

# HBT-analízis az LHC CMS kísérletben

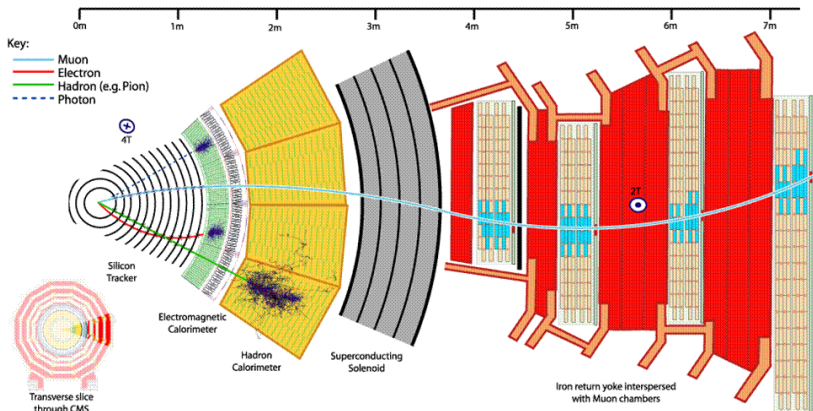
**Csengeri Kamilla**  
**Témavezető: Csanád Máté**

ELTE TTK Atomfizikai Tanszék

**2024. szeptember 3.**

- femtométer ( $\approx 10^{-15}$  m) skálájú folyamatok
- HBT-jelenség: intenzitások közötti korrelációk
- csillagászatban  $\rightarrow$  csillagok átmérője az intenzitás korrelációikból
- részecskefizika  $\rightarrow$  pionok intenzitáskorrelációja  $\rightarrow$  forrás mérete  $\rightarrow$  QGP vizsgálata
- Bose–Einstein-szimmetria miatt van  $\rightarrow$  Bose–Einstein-korrelációk
- eredmények: [CMS] A. Tumasyan és tsai. “Two-particle Bose-Einstein correlations and their Lévy parameters in PbPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV” (2024), Phys. Rev. C 109, nuc1-ex/2306.11574 (2018-as PbPb  $\sqrt{s_{NN}}=5,02$  TeV nukleononkénti energiájú ólóm-ólóm ütközések adatai)

# A CMS kísérlet



1. ábra. A CMS detektorrendszer vázlatos rajza ([CMS] “Overview of CMS Physics Goals and Detector”, (2008))

# A korrelációs függvény és a Lévy-típusú forrás

- a kétrészecske Bose–Einstein-korrelációs függvény:

$$C_2(p_1, p_2) = \frac{N_2(p_1, p_2)}{N_1(p_1)N_1(p_2)} \quad (1)$$

- $p_1, p_2$  : részecskék négyesimpulzusa
- $N_2(p_1, p_2)$  : kétrészecske invariáns impulzuseloszlás
- $N_1(p_1), N_1(p_2)$  : egyrészecske invariáns impulzuseloszlás
- Lévy-eloszlás:  $\mathcal{L}(\alpha, r, R) = \frac{1}{2\pi} \int e^{iqr} e^{-\frac{1}{2}|qR|^\alpha} dq$
- Lévy-típusú forrás  $\rightarrow$  feltételezzük, hogy a korrelációs függvény a következő alakban is felírható:

$$C_2(q) = 1 + \lambda e^{-|qR|^\alpha} \quad (2)$$

- $R$  : Lévy-skálaparaméter,  $\alpha$  : Lévy-stabilitási index,  $\lambda$  : korrelációs erősség

- „érdekes” események kiválogatása (pl. pontosan egy mag-mag ütközés)
- analízis pontosságának növelése (pl.  $p_T > 0,5 \text{ GeV}/c$  vágás, detektor felbontása miatt)
- pálya  $\rightarrow$  részecske által bejárt út  $\rightarrow$  megfelelően van rekonstruálva? ( $\rightarrow$  pl. nyomillesztés jósága legyen kellően nagy)
- a pár átlagos transzverz impulzusa ( $K_T$ ), centralitás, töltés szerint osztályok („binek”)
  - $K_T = 0,5 - 1,9 \text{ GeV}/c$  között 24 osztály
  - 0-60% között 6 centralitás osztály
  - 2 töltésoosztály (++, --)

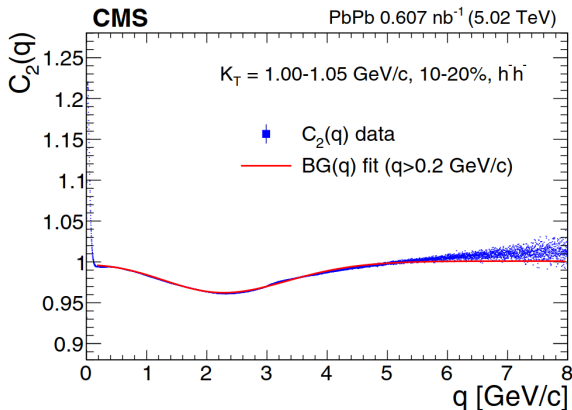
- $A(q)$ : páreloszlás  $\rightarrow$  azonos események ( $\rightarrow q$  a Lorentz-invariáns relatív négyesimpulzus)
- $B(q)$ : háttéreloszlás  $\rightarrow$  különböző események, háttéreffektusok kiszűrése
- $C(q)$  e kettő normált hányadosa

$$C(q) = \frac{A(q) \int B(q) dq}{B(q) \int A(q) dq} \quad (3)$$

- minden aktuális eseményhez azonos multiplicitású kevert esemény
- ezekben az adott osztályú eseményminta random választott részecskéi vannak
- a részecskék páronként különböző eseményből származnak
- a háttéreloszlás részecskepárjai a kevert esemény párjaiból állnak elő

# A korrelációs függvények illesztése

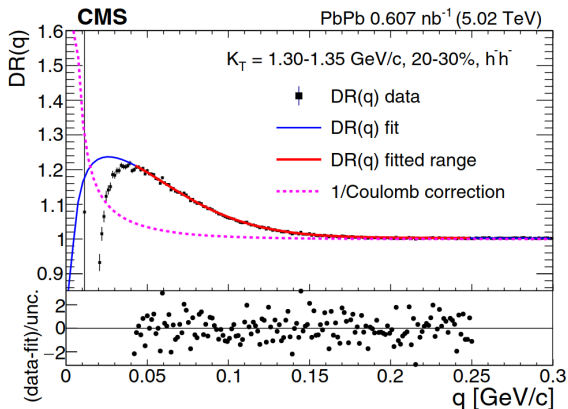
- további háttéreffektusok kiszűrése  $\rightarrow$  háttérfüggvény illesztése  
 $BG(q) = N(1 + \alpha_1 e^{-(qR_1)^2})(1 - \alpha_2 e^{-(qR_2)^2})$



2. ábra. A  $C(q)$  korrelációs függvényre illesztett  $BG(q)$  háttérfüggvény

# A double-ratio korrelációs függvény

$$DR(q) = N[1 - \lambda + \lambda(1 + e^{-(qR)^\alpha})K_C](1 + \varepsilon q)$$

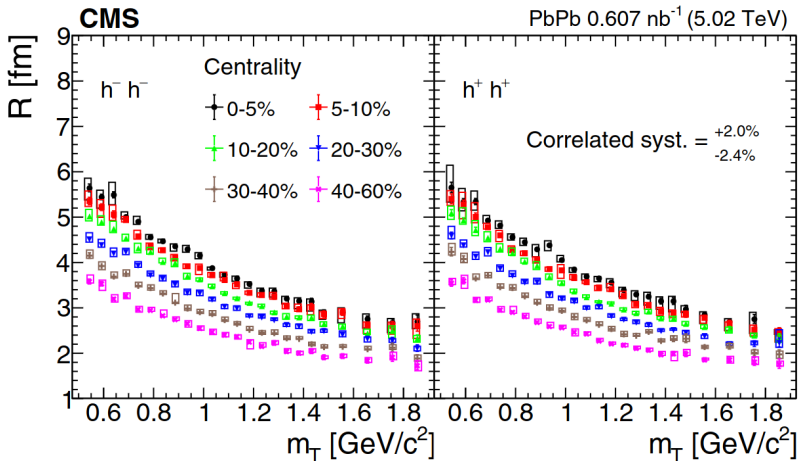


3. ábra. Az illesztett  $DR(q)$  korrelációs függvény

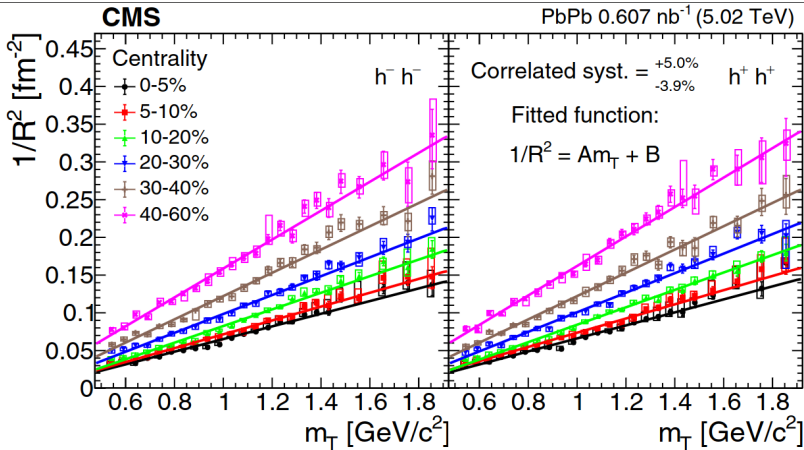


# Lévy-skálaparaméter ( $R$ )

- forrás homogenitási hossza
- $m_T$  függvényében csökken
- kevésbé centrális ütközésekre kisebb  $\rightarrow$  geometriai interpretációt támasztja alá
- hidrodinamikai modell  $\rightarrow 1/R^2 \propto m_T$
- $B \neq 0$  tengelymetszetű egyenes illesztése  $\rightarrow$  tengelymetszet megadja a forrás mérete, ha  $m_T = 0$



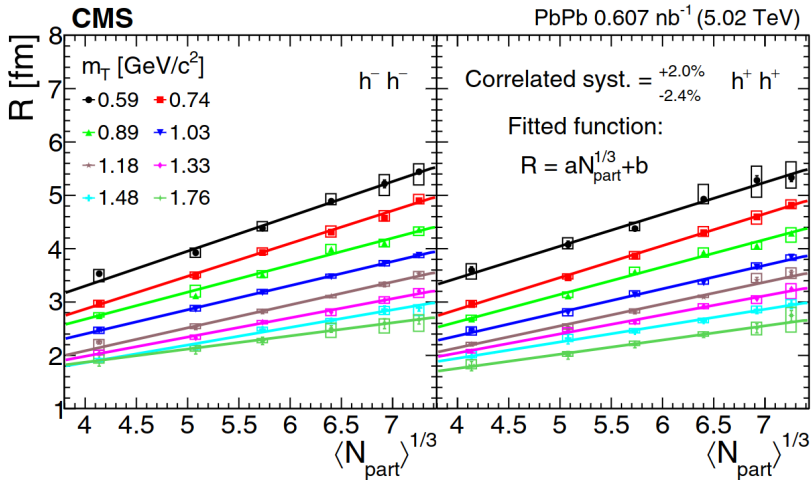
4. ábra. Az  $R$  Lévy-skálaparaméter negatív, illetve pozitív hadronpárokra



5. ábra. Az  $1/R^2(m_T)$  függés

- $R$  tényleg a forrás térbeli skáláját jellemzi?
- adott  $m_T$  mellett  $R$  az ütközésben résztvevő nukleonok számának függvényében ( $N_{\text{part}}$ )
- $N_{\text{part}}$  térfogatot jellemez  $\rightarrow R(N_{\text{part}}^{1/3})$  függés
- várakozás: lineáris kapcsolat  $B = 0$  tengelymetszettel (nulla térfogathoz nulla méret tartozzon)

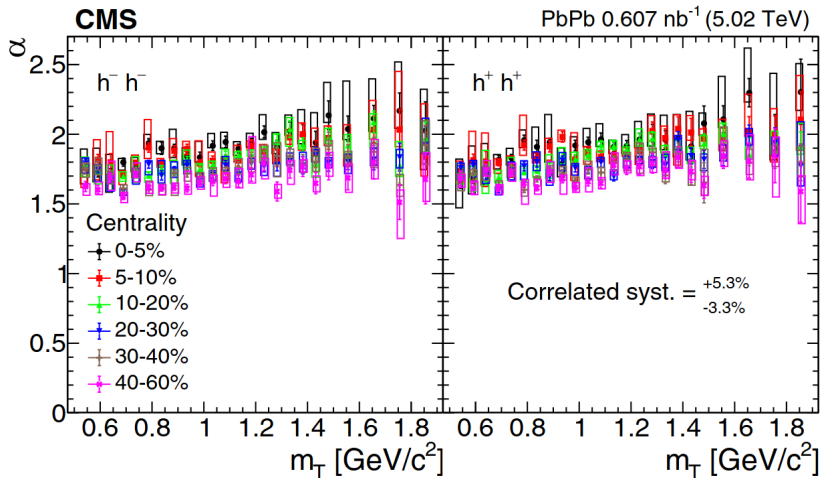
# $R - N_{\text{part}}$ kapcsolat



6. ábra. Az  $R(N_{\text{part}}^{1/3})$  függés negatív, illetve pozitív hadronpárokra

# Lévy-stabilitási index ( $\alpha$ )

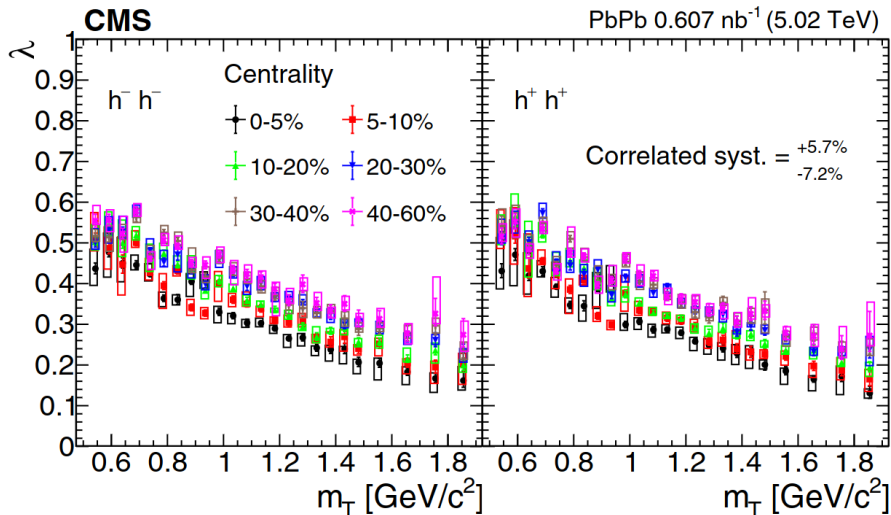
- egyértelmű centralitásfüggés, legcentrálisabb események  $\alpha = 2$ -höz tendálnak (Gauss-szerű forrás)
- $1,6 < \alpha < 2 \rightarrow$  Lévy-eloszlással lehet leírni  $\rightarrow$  a Gauss-szerű forrás feltételezése helytelen
- a Lévy-eloszlásból következik a hadrongáz tágulásából következő anomális diffúzió jelenléte



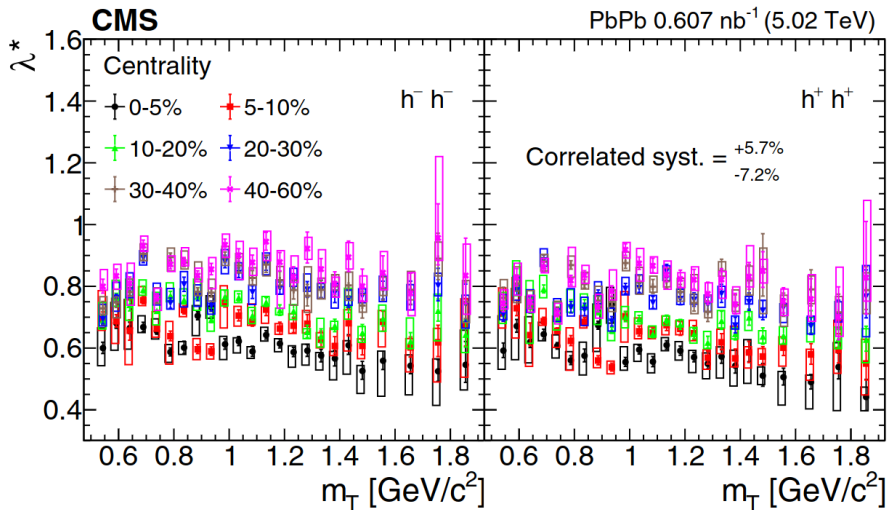
7. ábra. Az  $\alpha$  Lévy-stabilitási index negatív, illetve pozitív hadronpárokra

- Bose–Einstein-csúcs nagysága
- $m_T$  függvényében, illetve centrálisabb eseményekre csökken
- $\lambda$  kisebb, mintha olyan esetet vizsgálnánk, ahol biztosan csak pionok vannak  $\rightarrow$  jelen esetben a mintában más részecskék is vannak a pionokon kívül (pl. kaonok, protonok)
- $\lambda^* = \frac{\lambda}{(N_{pion}/N_{hadron})^2}$  ([ALICE] “Production of charged pions, kaons, and (anti-)protons in Pb-Pb and inelastic pp collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV”, Phys. Rev. C 101, 044907 (2020))
- $\lambda^* < 1 \rightarrow$  más hatások is jelen vannak, amik gyengítik a korreláció erősségét








8. ábra. A  $\lambda$  korrelációs erősség negatív, illetve pozitív hadronpárokra



9. ábra.  $\lambda^*$  negatív, illetve pozitív hadronpárokra

Köszönöm a figyelmet!

-  [CMS] A. Tumasyan és tsai. "Two-particle Bose-Einstein correlations and their Lévy parameters in PbPb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV" (2024), Phys. Rev. C 109, nucl-ex/2306.11574
-  [CMS] "Overview of CMS Physics Goals and Detector", (2008)
-  [ALICE] "Production of charged pions, kaons, and (anti-)protons in Pb-Pb and inelastic pp collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=5.02$  TeV", Phys. Rev. C 101, 044907 (2020)