BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY

PHENIX

ÚNKP ÖSZTÖNDÍJASAINAK KONFERENCIÁJA

Háromrészecske Bose-Einstein korrelációk vizsgálata

Bagoly Attila

Témavezető: Csanád Máté

2017. május 5.

Áttekintés

- Kutatás során nehézion ütközésekből származó adatok analízise történt
- Gyorsító: Brookhaven nemzeti laboratorium relativisztikus nehézion ütköztetője (BNL RHIC)
- Adatfelvétel: 2010, 200 GeV Au+Au ütközések
- Mérés: PHENIX detektorrendszer
- Adatmennyiség: 2.3 TB
- Eredmények Quark Matter 2017 konferencián kerültek bemutatásra

HBT effektus

- 1956. Robert Hanbury Brown és Richard Q. Twiss: A test of a new type of stellar interferometer on Sirius
- Két photomultiplier, különböző távolságok $\Rightarrow$ korreláció a két mért intenzitáseloszlásban
- Korrelációs függvény a detektor távolság függvényében $\rightarrow$ Sirius átmérője

HBT effektus a részecskefizikában

- 1959. G. Goldhaber, S. Goldhaber, W.Y. Lee and A. Pais: proton-antiproton ütközések 1.05 GeV/c energián:
  - vizsgálták $\rho^0 \to \pi^+\pi^-$ bomlást
  - nem várt korreláció a π^+ és π^+, π^- és π^-
  - 1960: oka pionok bozonok mint a fotonok
- Később kiderült, hogy a korrelációk információt hordoznak a forrás geometriájáról
- 200 GeV Au+Au ütközésekben a RHIC gyorsítóban kvark-gluon plazma keletkezik
- Ennek az „ősanyagnak” a tulajdonságait vizsgáljuk a belőle kifagyott pionok közti korreláció mérésével

Háromrészecske Bose-Einstein korrelációk

- Invariáns momentum eloszlás: $N_1(p_i), N_2(p_1, p_2), N_3(p_1, p_2, p_3)$
- Korrelációs függvény definíciója:

$$C_n(p_1, \ldots, p_n) = \frac{N_n(p_1, \ldots, p_n)}{N_1(p_1) \cdots N_1(p_n)}$$

kaotikus emisszió esetén:

$$N_n(p_1, \ldots, p_n) = \int \prod_{i=1}^{n} \mathcal{S}(x_i, p_i) |\Psi_n(\{x_i\})|^2 d^4x_1 \ldots d^4x_n$$

- $\mathcal{S}(x, p)$ forrásfüggvény (általában Gaussian eloszlás - Levy általánosabb)

Core-Halo modell

- nem minden részecske származik a QGP kifagyásból
- már kifagyott részecskék bomlásából is származnak beütések
- Mindkét rész hozzájárul a forrásfüggvényhez:

$$\mathcal{S} = \mathcal{S}_{\text{core}} + \mathcal{S}_{\text{halo}}$$

- Részecskeszám eloszlás:

$$N_n(p_1, \ldots, p_n) = N_n^c(p_1, \ldots, p_n) + N_n^h(p_1, \ldots, p_n)$$

- Két részecske korreláció:

$$C_2(k_1, k_2) = 1 + \lambda_2 |\mathcal{S}(q)|^2$$

ahol

$$\sqrt{\lambda_2} = f_C \equiv \frac{N^c}{N^c + N^h}$$

Koherencia

- Ha a mag részeben koherens módon kelt részecskéket:

$$\mathcal{S}_{\text{core}} = \mathcal{S}_{\text{core}}^{\text{pc}} + \mathcal{S}_{\text{core}}^{i}$$

  ahol pc a koherens részre, i az inkoherens részre utal

- Részecskeszám eloszlás:

$$N_n^c(p_1, \dots, p_n) = N_n^{c,\text{pc}}(p_1, \dots, p_n) + N_n^{c,\text{i}}(p_1, \dots, p_n)$$

- Két részecske korreláció: $C_2(k_1, k_2) = 1 + \lambda_2 |\mathcal{S}(q)|^2$, de $\lambda_2 \neq f_C^2$
- Koherensen keltett pionok aránya:

$$p_C \equiv \frac{N_{\text{coherent}}}{N^{\text{coherent}} + N^{\text{incoherent}}} \to \lambda_2(f_C, p_C)$$

Háromrészecske HBT analízis mögötti motiváció

- Emlékeztető: $C_2(k) = 1 + \lambda_2 |\mathcal{S}(q)|^2$
- Kétrészecske korreláció erőssége: $\lambda_2 \equiv C_2(q=0) - 1$
- Hasonlóan háromrészecske korrelációs erősség: $\lambda_3 \equiv C_3(0) - 1$
- Core-Halo:

$$\lambda_2 = f_C^2, \quad \lambda_3 = 2f_C^3 + 3f_C^2$$

$$\kappa_3 = (\lambda_3 - 3\lambda_2)/(2\sqrt{\lambda_2^3}) = 1$$

- Parciális koherencia (p_C koherensen keltett pionok aránya):

$$\lambda_2 = f_C^2\left[(1-p_C)^2 + 2p_C(1-p_C)\right]$$

$$\lambda_3 = 2f_C^3\left[(1-p_C)^3 + 3p_C(1-p_C)^2\right] + 3f_C^2\left[(1-p_C)^2 + 2p_C(1-p_C)\right]$$

$$\kappa_3 = \kappa_3(p_C)$$

- A λ_2, λ_3 konzisztens analíziséből vizsgálhatjuk az eltéréseket a Core-Halo modelltől

Korrelációs függvény

- $C_3(p_1, p_2, p_3)$ (9D)
- különböző $p_T = |p_{T1} + p_{T2} + p_{T3}|/3$ binekben mérjük a $C_3(k_{12}, k_{23}, k_{13})$ (6D) függvényt, ahol $k_{ij} = p_i - p_j$
- side-out-longitudinal felbontást használunk:
  - long irány: nyalábirány
  - out irány: átlagos transzverz irány
  - side: merőleges előző kettőre
- Koordináta rendszer: háromrészecske LCMS (longitudinális együttmozgó rendszer): Lorentz boost long irányba
- A $\boldsymbol{k}_{ij}^{\mathbf{LCMS}}$ helyett a korrelációs függvényt változói:

$$k_{ij} = |\boldsymbol{k}_{ij}^{\mathbf{LCMS3}}| \qquad (3D)$$

- Ok: nincs elég statisztika

Coulomb kölcsönhatás nélküli modell

- Feltevés a forrásra: Levy-eloszlás

$$\mathcal{L}(\alpha, R, r) = (2\pi)^{-3} \int d^3 q e^{iqr} e^{-\frac{1}{2}|qR|^\alpha}$$

- C_3 közelíthető a következőképpen ($\mathcal{L}_3 = 2f_C^3$):

$$C_3^{(0)}(k_{12}, k_{13}, k_{23}) = 1 + \ell_3 e^{-0.5(|2k_{12}R_C|^\alpha + |2k_{13}R_C|^\alpha + |2k_{23}R_C|^\alpha)} + \ell_2 \left(e^{|2k_{12}R_C|^\alpha} + e^{|2k_{13}R_C|^\alpha} + e^{|2k_{23}R_C|^\alpha} \right)$$

- Háttér: $N(1 + \epsilon k_{12})(1 + \epsilon k_{13})(1 + \epsilon k_{23})$

- Illesztési paraméterek: ℓ_3, ℓ_2, R_C, α, N, ϵ

- Keressük: $\lambda_3 \equiv C_3(k_{12} = k_{13} = k_{23} = 0) - 1 = \ell_3 + 3\ell_2$

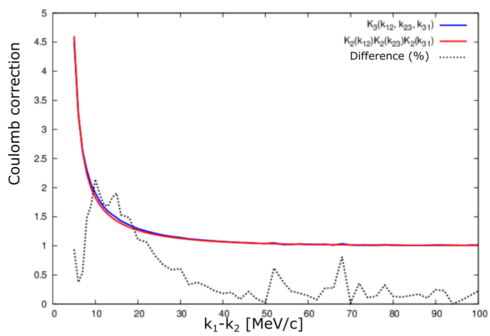
Coulomb korrekció

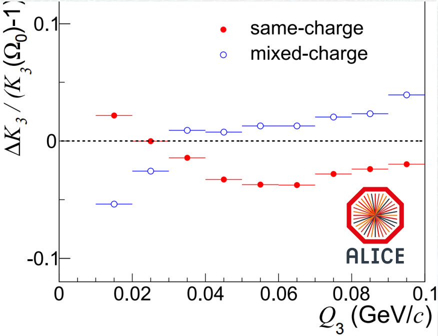
- Korrigált modell:

$$C_3(k_{12}, k_{13}, k_{23}) = C_3^{(0)}(k_{12}, k_{13}, k_{23}) \cdot K_3(k_{12}, k_{13}, k_{23})$$

- "Generalized Riverside" közelítő módszer a Coulomb korrekció becslésére:

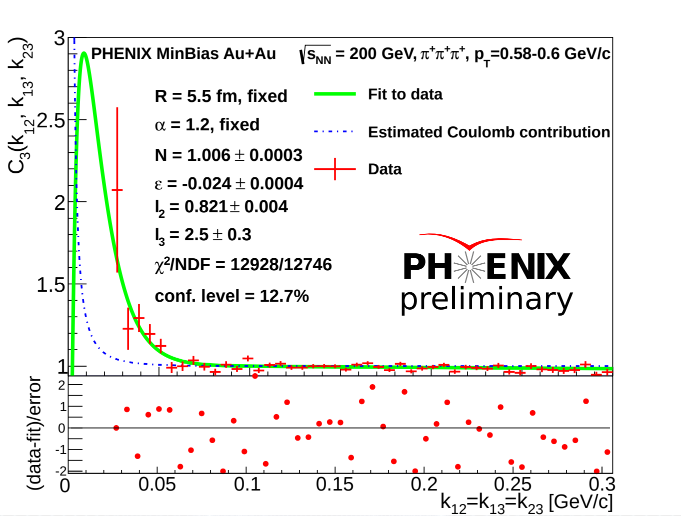
$$K_3(k_{12}, k_{13}, k_{23}) \approx K_1(k_{12})K_1(k_{13})K_1(k_{23})$$





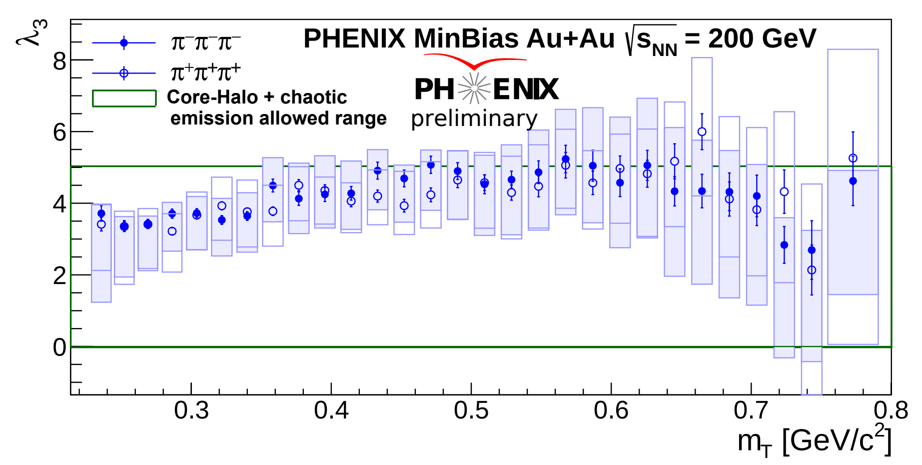
Illesztés szemléltetése

- Diagonális korrelációs függvény



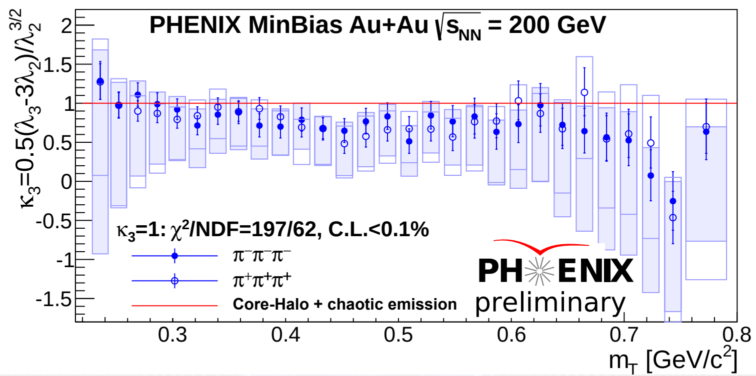
Háromrészecske korrelációs erősség: λ_3

- λ_3 Core-Halo + kaotikus forrás által adott tartományban minden m_T



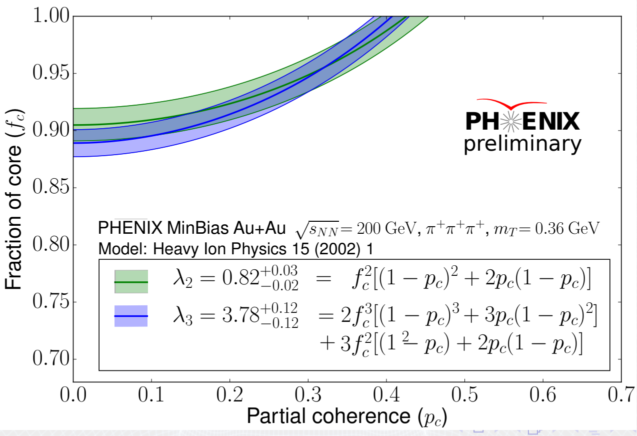
Core-Halo független paraméter

- $\kappa_3 \equiv \frac{\lambda_3 - 3\lambda_2}{2\sqrt{\lambda_2^3}}$ nem függ f_C-től ($f_C = \mathrm{core}/(\mathrm{core} + \mathrm{halo})$)
- Core-Halo + kaotikus mag: $\kappa_3 = 1$
- új effektusok (pl. nem teljesen kaotikus forrás): $\kappa_3 \neq 1$
- Statisztikailag szignifikáns eltérés a $\kappa_3 = 1$



Mag aránya (f_c) a parciális koherencia (p_c) függvényében

- Egyszerű elméleti modell: $\lambda_2(f_c, p_c)$, $\lambda_3(f_c, p_c)$
- Mért $\lambda_2^{\text{meas.}} \rightarrow \lambda_2^{\text{meas.}} = \lambda_2(f_c, p_c) \Longrightarrow f_c(p_c)$ (zöld vonalak)
- Mért $\lambda_3^{\text{meas.}} \rightarrow \lambda_3^{\text{meas.}} = \lambda_3(f_c, p_c) \Longrightarrow f_c(p_c)$ (kék vonalak)
- $f_c < 0.82$ és $p_c > 0.5$ kizárható, $p_C < 0.5$ nem zárható ki



Összefoglaló

- RHIC gyorsító 200GeV Au+Au ütközések során a PHENIX detektorrendszerrel mért adatok analízisét végeztem
- Háromrészecske korrelációs függvényeket mértem
- Korrelációs függvény modelljében forrás leírására: Lévy eloszlás
- A cél a háromrészecske korreláció erősségének meghatározása volt
- Kétrészecske és háromrészecske korrelációs erősségek analíziséből kiderült:
  - statisztikailag szignifikáns eltérés az egyszerű Core-Halo + kaotikus mag modelltől
  - 82%-nál kisebb magarány és 50%-nál nagyobb koherencia kizárható a vizsgált p_T-n
  - 50%-nál kisebb koherencia nem zárható ki az analízis alapján