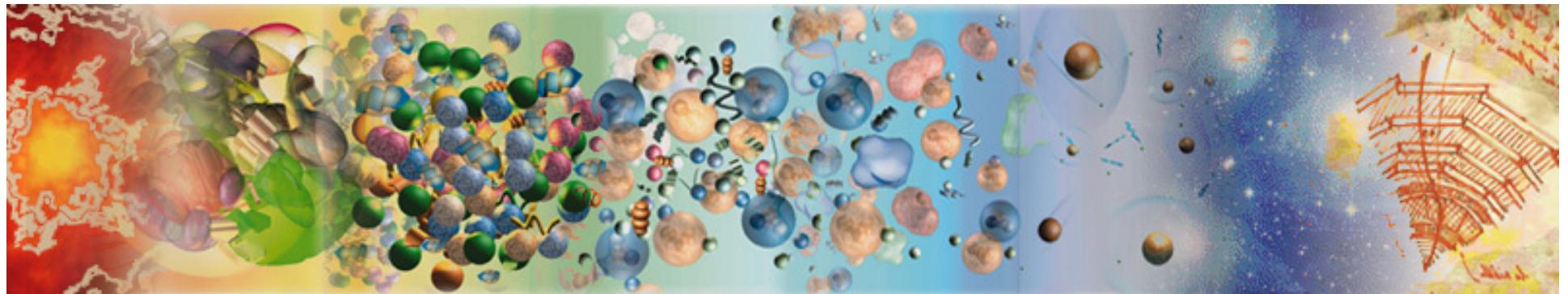


Új kiértékelési módszerek és alkalmazásuk az erős kölcsönhatás vizsgálatában

Siklér Ferenc
MTA Wigner FK

Az MTA 187. közgyűlése – A fizika fejlődési irányai

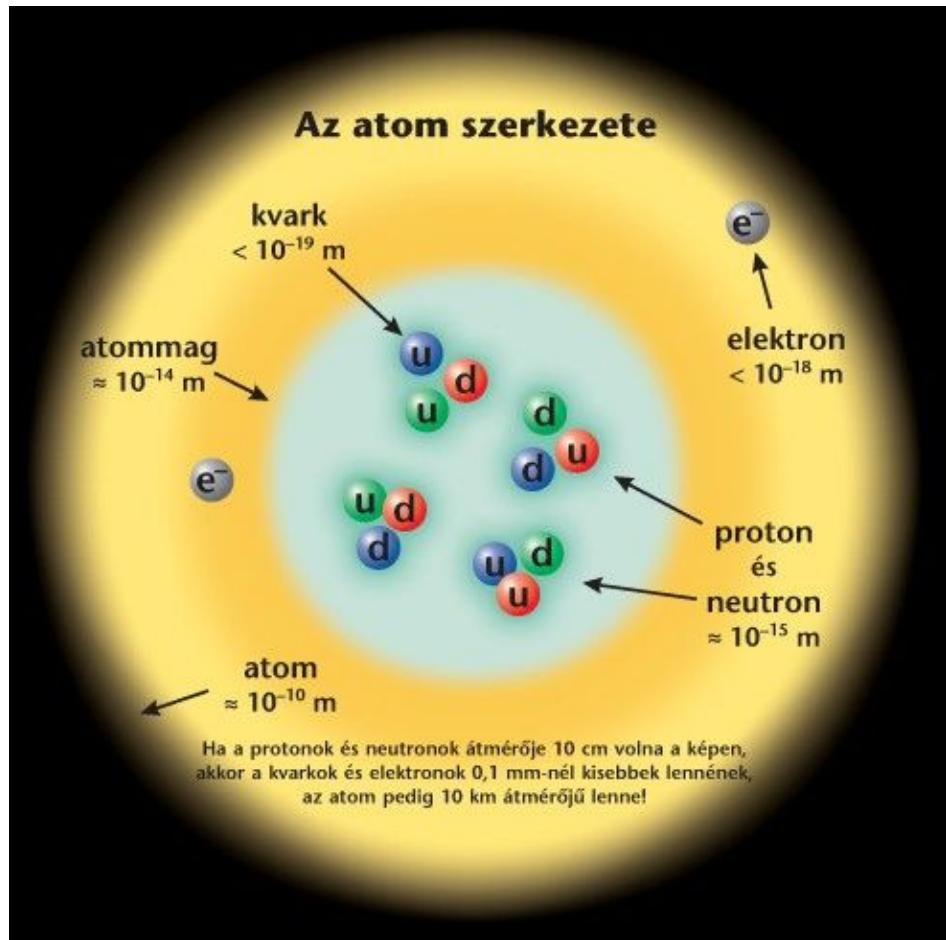


Budapest, 2016. május 4.



Vesztergombi György
1943 – 2016

Elemi részecskék és kölcsönhatások



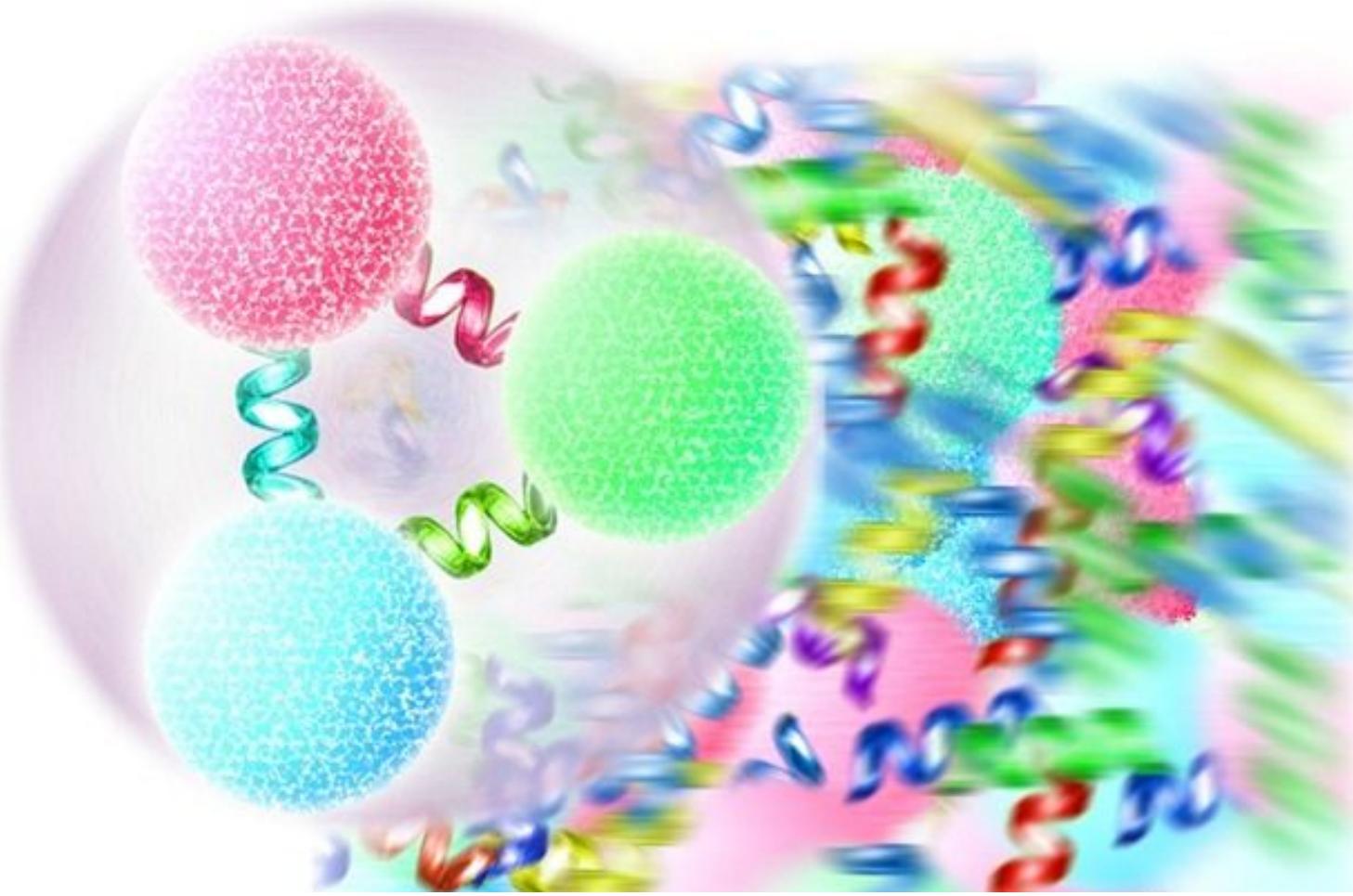
Az anyagi részecskék három családja (fermionok)

	I	II	III	
tömeg \rightarrow	2,3 MeV/c ²	1,27 GeV/c ²	173 GeV/c ²	0
töltés \rightarrow	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	125 GeV/c ²
spin \rightarrow	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
név \rightarrow	u-kvark	c-kvark	t-kvark	Higgs-bozon
Kvarkok	d	s	b	g
4,8 MeV/c ²	95 MeV/c ²	4,2 GeV/c ²	0	gluon
$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	
d-kvark	s-kvark	b-kvark	0	
Leptonok	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z
$<2,2 \text{ eV}/c^2$	$<0,17 \text{ MeV}/c^2$	$<15,5 \text{ MeV}/c^2$	$91,2 \text{ GeV}/c^2$	Z-bozon
0	0	0	0	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
elektron-neutrínó	müön-neutrínó	tau-neutrínó	0	
e	μ	τ	W	W-bozon
0,511 MeV/c ²	105,7 MeV/c ²	1,777 GeV/c ²	± 1	
-1	-1	-1	1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
elektron	müön	tau	W^+	

Boszontok (kölcsönhatások)

Elektromágneses, gyenge, erős; tömegvonzás

Erős kölcsönhatás

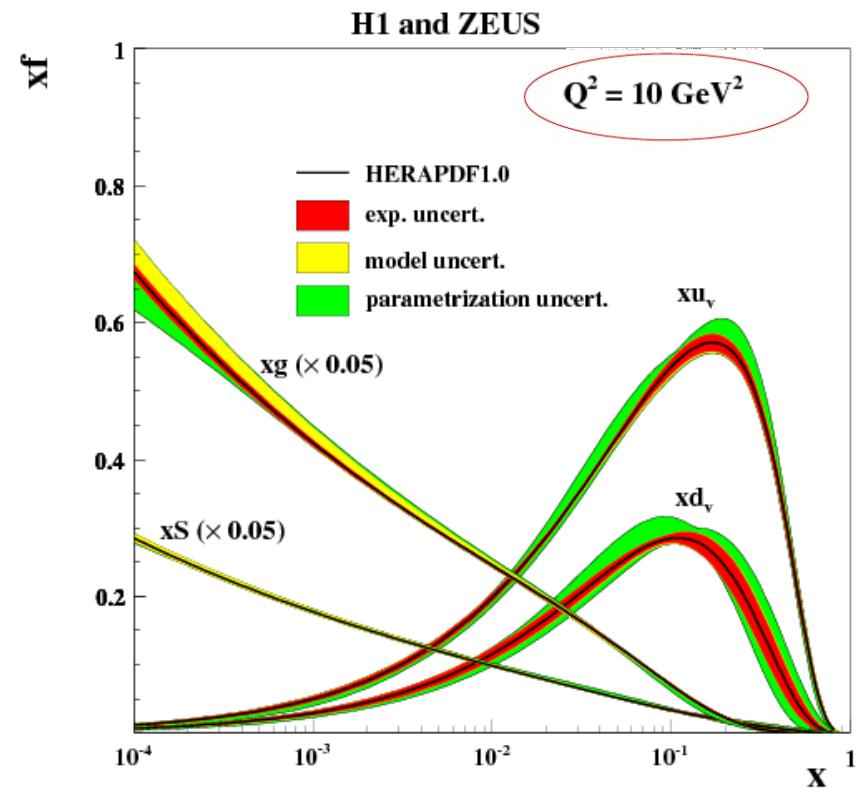
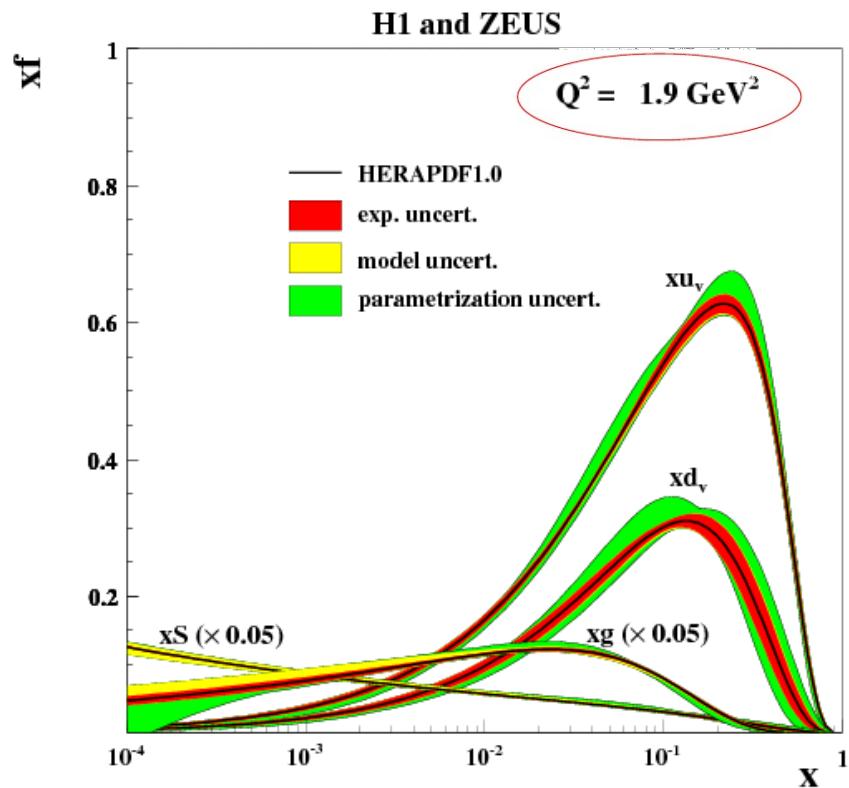


- **Furcsa és bonyolult**

- a közvetítő részecske – a gluon –, maga is (szín)töltött
- az erős kölcsönhatás a kvarkokat bezárja a hadronok belsejébe
- nagyenergiás nehézion-ütközések, kvark-gluon plazma

Összetett belső szerkezet – valami új felfedezésére

Proton



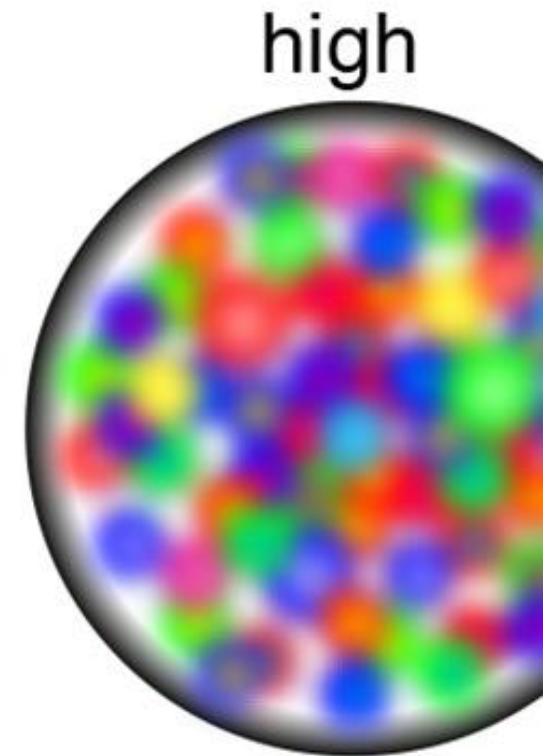
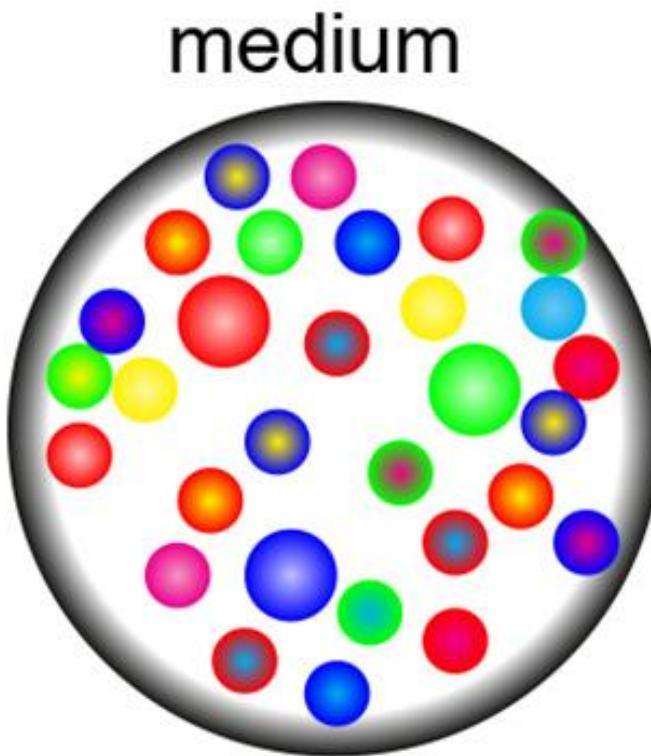
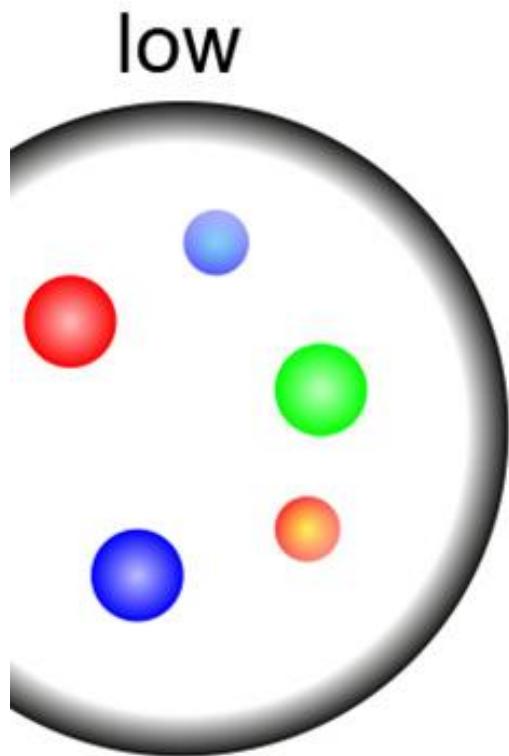
H1 and Zeus Collaborations, JHEP 01 (2010) 109

Nagyobb energia \rightarrow egyre több kis impulzushányadú gluon

Meghatározó szerep az átlagos proton-proton ütközésekben?

Proton

energy →



Nagyobb energia → egyre több kis impulzushányadú gluon

Mi történik akkor, ha „betelik”, telítődik a proton?

Kísérleti program



- Milyen új eszközökre volt szükség?
 - Kis impulzusú nyomkövetés ($0,9 \text{ GeV}/c \rightarrow 0,075 \text{ GeV}/c$)
 - Alacsony tévesztésű nyomkövetés (hibás pályák $\rightarrow 1\%$ alatt)
 - Újfajta kölcsönhatási pont keresés, átfedő ütközések esetén is
 - Töltött hadronok azonosítása

Önálló kutatás, egyéni hozzájárulás

Eur. Phys. J. C (2015) 75:1002
DOI 10.1140/epjc/c/1500002

PRL 105, 022002 (2005)

Regular Article

Study of the pseudorapidity distribution of charged hadrons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV

The CMS Collaboration

Received: 19 July 2004 / Accepted: 1 October 2005

Abstract

Charge distributions of charged hadrons produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. Charge distributions are measured in the range $|\eta| < 1$ using the central region of the CMS pixel detector. The hadron analysis is independent of the particle type and of the transverse momentum p_T . The spectra are measured at different pseudorapidities and compared to Monte Carlo simulations.

Introduction.—Measurements of charge distributions of charged hadrons produced in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV are presented. The measurements are performed in the central region of the CMS pixel detector ($|\eta| < 2$) using both hit pairs and reconstructed tracks. The charged-hadron multiplicity density is $dN_{ch}/d\eta|_{|\eta|=0.5} = 5.49 \pm 0.01$ (stat) ± 0.17 (syst), a value obtained by combining the two methods. The result is compared to Monte Carlo event generators and to similar measurements made at lower collision energies.

© 2015 CERN for the benefit of the CMS Collaboration. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Funded by SCOAP³.

Keywords:

CMS
Physics
Proton-proton
13 TeV
Hadrons
Spectra

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 July 2015
Received in revised form 20 September 2015
Accepted 1 October 2015
Available online 8 October 2015
Editor: M. Doser

1. Introduction

The yields of charged hadrons are among the most basic physical observables in high-energy particle collisions and provide an essential first step in exploring the physics of a new energy regime. Studies of such yields have a long history in high-energy particle and nuclear physics, as well as in cosmic ray physics. At collider energies, the inclusive production of charged hadrons is driven by a combination of perturbative and nonperturbative quantum chromodynamics (QCD) phenomena, such as saturation of parton densities, multiparton interactions, parton hadronization, and soft-diffractive scattering.

The yields of primary charged hadrons are commonly studied using their multiplicity as a function of pseudorapidity, $dN_{ch}/d\eta$. Of particular interest for understanding the physics of hadron production is the dependence of $dN_{ch}/d\eta$ on the collision energy, which reflects the relative roles of soft- and hard-scattering contributions. Soft interactions, which are modeled phenomenologically, give rise to a significant fraction of the produced particles. Contributions from hard-scattering processes increase with increasing collision energies. Measurements are necessary to tune the modeling of these contributions in Monte Carlo (MC) event generators, and as reference data to study nuclear effects in proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions. A good understanding of inclusive hadron production is also important to control the pileup backgrounds, from overlapping proton-proton collisions in a given bunch crossing, that affect all physics analyses at the LHC.

In this Letter, measurements of $dN_{ch}/d\eta$ in the range $|\eta| < 2$ are reported for inelastic proton-proton (pp) collisions delivered by the CERN LHC at a center-of-mass energy of 13 TeV in June 2015. The analysis is based on 11.5 million events recorded at zero magnetic field during a special low-intensity beam configuration with 0.2–5% proton-proton interaction probability per bunch crossing. This special run was prepared by steering the beams such that their transverse separation was $\pm 3\sigma$ at the nominal CMS interaction point, where σ denotes the standard deviation of the Gaussian beam profile. Following earlier analyses at $\sqrt{s} = 0.9$ TeV, 2.36 TeV [1], 7 TeV [2], and 8 TeV [3], N_{ch} is defined to include decay products of particles with decay length $c\tau < 1$ cm, where τ is the lifetime of the particle and c is the velocity of light. Products of secondary interactions are excluded, and contributions from prompt leptons are removed.

The data are compared to PYTHIA8 v208 [4,5] (with the CMS underlying event tunes [6]), CUETP8M1 and CUETP8M1, using different parton densities, and to EPOS LHC [7] (LHC tune [8]). Both MC event generators reproduce well the main characteristics of the experimental data measured in hadronic collisions at lower energies, and provide predictions for the \sqrt{s} -dependence of hadron production observables using different implementations of the dominant

Published by the European Physical Journal C Società Italiana di Fisica in cooperation with Springer-Verlag
e-mail: cms-publication-committee-chair@cern.ch

* E-mail address: cms-publication-committee-chair@cern.ch

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2015.10.004>
0370-2693/© 2015 CERN for the benefit of the CMS Collaboration. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Funded by SCOAP³.

Physics Letters B 751 (2015) 143–163

Contents lists available at ScienceDirect

Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb

CrossMark

Önálló kutatás, egyéni hozzájárulás

Eur. Phys. J. C (2014) 74:260
DOI 10.1140/epjc/14-260

Regular Article

Study of charged hadron production and proton fragmentation in pp, pPb, and peripheral PbPb collisions at LHC energies

The CMS Collaboration

Received: 19 July 2014 / Accepted: 10 August 2014
© CERN for the benefit of the CMS collaboration

Abstract Special emphasis is given to the study of charged hadron production in pp, pPb, and peripheral PbPb collisions at LHC energies. Charged pions and kaons are identified via their energy loss in the silicon tracker. The analysis is performed independently of the particle type and the transverse momentum (p_T) spectra are unfolded to obtain the true distributions of the produced particles.

1 Introduction
The study of charged hadron production in high-energy particle physics has been one of the main goals of the CMS experiment. The p_T spectra of charged hadrons in central nucleus-nucleus collisions can be used to study quantum chromodynamics (QCD) and soft parton interactions. Monte Carlo (MC) simulations provide quantities of interest that can be compared with experimental data. Other final-state variables such as baryon (anti)baryon and pion yields, by the existence of exotic states, help improve the understanding of proton-proton (pp) and nucleus-nucleus (NN) collisions. The reference frame is the center-of-mass system, and the yields of different particle species are presented.

The present paper focuses on the p_T spectra of charged hadrons in pp, pPb, and peripheral PbPb collisions at LHC energies.

Publisher's Note
The Creative Commons License does not apply to the published article. The full-text must not be published in another location without the permission of the copyright holders.

* e-mail: cms-publication@cern.ch

0031-900

Av

Avail

Available on the CMS information server

CMS AN-14-042

CMS Draft Analysis Note

The content of this note is intended for CMS internal use and distribution only

2014/08/20
Head Id: 234946
Archive Id: 234945:234946M
Archive Date: 2014/04/02
Archive Tag: trunk

Femtoscopy with identified charged hadrons in pp, pPb, and peripheral PbPb collisions at LHC energies

Ferenc Siklér¹ and the CMS Heavy Ions Group
¹ Wigner RCP, Inst for Part and Nucl Phys, Budapest, Hungary

Abstract

Short range correlations of identified charged hadrons in pp ($\sqrt{s} = 0.9, 2.76$, and 7 TeV), pPb ($\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV), and peripheral PbPb collisions ($\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV) are studied with the CMS detector at the LHC. Charged pions and kaons at low p_T and in laboratory pseudorapidity $|\eta| < 1$ are identified via their energy loss in the silicon tracker. The two-particle correlation functions show effects of quantum statistics, Coulomb interaction, and also indicate the role of multi-body resonance decays and mini-jets. The characteristics of the one-, two-, and three-dimensional correlation functions are studied as a function of the transverse pair momentum and of the charged-particle multiplicity of the event. The extracted radii are in the range 1–5 fm, reaching highest values for very high multiplicity pPb, also for similar multiplicity PbPb collisions, and decrease with increasing k_T . The dependence of the radii on the multiplicity and k_T largely factorizes and appears to be insensitive to the type of the colliding system and center-of-mass energy.

This box is only visible in draft mode. Please make sure the values below make sense.

PDFAuthor: Ferenc Siklér and the CMS Heavy Ions Group
PDFTitle: Femtoscopy with identified charged hadrons in pp, pPb, and peripheral PbPb collisions at LHC energies
PDFSubject: CMS
PDFKeywords: CMS, physics, femtoscopy, particle identification

Please also verify that the abstract does not use any user defined symbols

Önálló kutatás, egyéni hozzájárulás

Eur. Phys. J. C (2012) 72: 10114
DOI 10.1140/epjc/c/12064-012-10114-1

Regular Article

Study of and proto

The CMS Coll
CERN, Genev

Received: 19 July
© CERN for the

Abstract Spec
sured in pp col
7 TeV. Charge
momentum ratio
 $|y| < 1$ are ide
tracker. The a
the hadron and
pendently of t
 p_T spectra ar
tunes of the P

1. Introduction

The study of
energy part
physics. The
(p_T) spectra
hadron collis
that can be u
quantum chro
soft parton i
Carlo (MC)
quantities or
able inform
other final-
baryon (and
by the exist
help impro
in proton-p
reference f
state effect
yields of di

The pre
 p_T spectra

* e-mail: cm

en
ne
co
pro
sca
tio
me
and
to
bacl
serv
nucl
heav
Tl
from
enol
guida
gener
tic sci
doubl
fracti
treat
refer
and ar
frac
events.
The
and ps

*Full a
Publis
the Crea
bution of
the publi

0031-900



Particle iden
Ferenc Siklér*

KFKI Research Institute for

ARTICLE INFO

Article history:
Received 14 November 2
Received in revised form
7 February 2010
Accepted 8 March 2010
Available online 16 Mar

Keywords:
Particle identification
Multiple scattering
Energy loss
Tracker detectors

1. Introduction

The momentum
examining the sr
propagation throu
a recent applicatio
scattering angle †
compared to the
 $1/p_T$. By assumi
can be estimat
ment since the part

The Kalman fi
experiments for c
coherent framew
measurement us
least-squares fit v
from process no†
the mean square
technique can t
resolution of pa
field [3]. It is pos
detector is in ma
can be obtained
fitting may prov
the velocity of t
tion or identific‡
This article is
merit function ‡

There are also
[8] (wire targets
space. The verte
the positions o
efficiency, alth

* Tel.: +36 1 392 2222/3479; fax: +36 1 395 9151.

E-mail address: s

0168-9002/\$ - see front matter © 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

doi:10.1016/j.nima.2012.06.064



Study of clu
for collider

Ferenc Siklér

KFKI Research Institute for

ARTICLE INFO

Article history:
Received 14 November 2009
Received in revised form
16 April 2010
Accepted 17 April 2010
Available online 6 May 2010

Keywords:
Vertexing
Silicon
TPC

1. Introduction

Finding the ve
collider is essent
primary vertices e

Several metho
past. Most of the
the event. Some
hence all tracks t
only deal with fi
There are other a
data were used t
three layer feed-
two-barrel pixel
for vertexing [5].
conventional me
left in the detect
centroid of hit c
between the hits
the vertex [6]. A
correlation betw
the measured io
gives good effici
multiplicity.

Energy loss c
process. For a de
presented in this st
the energy lost a
changeably in the
determined from
digitization effects.

This article is
microscopic energ



Optimized est
deposit measur

Ferenc Siklér^{a,b,*}

^a KFKI Research Institute for

^b CERN, Geneva, Switzerland

^c Eötvös University, Budapest,

ARTICLE INFO

Article history:
Received 10 November 2011
Received in revised form
16 May 2012
Accepted 27 May 2012
Available online 7 July 2012

Keywords:
Energy loss
Silicon
TPC

1. Introduction

The identification
fields of particle an
selection, selection of d
reducing the backgr
detectors, both semi
particle identification
by proper use of en
of the particle,
tum range is availab
no logarithmic ris
momentum, thus o
region are accessi
materials, silicon a

In the case of planar silicon detectors the sensitive volumes are thin layers. After traversal of a charged particle, the created electrons and holes drift to and are read out by electrodes with pixel or strip geometry located at the surface of the sensor [4–7]. In this study these sensitive volumes (pixels and strips) will be called sensing elements. Adjacent sensing elements (those with common edge or vertex) with collected charge above a given threshold are grouped. The total charge of the resulting cluster corresponds to the deposited energy along the track segment. For brevity, the track segment in the silicon layer is usually

The aim of this study is to provide methods for the calculation of hit-level and track-level quantities in a wide range of particle momenta and detector thicknesses, based on the parametrization of distributions derived from a model of the known underlying physics processes.



A parametrizati
applications for si

Ferenc Siklér*

Wigner RCP Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest, Hungary

ARTICLE INFO

Article history:
Received 4 June 2012
Received in revised form
27 June 2012
Accepted 27 June 2012
Available online 7 July 2012

Keywords:
Energy loss

1. Introduction

When a charged particle passes through material it loses energy in several collisions. All calculations presented in this study are based on Monte Carlo methods. For a detailed description see Refs. [8,9]. The mean free path between collisions is given by the mean number of collisions per unit path length Σ . The distance to the next collision was determined by sampling an exponential distribution with the rate parameter Σ . In case of a given segment length the generation of collisions was continued until the full length was reached. (The procedure results in a Poissonian distribution of number of collisions within a given-length track segment.) The probability of energy deposit along a track segment is a function of $\beta_T = p/m$ of the particle, and depends on the properties of the traversed material.

The total energy deposit y is the sum of single energy deposits for the entire segment. The inverted cumulative probability density $\Phi(E)$ of single collision energy spectra was taken from the Bethe–Fano theory [10,11]. It was employed to generate random energy deposits for each collision. The inverted cumulative density and the mean number of collision values were parametrized by natural spline interpolation in deposited energy and in β_T . Further details and tabulated numerical values can be found in Refs. [8,9,12], and in references therein. In Ref. [12], through numerous data-theory comparisons, it is demonstrated that these calculations agree with experimental data within the measurement uncertainties. The results of the calculation are asymmetric density distributions with long tails (Fig. 1).

This paper is organized as follows: the parametrization is described in Section 2. Among the various applications we will deal with the estimation of hit position (Section 3), hit energy deposit (Section 4), energy loss rate for tracks (Section 5), as well as detector gain calibration with tracks (Section 6). This study ends with conclusions and it is supplemented by an Appendix on the derivation and properties of the proposed parametrization.

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 691 (2012) 16–29

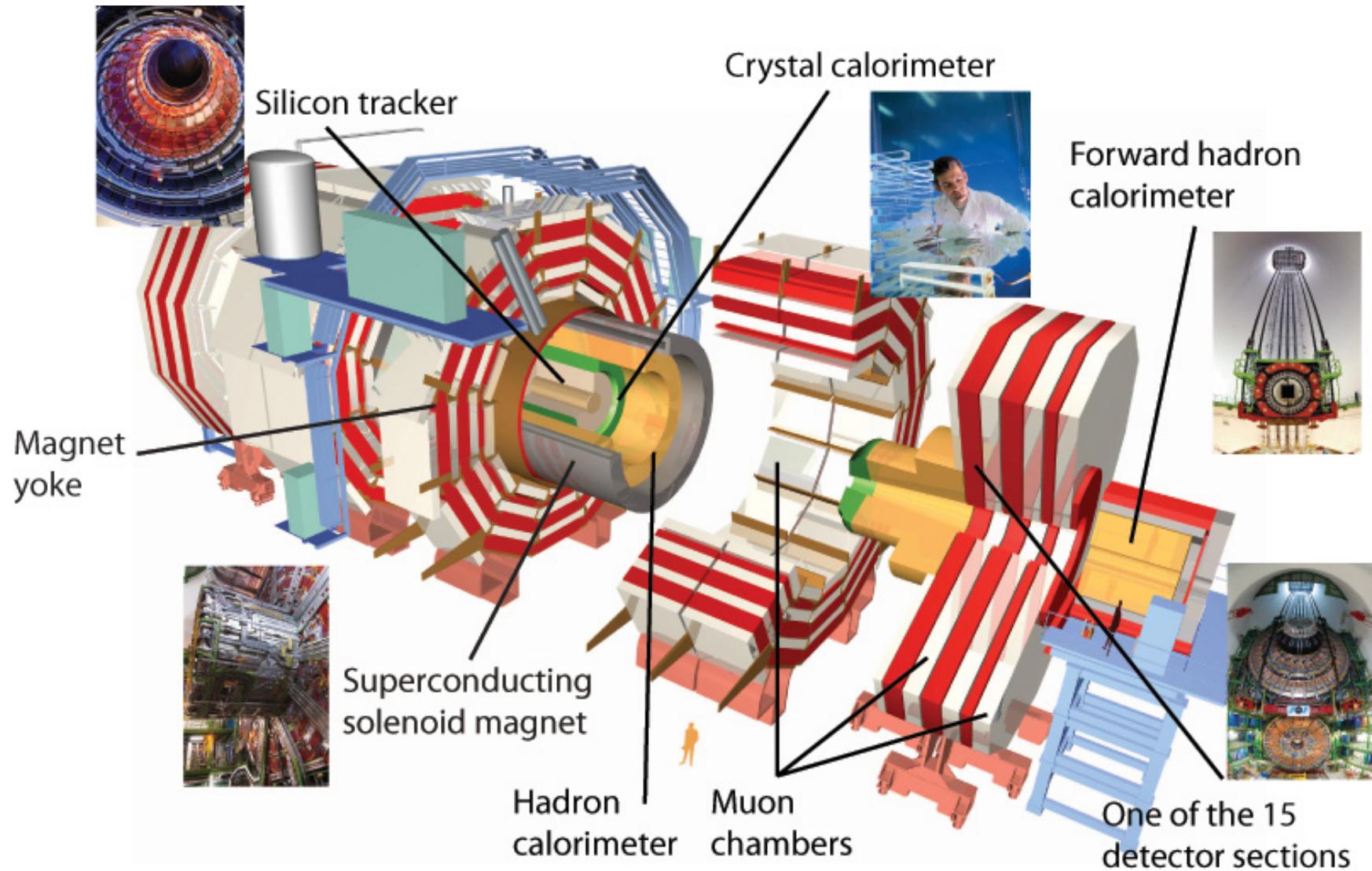
Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A
journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



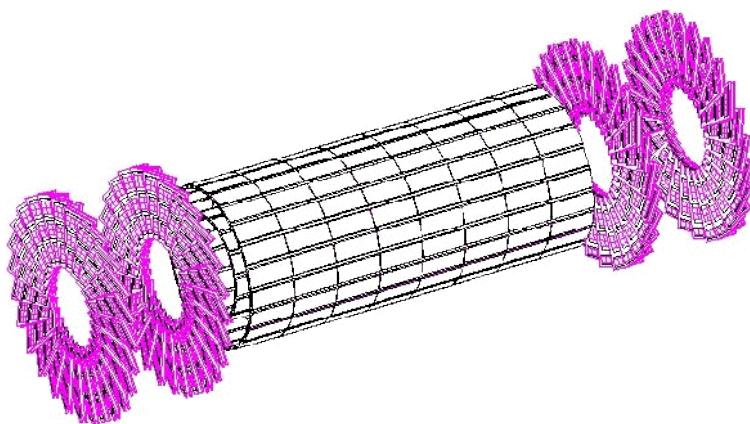
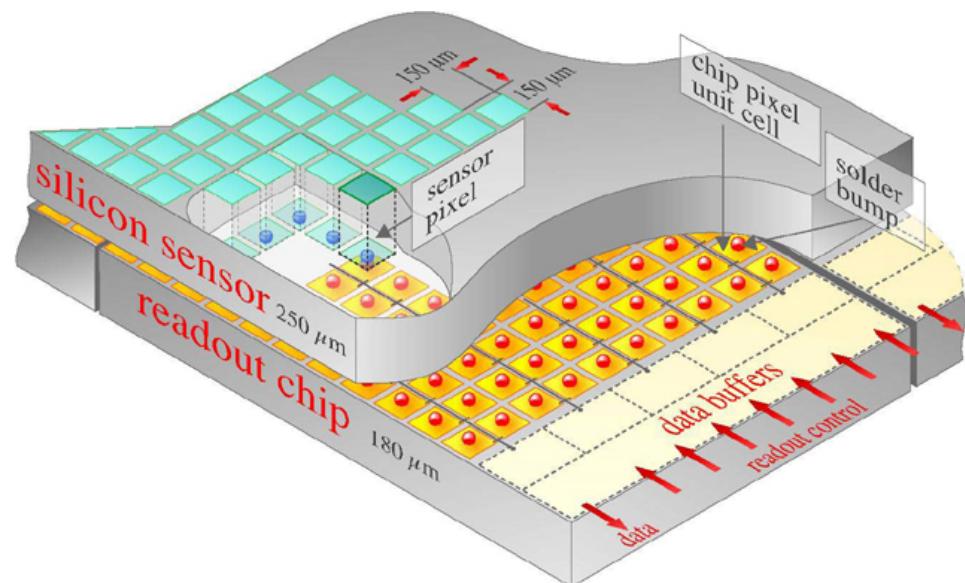
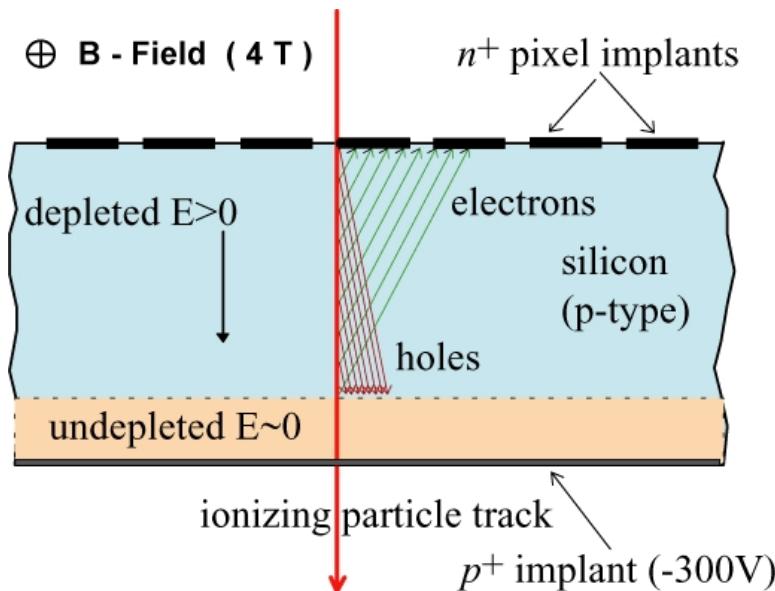
A CMS-kísérlet

A CMS-kísérlet



Nagy akceptanciájú, jó lefedést biztosító, általános célú detektorrendszer

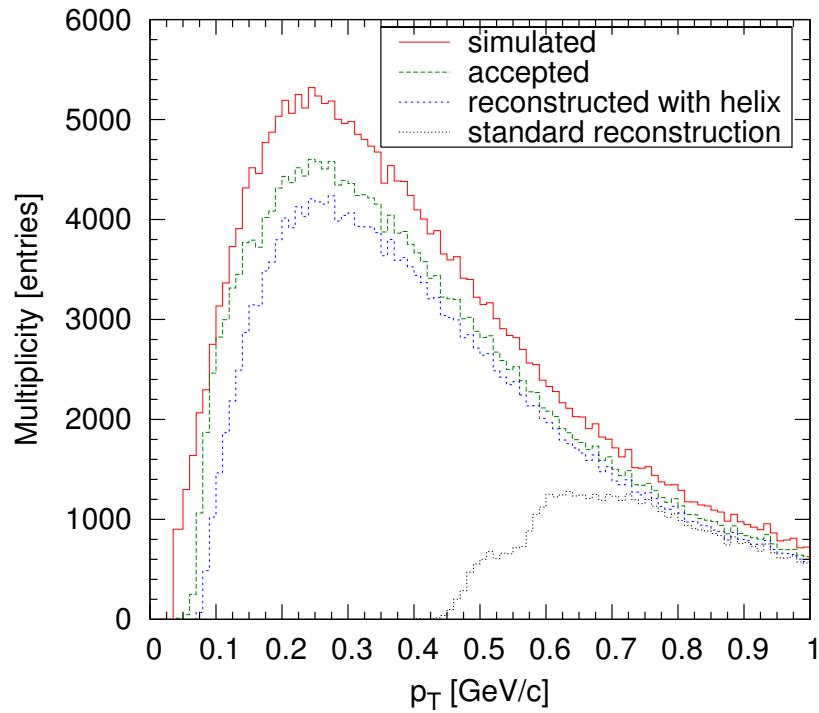
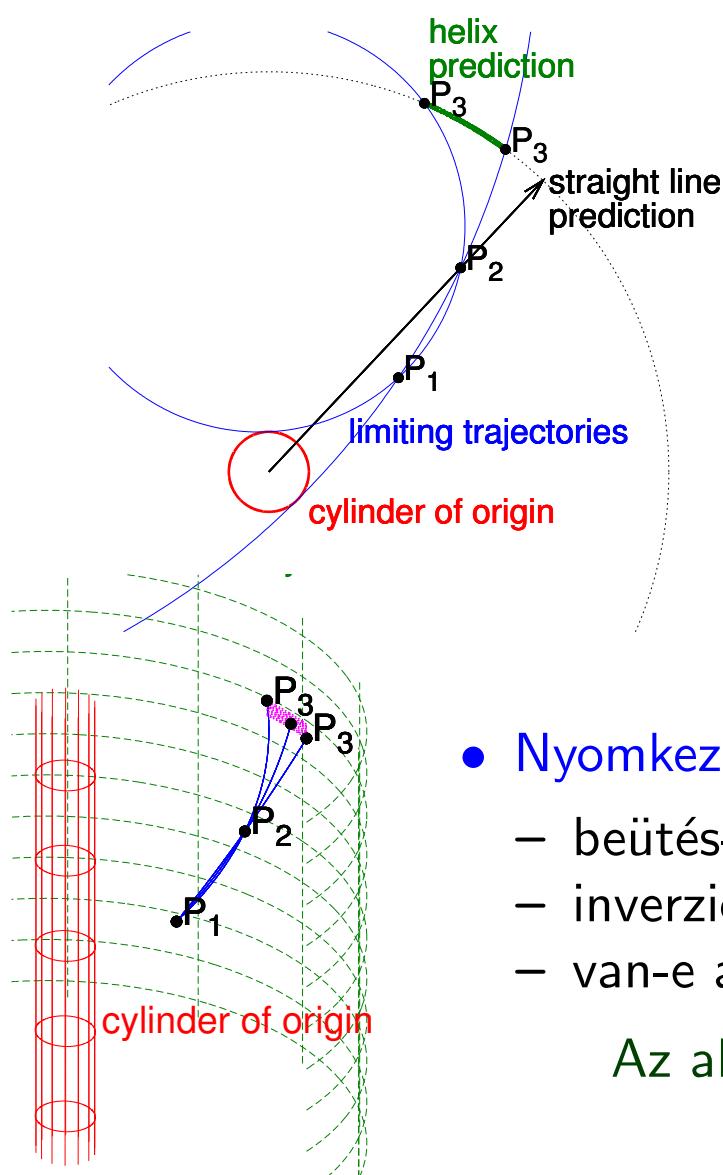
A CMS-kísérlet – nyomkövető



- Szilícium alapú nyomkövető rendszer
 - Pixel detektor: három hordó-réteg (4,4, 7,3 és 10,2 cm-es sugarakkal), valamint két végsapka-korong; 285 μm vastag, 150 $\mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$
 - Strip detektor: néhány rétege dupla; 300 és 500 μm vastag; 80–150 μm széles

Klaszterek: szomszédos, számottevő energialeadású pixelek/csíkok csoportjai

Kis impulzusú nyomkövetés



- Nyomkezdemények készítése
 - beütés-párokat formálunk (P_1 és P_2)
 - inverzió P_1 középponttal és P_1P_2 sugárral, $\Rightarrow P_3$
 - van-e a megfelelő pont a téglalap alakú burkolón?

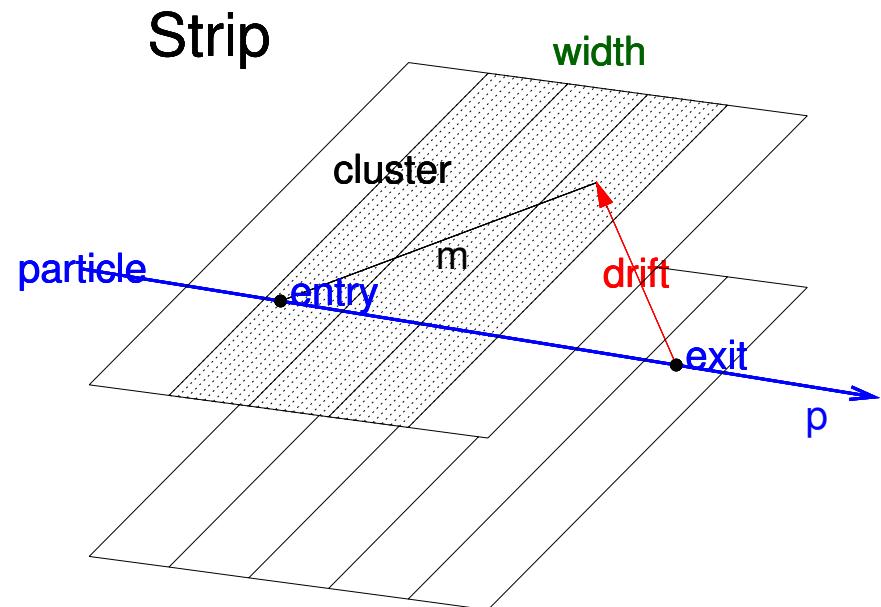
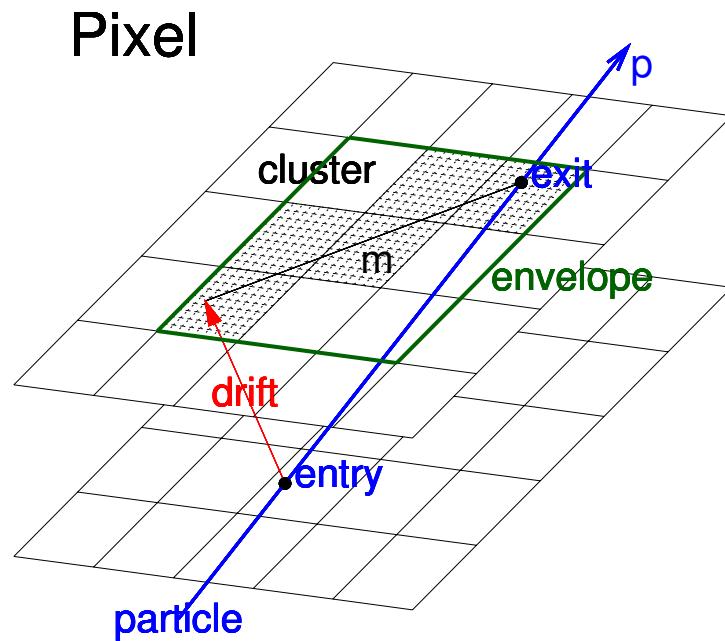
Az akceptancia 75 MeV/c-ig terjed pionokra

CMS AN-2006/100
Int J Mod Phys E 16 (2007) 1819
J Phys G 35 (2008) 104150

Kis impulzusú nyomkövetés

Alacsony tévesztésű nyomkövetés

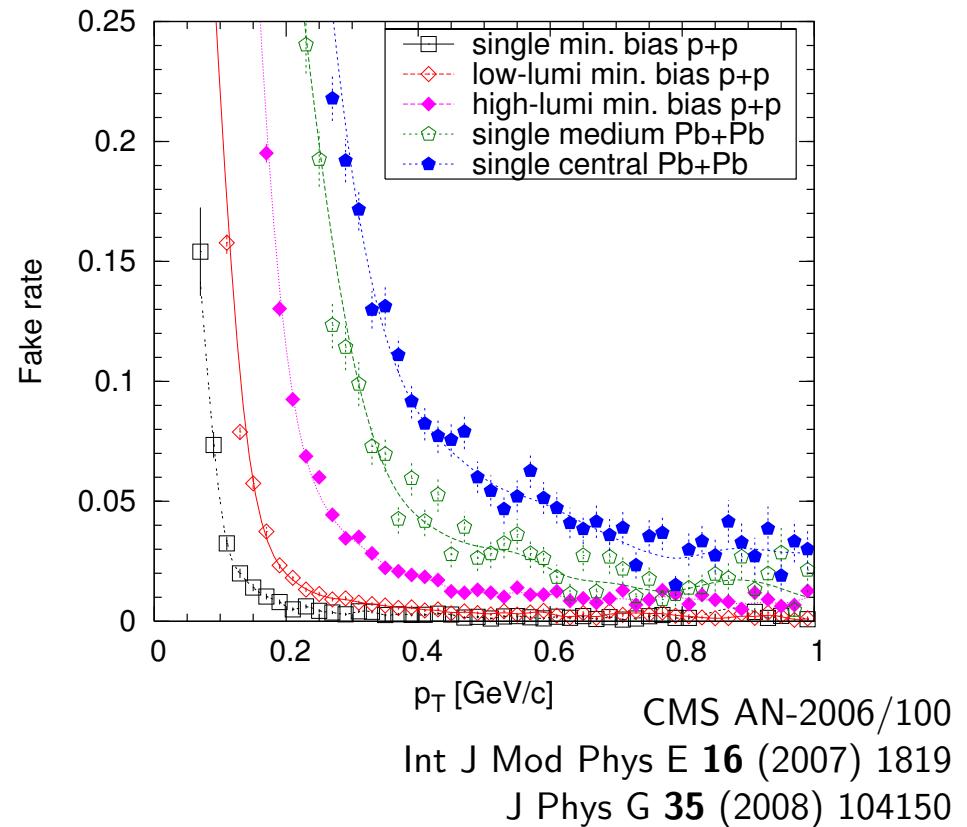
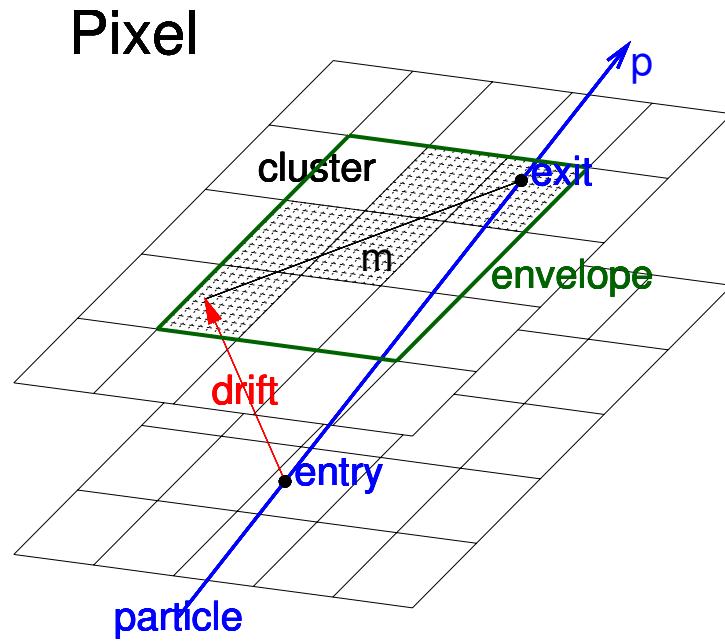
- Probléma
 - túl sok beütés, melyik pont melyik részecskehez tartozik?
- Segítség
 - töltött részecske → leadott energia → klaszter
 - a klaszterek alakja kapcsolatban van a bejövő részecske irányával



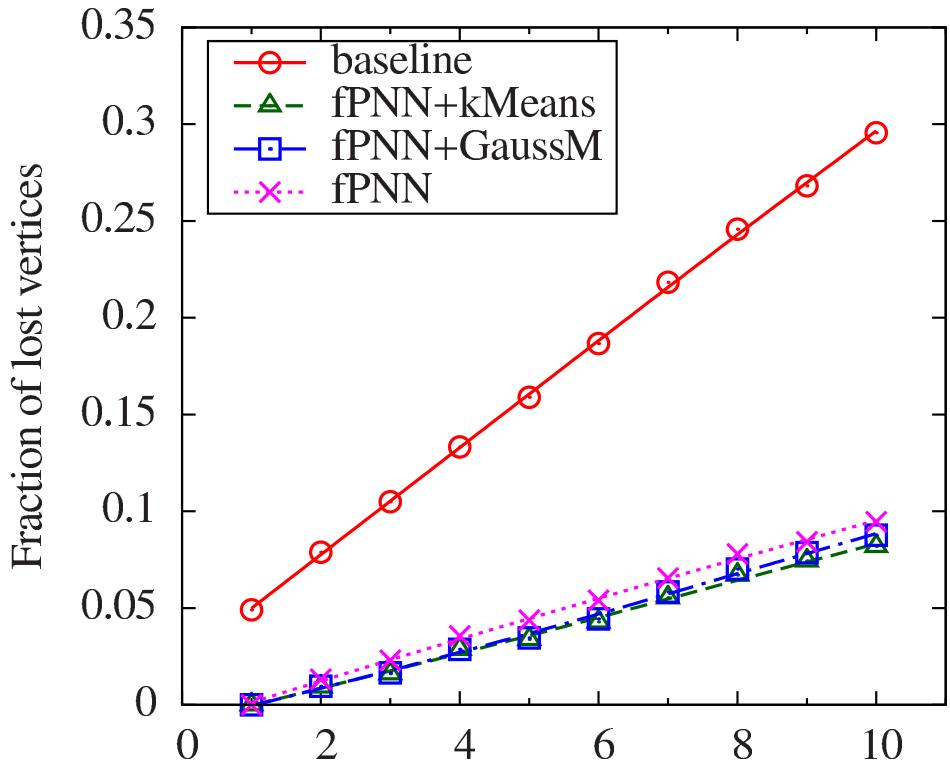
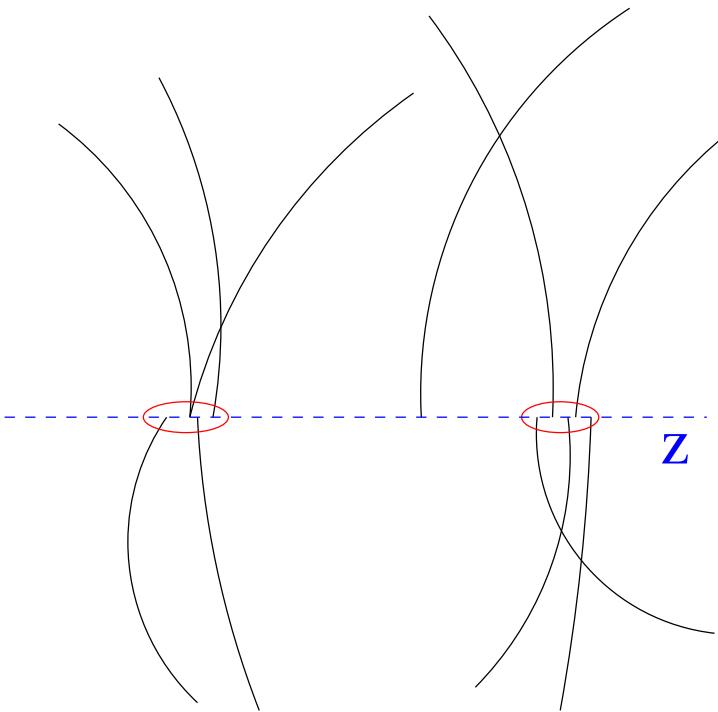
Nagyon hatékony szűrő

Alacsony tévesztésű nyomkövetés

- Probléma
 - túl sok beütés, melyik pont melyik részecskehez tartozik?
- Segítség
 - töltött részecske → leadott energia → klaszter
 - a klaszterek alakja kapcsolatban van a bejövő részecske irányával



Kölcsönhatási pontok javított keresése



A részecskék nyalábközelpontjának z koordinátáját és annak becsült σ_z hibája

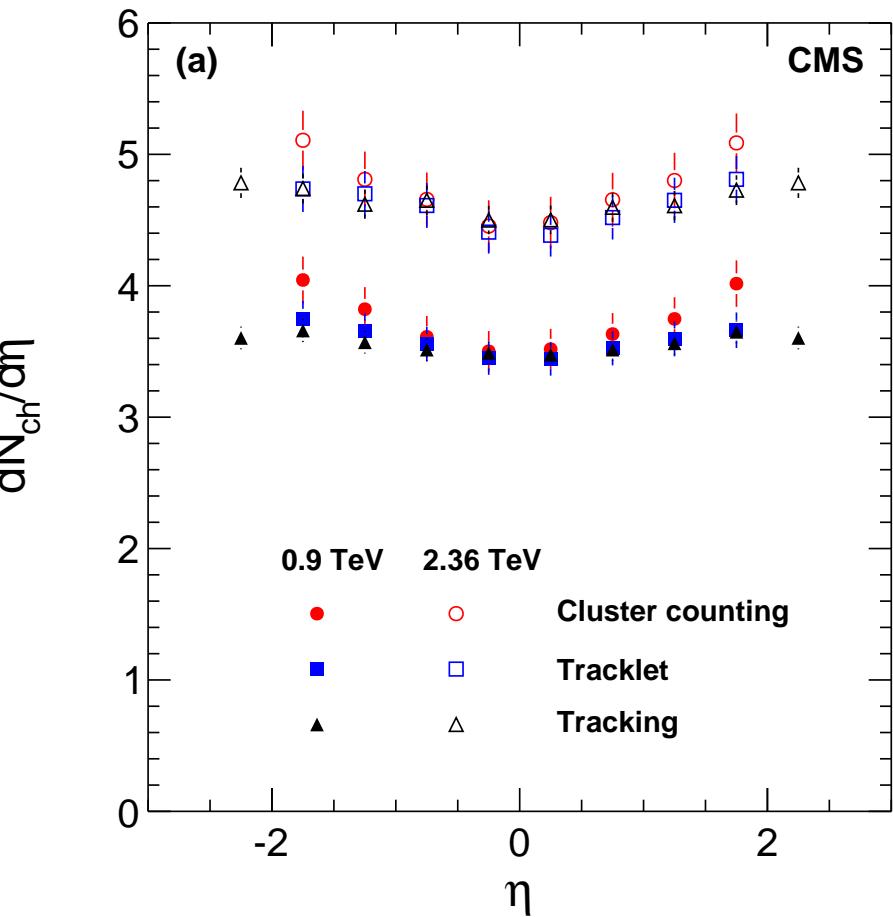
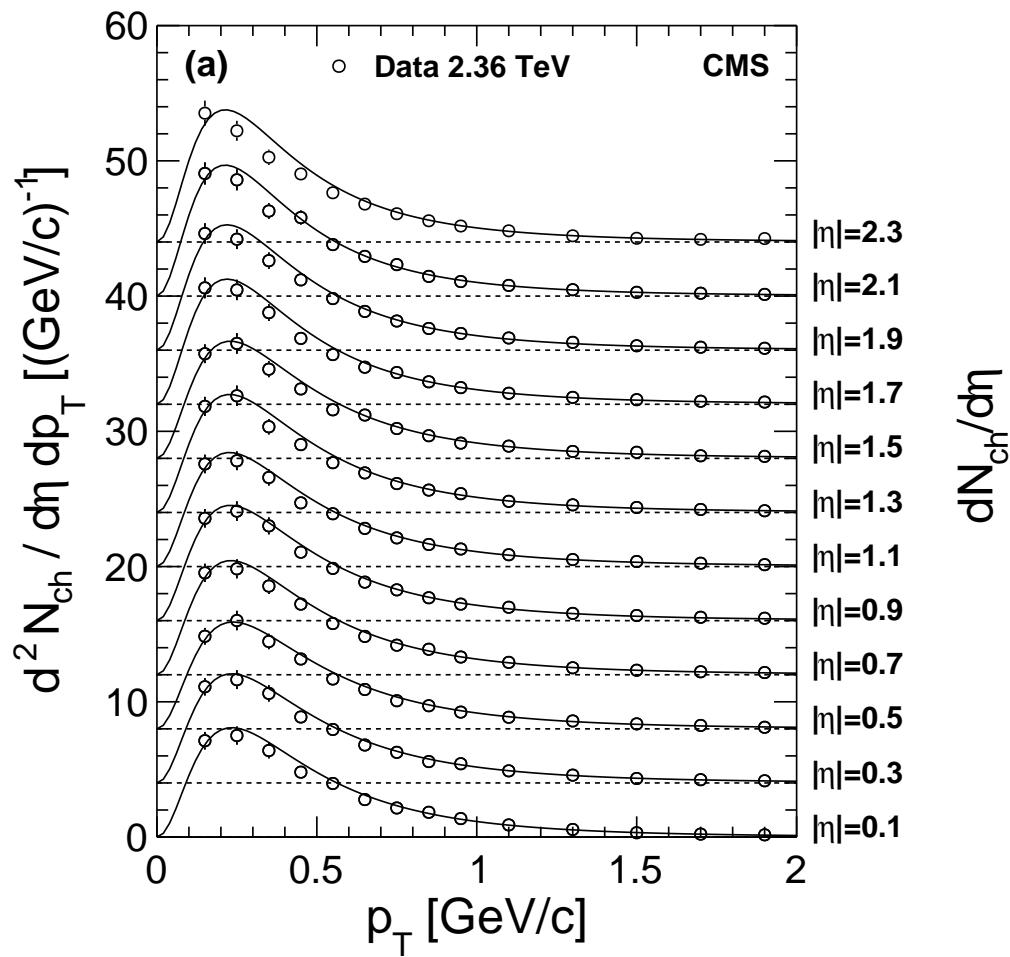
• Összevonó klaszterezés

- két részecske d távolsága: $d^2 = (z_i - z_j)^2 / (\sigma_i^2 + \sigma_j^2)$
- minden lépésben megkeressük a két legközelebbi klasztert (d_{\min}) és egyesítjük
- az új klaszter z -je és σ -ja a két klaszter súlyozott átlaga
- addig folytatjuk, amíg d_{\min} túl nagy nem lesz
- csoportosítás: gaussi keverék modell; k-means

Nucl Instrum Meth A 621 (2010) 526

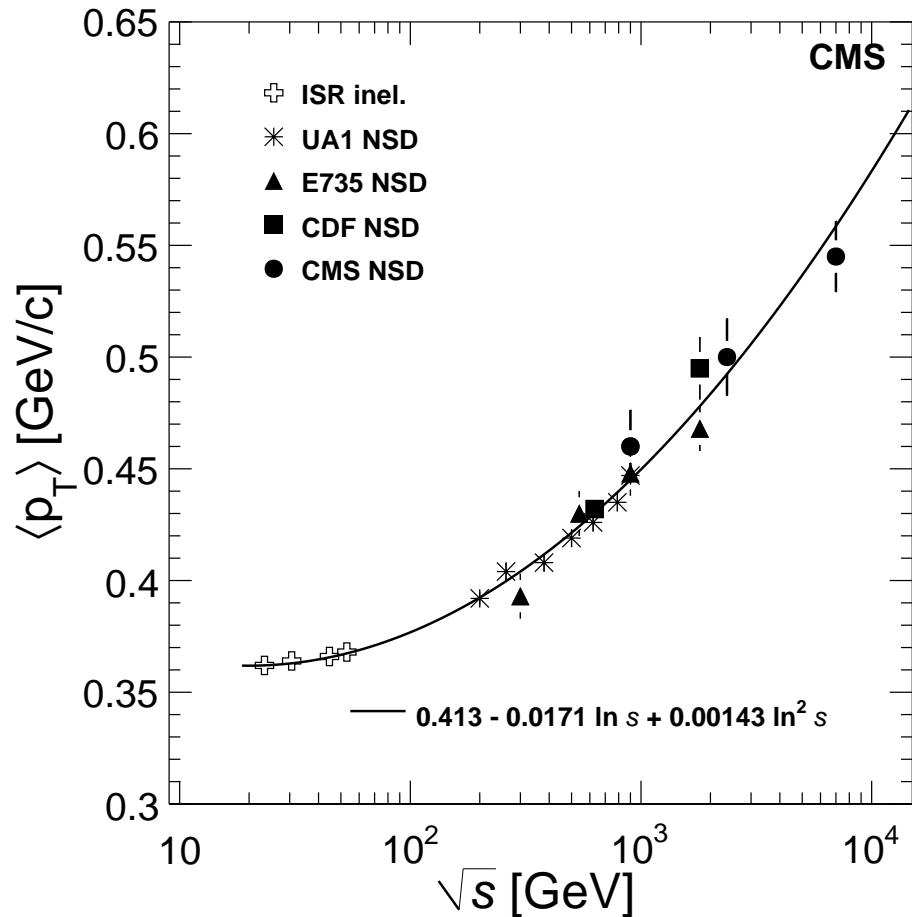
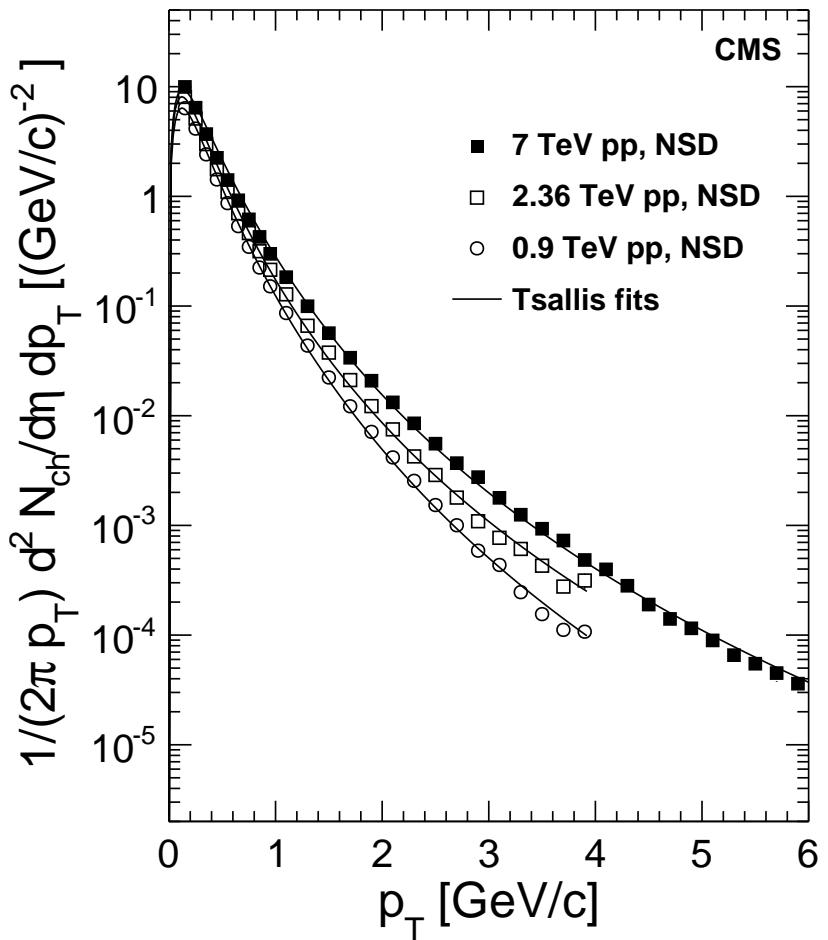
Egy rekonstruált proton-proton ütközés

Töltött hadronok eloszlásai



Gyors kiértékelés, differenciális spektrumok, 3 módszer
Kis p_T -n is működő nyomkövetés, kölcsönhatási pontok keresése
Mérések 0,9, 2,36 és 7 TeV-en

Töltött hadronok eloszlásai



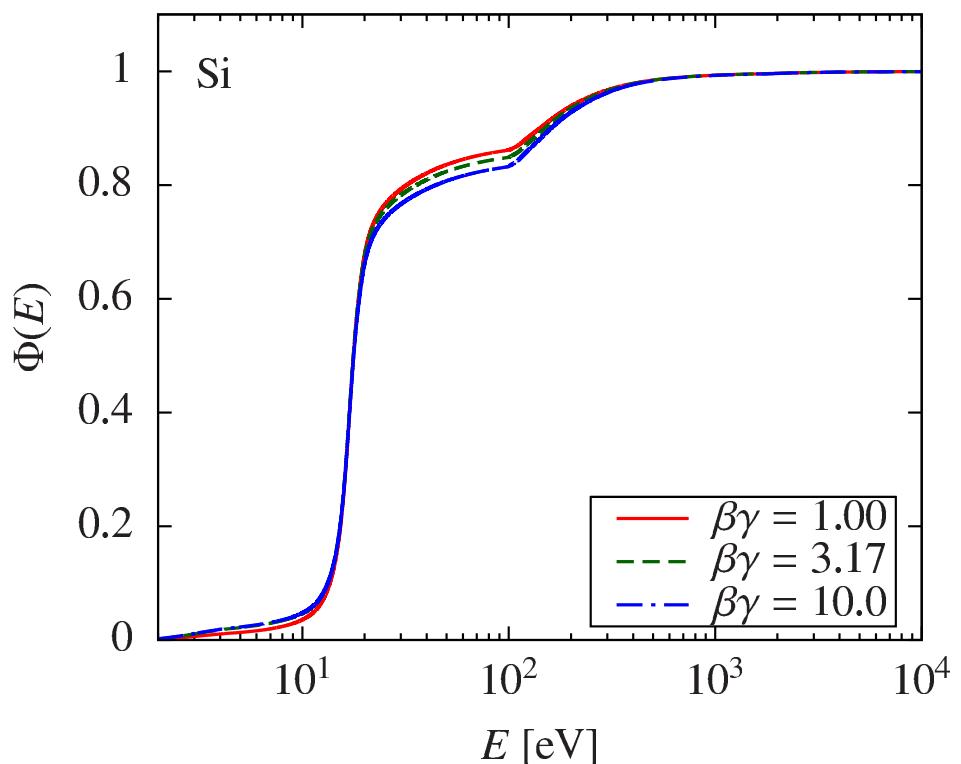
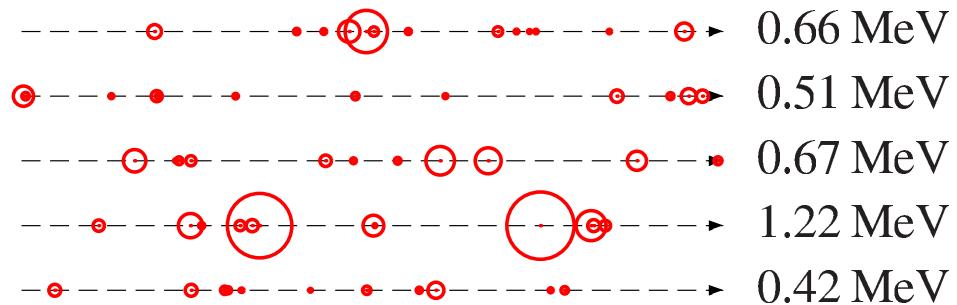
LHC: első impulzusmérés, első 2,36 TeV-es mérés

A vártnál meredekebb energiafüggés: $dN/d\eta$ és $\langle p_T \rangle$

Eseménygenerátorok javítása, gluon telítési modellek sikere

CMS AN-2009/182, High Energy Phys **02** (2010) 041
CMS AN-2010/069, Phys Rev Lett **105** (2010) 022002

Töltött részecskék energialeadása

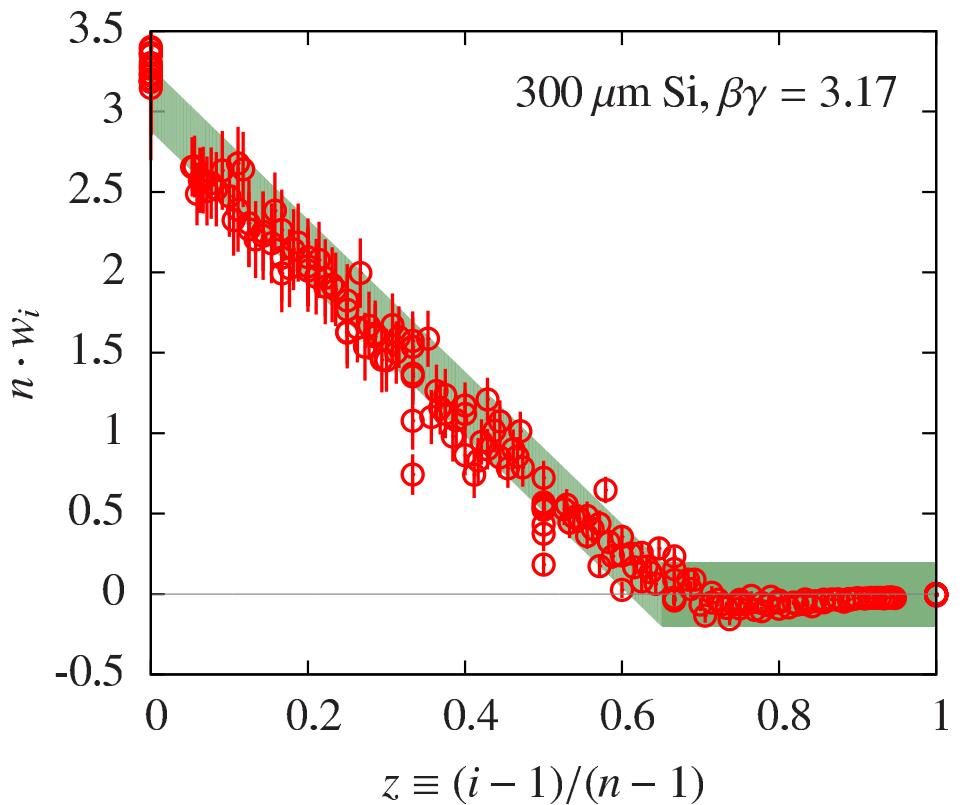
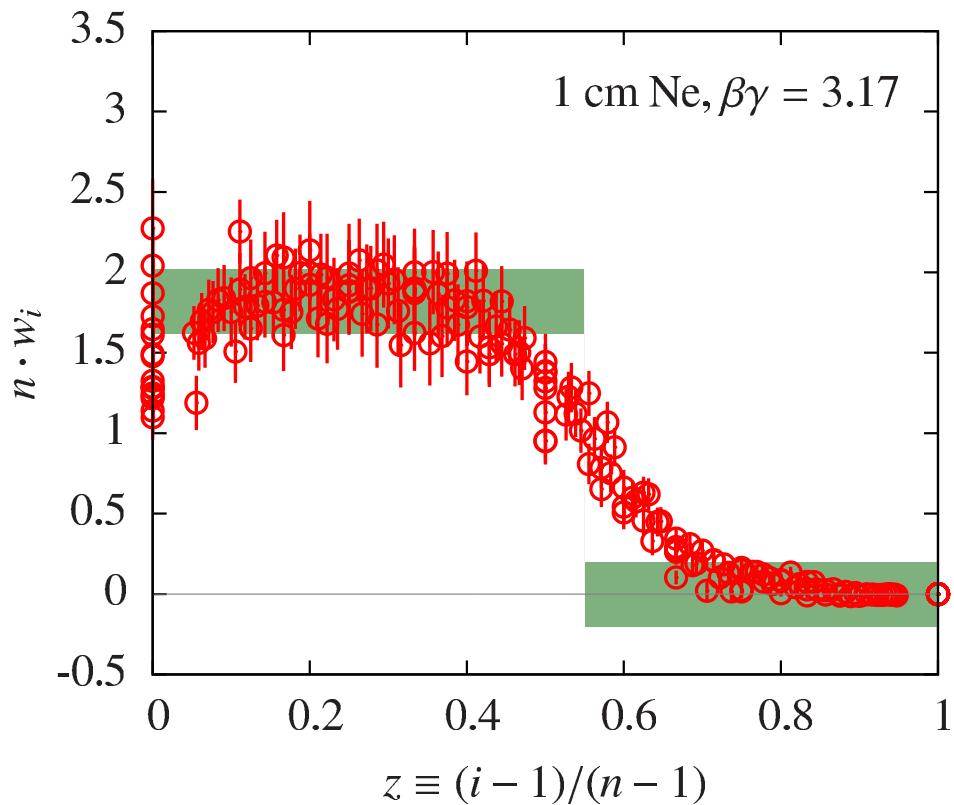


- Töltött részecske áthaladása anyagon
 - Bonyolult folyamat, gerjesztések, szórások, $1/\Delta E^2$
 - Az üközések energiaspektruma: Bethe-Fano (Si), valamint Fermi virtuális foton (Ne) közelítés
 - Hosszú farkú eloszlás, hogyan értékeljük ki, pl kevés beütésnél?
- A pálya mentén $\Delta E_i / \Delta x_i$ értékek
 - Levágott átlagolás, (0,50%)
 - Hatványátlagok
 - Súlyozott átlagolás
 - Melyek az optimális súlyok?
 - ⇒ Analitikus modell
 - Létezhet-e ilyen? Max likelihood?

Szerteágazó vizsgálatok: többféle anyag (Si és Ne), $\beta\gamma$, vastagság

Nucl Instrum Meth A 687 (2012) 30

Az energiaveszteség-ráta becslése, lin kombináció



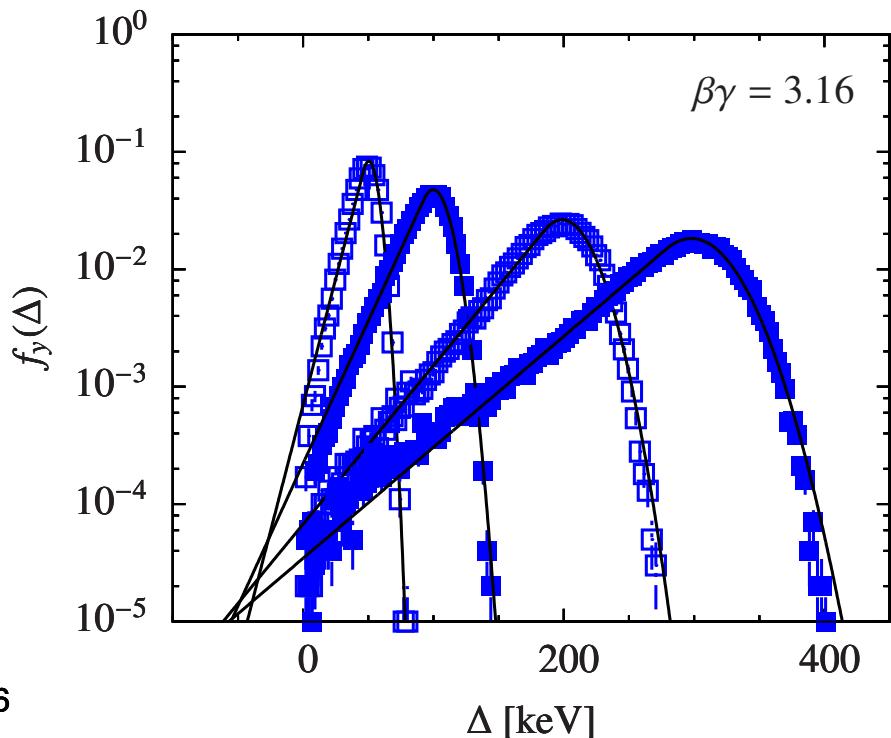
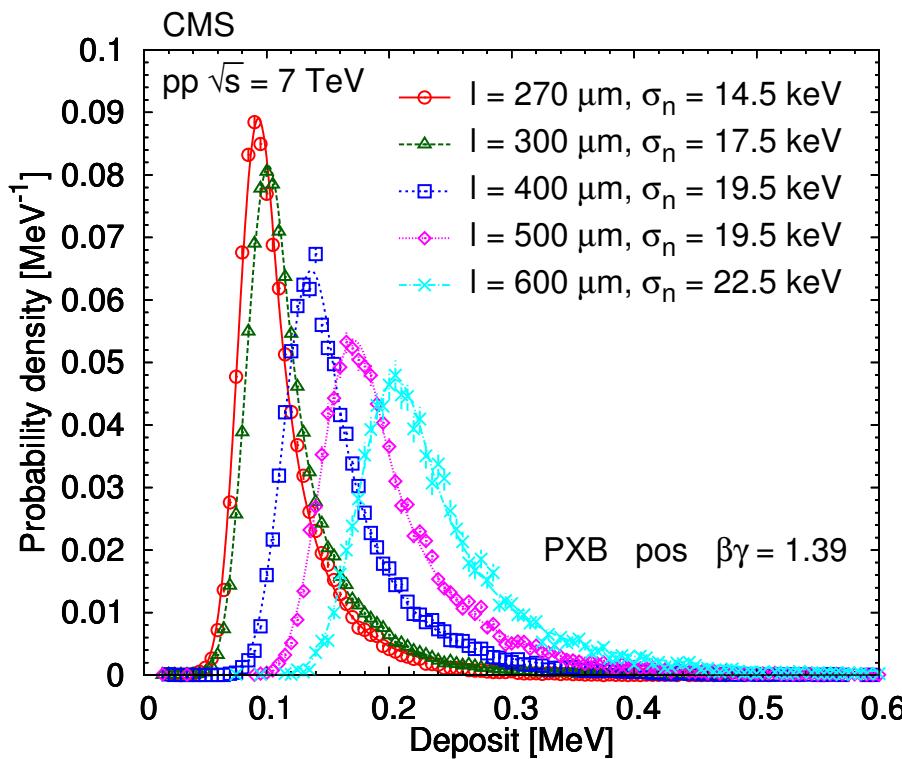
- Optimális súlyok

- a lineáris kombináció $y = \sum_{i=1}^n w_i y_i$, ahol $y_i \equiv \Delta E_i / \Delta x_i$ és $y_i \leq y_{i+1}$
- Variációs feladat, megoldása $\mathbf{w} = \frac{\mathbf{V}^{-1} \mathbf{m}}{\mathbf{1}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{m}}$, a relatív felbontás $\frac{1}{\sqrt{\mathbf{m}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{m}}}$
- Ne: a (0–55%) levágott átlagolás közel optimális

Szoros kapcsolat (hatvány: 0; exp*gauss: állandó; exp*hatvány: lineáris)

Nucl Instrum Meth A 687 (2012) 30

Az energiaveszteség-modell



- Annak valószínűsége, hogy a beütés energiája y

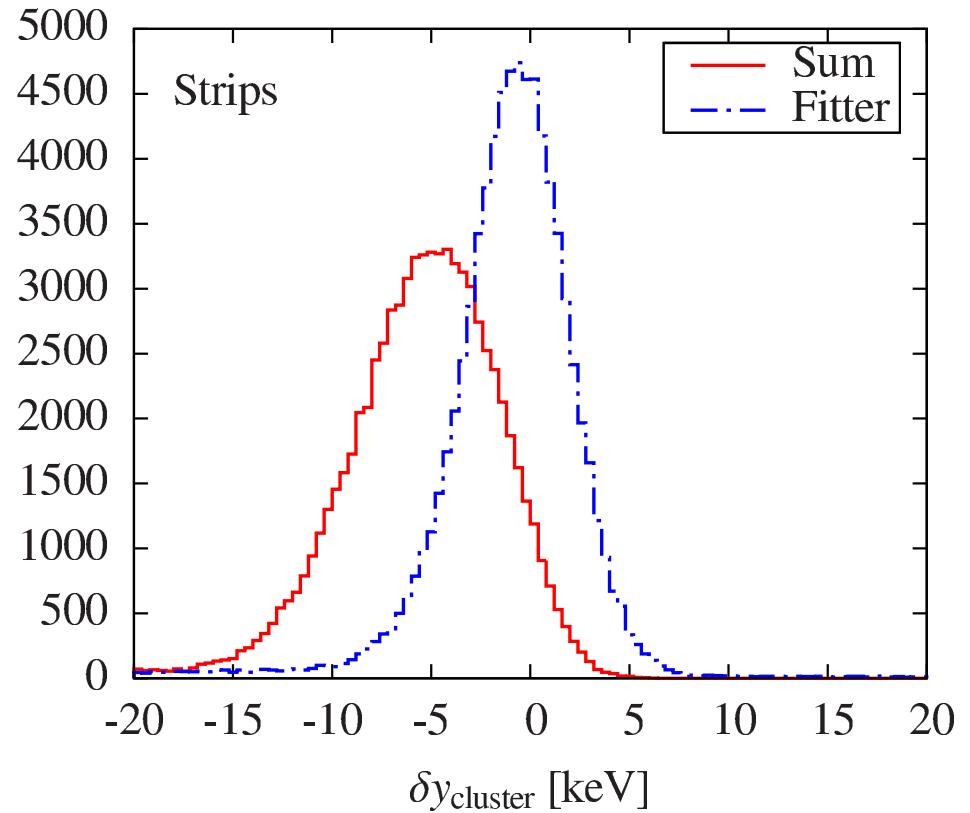
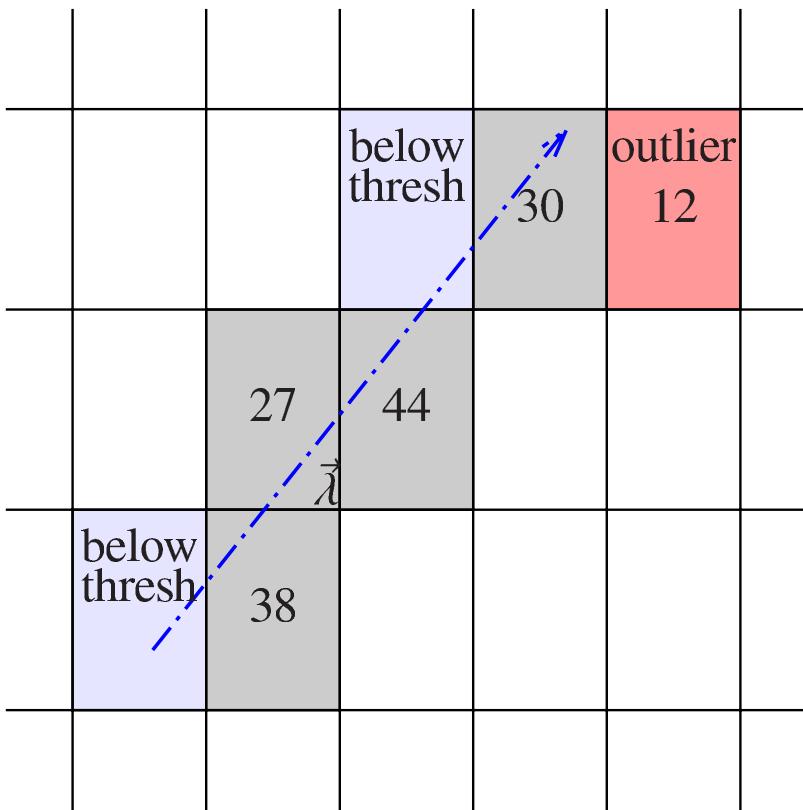
$$p(y|\varepsilon, l) \approx \frac{1}{\sigma_\Delta} \cdot \begin{cases} \exp \left[\frac{\nu(\Delta-y)}{\sigma_\Delta(y)} + \frac{\nu^2}{2} \right], & \text{ha } \Delta < y - \nu\sigma_\Delta(y) \\ \exp \left[-\frac{(\Delta-y)^2}{2\sigma_\Delta^2(y)} \right] & \text{egyébként.} \end{cases}$$

ahol a legvalószínűbb energiaveszteség $\Delta(l) \approx \varepsilon l [1 + a \log(l/l_0)]$

Egyszerű, de pontos: gyors maximum likelihood alkalmazás

Nucl Instrum Meth A 691 (2012) 16

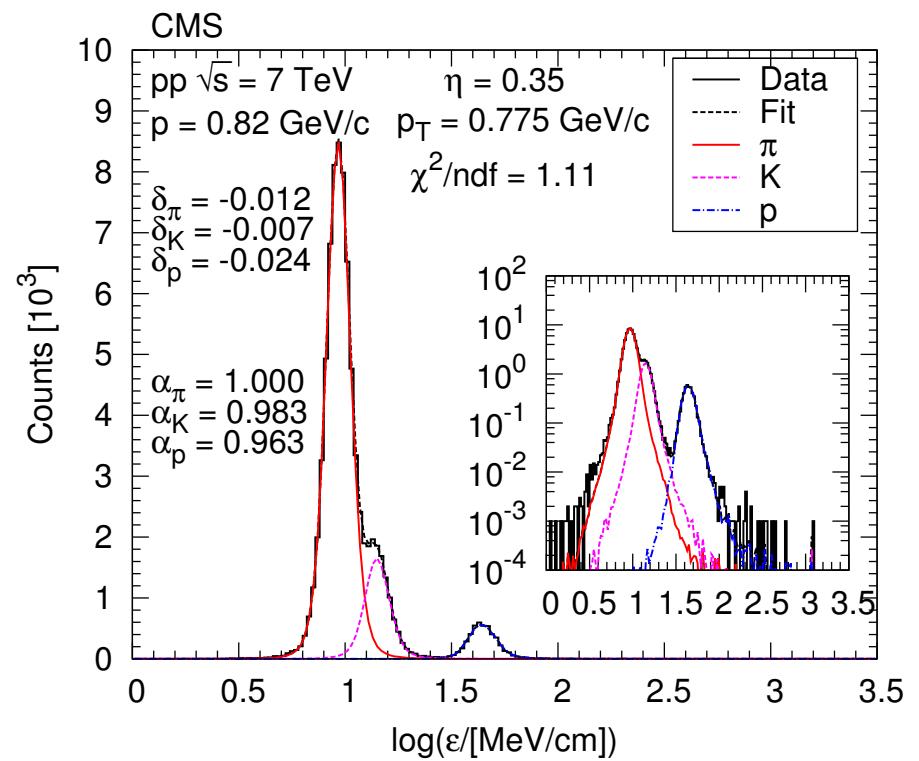
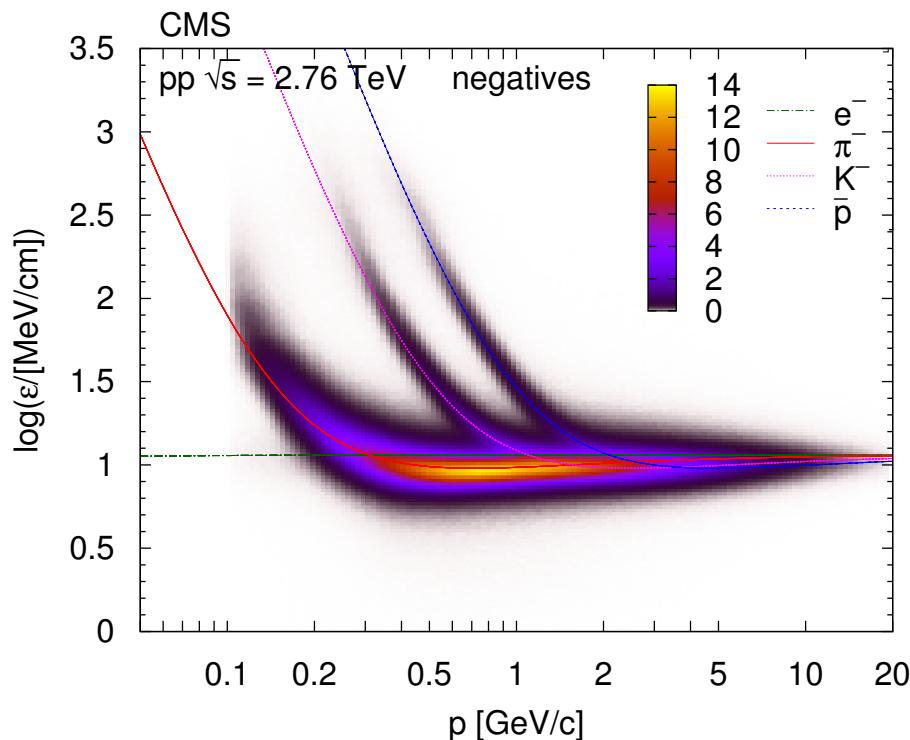
Az energiaveszteség-modell



- Sokféle alkalmazás
 - a klaszterek hely- és energiabecslése; bizonytalanságuk számolható
 - a kiolvasó chipek erősítésének kalibrációja
 - a részecskék energiaveszteség-rátájának becslése

Nucl Instrum Meth A **691** (2012) 16

Az energiaveszteség-ráta kiszámítása



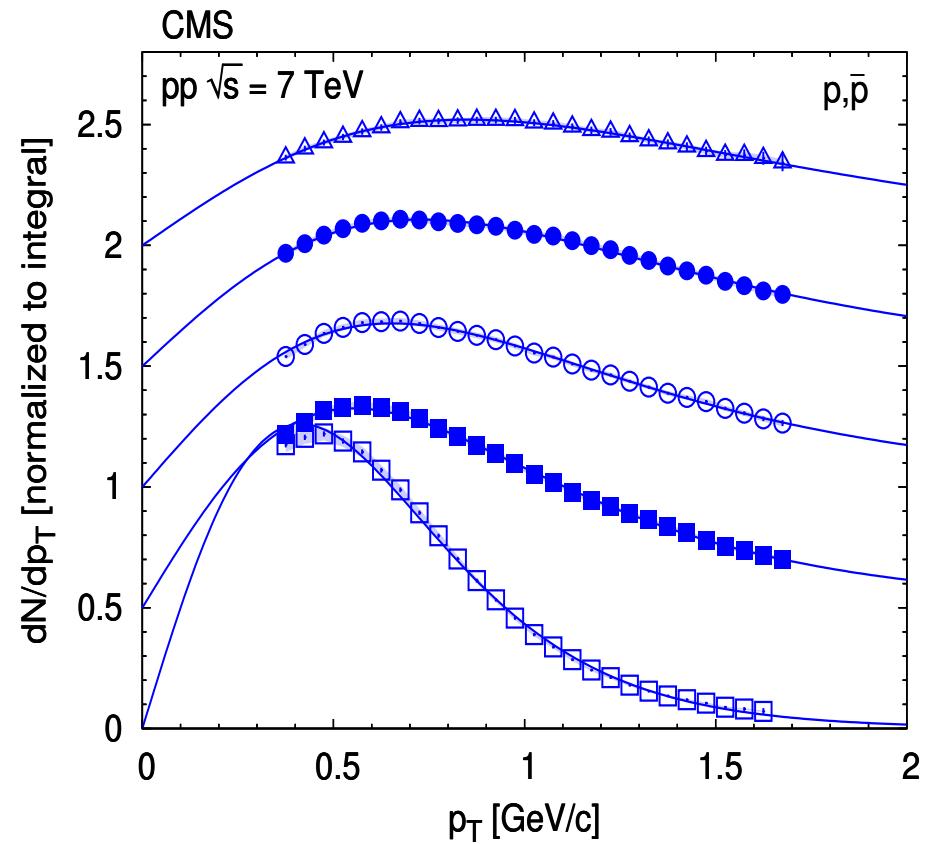
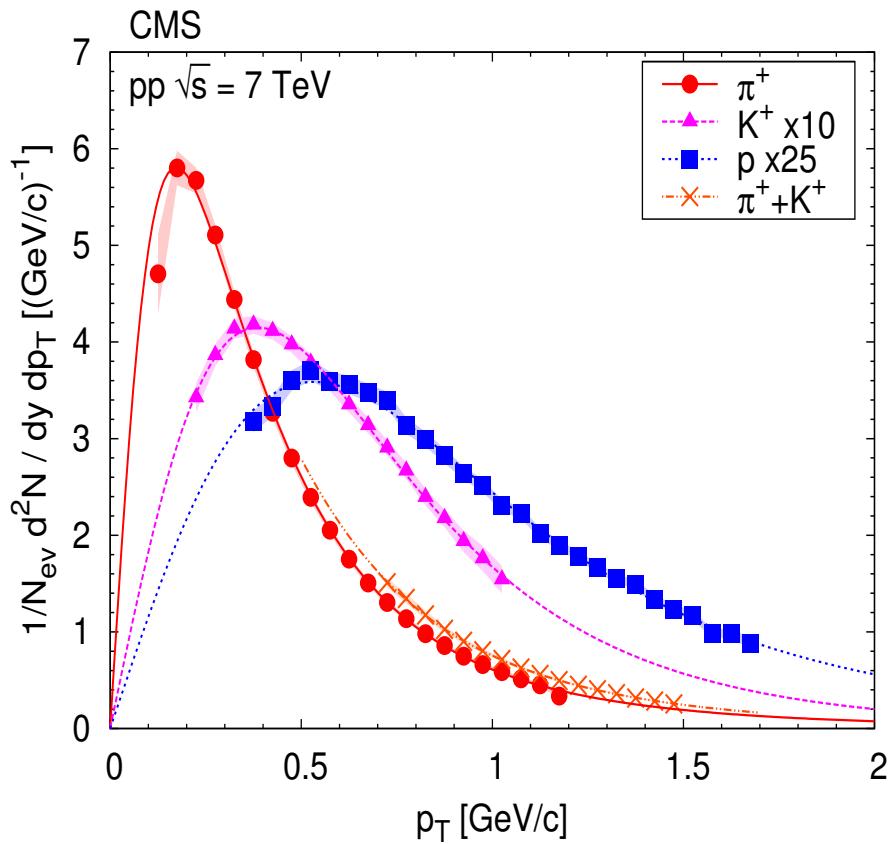
- A kiértékelés menete

- $\log \varepsilon$ becslése mindegy egyes részecskepályára
- téves beütések eltávolítása (energiaveszteségben kilógnak)
- illesztések n_{hits} és χ^2/ndf szeletekben

Egyidejű, differenciális illesztések az adatokból meghatározott sablonokkal

CMS AN-2010/143, Eur Phys J C 72 (2012) 2164

Azonosított hadronok eloszlásai



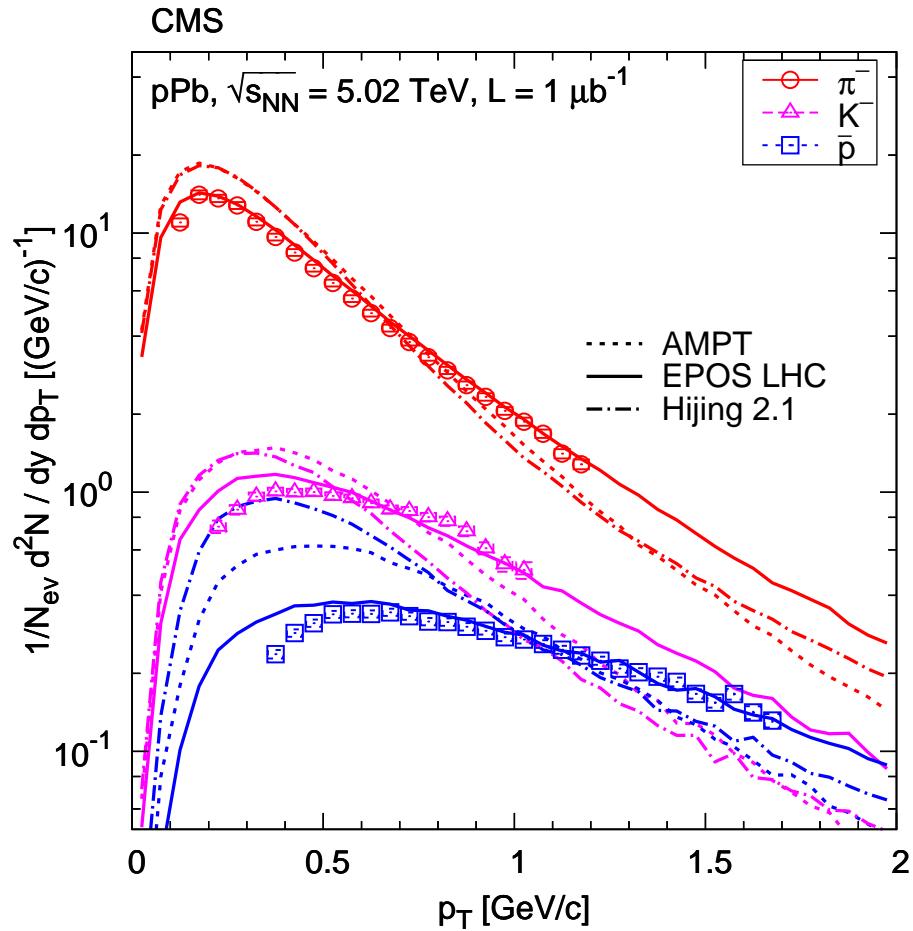
Tsallis-Pareto-eloszlás:

$$\frac{d^2N}{dydp_T} = \frac{dN}{dy} \cdot C \cdot p_T \left[1 + \frac{(m_T - m)}{nT} \right]^{-n}$$

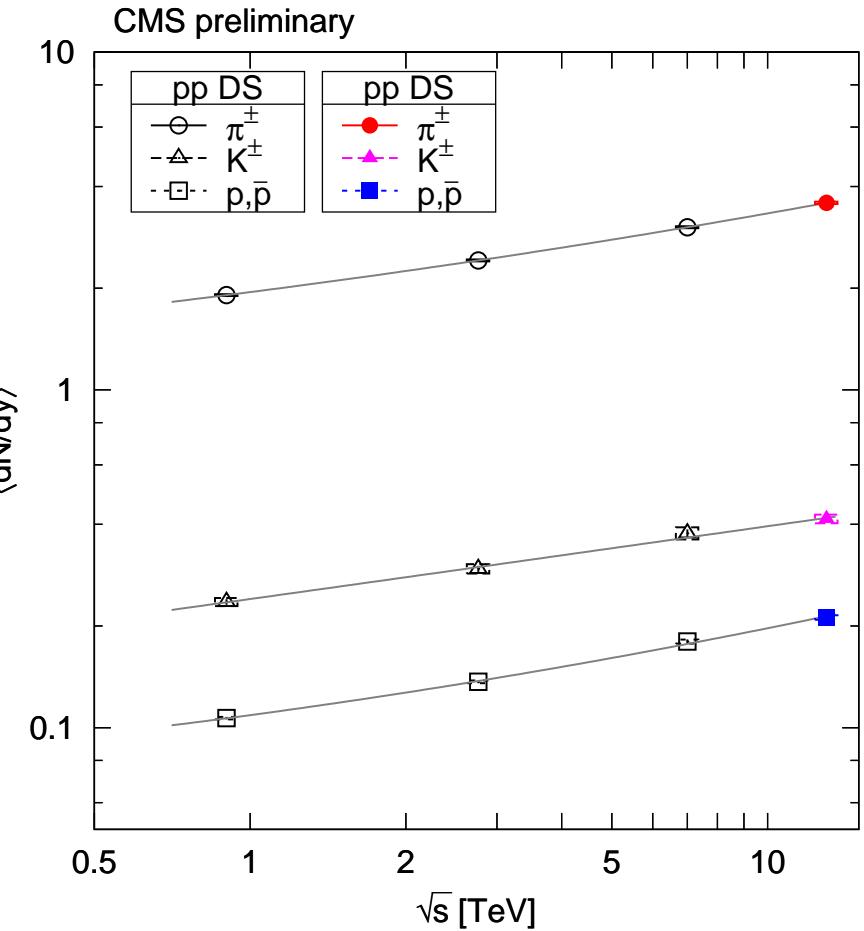
Gyökerei a nem-extenzív statisztikában; egy Lévy-eloszlás
 n – kitevő, T – meredekség reciproka, m – részecske tömeg

CMS AN-2010/143, Eur Phys J C 72 (2012) 2164

Azonosított hadronok eloszlásai



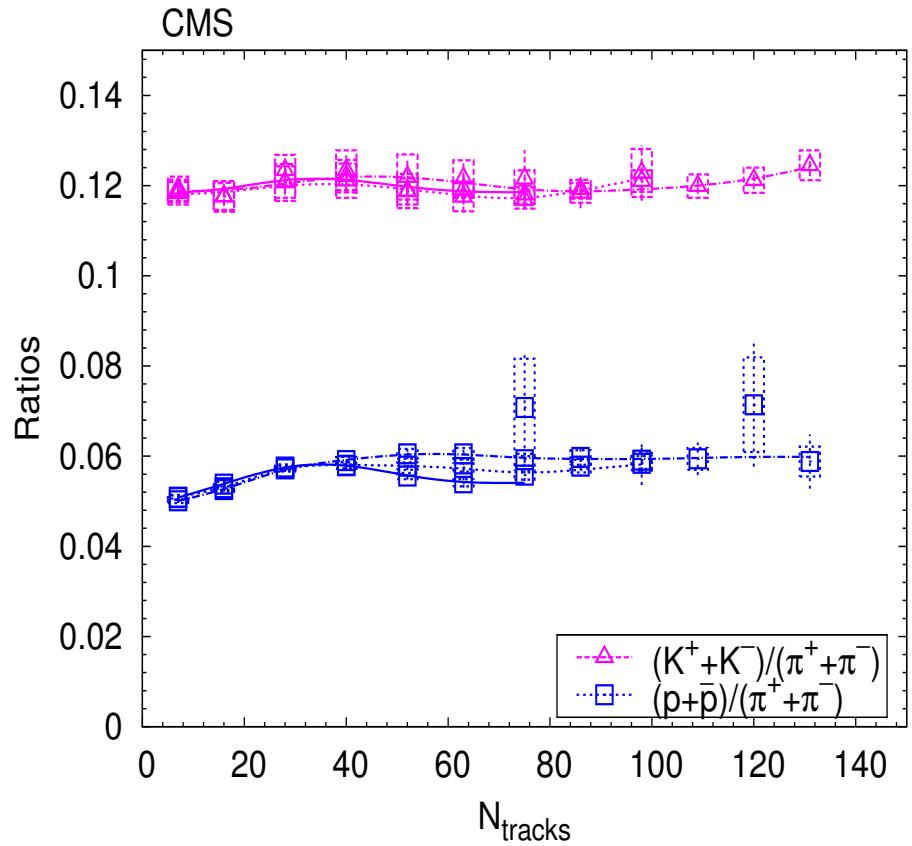
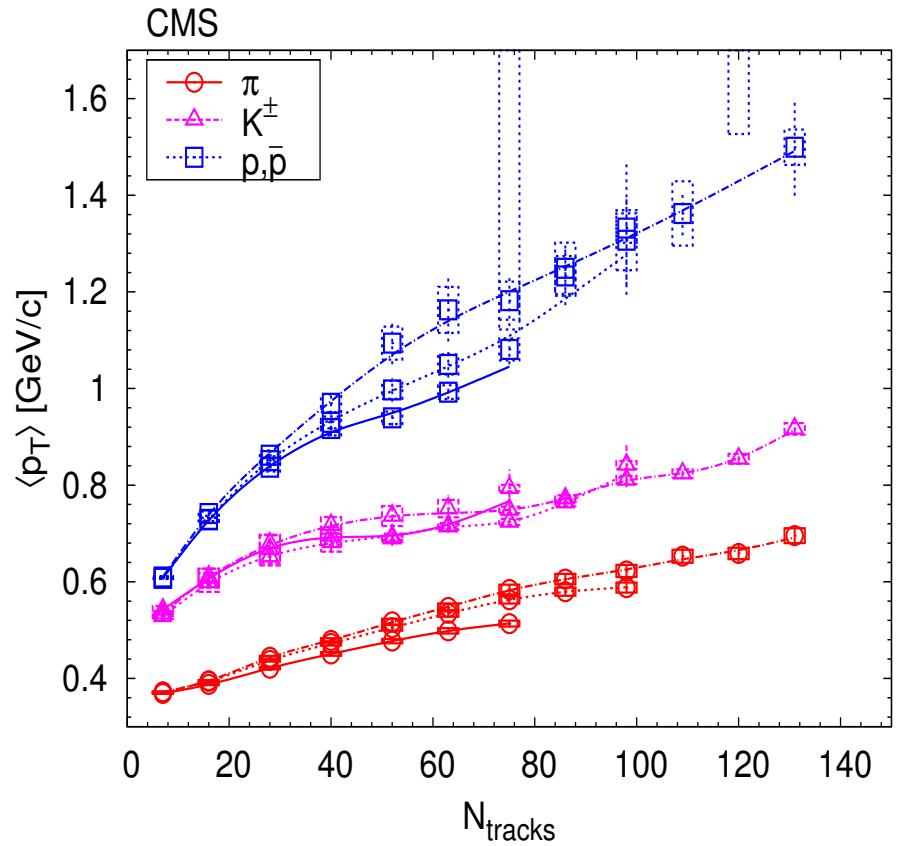
Eseménygenerátorok javítása



Energiafüggés

CMS AN-2012/404, Eur Phys J C **74** (2014) 2847
CMS AN-2015/221, CMS PAS HIN-16-004

Azonosított hadronok eloszlásai

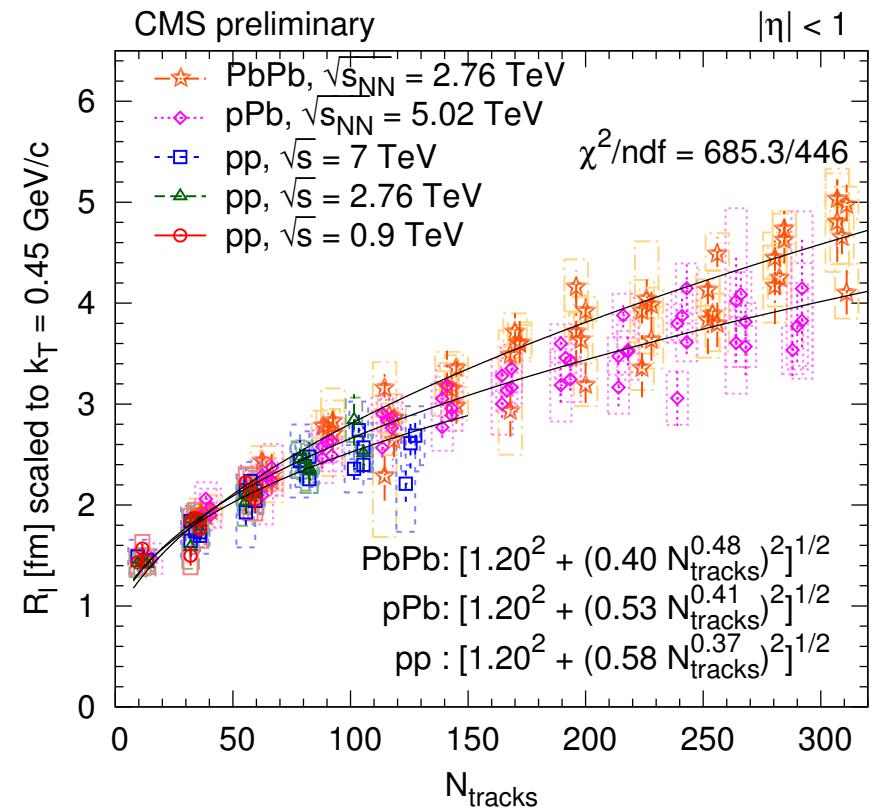
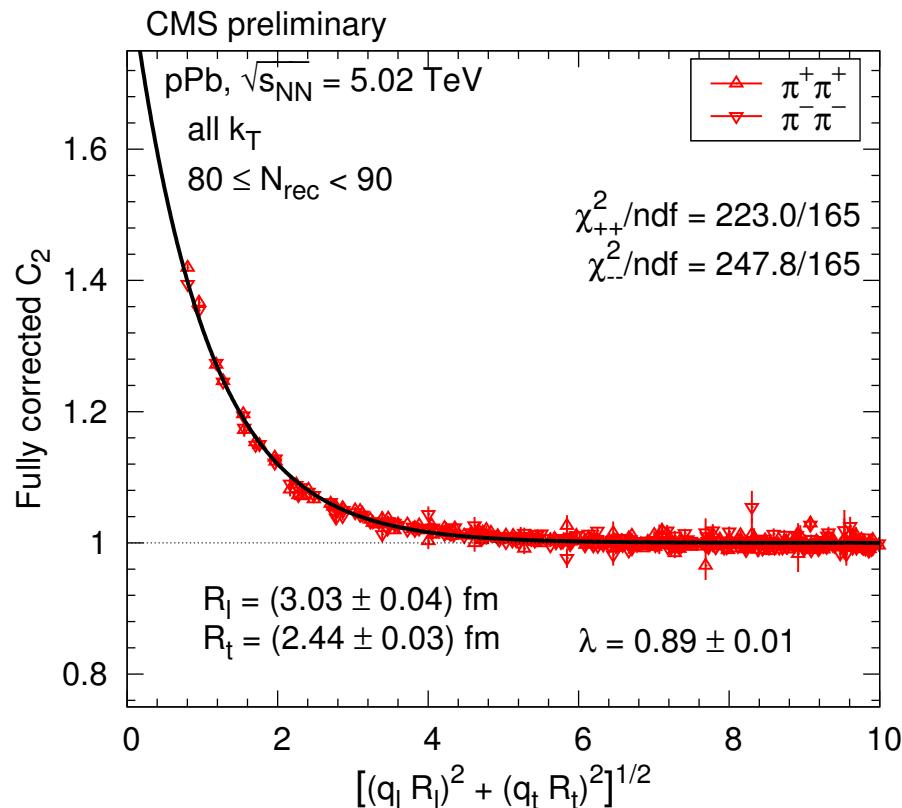


A részecskeszám-függés mindenáron energián nagyon hasonló
A $\langle p_T \rangle$ és hadron-arányok univerzális függése

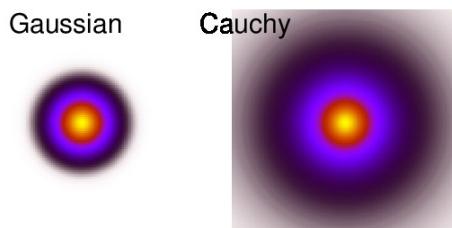
A részecskekeltés tulajdonságait a rendelkezésre álló
partonok kezdeti energiája határozza meg

CMS AN-2010/143, Eur Phys J C 72 (2012) 2164

Azonosított hadronok korrelációi



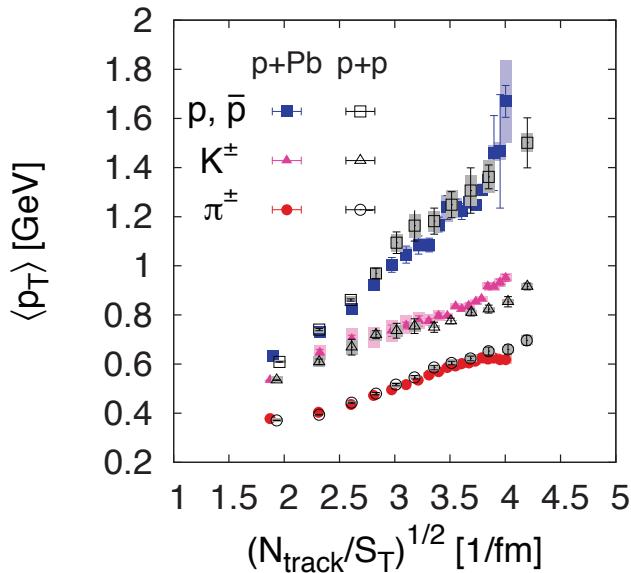
$$C_{2,\text{BE}}(q_l, q_o, q_s) = 1 + \lambda \exp \left[-\sqrt{(q_l R_l)^2 + (q_o R_o)^2 + (q_s R_s)^2} \right]$$



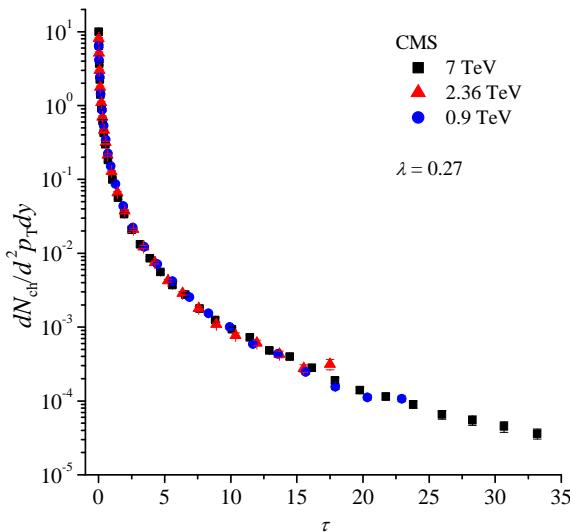
Exponenciális parametrizáció, Cauchy-eloszlású forrás
A zóna mérete a részecskeszámktól függ
Kritikus hadronsűrűség – utolsó ütközés

CMS AN-2014/042, CMS PAS HIN-14-013

Az eredmények értelmezése



McLerran et al, Nucl Phys A **916** (2013) 210



Praszalowicz, Phys Rev Lett **106** (2011) 142002

• Tsallis-Pareto-eloszlás sikere

- származtatás: a szokásos entrópia általánosítása
- különösen alkalmas erős hatványfarkú, lassan lecsengő eloszlások illesztésére
- fraktálszerkezetű, valamint kaotikus jellegű dinamikai rendszerek; kevés idő

TS Biró, G Purcsel, and K Ürmössy, Eur Phys J A **40** (2009) 325

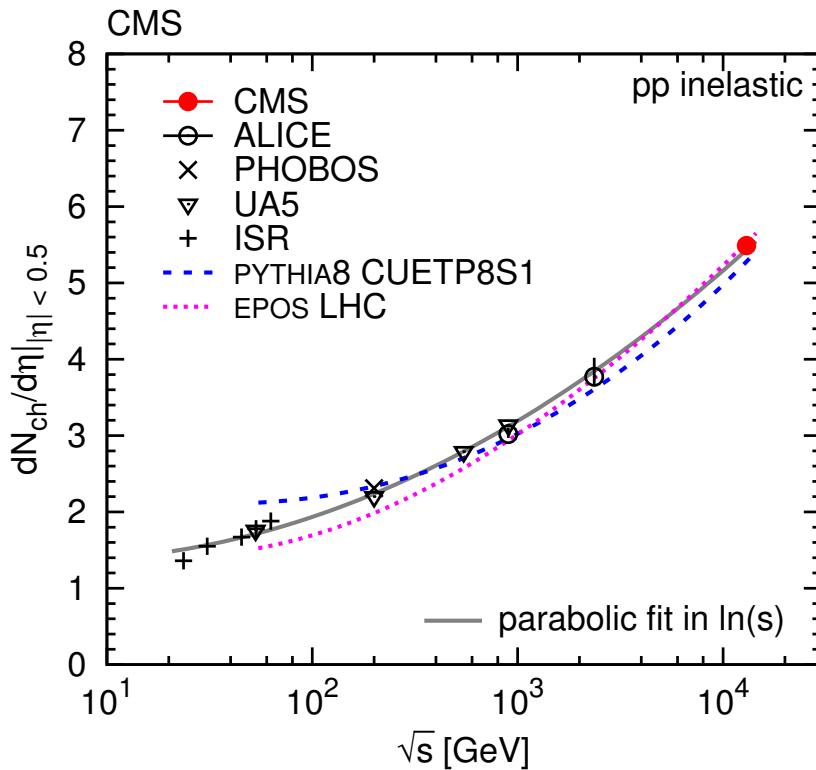
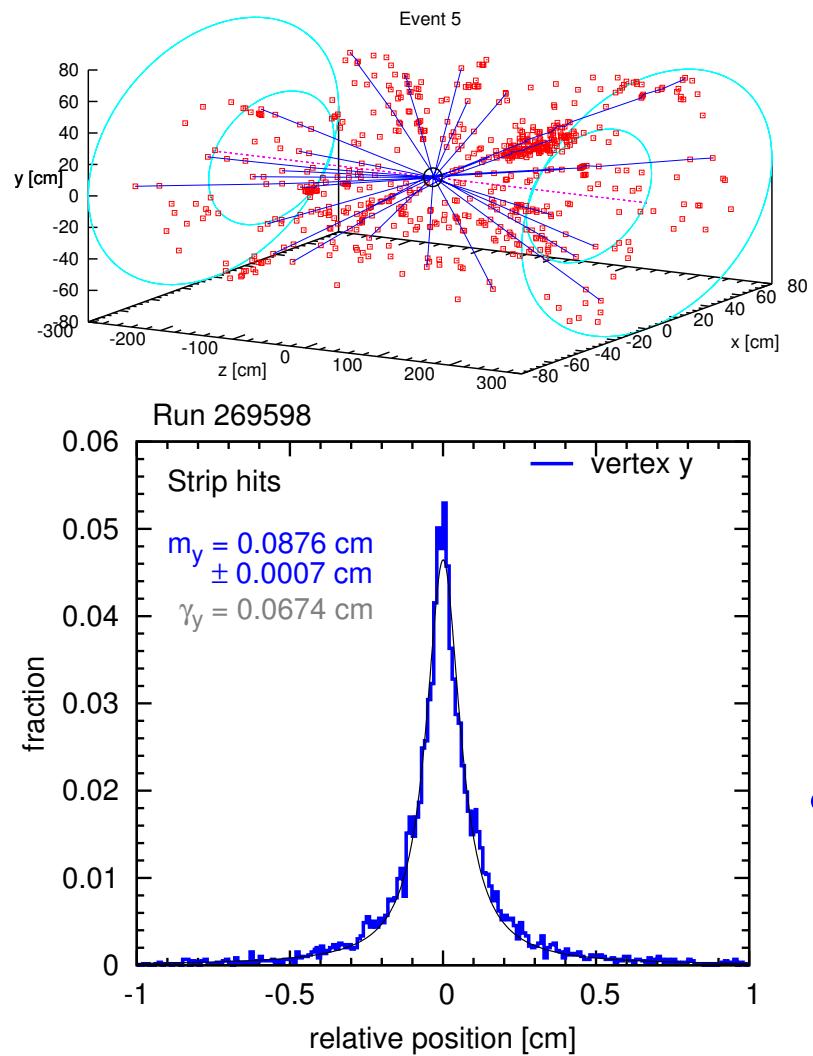
• Eseménygenerátorok javítása

- energiával való gyorsabb változás; ritka barionok megnövekedett keltése; megnövelt barion-transzport a központi régióba; kisebb szín-összekapcsolás

• Gluon telítés, geometriai skálázás

- a kis impulzusú gluonok viselkedése egyszerű
- a gluonok sűrűsége egyre nagyobb lesz; telítés
- klasszikus, erős tér (color glass condensate)
- geometriai skálázás: az eloszlások skáláznak a $\tau = m_T^{2+\lambda}/(Q_0^2 \sqrt{s}^\lambda)$ változóban

Rendkívüli körülmények



CMS AN-2015/142, Phys Lett B 751 (2015) 143

- 2015 június
 - indul az LHC 13 TeV-en, de nincs mágnes
 - párosított csík-beütések, $(x, y, z) \rightarrow (\theta, \phi)$
 - klaszterezés a képek terében, egyenesek
 - az első 13 TeV-es cikk
- 2016 április
 - hol van a nyalábfolt? eredmények másfél órán belül, 100 μ m-es pontossággal

Kiértékelés – a következő generáció



Krajczár Krisztián

PhD

CMS Achievement Award

Pb-Pb, hadronok elnyomása
→ MIT postdoc @ CERN



Zsigmond Anna

doktorjelölt

p-Pb és Pb-Pb, Z bozonok,
parton-eloszlások módosulása
→ MPI postdoc @ München



Englert Dávid

MSc

OTDK 2. díj

p-Pb, azonosított részecskék
szögkorrelációi

→ doktorand @ Southamp



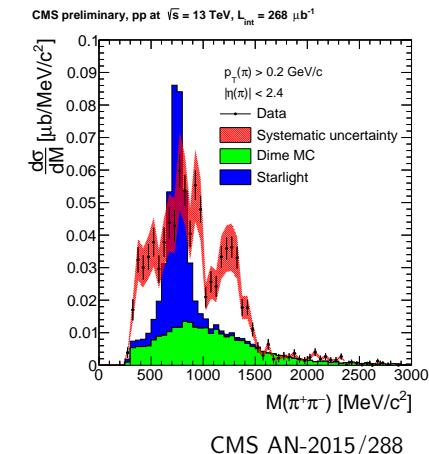
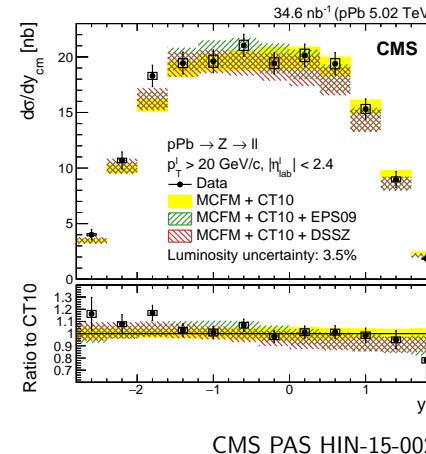
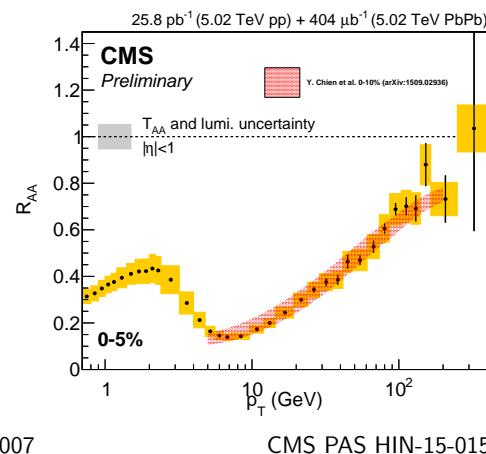
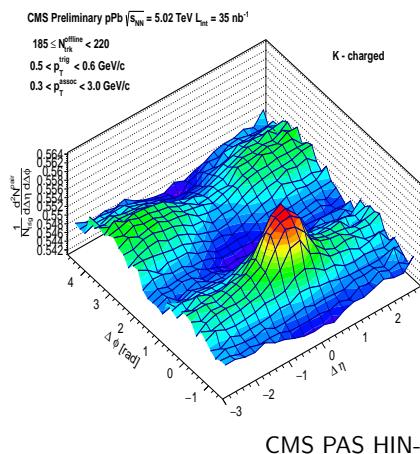
Surányi Olivér

MSc hallgató

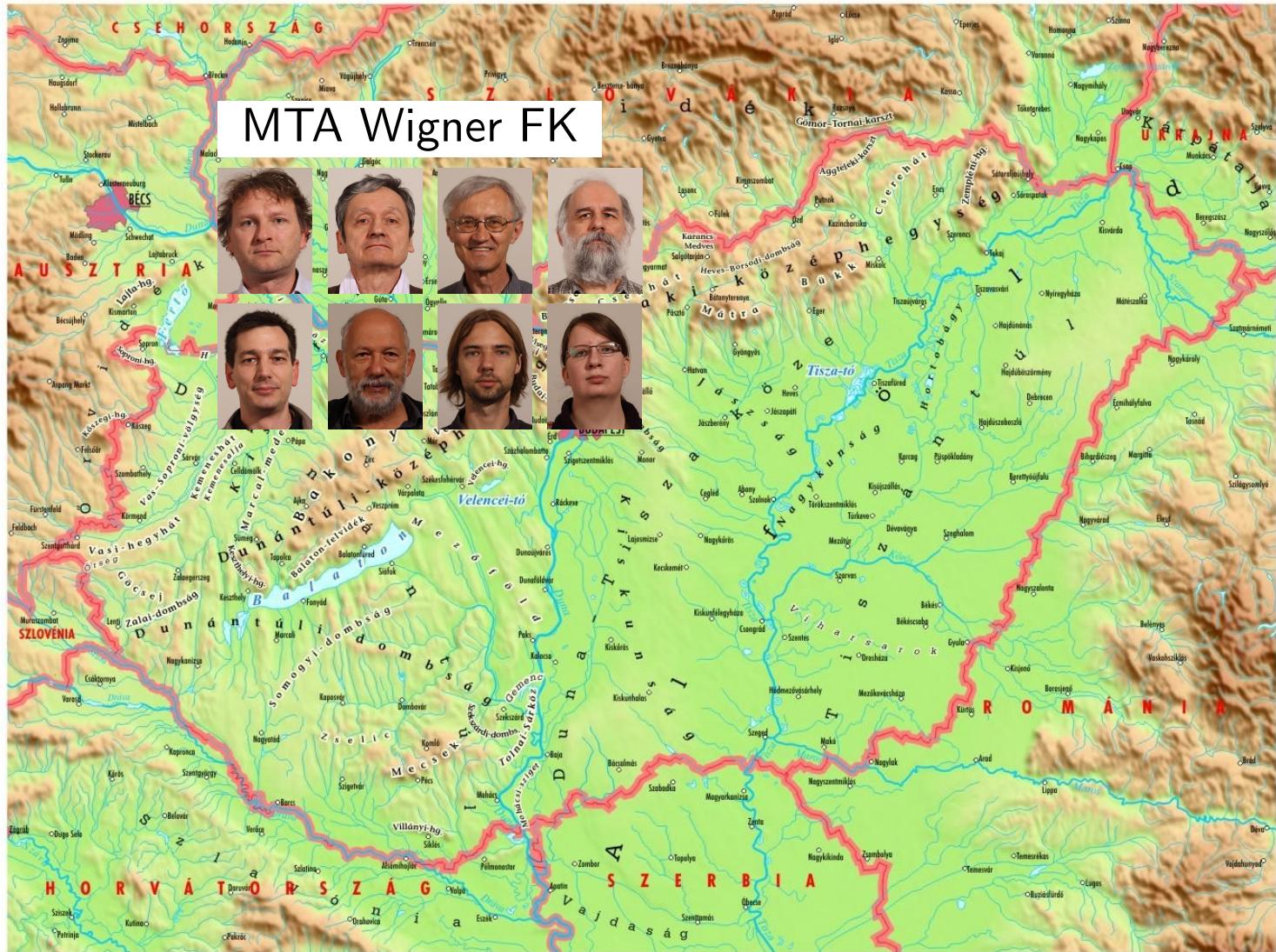
kari TDK 1. díj

p-p, pomeronok kicseréléssel
járó folyamatok

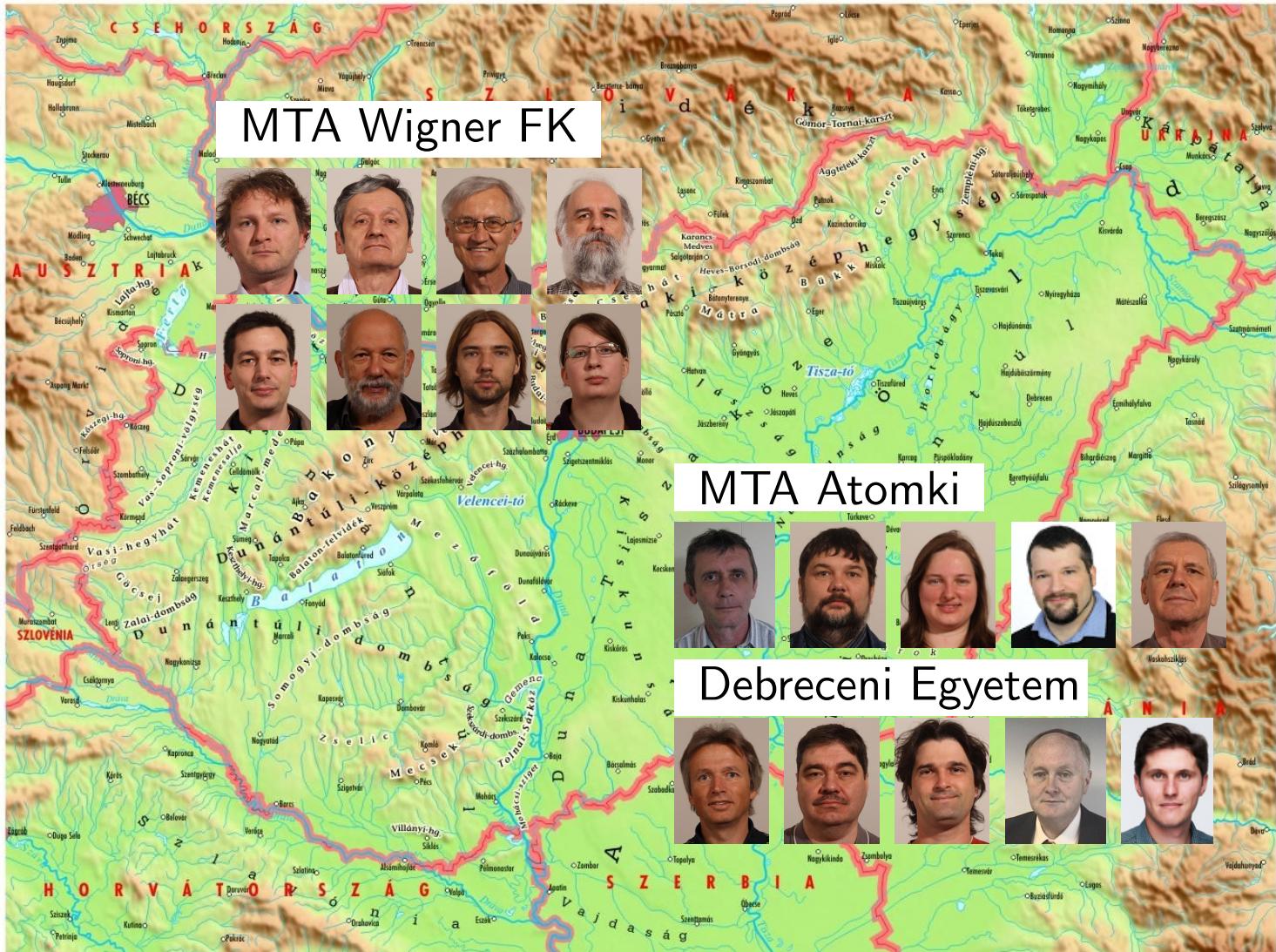
→ doktorand @ Budapest



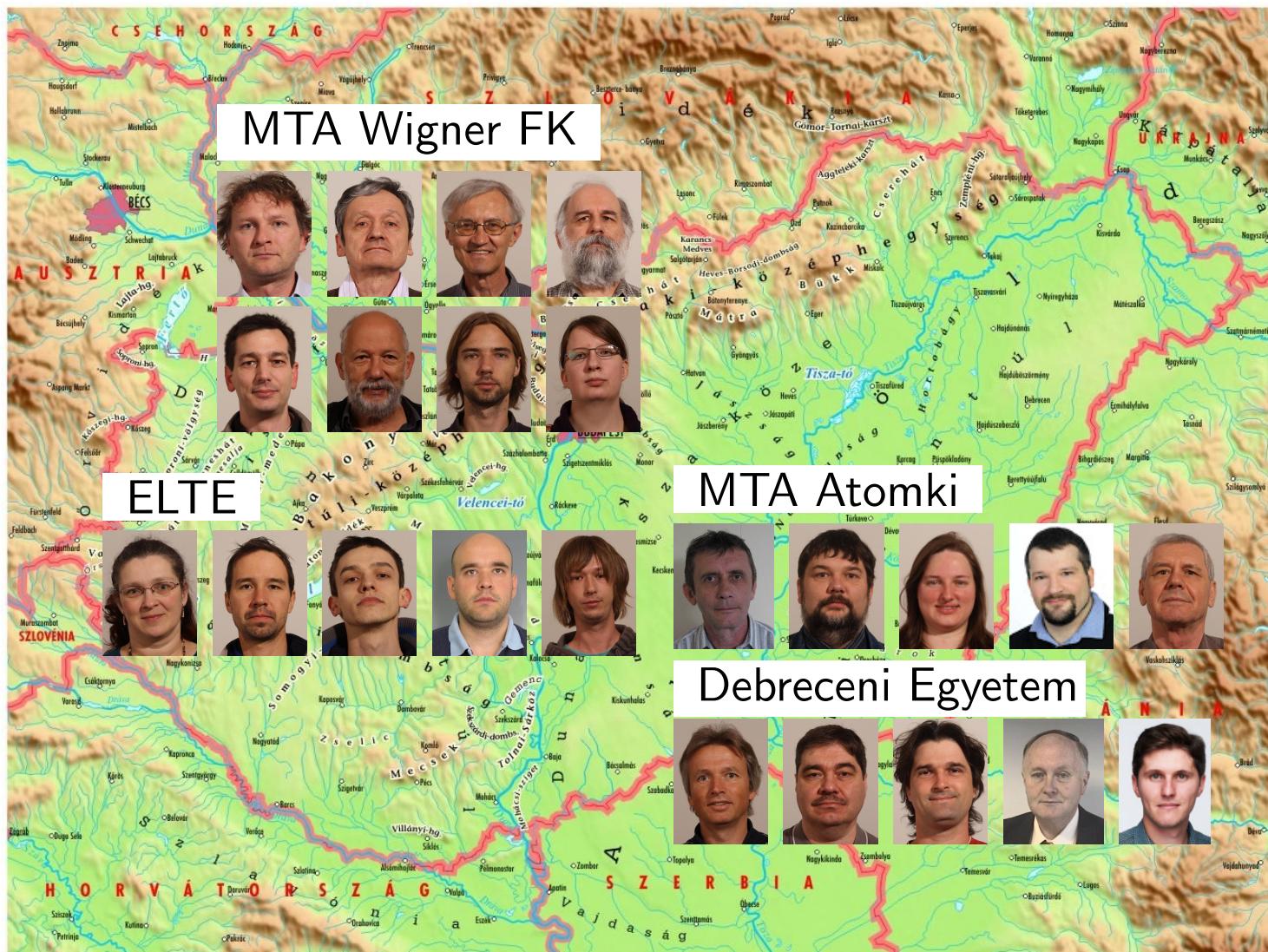
Magyar CMS csoportok



Magyar CMS csoportok

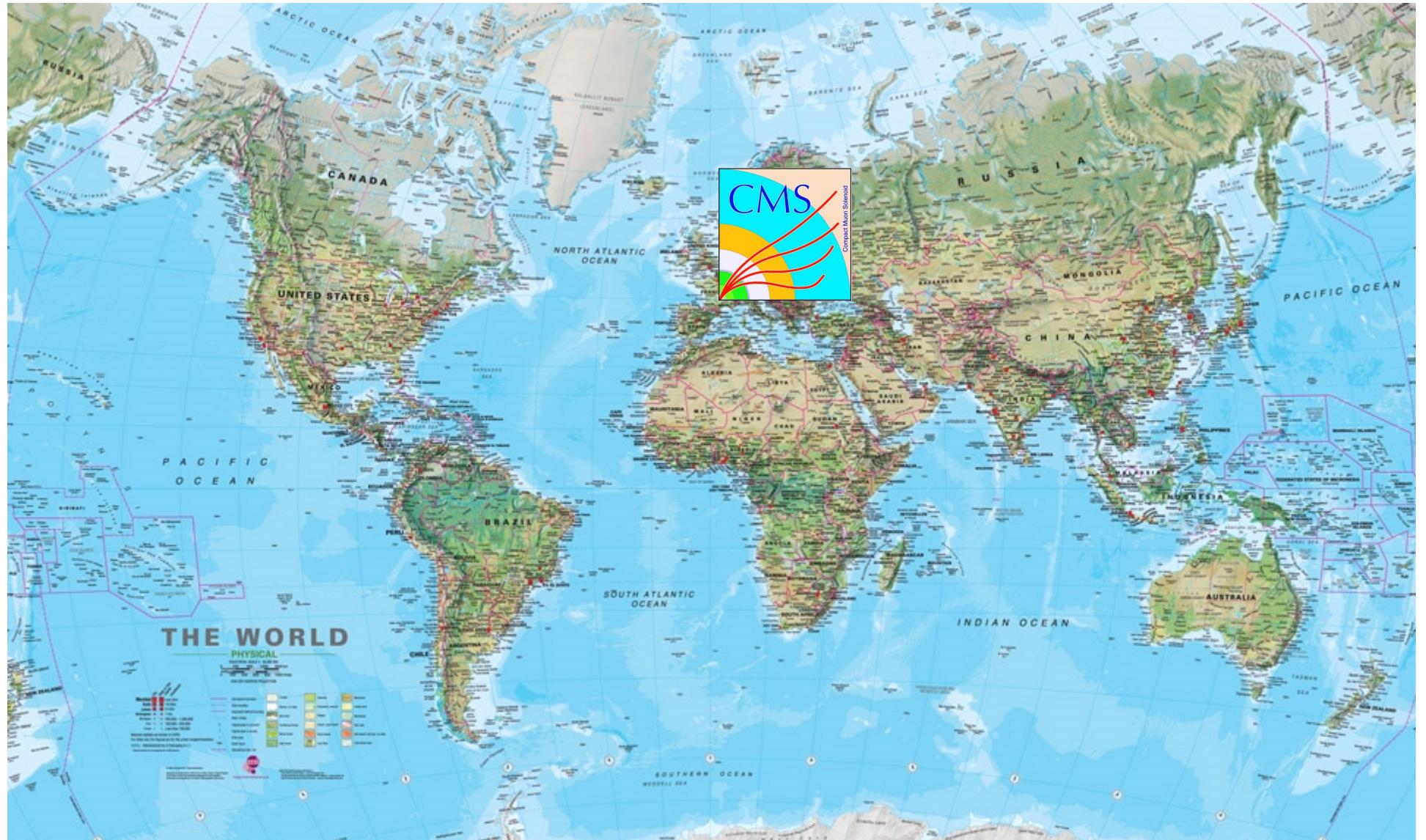


Magyar CMS csoportok



Tervezés, detektorépítés- és üzemeltetés, adatfelvétel, kiértékelés, fizika

Magyar nagyenergiás kísérleti fizika



Magyar nagyenergiás kísérleti fizika

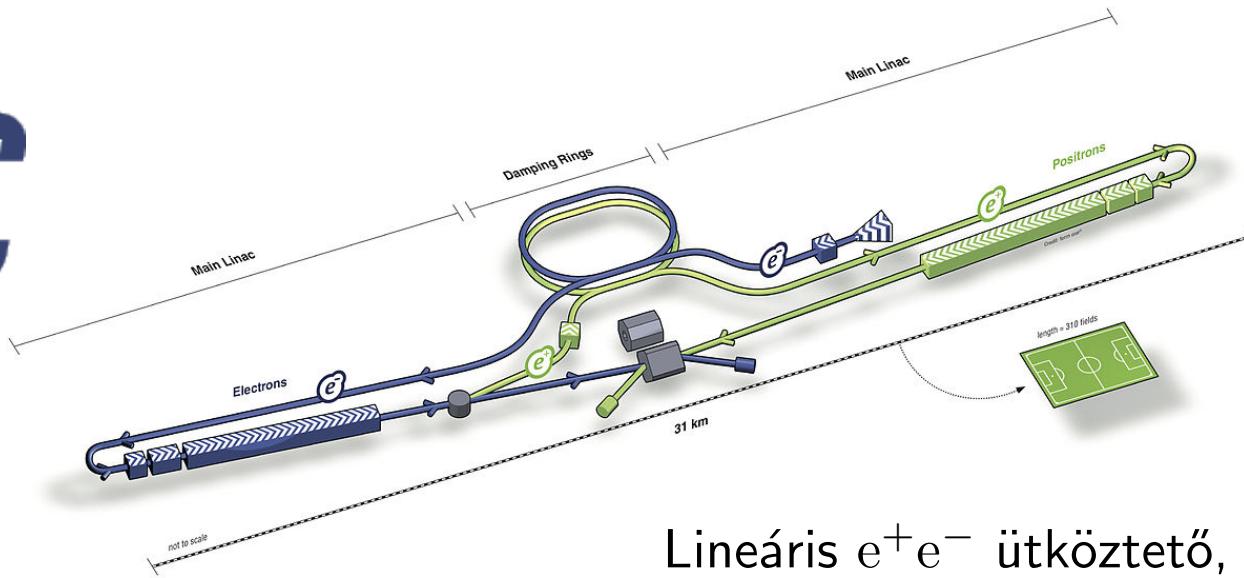


Magyar nagyenergiás kísérleti fizika



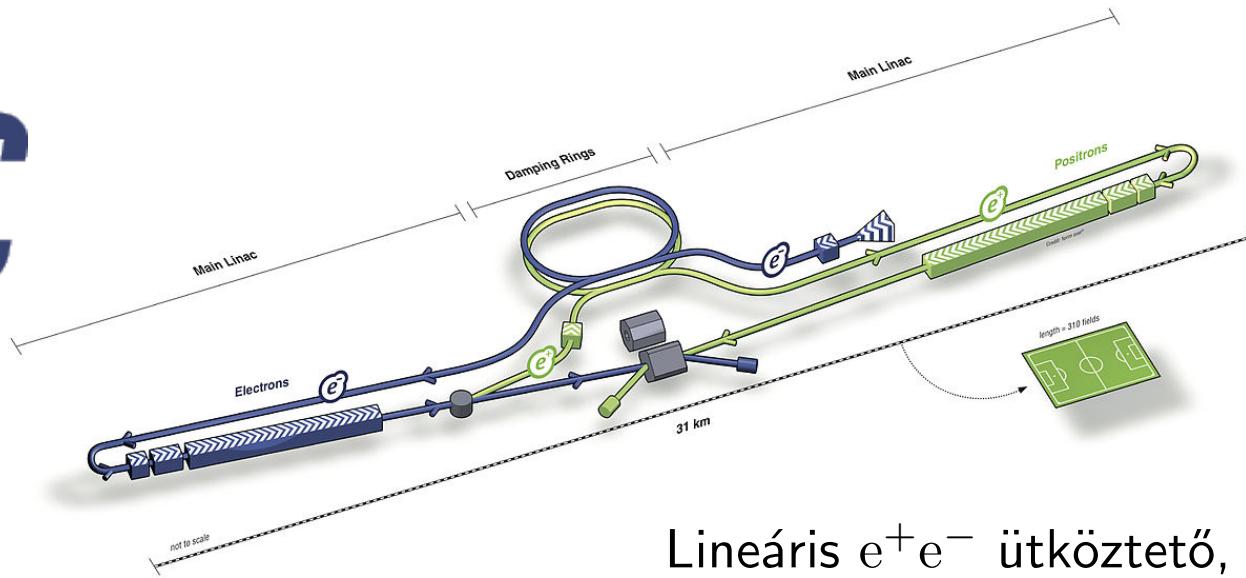
Széles spektrum – működő és tervezett kísérletek

A jövő lineáris gyorsítói

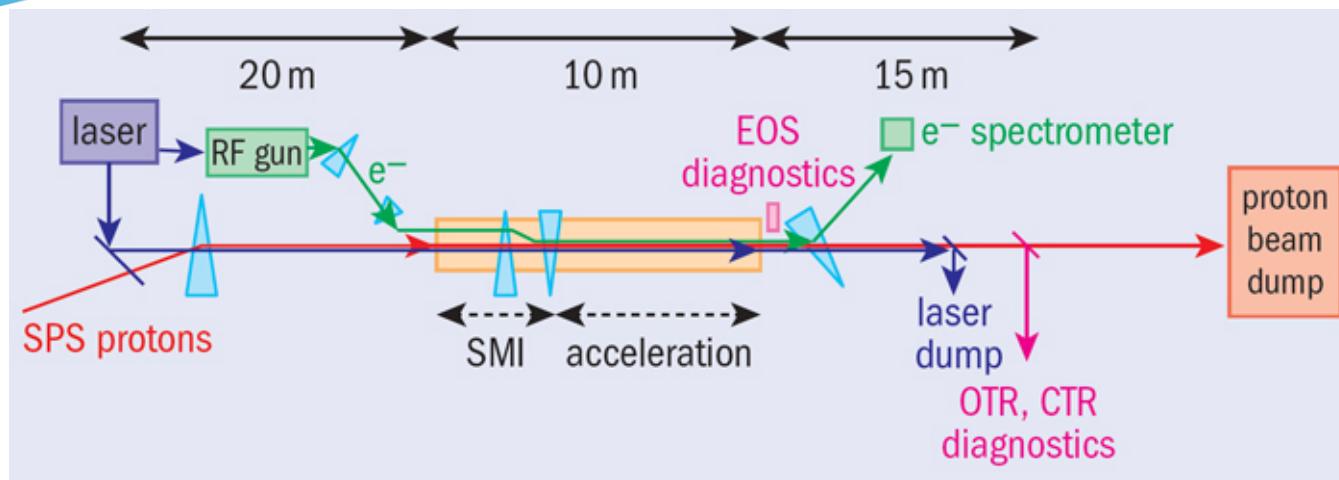


Lineáris e^+e^- ütköztető, 2026?, Japán?

A jövő lineáris gyorsítói



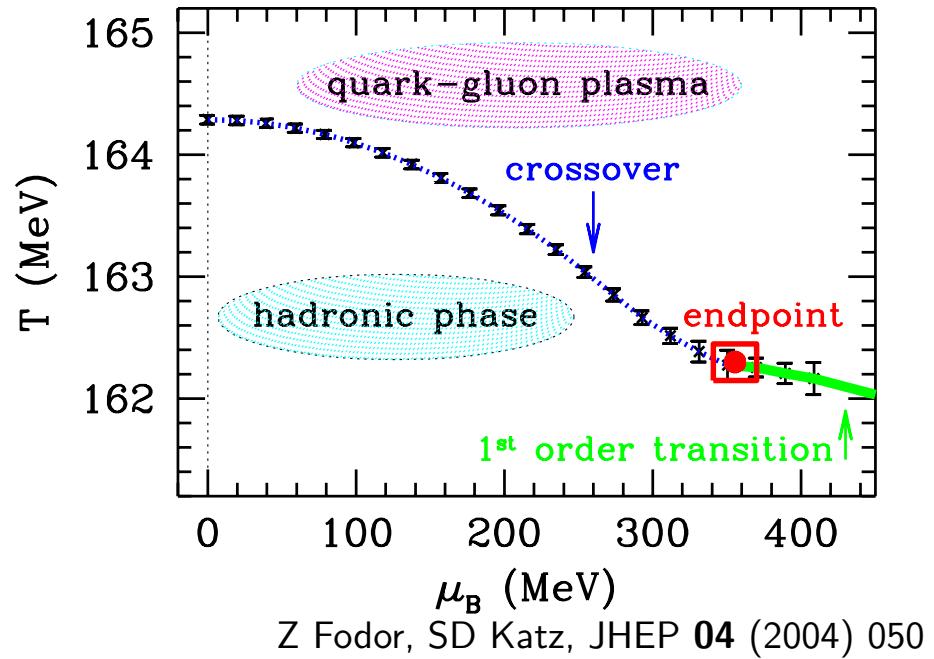
Lineáris e^+e^- ütköztető, 2026?, Japán?



Gyorsítás plazmával, hatalmas kihívás, néhány km? Mikor?

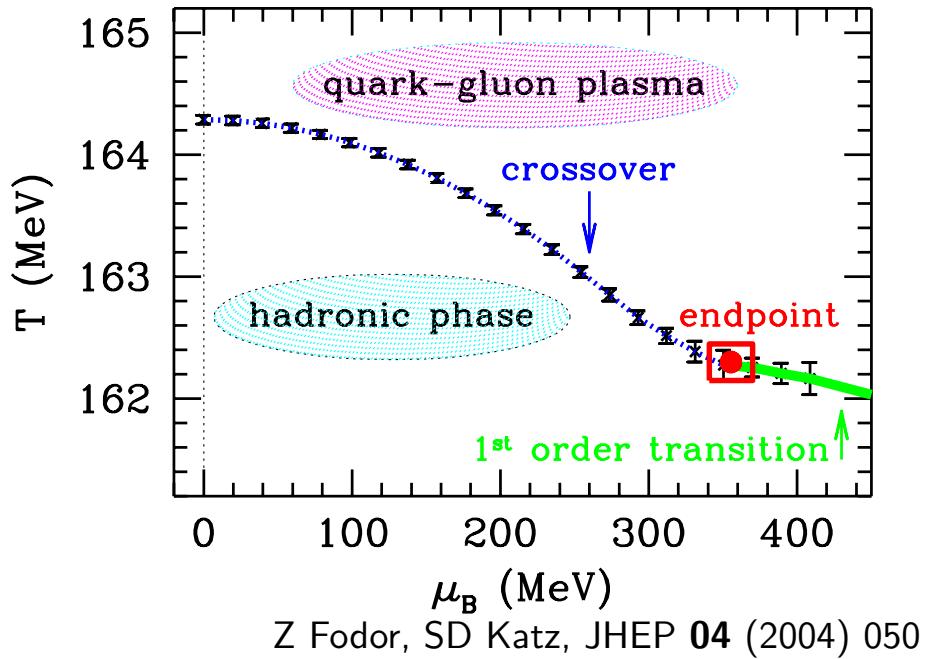
Erős kölcsönhatás

Hol van a fázisdiagram kritikus pontja?

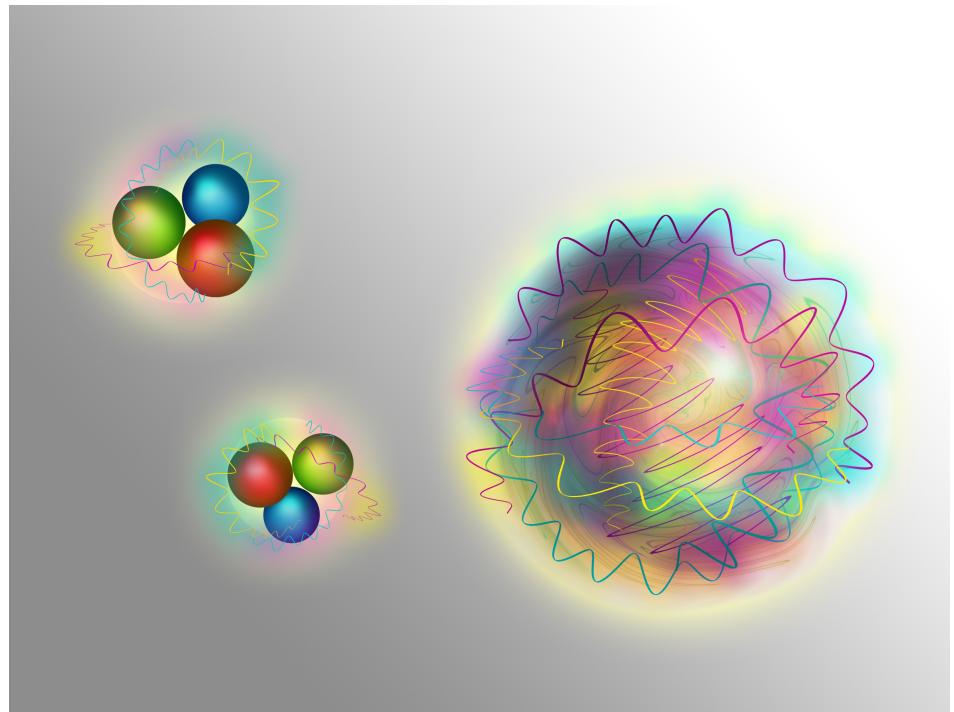


Erős kölcsönhatás

Hol van a fázisdiagram kritikus pontja?



Egzotikus kötött állapotok?



Nyitott kérdések, a megoldások feltérképezése → kísérletek

A kísérletek fontosak, de önmagukban nem elegek → elméletek

Összefoglalás

- Matematika, modellezés
 - gáztöltésű és a szilícium-alapú detektorok kiértékelése
 - részecskék nyomkövetése, azonosítása új módszerekkel
- Alkalmazások
 - a kísérlet képessé vált széles impulzustartományban, azonosított részecskékkel végzett fizikára is
- Fizika, erős kölcsönhatás
 - a kapott adatok jó egyezést mutatnak egyszerű, a jelenségek köztes síkján működő leírásokkal:
Tsallis-Pareto-eloszlás, gluon telítés, kritikus hadronsűrűség

