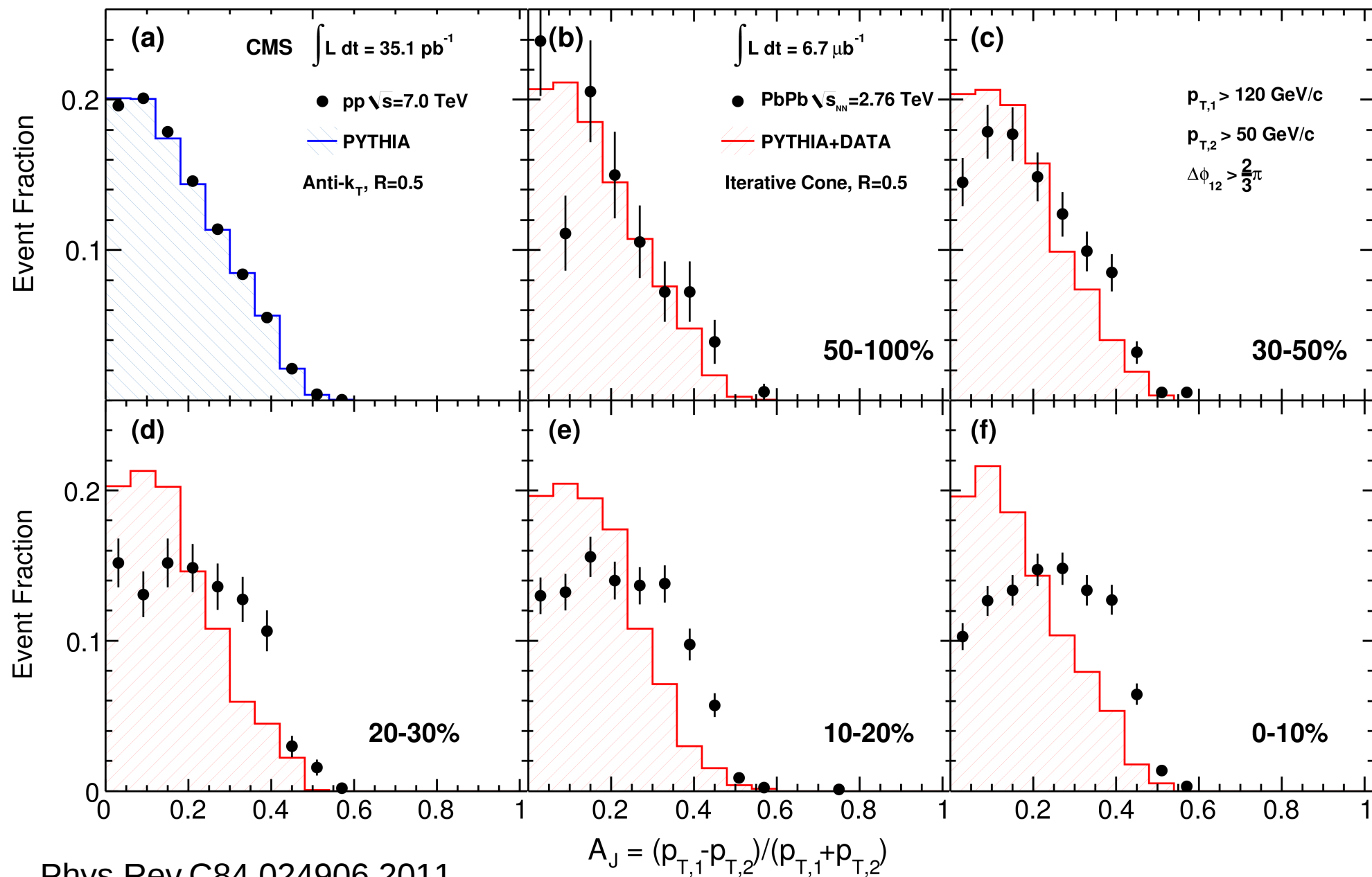


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sun Nov 14 19:31:39 2010 CEST
Run/Event: 151076 / 1328520
Lumi section: 249



Jet quenching

Aszimmetria eloszlása centralitás-osztályokban



Nukleáris módosulási faktorok: Pb+Pb

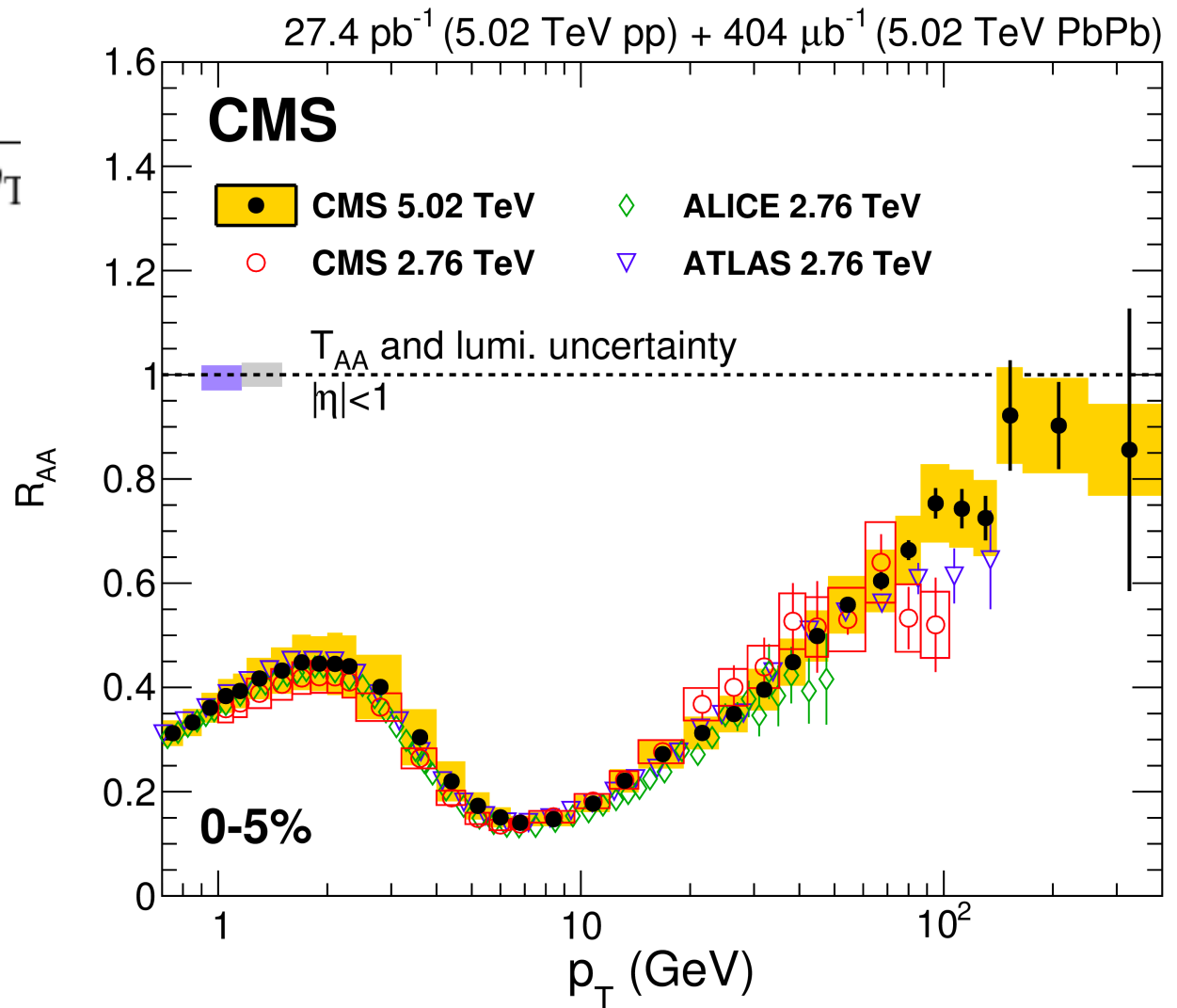
$$R_{AA}(p_T) = \frac{dN^{AA}/dp_T}{\langle N_{coll} \rangle dN^{PP}/dp_T}$$

Proton-proton ütközésekhez viszonyítunk.

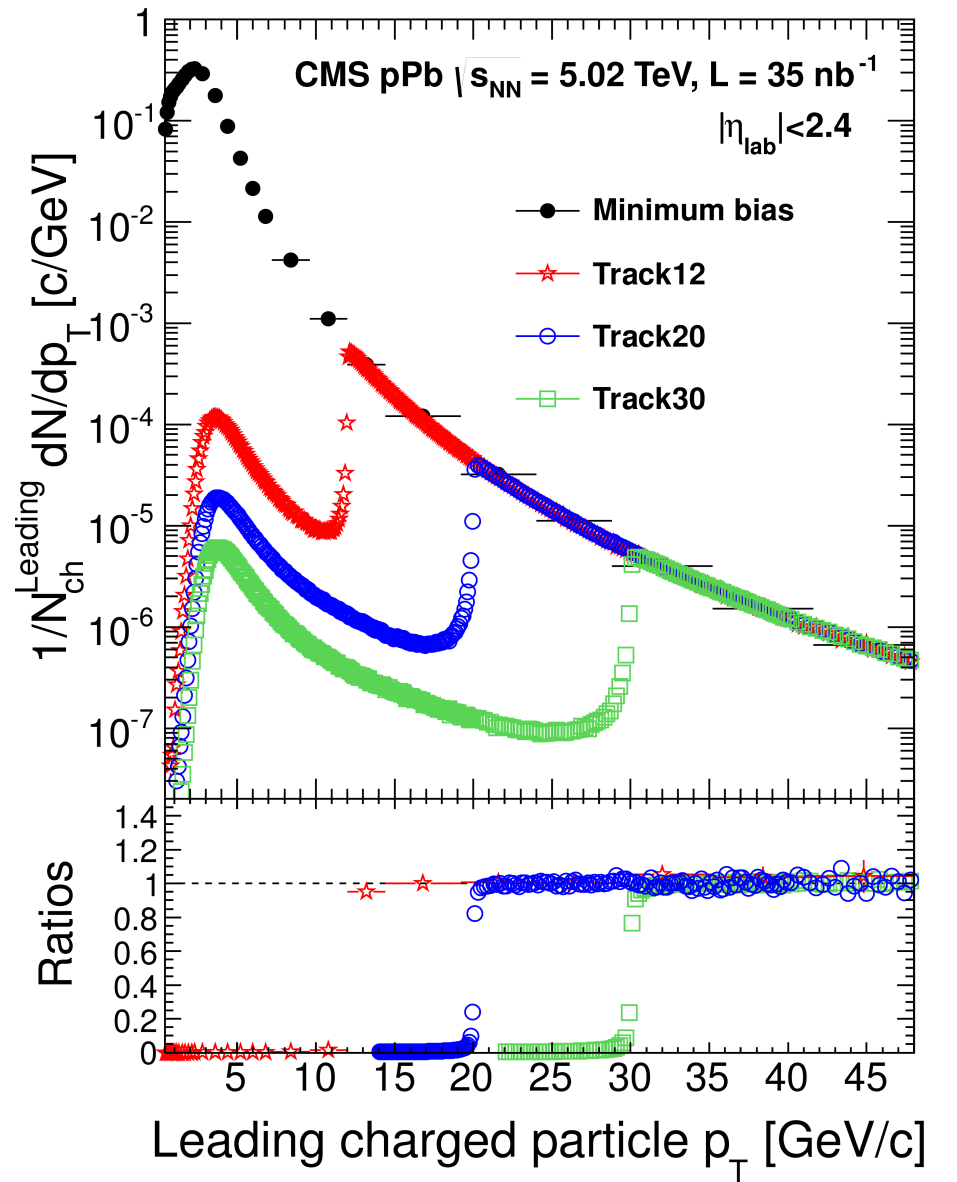
Az arány akkor lenne 1, ha semmilyen nukleáris effektust nem találnánk.

Közepes impulzusú részecskék kb. hétszeresen el vannak nyomva a proton-proton ütközésekhez képest.

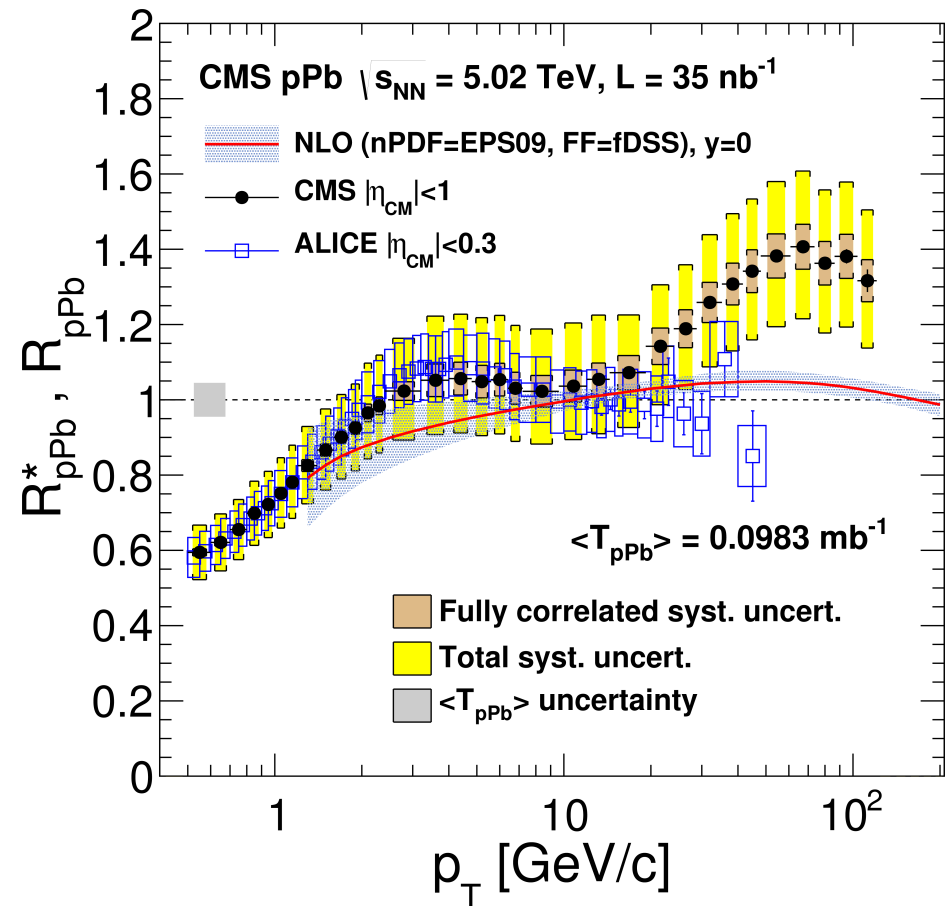
Transzport-együtthatók, QGP modellek megszorítása



Nukleáris módosulási faktorok, p+Pb



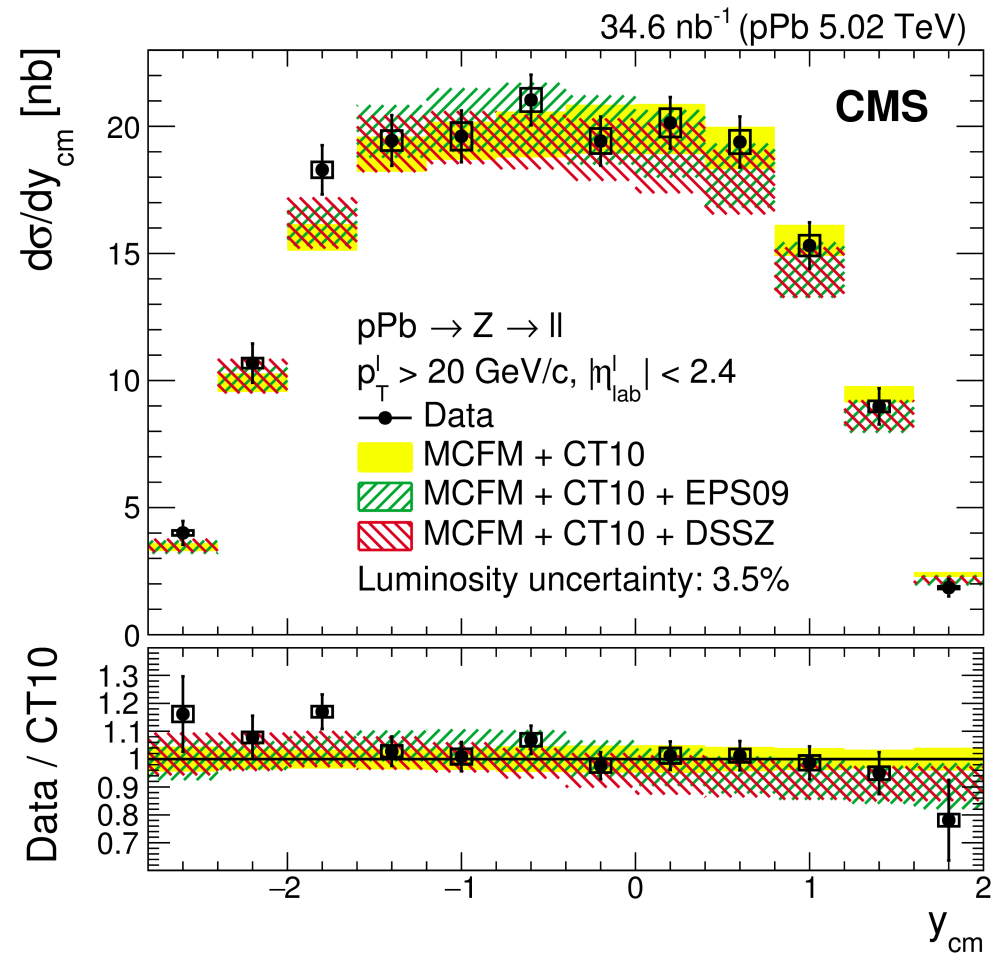
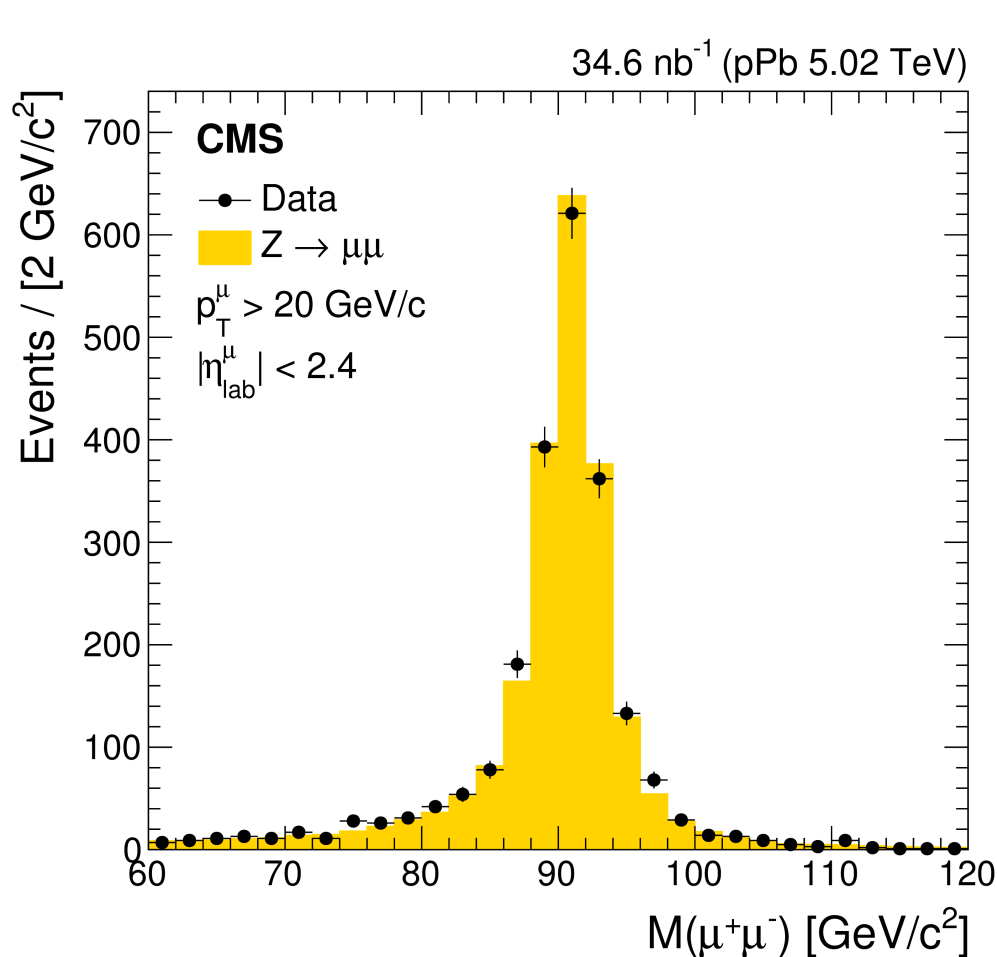
10 éves terv valósult meg!



A nagy p_T tartományban a növekedés nagyobb, mint amit az NLO pQCD jósolatokból várnánk, melyek anti-árnyékolási effektusokat is tartalmaznak a nukleáris PDF-ben.

Eur.Phys.J. C75 (2015) no.5, 237

Z bozonok p+Pb ütközésekben

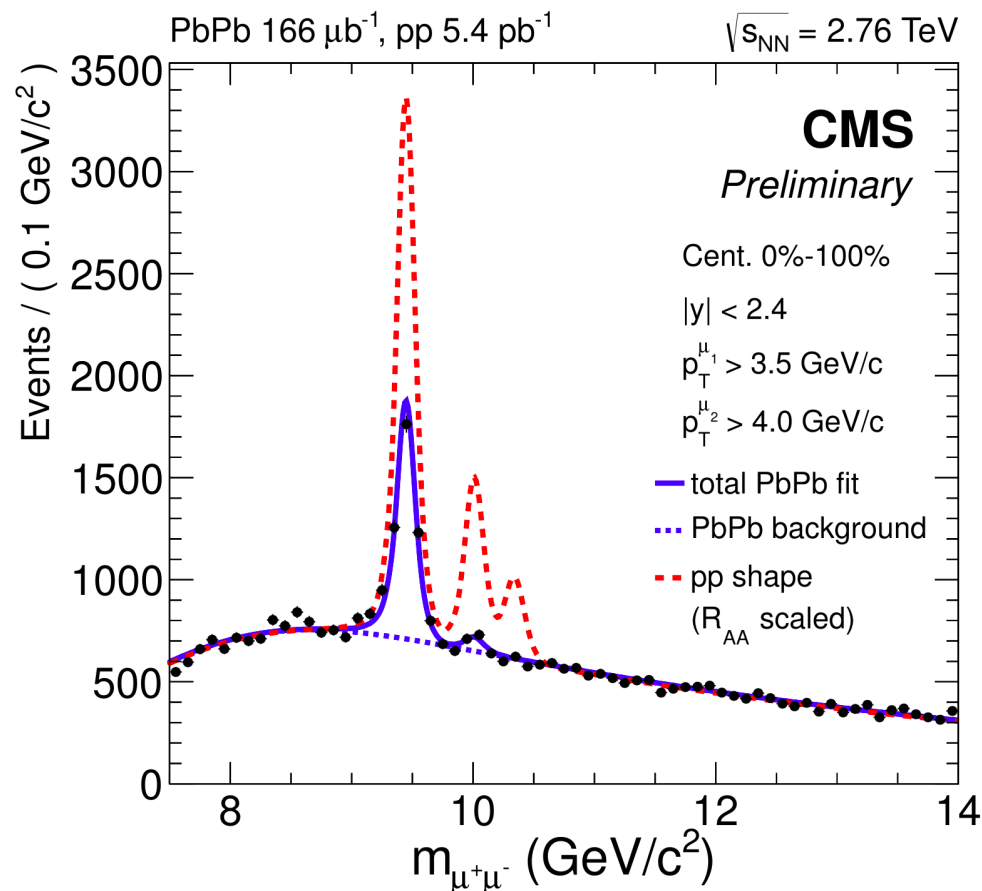
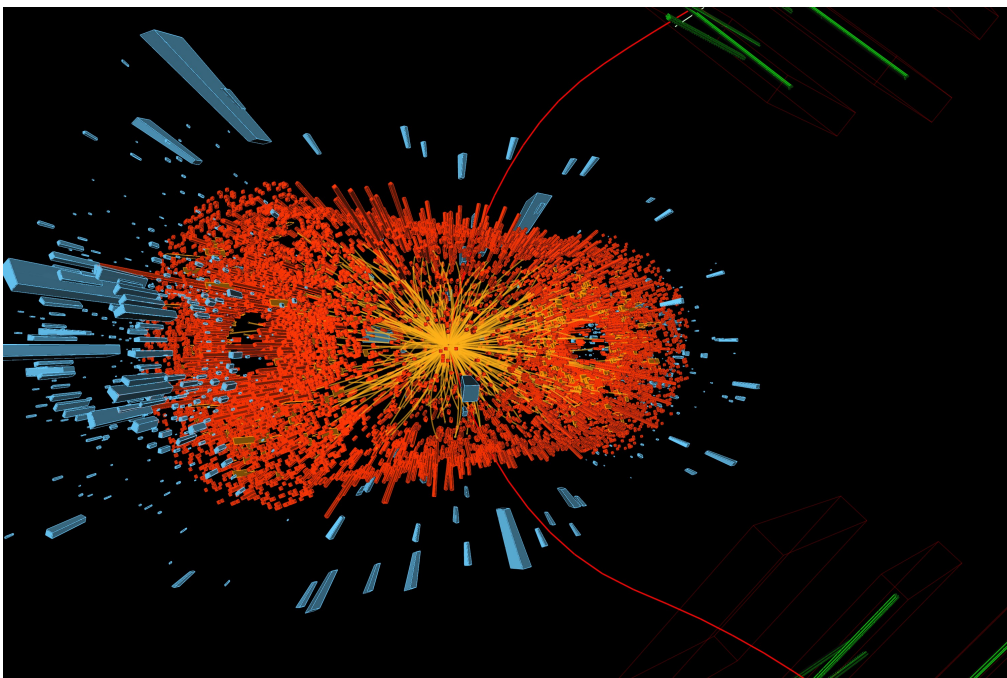


Phys. Lett. B 759 (2016) 36
Zsigmond Anna

- Skálázott NLO p+p jóslat egyezik a p+Pb méréssel
- Mag-PDF illesztésekhez hasznos eredmény

Υ mezonok Pb+Pb ütközésekben

A kvarkónium állapotok érzékenyek a kvark-gluon plazma hőmérsékletére



Az eredmény egyezik az Υ állapotok megolvadását a kvark-gluon plazmában megjószó modellekkel (Debye-árnyékolás)

2018: az első Pb+Pb ütközések: egy hete

Ma is aktívan folyik a részvételünk a CMS nehézion-programjában!

Pl. az on-line nyaláb pozíció meghatározása és ellenőrzése (Siklér F.)

A nulla-szögű kaloriméter kalibrálása, becsapódó neutronok számlálása, eseménysík rekonstrukció, stb. (Surányi O., Csanád M., Veres G.)

Résztevők (CMS nehézion program)

- Siklér Ferenc (Wigner FK, CERN)
 - Azonosított részecskék, Bose-Einstein korrelációk
- Veres Gábor (ELTE, CERN, MIT)
 - Convener 2011-12, deputy Run Coordinator 2016
 - Multiplicitás mérés, eseményválogatás
- Krajczár Krisztián (ELTE, Wigner FK, MIT, CERN)
 - Multiplicitás, nukleáris elnyomási faktorok
- Zsigmond Anna (ELTE, Wigner FK, CERN)
 - Z bozonok mérése
- Englert Dávid (ELTE, CERN)
 - Korrelációk azonosított részecskékkel
- Filipovic Nicolas (LLR, ELTE)
 - Υ mezonok mérése
- Csanád Máté (ELTE)
 - Bose-Einstein korrelációk, ZDC
- Surányi Olivér (ELTE)
 - ZDC

