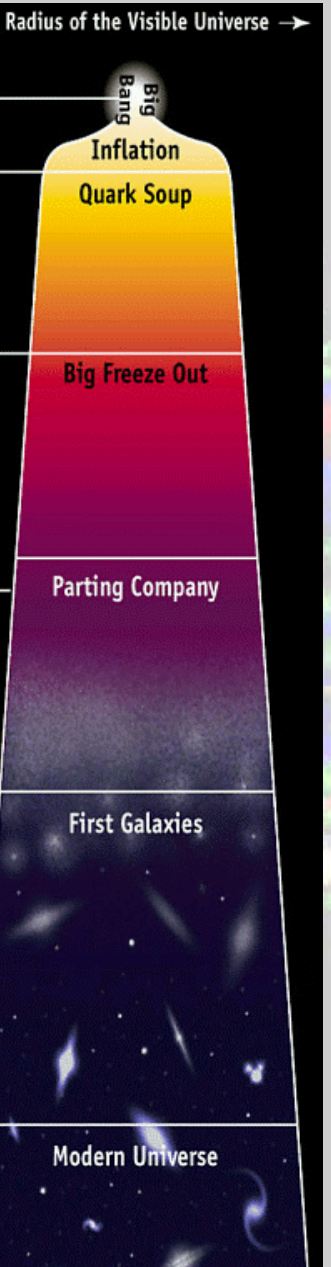
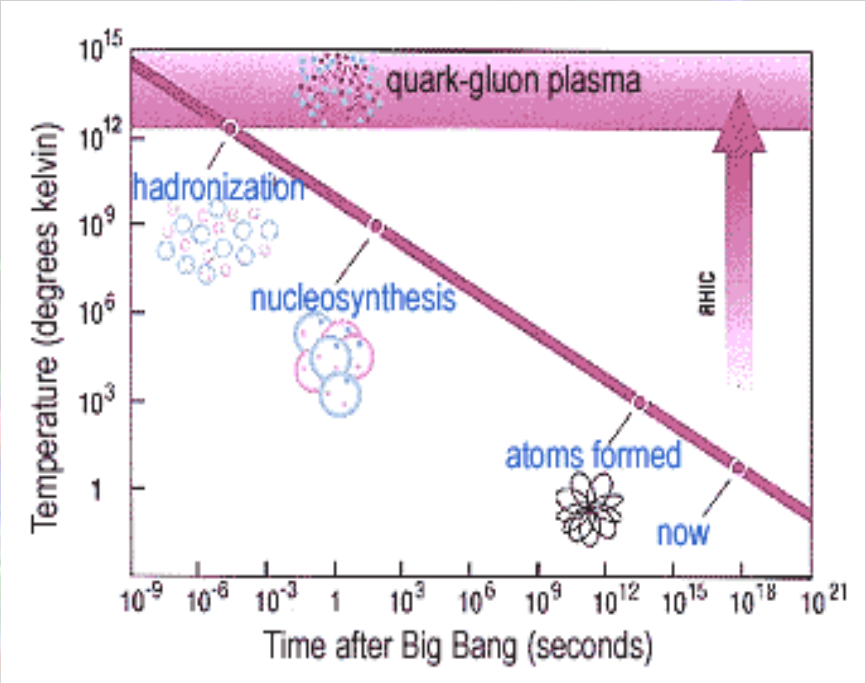
Relativisztikus nehézionütközések vizsgálata a RHIC-nél

Csanád Máté
(ELTE, V. évf.)

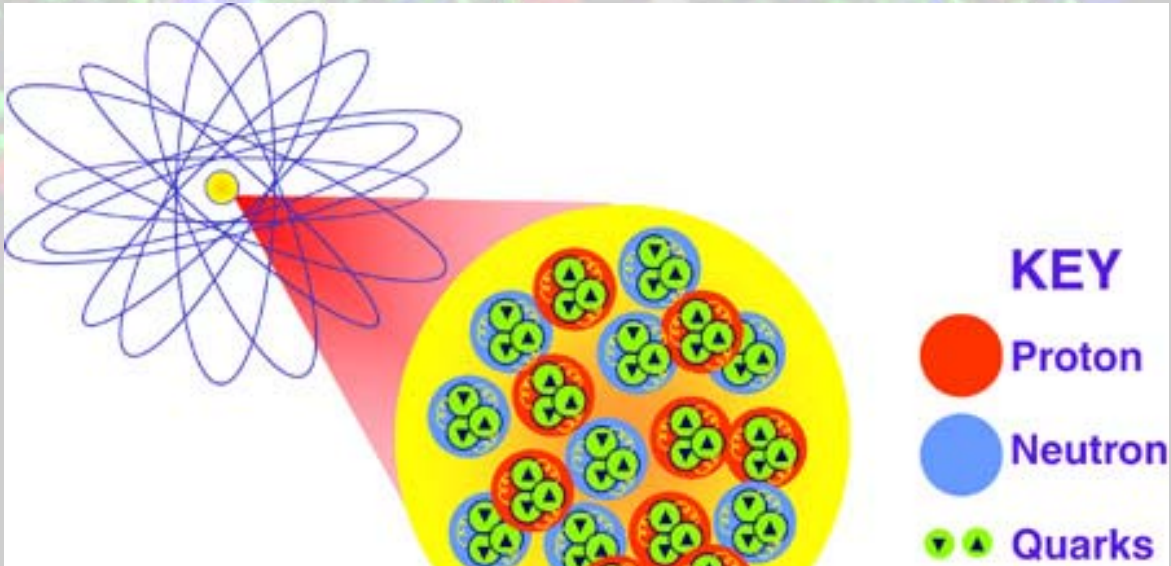
- **Miért nehézion fizika – bevezető**
- **Adatfelvétel – PHENIX Zero Degree Calorimeter**
  - **Működtetés**
  - **Szoftverfejlesztés**
- **Adatanalízis – Korrelációs függvények**
  - **Számítás módja**
  - **Eredmények**
- **Elméleti kutatás – Buda-Lund hidro modell**
  - **Megfigyelhető mennyiségek kiszámítása**
  - **Eredmények és mérések összehasonlítása**

A nagy bumm

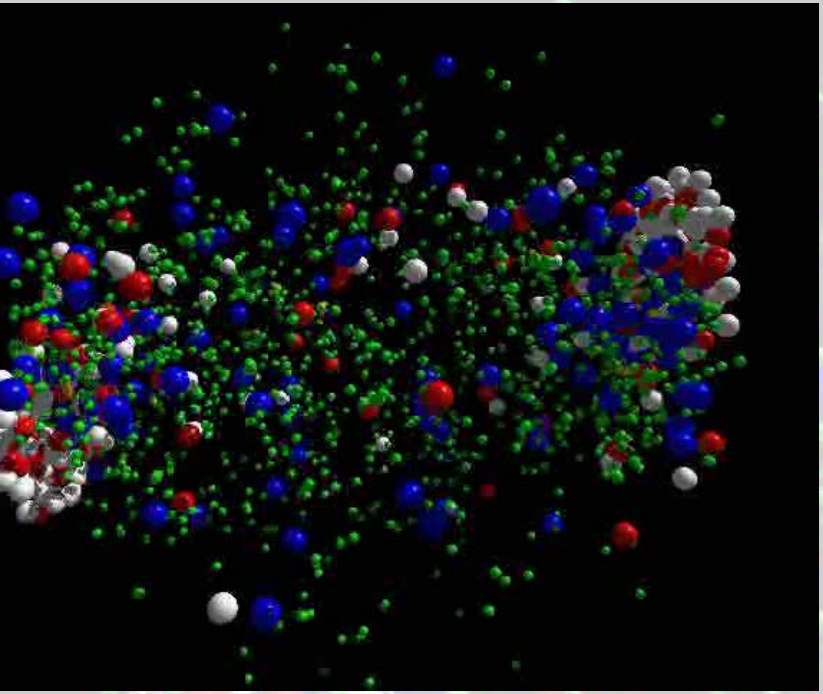




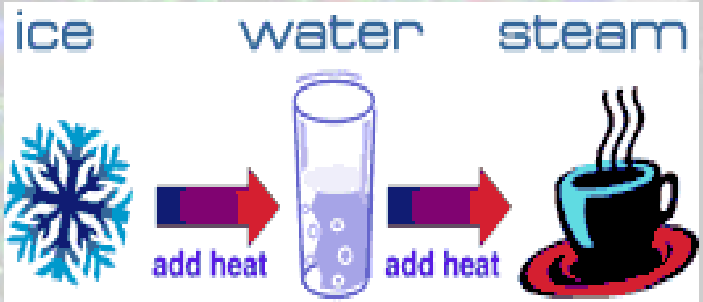
- Korai univerzum: forró, táguló rend
- Kvarkanyag, kvar gluon plazma
- Protonok, neutron kifagyása



A kis bumm

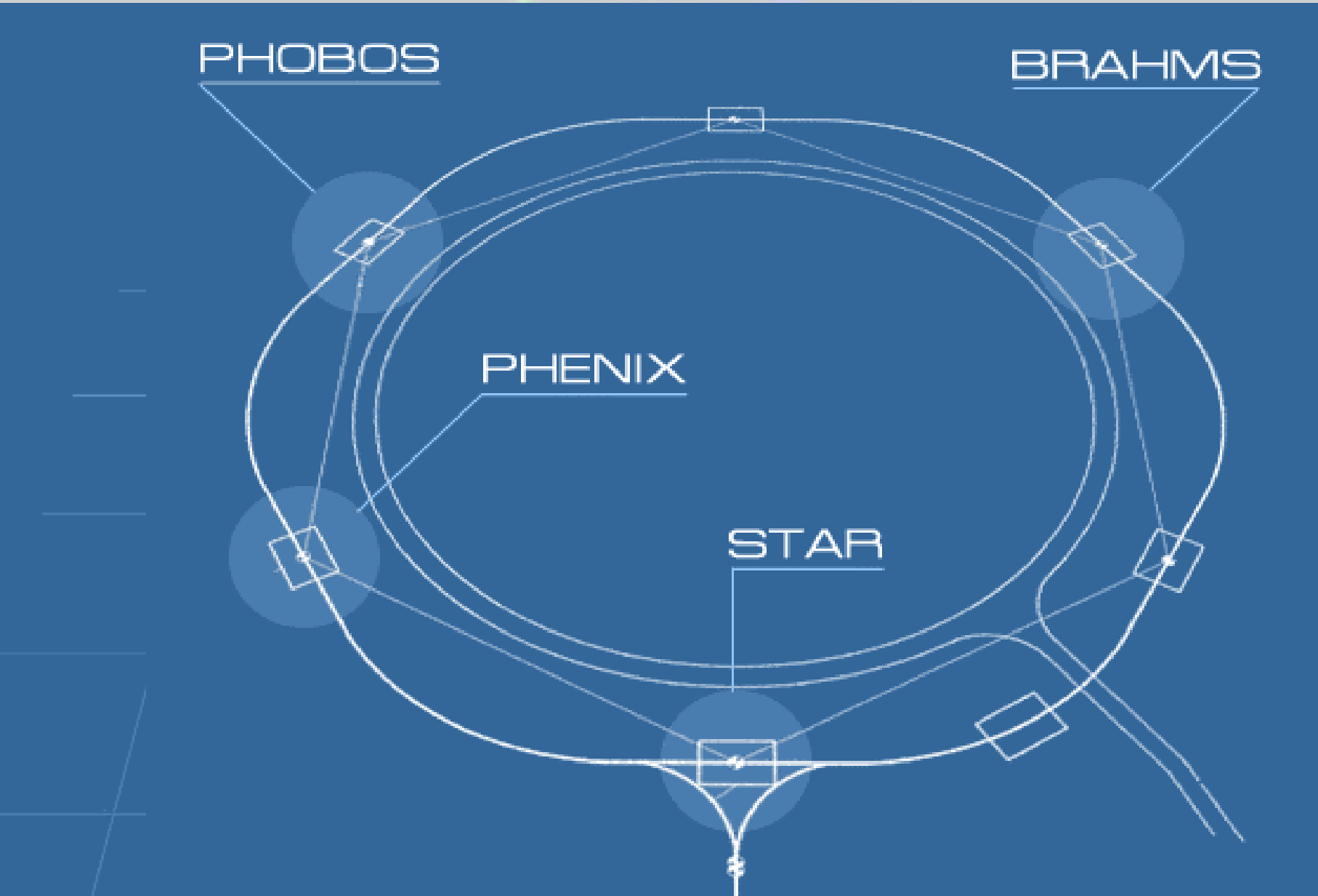


- Protonolvasztás
- Kvarkok bezárása ill. kiszabadítása
- Hasonlat: jégből víz majd gőz
- Nagy energiájú ütközéssel mindez elérhető (?)



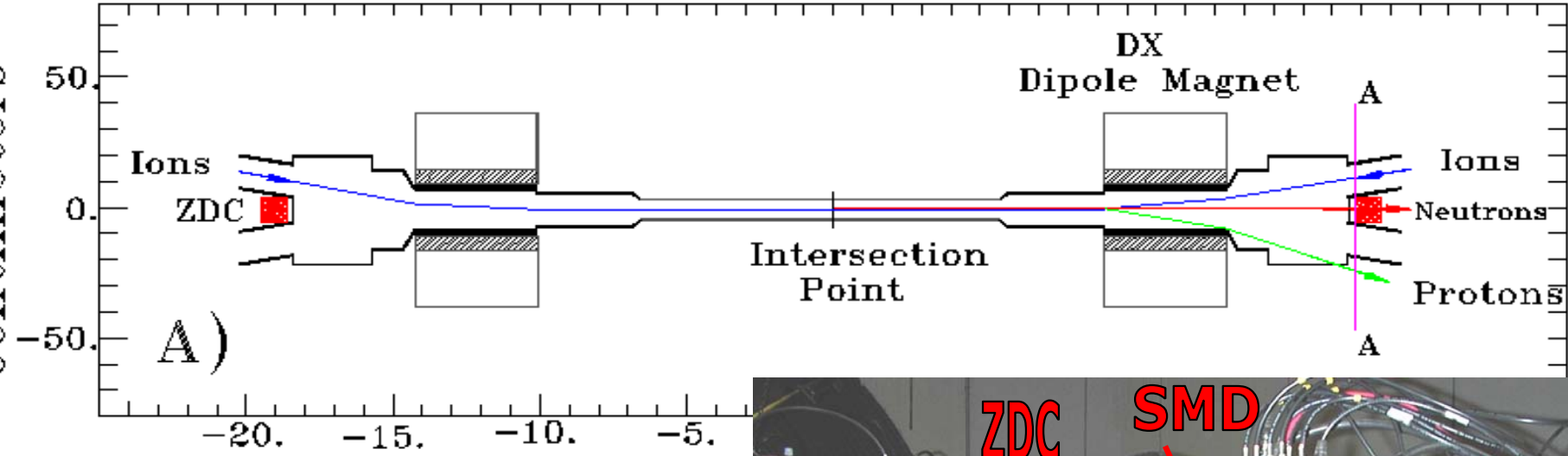
ehézionok ütközése: forró,
guló rendszer
ég forró? Régi-új anyag?

A RHIC és a PHENIX

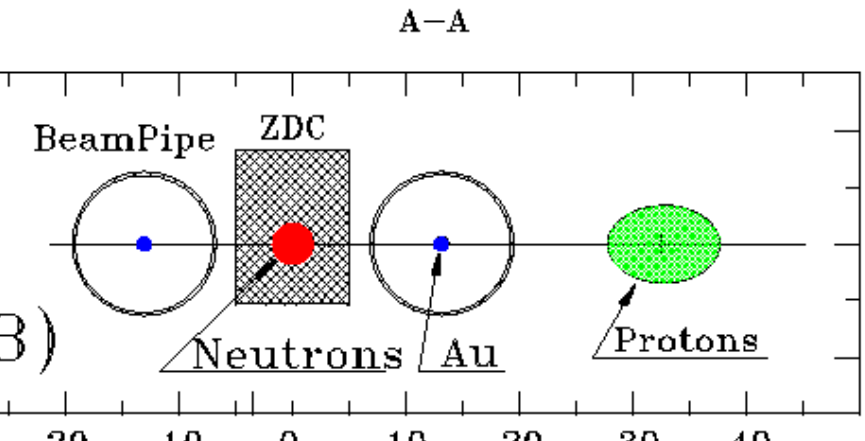


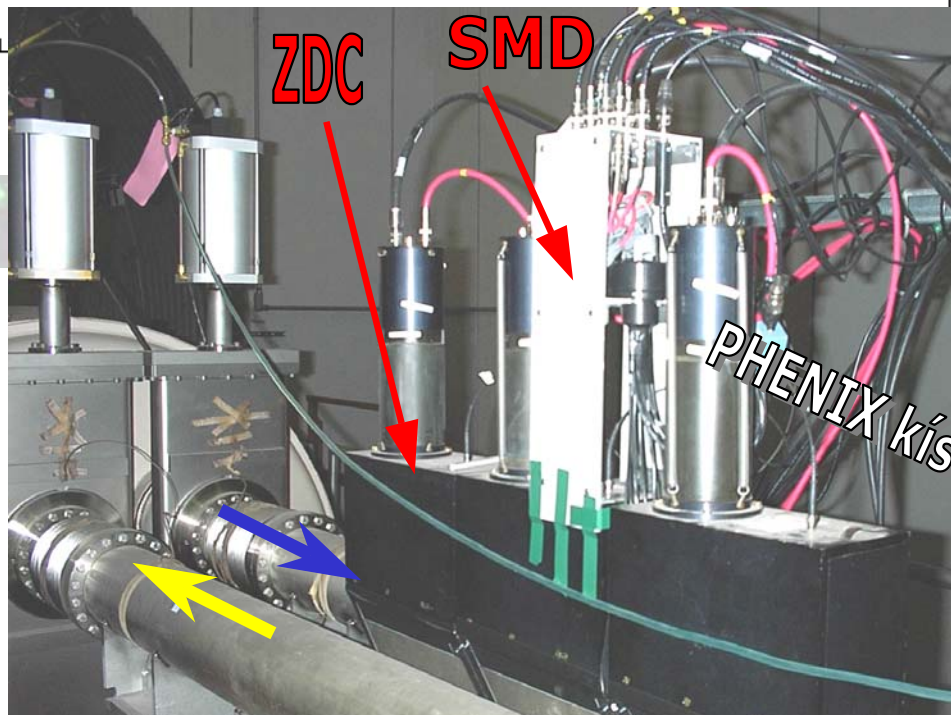
A Zero Degree Calorimeter

A kölcsönhatási terület és a ZDC-k felülről

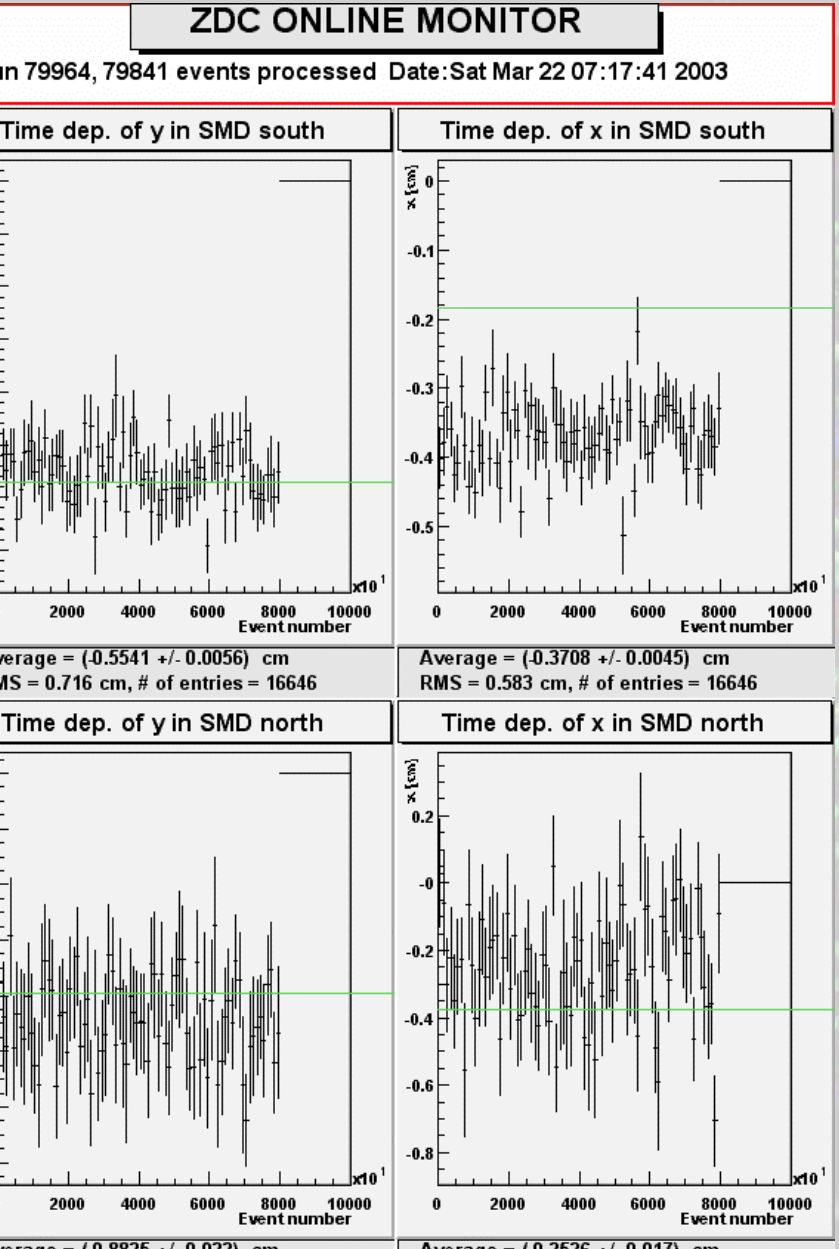


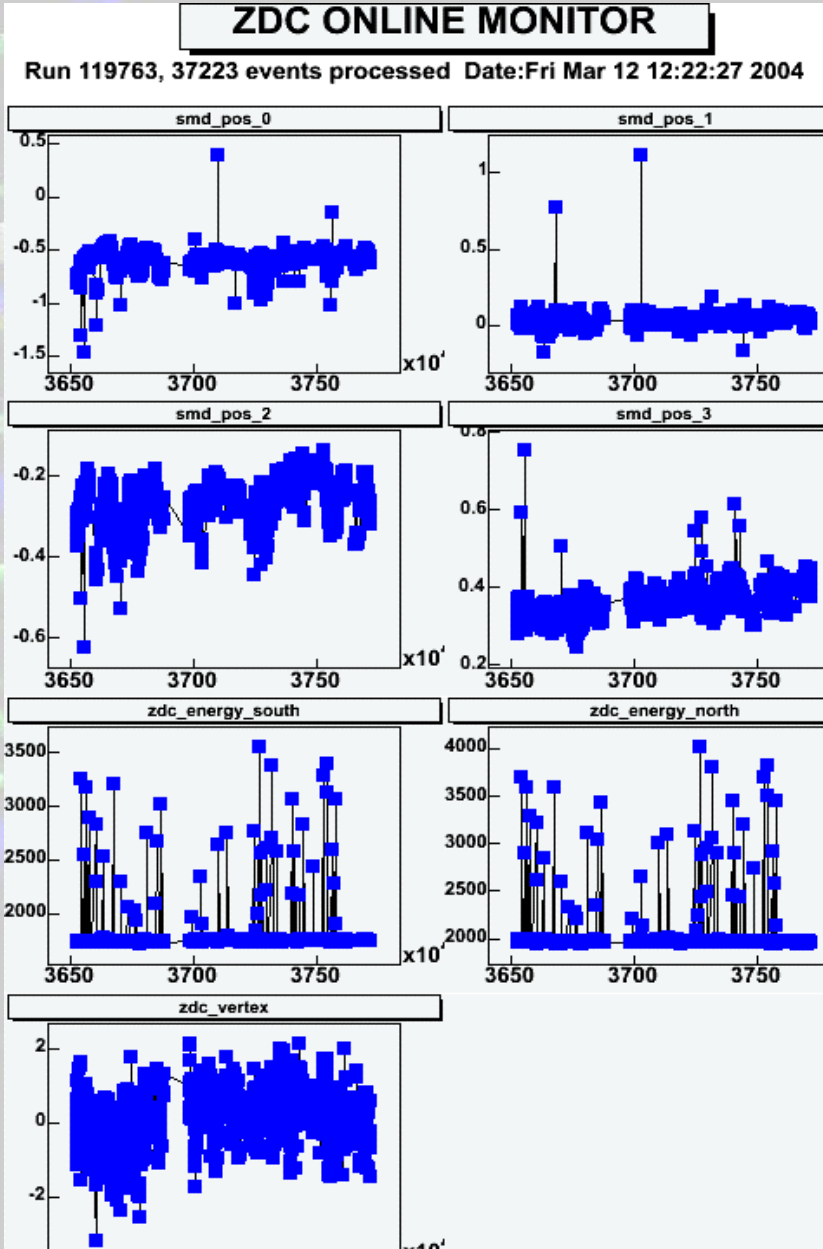
A ZDC szemből





Online monitoring





Három-részecske korrelációs függvény

Kísérleti definíció:

$$C(Q_3) = \frac{A(Q_3)}{B(Q_3)} \times \frac{\int B}{\int A}$$, ahol

- **invariáns triplet impulzus**

$$Q_3 = \sqrt{-(p_1 - p_2)^2 - (p_2 - p_3)^2 - (p_3 - p_1)^2}$$

- **aktuális triplet eloszlás (részecskék egy eseményből valóak)**

$$_3) = \sum_{events} \int d^4p_1\ d^4p_2\ d^4p_3\ \delta\left(Q_3 - Q_3(p_1, p_2, p_3)\right) P_i(p_1) P_i(p_2) P_i$$

- **háttér triplet eloszlás (részecskék különböző eseményekből)**

$$_3) = \int d^4p_1\ d^4p_2\ d^4p_3\ \delta\left(Q_3 - Q_3(p_1, p_2, p_3)\right) P_{mix}(p_1) P_{mix}(p_2) P_{mix}$$

Elméleti megfontolások

Elméleti definíció:

$$C_3(p_1, p_2, p_3) = \frac{N_3(p_1, p_2, p_3)}{N_1(p_1) N_1(p_2) N_1(p_3)}$$

A forrás részei

- **core / halo**
- **részlegesen koherens / inkoherens**

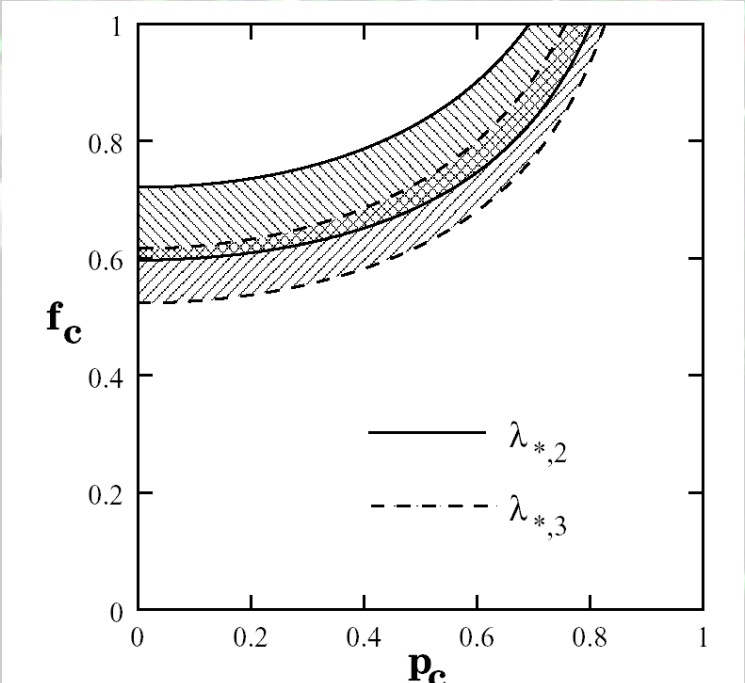
$$\begin{aligned} f_c(p) &= N_c(p)/N_1(p) \\ p_c(p) &= N_c^p(p)/N_c(p) \end{aligned}$$

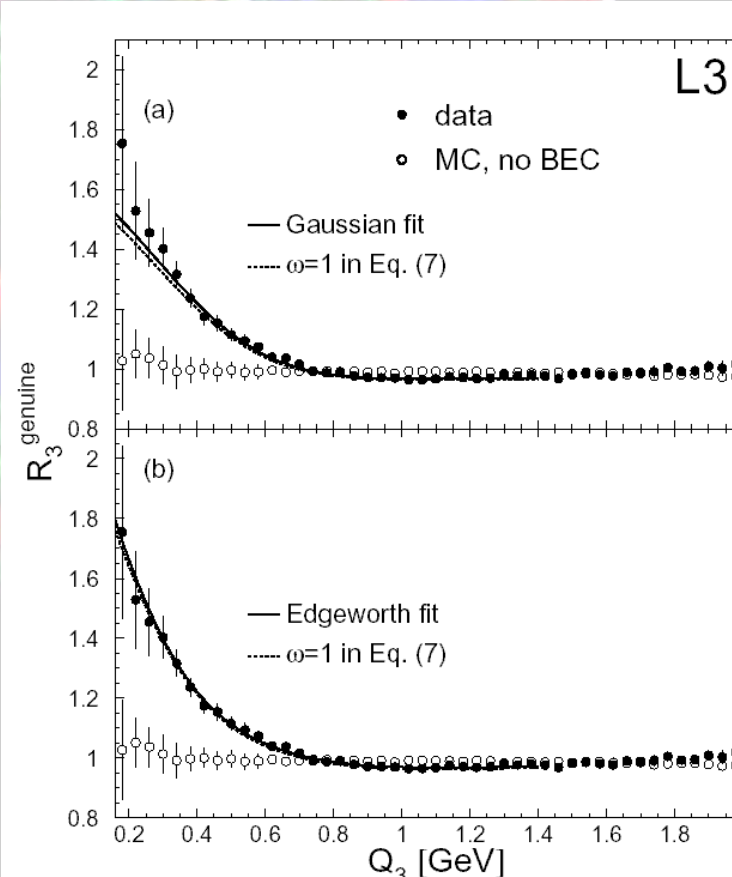
A korrelációs függvény nulla relatív implulzusnál:

$$\begin{aligned} C_2(p_1 \simeq p_2) &= f_c^2[(1-p_c)^2 + 2p_c(1-p_c)] \\ {}_1 \simeq p_2 \simeq p_3) &= 3f_c^2[(1-p_c)^2 + 2p_c(1-p_c)] + 2f_c^3[(1-p_c)^3 + 3p_c(1- \end{aligned}$$

Célok

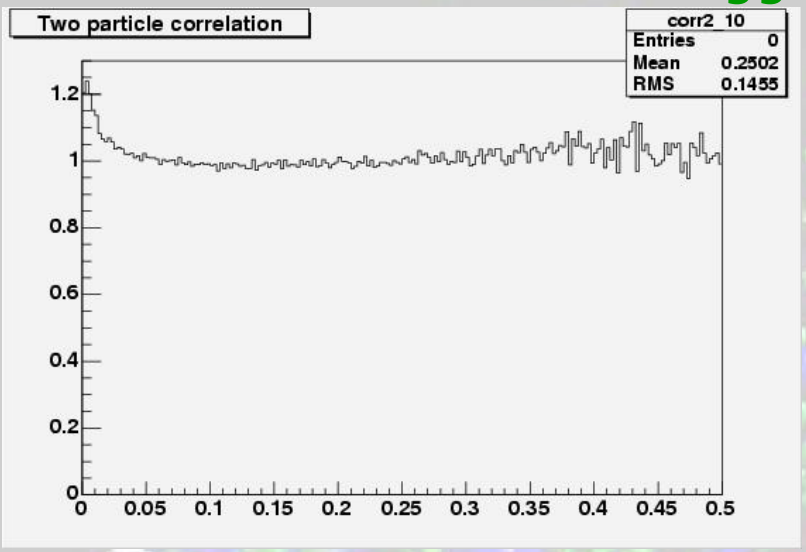
- Korrelációs függvény megmérése
- Core-halo arány
  - **Ehhez kell a három részecske eset is**
  - **Termális modellek használhatóak-e?**
- Parciálisan koherens rész aránya
  - **Jetek**
  - **Bose-Einstein kondenzátum**
  - **Tűzgömb**





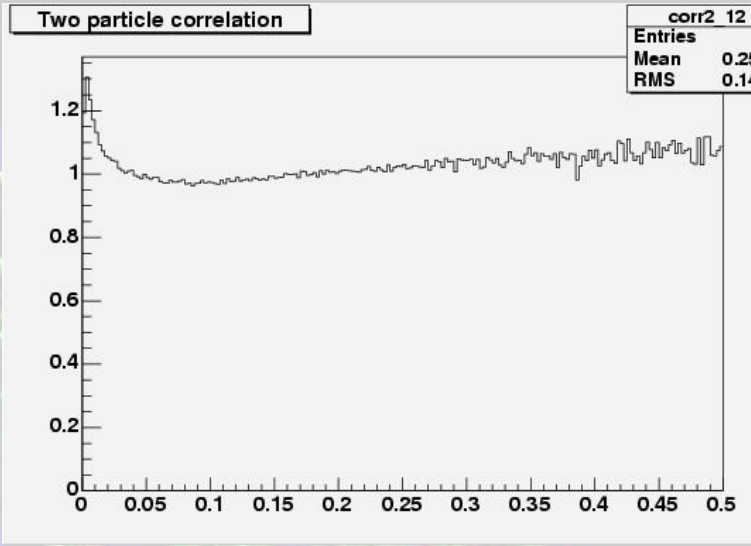
Korrelációs függvények pionokra

Kétrészecske korrelációs függvények:

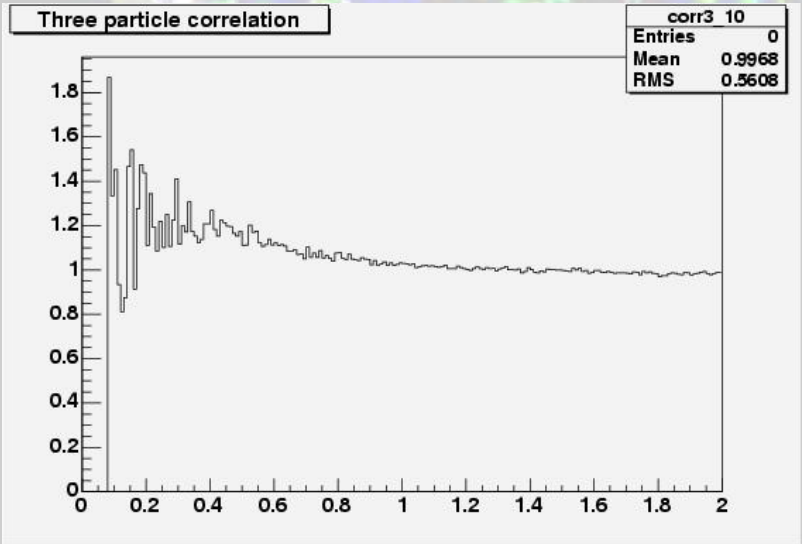


(+,+)
⇐

(−,−)
⇒

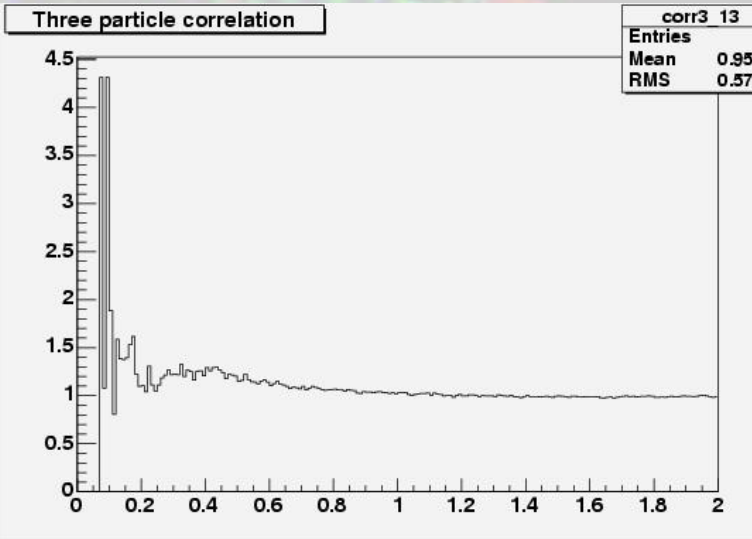


Háromrészecske korrelációs függvények:



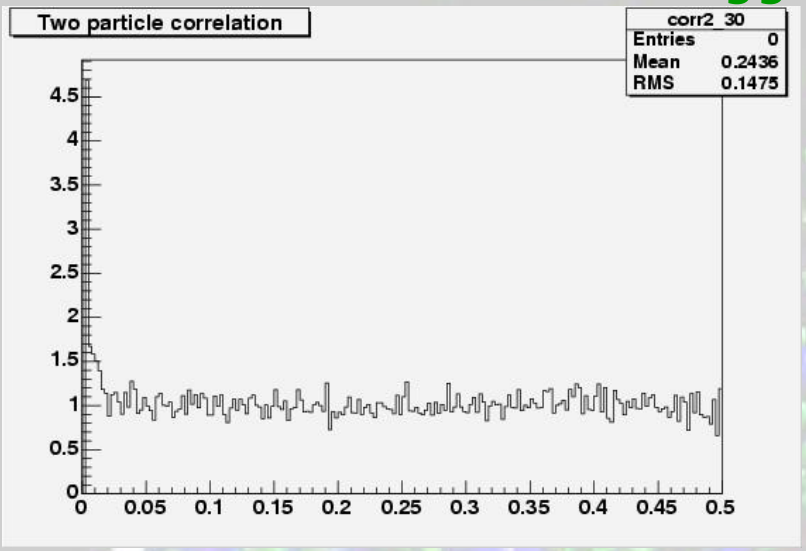
(+,+,+)
⇐

(−,−, −)
⇒



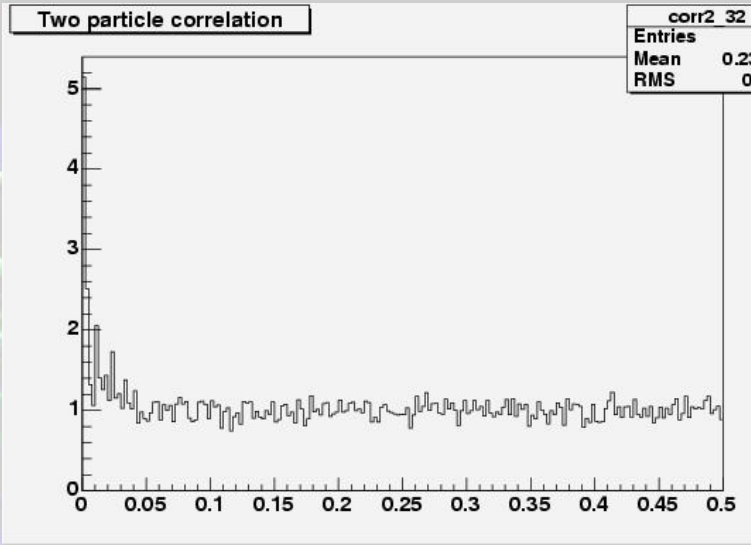
Korrelációs függvények kaonokra

Kétrészecske korrelációs függvények:

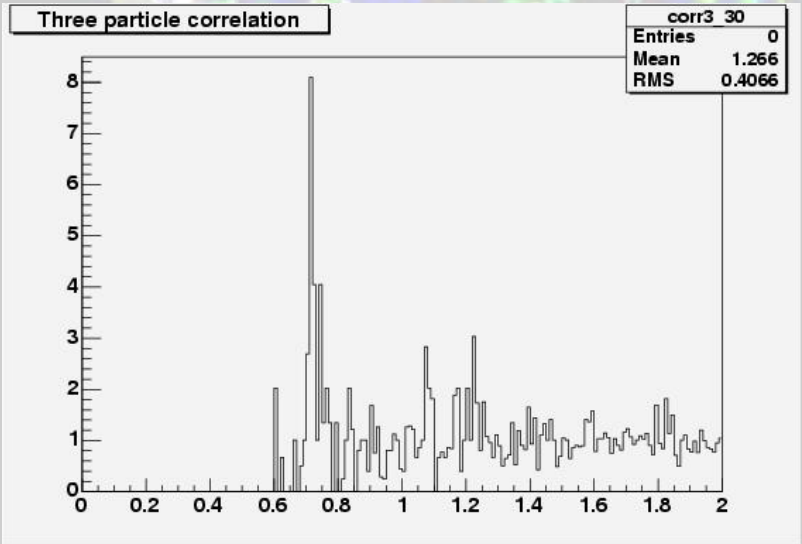


(+,+)
⇐

(−,−)
⇒

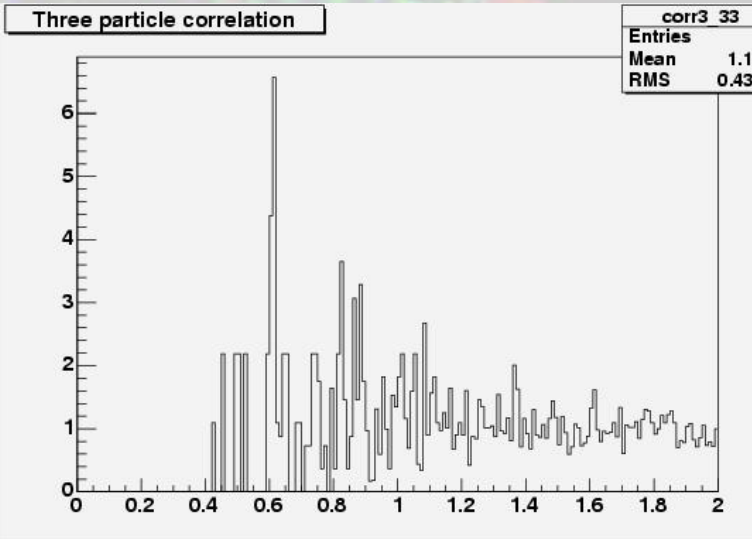


Háromrészecske korrelációs függvények:



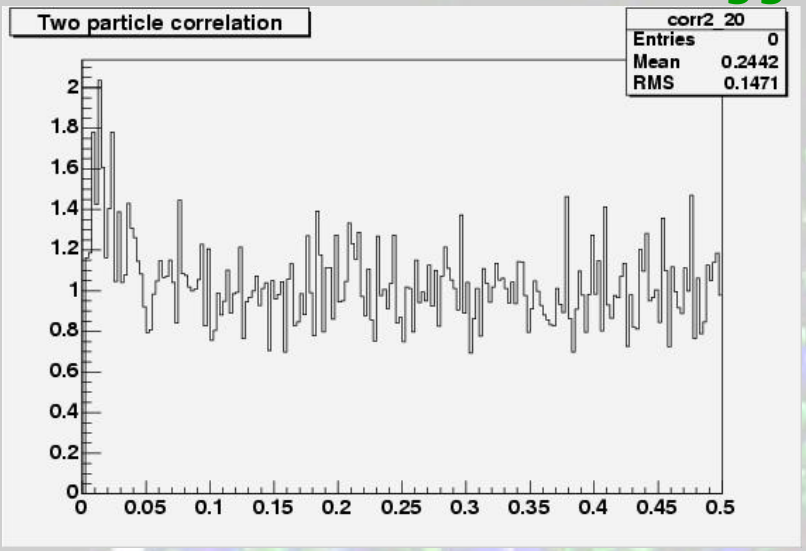
(+,+,+)
⇐

(−,−, −)
⇒



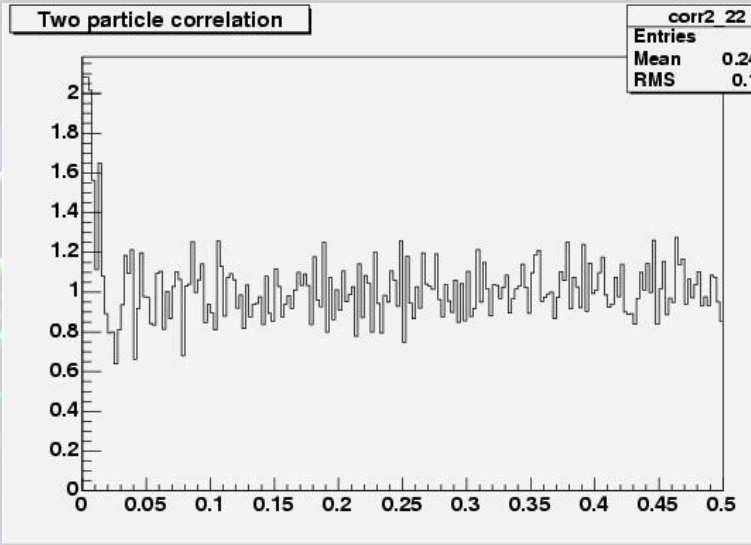
Korrelációs függvények protonokra

Kétrészecske korrelációs függvények:

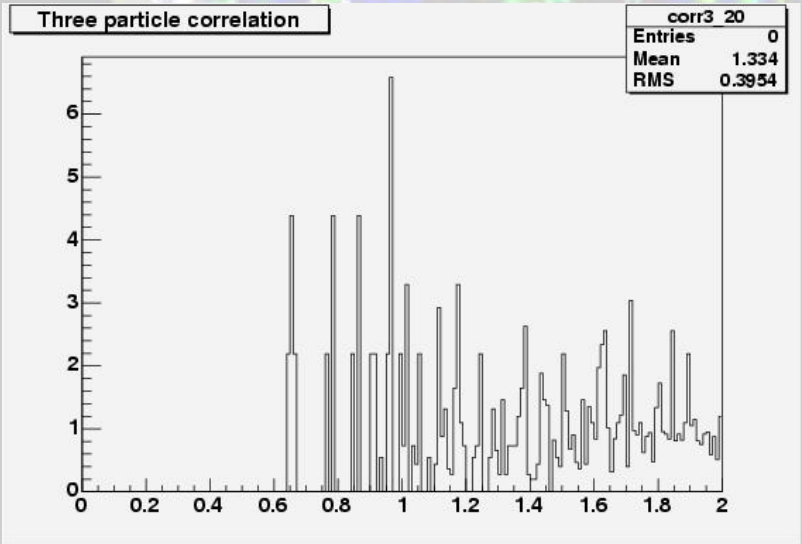


(+,+)
⇐

(−,−)
⇒

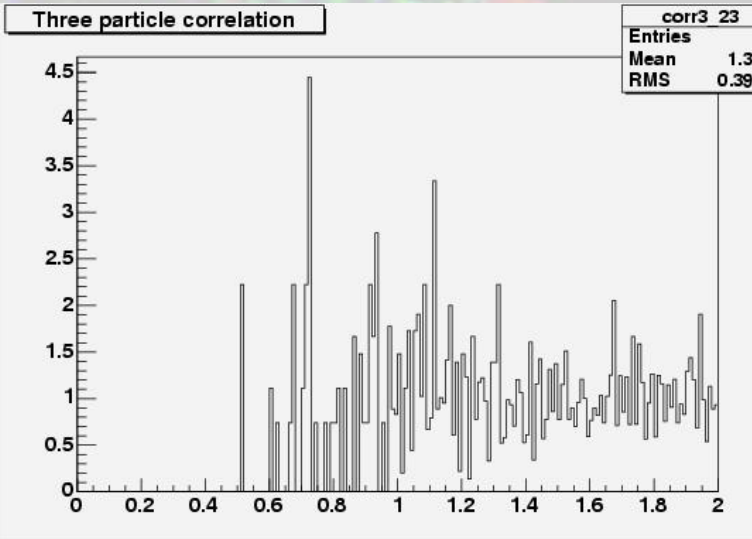


Háromrészecske korrelációs függvények:



(+,+,+)
⇐

(−,−, −)
⇒



Összegzés, tervek

- Nagy impulzusoknál kb egy
- Nullánál növekedés
- Alacsony statisztika ⇒ kis impulzusnál kevés beütés
- Statiszika növelése ⇒ több esemény használata
- Szükséges vágások javítása
- Korrekciók elvégzése
- Coulomb korrekció vizsgálata
  - **A kétrészecske Schrödinger-egyenlet megoldása**
  - **Szimmetrizáció: háromrészecske-hullámfüggvény**
  - **Elosztva a síkullám-közelítésből származó alakkal**

$$K_{Coulomb}(Q_3) = \frac{\int d^3\mathbf{x}_1\rho(\mathbf{x}_1)d^3\mathbf{x}_2\rho(\mathbf{x}_2)d^3\mathbf{x}_3\rho(\mathbf{x}_3)\left|\tilde{\Psi}^{(+)S}_{\mathbf{k}_1\mathbf{k}_2\mathbf{k}_3}(\mathbf{x}_1,\mathbf{x}_2,\mathbf{x}_3)\right|^2}{\int d^3\mathbf{x}_1\rho(\mathbf{x}_1)d^3\mathbf{x}_2\rho(\mathbf{x}_2)d^3\mathbf{x}_3\rho(\mathbf{x}_3)\left|\tilde{\Psi}^{(0)S}_{\mathbf{k}_1\mathbf{k}_2\mathbf{k}_3}(\mathbf{x}_1,\mathbf{x}_2,\mathbf{x}_3)\right|^2}$$

A Buda-Lund hidro model röviden

- Hidrodinamika
  - **Szimmetrikus, 3D tágulás**
  - **Lokális termalizáció**
  - **Fázistérbeli eloszlás:**

$$f(\mathbf{r},\mathbf{p},t) = C\, n(\mathbf{r},t)\, \exp\left(-\frac{(\mathbf{p}-m\mathbf{v}(\mathbf{r},t))^2}{2mT(\mathbf{r},t)}\right)$$

- Kifagyás ⇒ Ütközésmentes Boltzmann-egyenlet + core-halo kép

$$S(\mathbf{r},\ \mathbf{p},\ t) = \left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v}\nabla\right) f$$

$$\begin{aligned} S(x,p) &= S_c(x,p) + S_h(x,p) \\ S_c(x,p) &= \sqrt{\lambda_*}\, S(x,p) \end{aligned}$$

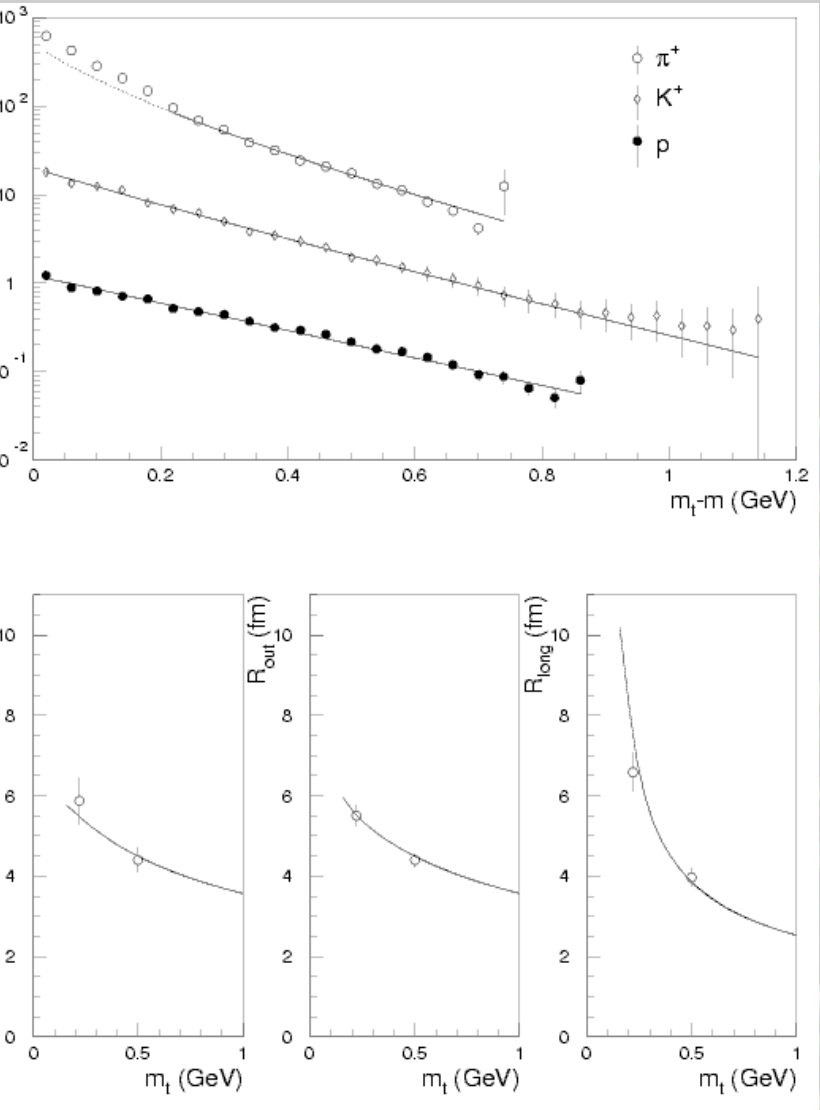
- Forrásból megfigyelhető mennyiségek számolhatóak

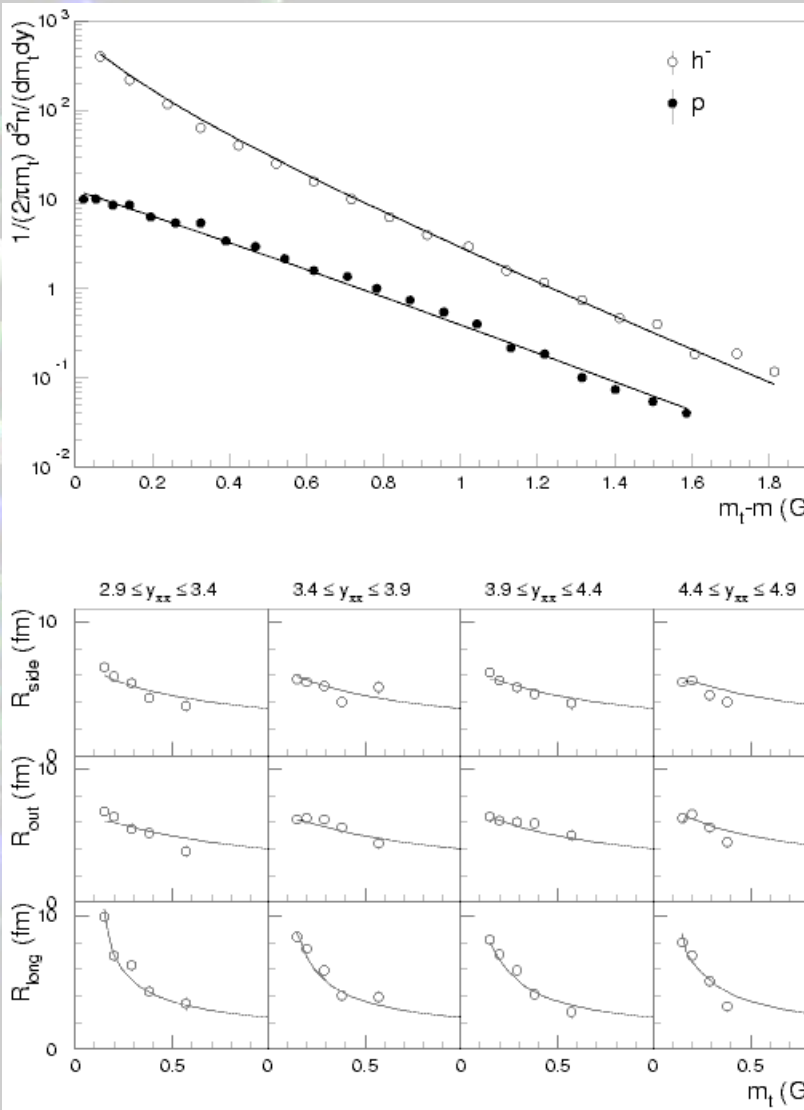
$$\mathrm{N}_1(p) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_*}} \int d^4x S_c(p,x)$$

$$C(Q,p) = 1 + \left|\frac{\tilde{S}(Q,p)}{\tilde{S}(0,p)}\right|^2 = 1 + \lambda_* \left|\frac{\tilde{S}_c(Q,p)}{\tilde{S}_c(0,p)}\right|^2$$

$$N_1(p) = \frac{d^3n}{\ldots} = \frac{d^2n}{\ldots}\left[1 + 2\sum^{\infty} v_n \cos(n\varphi)\right]$$

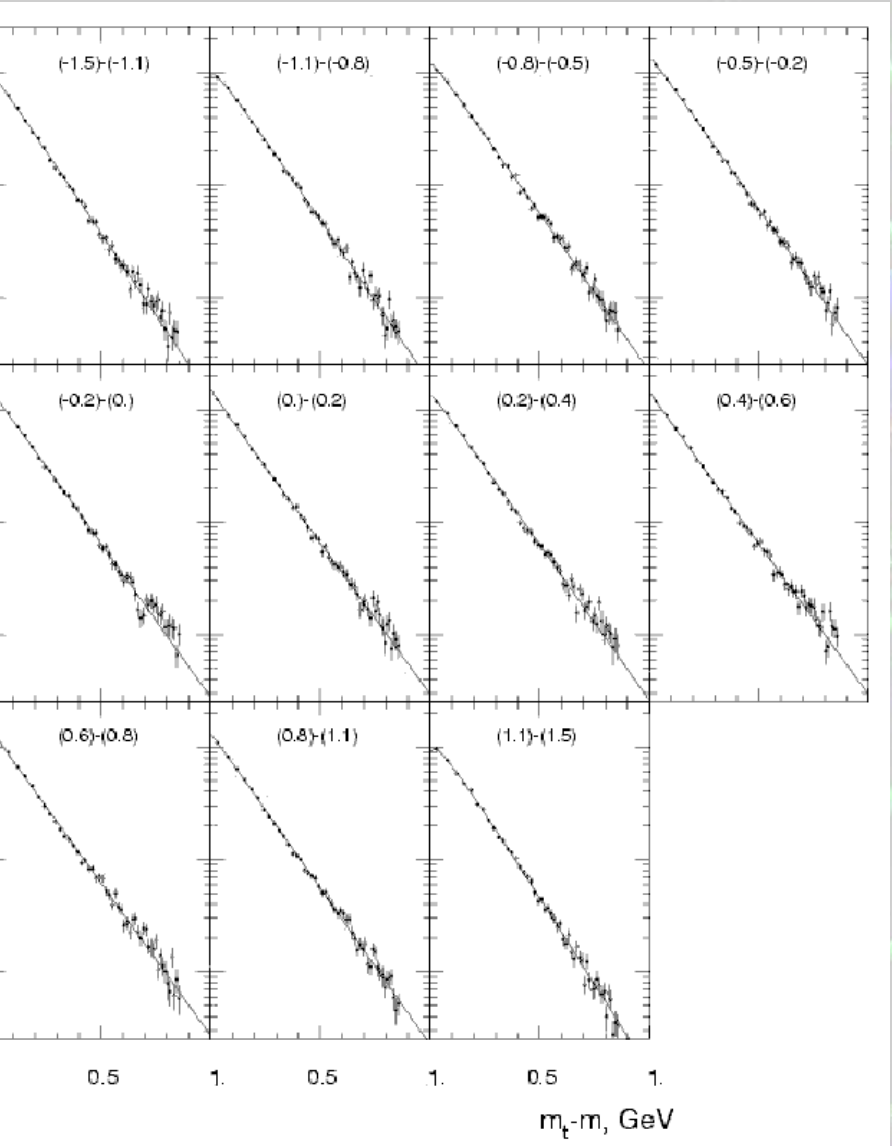
Buda-Lund fits to NA44/49 data

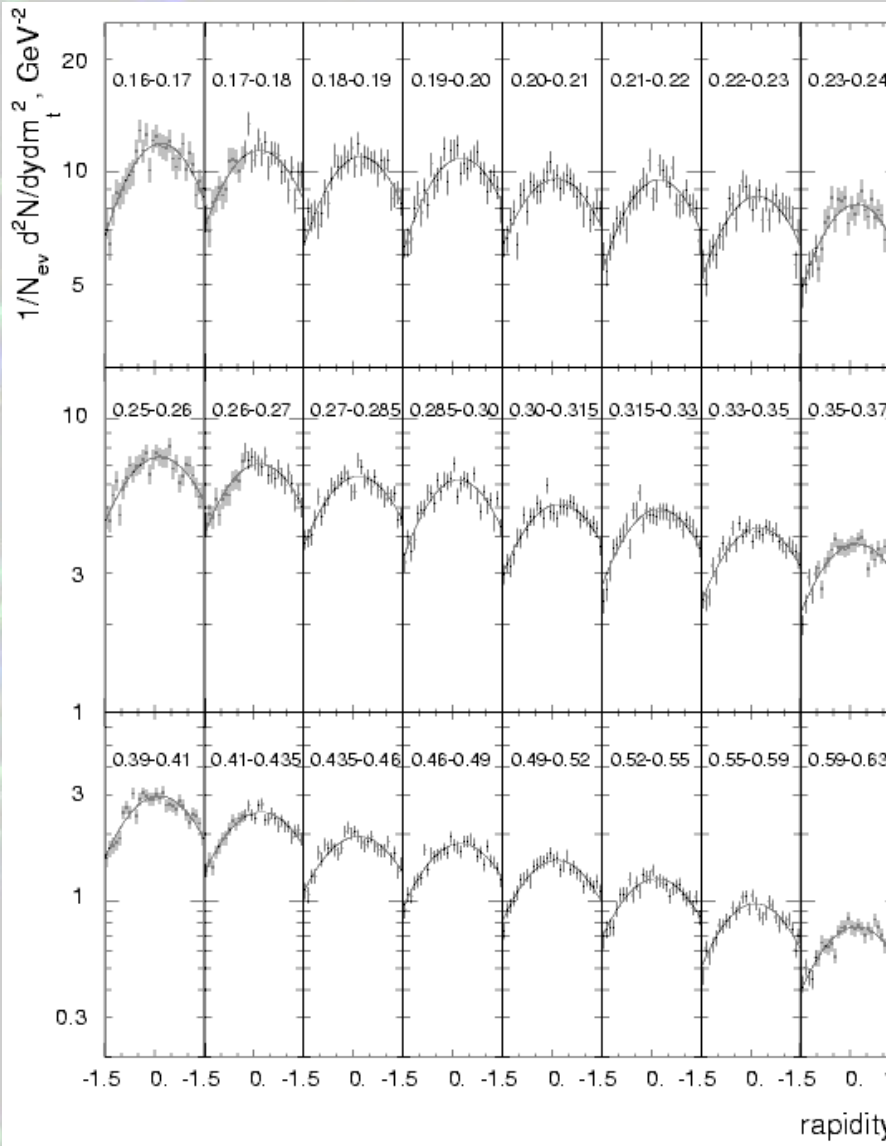




A. Ster, T. Cs, B. Lörstad, hep-ph/9907338

Buda-Lund fits to NA22 h + p data

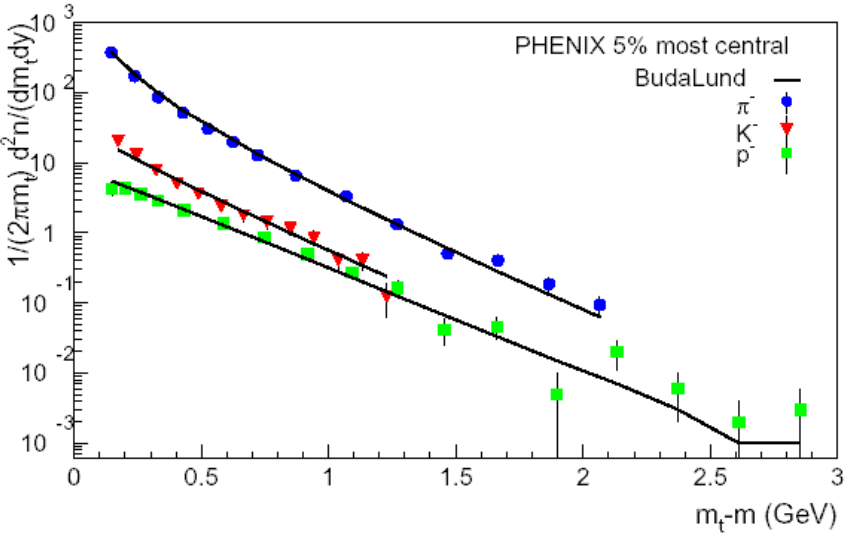




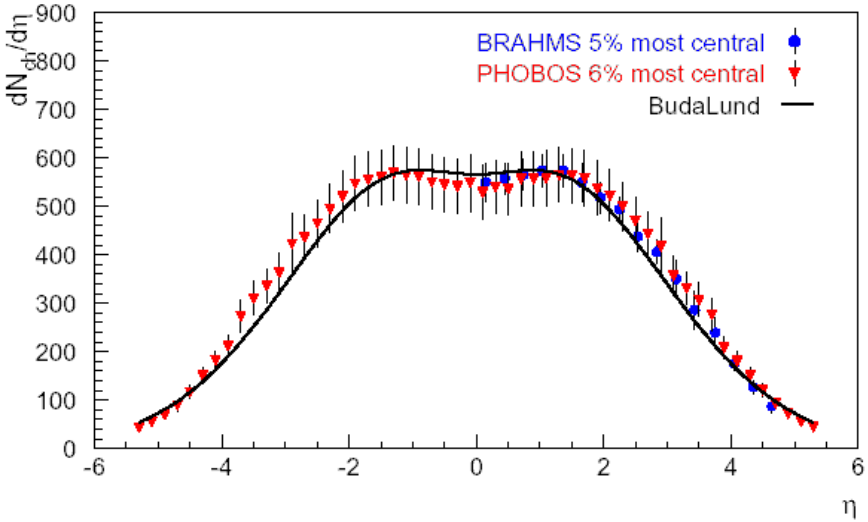
N. M. Agababyan et al, EHS/NA22 , PLB 422 (1998) 395

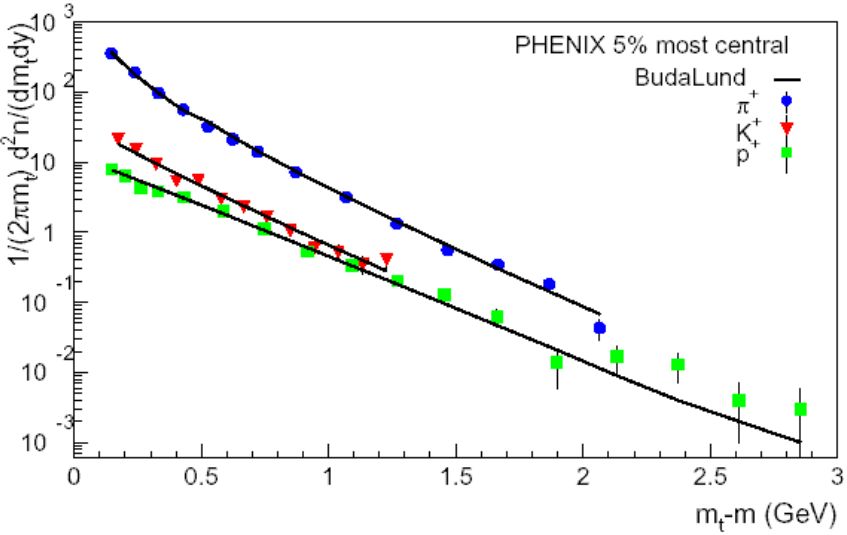
BudaLund fits to 130 GeV RHIC data

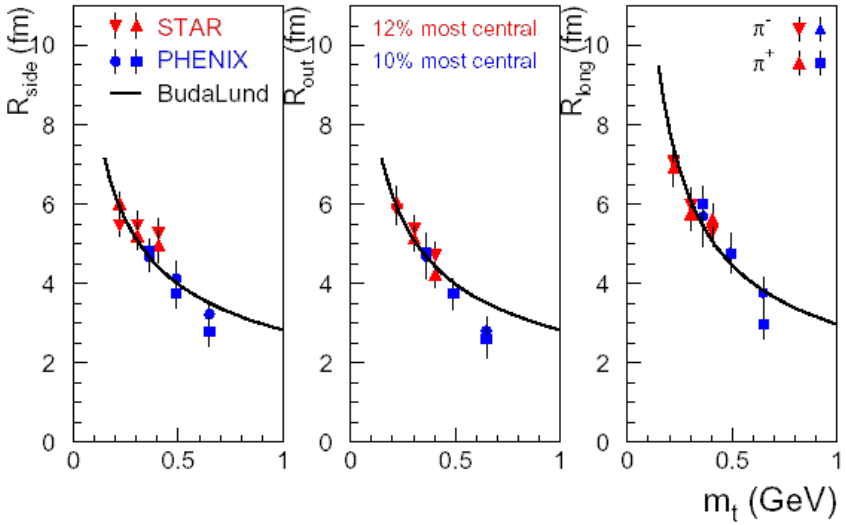
BudaLund hydro fits to 130 AGeV Au+Au



BudaLund hydro fits to 130 AGeV Au+Au

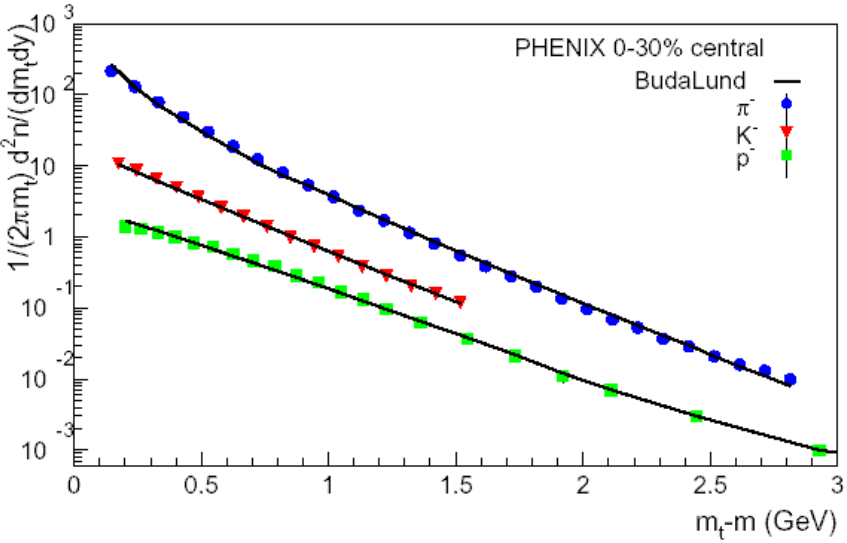




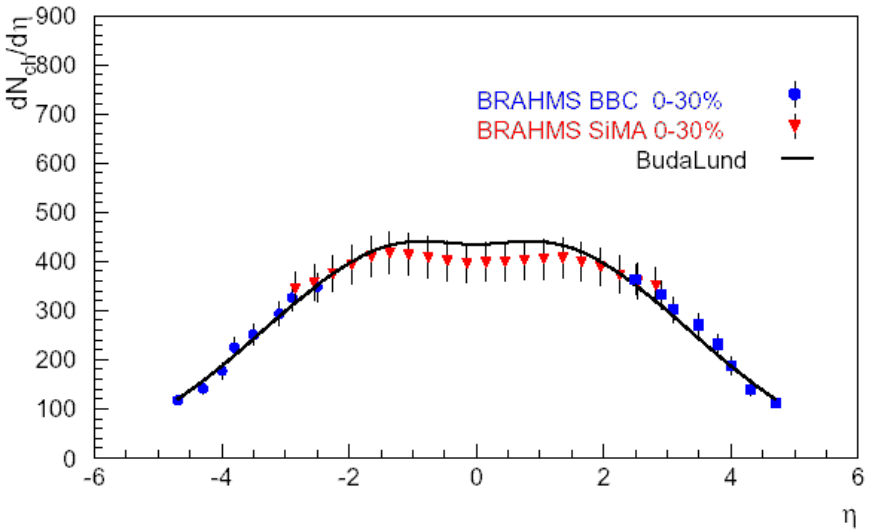


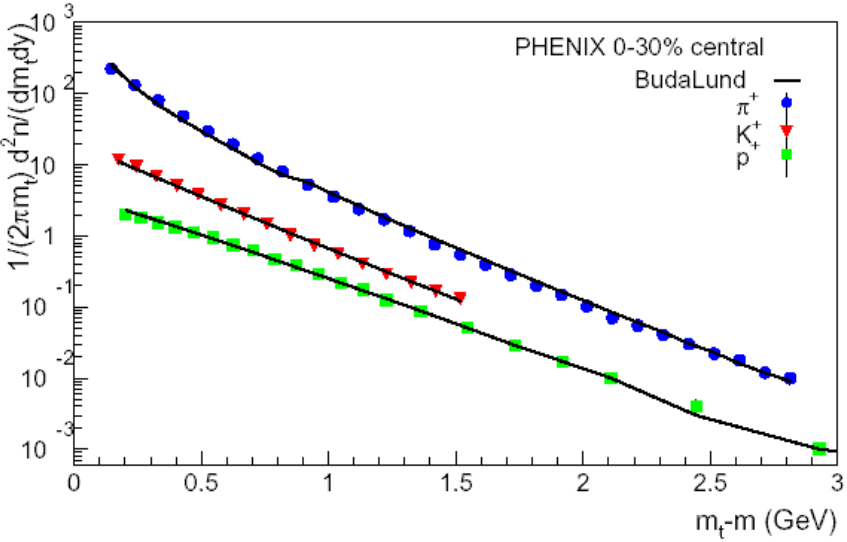
BudaLund fits to 200 GeV RHIC data

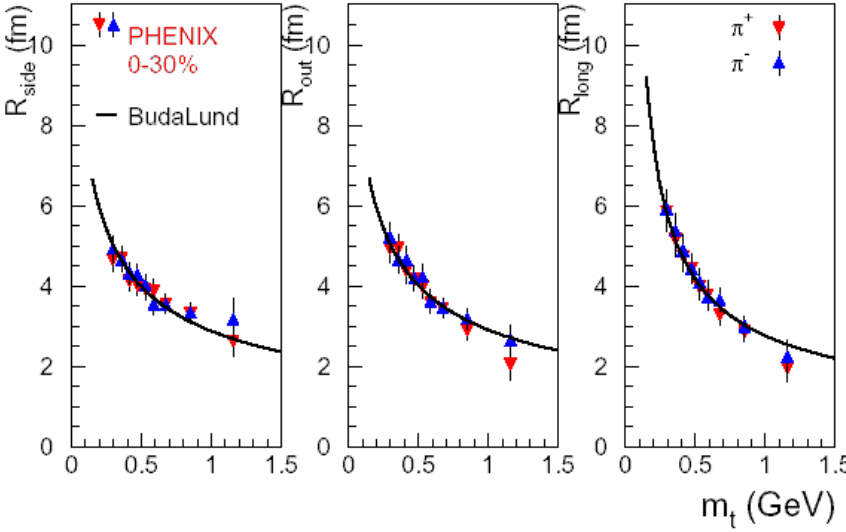
BudaLund v1.5 fits to 200 AGeV Au+Au



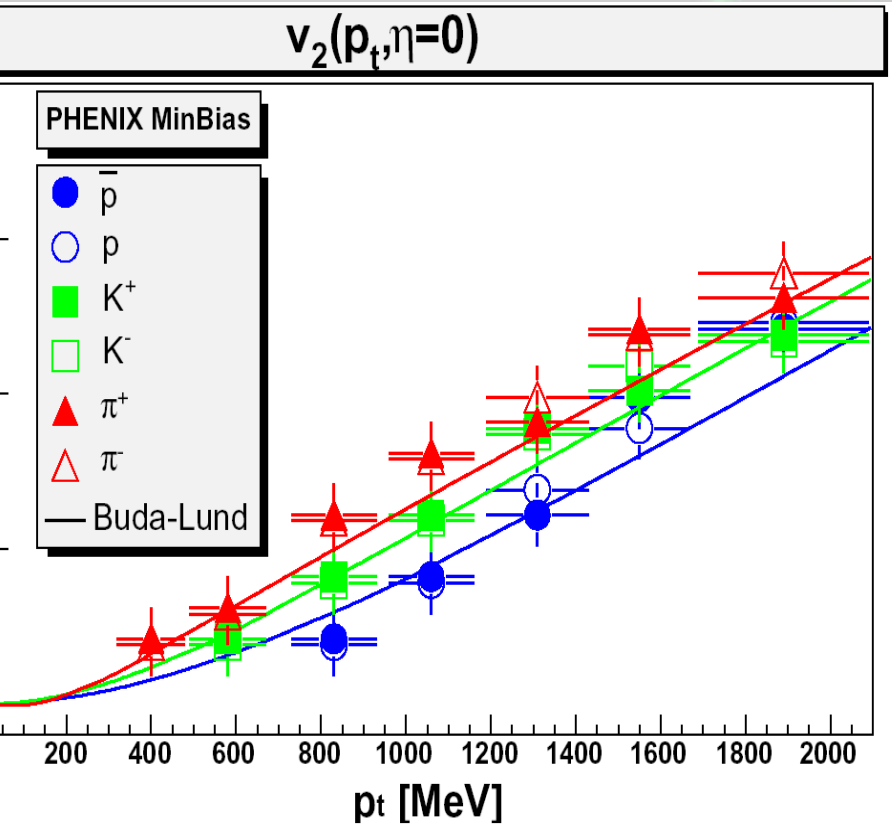
BudaLund v1.5 fits to 200 AGeV Au+Au

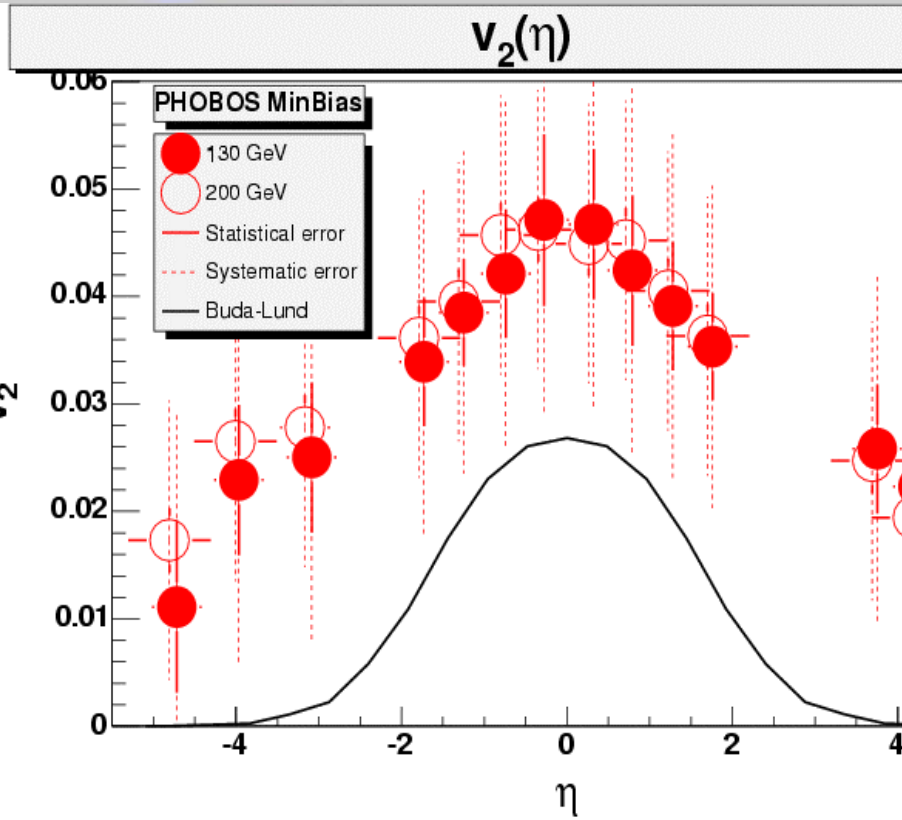






Új adatok vizsgálata





ásodik harmonikus momentum rapiditásfüggését leírjuk, kicsit ulbecsülve

ranszverz momentum függés jó

aramétermódosítás, újabb fittek szükségesek

sd nucl-th/0310040 és nucl-th/0403074

Fit eredmények diszkussziója

RHIC: Magas központi hőmérséklet

- **$T_{RHIC} \simeq$ 200MeV, $T_{crit} \simeq$ 170MeV, $T_{SPS} \simeq$ 140 MeV**
- **Jóval magasabb (5σ), mint a kritikus hőmérséklet**

Nagy hőmérsékleti inhomogenitást tapasztalunk a RHIC-nél

- **Középpont hőmérséklete lényegesen magasabb, mint a felszíné**
- **Megmagyaráz sok eddig megmagyarázatlan jelenséget**

Rövid kifagyási idő

- **Pillanatszerű átmenet közelítés jó**

Alacsony kémiai potenciál

- **Hubble-folyásra bizonyíték**

Kémiai potenciál és hőmérséklet hányadosa konstans

- **Magyarázat a termikus modellek sikerére**

RHIC és a világegyetem

- Hubble-flow a RHIC ütközések után és a világegyetemben is

- Hubble-állandó:
  - **H_0= (71 ± 7) km/sec/Mpc**
- SI egységekben:
  - **H_0= (2.3 ± 0.2)x10^{-18} sec^{-1}**

- Hubble-állandó 200 GeV-es Au+Au ütközésekben
  - **$H_{RHIC,1} = \langle u_t \rangle / R_G \simeq (3.8 \pm 0.5) \times 10^{22}\ sec^{-1}$**
  - **$H_{RHIC,2} = 1/\tau_0 \simeq (5.1 \pm 0.1) \times 10^{22}\ sec^{-1}$**

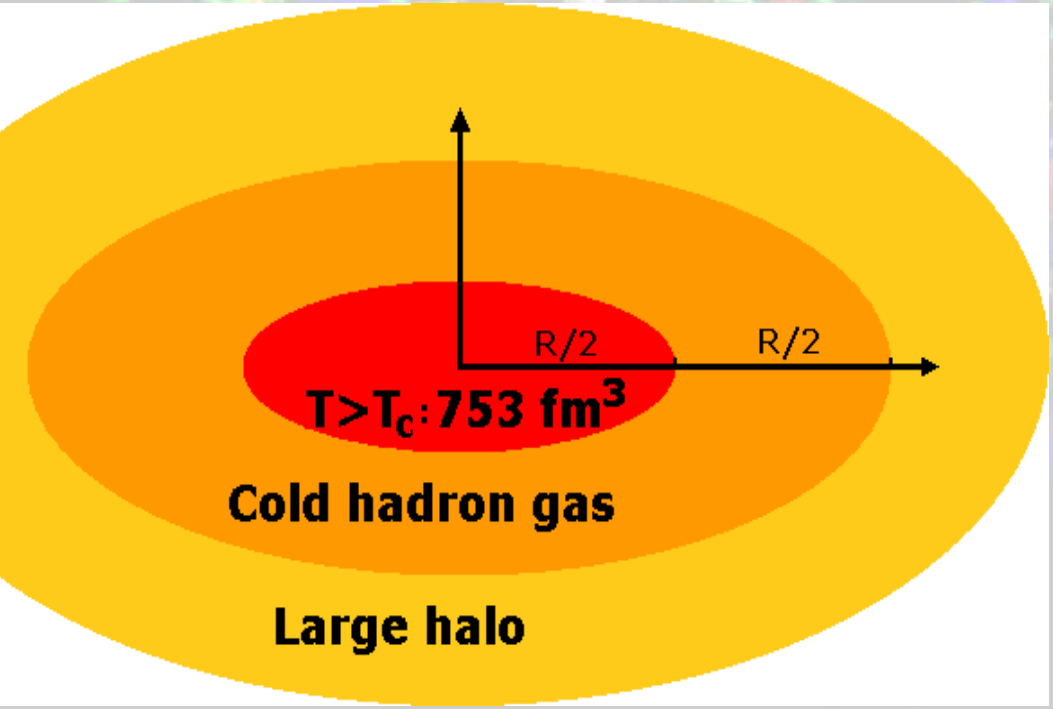
- A két Hubble-állandó hányadosa:
  - **$H_{RHIC} / H_0 \simeq 2 \times 10^{40}$**

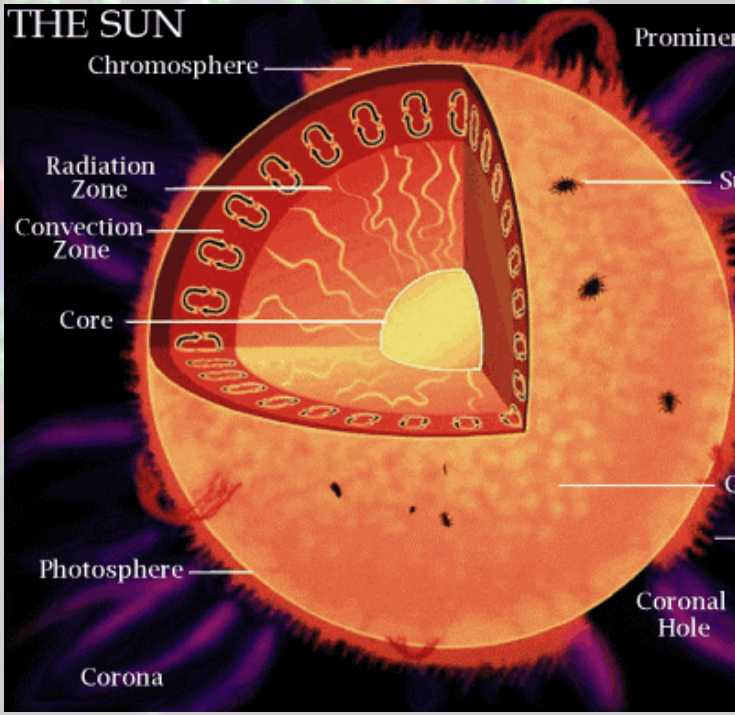
- Az objektumok életkorának hányadosával egyezik meg kb.
- Infláció nélkül…

RHIC és a Nap

RHIC tűzgömb ⇔ A mi Napunk

Core	⇔	Nap
Halo	⇔	Napszél
$T_{0,RHIC} \simeq 210$ MeV	⇔	$T_{0,SUN} \simeq 16$ millió K
$T_{felület,RHIC} \simeq 100$ MeV	⇔	$T_{felület,SUN} \simeq 6000$ K





Összegzés, tervek

- **Sikeres Buda-Lund hidro fittek**
  - **RHIC Au+Au és SPS h+p és Pb+Pb esetben is**
- **Utalás a kvarkok kiszabadulására**
  - **$T>T_c$ = 172 MeV 5σ-val a RHIC-nél, de az SPS-nél nem**
- **3D Hubble-folyás megfigyelése**

- **Fittelő csomag továbbfejlesztése**
- **Új adatok fittelése**
  - **Centralitásfüggés, magasabb momentumok vizsgálata**
- **Predikciók**
  - **J/ψ eloszlás**
  - **Kaonok HBT sugárparamétereire**

Köszönöm a figyelmet