

A királis szimmetria helyreállításának indirekt jele

a kutatócsoportunk PHENIX kísérletben való részvételének egy gyümölcse

KASZA GÁBOR

HUN-REN WIGNER FK & MATE KRC

A FEMTOSZKÓPIA NAPJA

GYÖNGYÖS, 2024. 10. 29.

A kvark-gluon plazma felfedezése

2000-es évek eleje: új jelenség, az anyag új formája

- RHIC (BRAHMS, PHOBOS, PHENIX, STAR): ultrarelativisztikus részecske-ütközések
- Nehézion-ütközések: két atommag ütköztetése, átfedési tartományban egy tűzgömb keletkezik
- Au+Au ütközések: jet-elnyomás észlelése (Phys.Rev.Lett. 88, 022301 (2002))
- Ellenpróba kisebb rendszerrel: d+Au ütközésekben jet-elnyomás nem jelentkezik
- Következtetés: **az anyagnak egy új formája keletkezik, ami elnyeli a részecskesugarakat**
(Phys. Rev. Lett. 91, 072303 (2003))
- A közeg elliptikus aszimmetriájának vizsgálata: **az anyag tulajdonságait a kvarkok határozzák meg**
- Foton spektrumok vizsgálata: **a közeg kezdeti hőmérséklete túl magas hadronok létezéséhez**

A királis szimmetria sérülése

Az erős kölcsönhatás (közelítő) szimmetriája:

- Királis szimmetria: **az elmélet érzéketlen a részecskék paritására**
- Páros paritás: a rendszer tükrözés után ugyanúgy viselkedik
- Páratlan paritás: a rendszer tükrözés után az eredetihez képest ellentétesen viselkedik

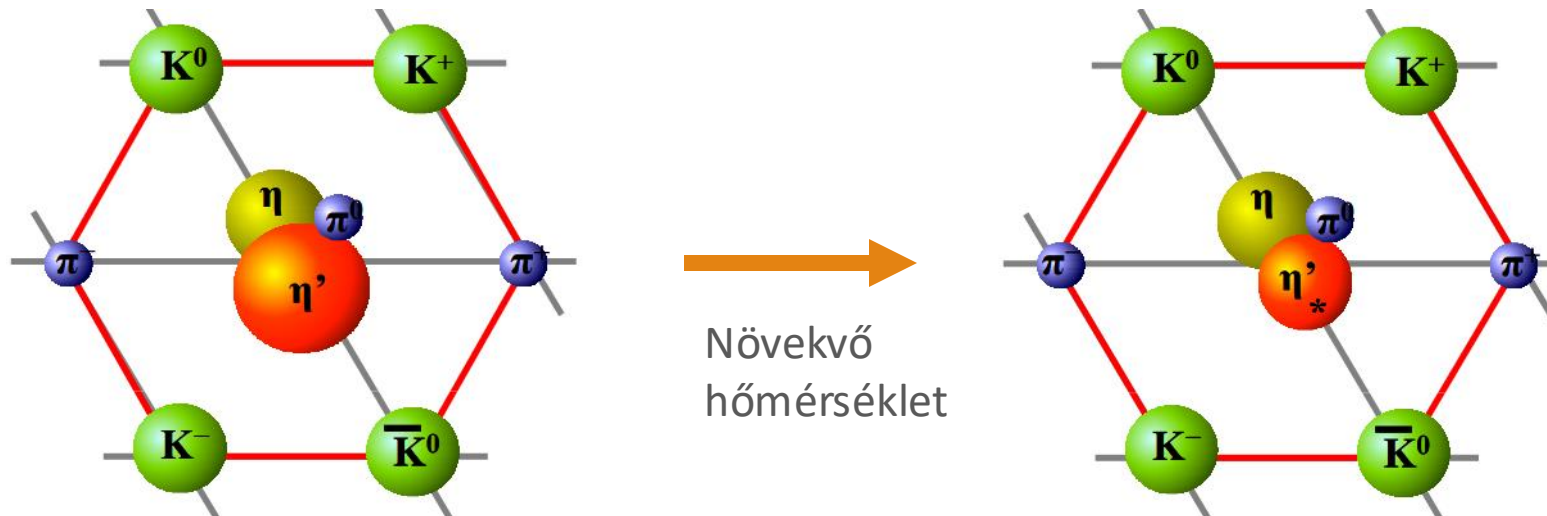
De miért csak közelítő szimmetria?

- A vákuum fluktuációi nem átlagolódnak ki: **spontán szimmetriasérülés**
- Emiatt a 9 db. ún. pszeudoskalár (páratlan paritás) mezonnak jelentősen lecsökken a tömege
- A 9 db. ún. skalár (páros paritás) mezonnak viszont nem csökken a tömege
- Szimmetria sérülés: **az elmélet különbséget tesz a skalár és a pszeudoskalár mezonok között**

Anomália

Mi a baj az η' részecskével?

- Spontán szimmetria sérülés: 9 pszeudoskalár mezon tömege jelentősen lecsökken
- Anomália az elméletben, az η' nem illik ebbe a képbe
- Elméletek szerint: **magas hőmérsékleten az anomália megszűnik, az η' tömege is alacsony lesz**



Valóban eltűnik az anomália?

- Elméletek szerint: **magas hőmérsékleten az anomália megszűnik, az η' tömege is alacsony lesz**
- *Ezen elméleteket korábban nem bizonyították, de nem is zárták ki!*
- Hol hoznak létre elég magas hőmérsékletet ahhoz, hogy tesztelhető legyen az elmélet?
- *Pl. ahol a kvark-gluon plazmát is először létrehozták: a RHIC-ben!*

Kutatócsoportunk a PHENIX kísérletben való részvételével az η' anomális viselkedését is vizsgálta kísérletileg!

Célunk: különböző elméletek megerősítése/kizárása kísérleti eredmények alapján

Indirekt jel keresése

Minek a jelét kerestük?

- Ha a forró közegben az anomália megszűnik ...
- ... akkor a forró közegben az η' mezonok alacsonyabb tömeggel keletkeznek
- **Tehát az η' közegbeli tömegcsökkenésének a jelét keressük**
- Az η' közegbeli tömege csak közvetett (indirekt) módon mérhető a pionokra való bomlása révén

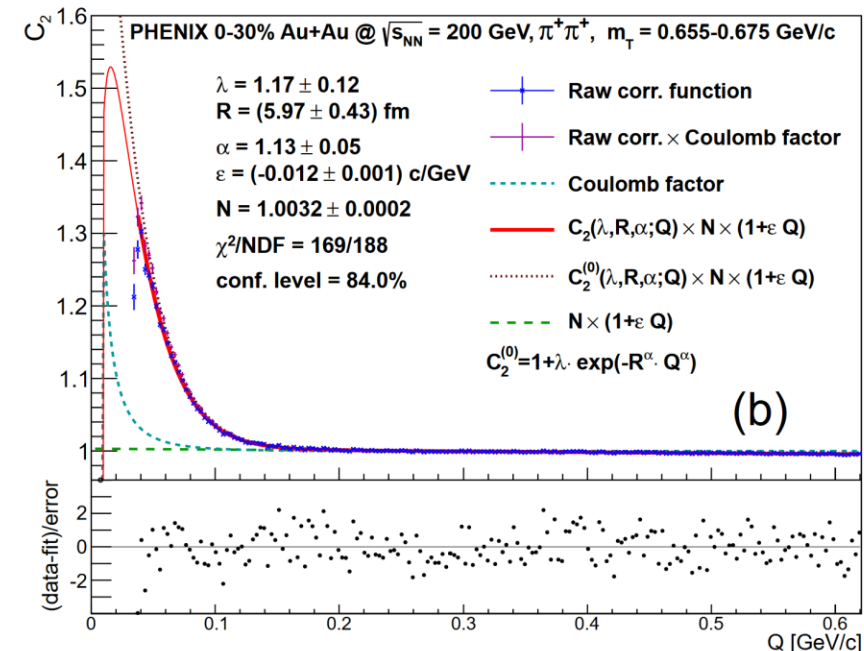
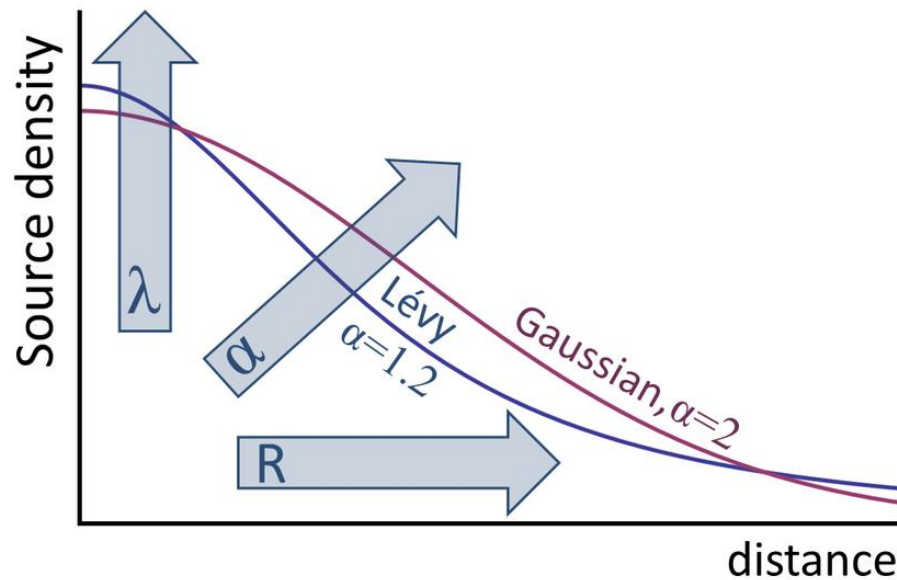
Hogyan?

- **Bose-Einstein korrelációs függvények segítségével**

Bose-Einstein korrelációs függvények

Pionpárok korrelációs függvénye: $C_2(Q)$

- $C_2(Q)$: azt méri, hogy a pionok mennyire „szeretnek” párban keletkezni Q impulzuskülönbséggel
- Fontos a precíz mérés: eldönti, hogy a részecskék milyen eloszlású forrásból származnak



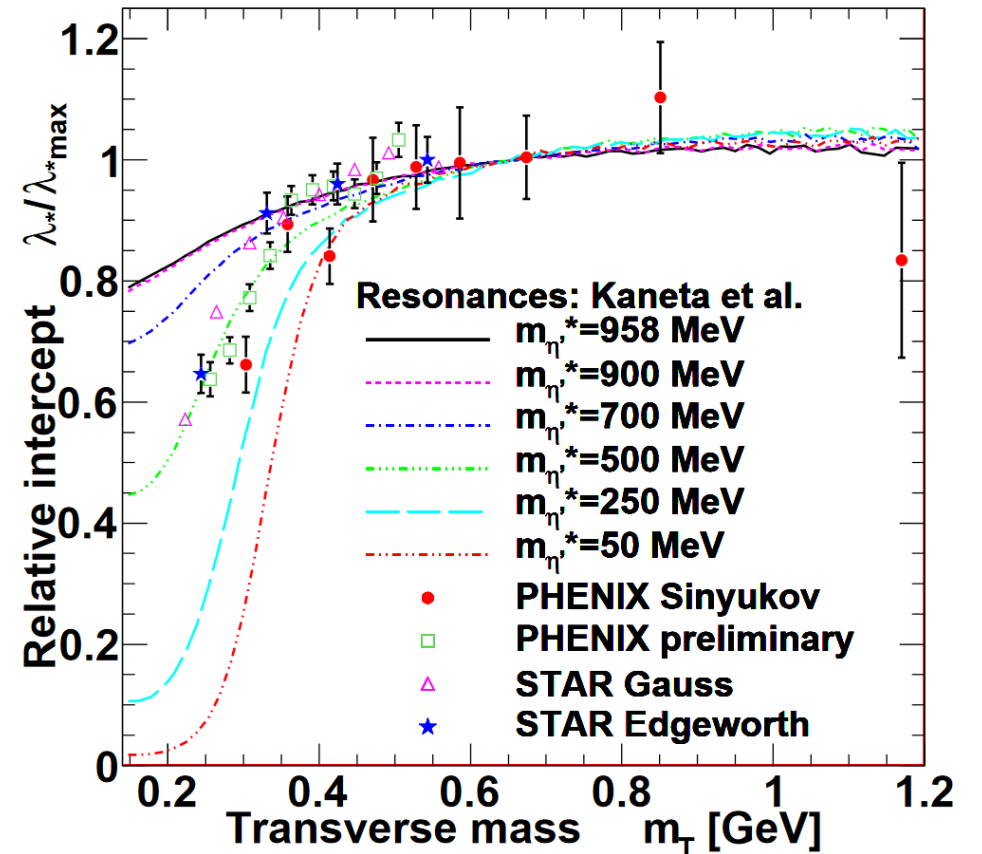
Hol látjuk az η' tömegváltozását?

A korrelációs függvény mérési pontjainak illesztése

- Az alábbi függvényt illesztettük a megmért adatpontokra:

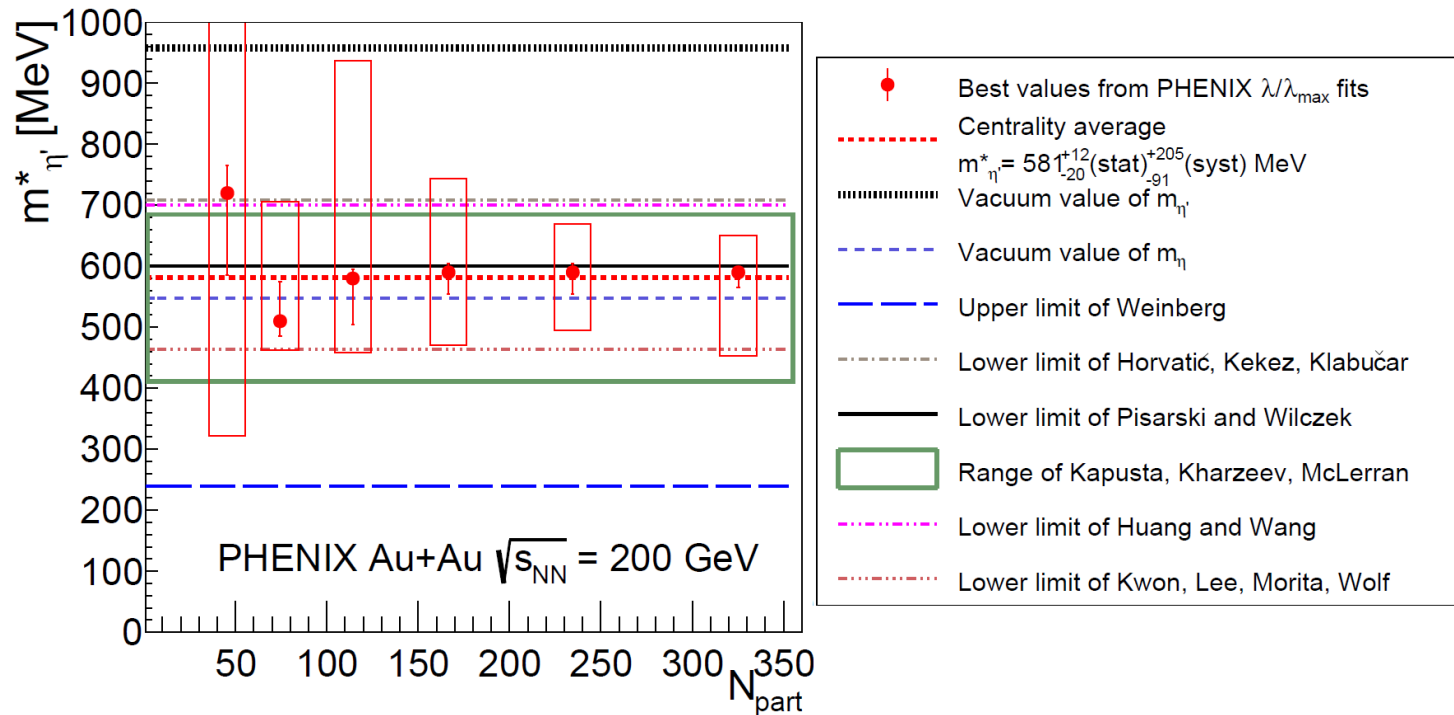
$$C_2(Q) = 1 + \lambda^* \exp(-Q^{\alpha_L} R^{\alpha_L})$$

- A λ^* paraméter értéke függ az η' közegbéli tömegétől
- Alacsonyabb a tömeg, mélyebb a lyuk
- A λ^* elméleti görbéit szimulációkból nyertük
- Jobbra: példa régebbiről



Az analízis konklúziója

Összesen 6 centralitási osztályban meghatároztuk, hogy milyen közegbéli η' tömeg írja le legjobban a mért adatokat:



Eredményeink szerint:

- A mérési adatok 6-ból 5 eset ben az η' közegbéli tömegmódosulását jelzik.
- Az η' tömegének majdnem a felét veszíti el a forró közeben.

Összefoglalás

Magyar részvétel a PHENIX kollaborációban, legfrissebb eredmények:

- Bose-Einstein korrelációs függvények mérése 6 centralitási osztályban
- Mérési adatok és szimulációk összehasonlítása: η' közegbéli tömegének meghatározása
- ***A mérési adatok konzisztensek azzal az elképzeléssel, hogy az η' tömege lecsökken a forró közegben, ami szerint a királis szimmetriában fellépő anomália helyreáll.***
- Eredményeink bizonyos elméleteket megerősítenek, bizonyos elméleteket kizárnak:

$$m_{\eta'}^* = 0.606 m_{\eta'} (\pm 3\% \text{ statisztikai hiba})$$