

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Forró, erősen kölcsönható anyag kutatása a RHIC gyorsító PHENIX kísérleténél

Vértesi Róbert

témavezetők: Prof. Dávid Gábor, PhD.
Prof. Csörgő Tamás, Dr.Sci.



DEBRECENI EGYETEM

Fizika doktori iskola

Debrecen, 2010. december 31.

Az eredmények összefoglalása

A RHIC 2000-ben kezdte meg működését, és az elmúlt évtized során az erős kölcsönhatás közegbeli működéséről alkotott képünk gyökeresen megváltozott. Dolgozatomban az elméleti háttér ismertetésével összefoglalom a főbb RHIC eredményeket, amelyek elvezettek a tökéletes folyadék felfedezésének 2005-ös, és az erősen kölcsönható kvark–gluon plazma 2010. februári hivatalos bejelentéséhez. Ismertetem a RHIC gyorsítókomplexumot, nagy hangsúlyt fektetve a PHENIX kísérletre, amelyben részt veszek. A nagyenergiás nehézionfizika területén végzett munkám a forró maganyag Bose–Einstein korrelációs analízise, valamint a PHENIX-ben észlelt fotonok és hadronok spektrumainak meghatározására terjed ki. Bár ezen eredményeim önmagukban is érdekesek, legfőbb jelentőségük az, hogy hozzájárulnak a RHIC működése során kialakuló új összkép jobb megértéséhez.

PhD. tanulmányaim során a detektor üzemeltetésétől, kalibrációjától kezdve a kísérlet szoftverének karbantartásán és fejlesztésén keresztül a tudományos publikációk előkészítéséig a kísérleti munkának számos szintjében vettem részt. Legfontosabb új tudományos eredményeim az alábbi tézispontokban foglalom össze.

1. A PHENIX elektromágneses kaloriméterének kalibrációja

Elvégeztem a PHENIX elektromágneses kaloriméterének repülésiideő-kalibrációját a 2005. adatgyűjtési időszak Cu+Cu, a 2006. év p+p és a 2007. év Au+Au ütközéseire. Az időjel energiafüggését a PHENIX kísérletben korábban a detektoregységekbe juttatott lézimpulzusokkal szimulált záporok segítségével határoztuk meg, azonban ez nem volt kielégítő pontosságú. Kifejlesztettem egy módszert, amely az idő–energia függést valós ütközések adataiból határozza meg, ezzel megbízhatóbbá téve a részecskék repülési idejének rekonstrukcióját. Továbbfejlesztettem és karbantartottam a kaloriméter rekonstrukciós szoftvercsomagját, és létrehoztam egy az adatgyűjtés során azonnal lefutó, előzetes kaloriméter-kalibrációt készítő szoftvert, amely a 2006. évtől kezdve üzemel [a]. A kalibráció eredményét többek között a nagy transzverzális impulzusú semleges pionok nukleáris módosulási tényezőjére jellemző energiafüggés meghatározásában használtuk fel [1].

2. Semleges pionok szelekciója sztochasztikus vágással

Kifejlesztettem egy a PHENIX kísérlet elektromágneses kaloriméterében észlelt részecskék azonosítására irányuló, a fuzzy logikán alapuló módszert a 2003-as évben mért d+Au ütközések adatai alapján. Ez az ún. *sztochasztikus vágás* minden korábbinál hatékonyabbnak bizonyult. A módszerem az elektromágnesesen kölcsönható részecskék azonosításán (így a semleges pionok és a direkt fotonok spektrumának mérésén) túl hadronok, pl. antineutronok kiválasztására is alkalmas [b]. Az eredmény optimális voltát mesterséges neurális hálós analízissel ellenőriztem. Részt vettem annak a PHENIX munkacsoportnak a tevékenységében, amelyik ezt a módszert a $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV-es Au+Au ütközéseiben észlelt *semleges pionok* spektrumának meghatározására alkalmazta [2].

3. A szimuláció verifikációja és a direkt fotonok spektruma

Elvégeztem a PHENIX ólom-szcintillátor és ólomüveg kaloriméteréből származó válaszjelek szisztematikus analízisét a 2002-es évben mért Au+Au ütközések adatain a vonatkozó *szimulációk verifikációját* [c]. Ezzel lényegesen hozzájárultam a PHENIX $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV-es Au+Au ütközéseiben észlelt semleges pionok és a *direkt fotonok* spektrumainak meghatározásához [d], amiket a [3] hivatkozásban publikáltunk.

4. PHENIX források és THERMINATOR szimulációk

Megmutattam, hogy a rezonanciabomlások helyes kezelésére fókuszáló THERMINATOR szimulációk segítségével a PHENIX egydimenziós pionforrás-leképezésének transzverzális impulzustól és centralitástól való függése reprodukálható. A forráseloszlás hatványfüggvény-jellegű lecsengését ezekben szimulációkban a különböző bomlásidejű rezonanciák eloszlásával lehet megmagyarázni. Megmutattam továbbá, hogy a THERMINATOR nem képes leírni az irányfüggően mért PHENIX forrásfüggvényeket. Ez arra utal, hogy a rezonanciák bomlásai önmagukban nem adnak kielégítő magyarázatot a forrás tapasztalt szerkezetére [e, f].

Az egydimenziós pion-forrásfüggvények hatványfüggvényszerű lecsengését a rezonanciákon kívül a hadronok anomális diffúziójának figyelembe vétele segítségével is értelmezni lehet. Észrevettem, hogy a $\pi^\pm$, $K^\pm$ és $p^\pm$ forrásfüggvények közti eltérések különbséget tehetnek az anomális diffúzióból és a rezonanciabomlásból származó hatások között. A PHENIX $K^\pm$ - $K^\pm$ korrelációs mérésében kimutattuk, hogy a kaonok forrásfüggvényében a lecsengő rész súlya nagyobb, mint a pionokéban, holott kaonokra kevesebb rezonancia bomlik. Ezzel megmutattuk, hogy nem a lassan bomló rezonanciák okozzák a forrásfüggvény hatványfüggvény-jellegű lecsengését [4, f].

5. Az η' mezon forró, sűrű közegben való tömegcsökkenése

A fizikai vákuumban az erős kölcsönhatás $U(3)_L \times U(3)_R$ királis szimmetriacsoportjának axiális, $U_A(1)$ része sérül. Elméleti megfontolások szerint azonban sűrű, forró közegben az $U_A(1)$ szimmetria részben helyreáll, aminek következménye, hogy az η' mezon tömege a 958 MeV-es vákuumbeli értékéről a többi pszeudoskalár mezon tömegének közelebbe csökkenhet. Termikus szimulációk segítségével modelleztem ezt az effektust, és megállapítottam, hogy a RHIC 200 GeV-es arany-arany ütközéseiben mért adatok egy széles modellosztály keretein belül csak úgy magyarázhatóak, ha az η' mezonok tömege legalább 200 MeV-rel lecsökken [5], 99.9% konfidenciaszint mellett. A legvalószínűbb érték $m_{\eta'}^* = 340^{+50}_{-60} {}^{+280}_{-140} \pm 42$ MeV (A hibák rendre statisztikus, modellfeltevéseken alapuló, illetve egyéb szisztematikus hibák.) [6, g]. Ellenpróbaként ellenőriztem, hogy nem termikus, tömegcsökkenés nélküli szimulációk az adatokat nem reprodukálják.

6. Az η' és az η mezonok spektrumai a RHIC ütközéseiben

Meghatároztam a forró, sűrű közegben keletkező η és η' mezonok legvalószínűbb spektrumát. A szimmetria helyreállásának másik következménye ugyanis az η' és η mezonok spektrumának megváltozása a naiv várakozásokhoz képest. Amellett, hogy a reakcióban keletkező η' mezonok darabszáma megnövekszik, a spektrum alakja is megváltozik: az m_T -skalázást megtörő, kis impulzusú η' -k jelennek meg nagy számban [6, g].

Kapcsolódó publikációk

Kiemelt referált közlemények

- [1] A. Adare, ... G. Dávid, R. Vértési *et al.* [PHENIX Collaboration]
„Onset of π^0 Suppression Studied in Cu+Cu Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=22.4, 62.4, \text{ and } 200 \text{ GeV}$,”
Phys. Rev. Lett. **101**, 162301 (2008).
- [2] A. Adare, ... G. Dávid, R. Vértési *et al.* [PHENIX Collaboration]
„Suppression pattern of neutral pions at high transverse momentum in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ and constraints on medium transport coefficients,”
Phys. Rev. Lett. **101**, 232301 (2008).
- [3] K. Adcox, ... T. Csörgő, G. Dávid, R. Vértési *et al.* [PHENIX Collaboration],
„Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX collaboration,”
Nucl. Phys. A **757**, 184 (2005).
- [4] S. Afanasiev, ... T. Csörgő, R. Vértési *et al.* [PHENIX Collaboration]
„Kaon interferometric probes of space-time evolution in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$,”
Phys. Rev. Lett. **103**, 142301 (2009).
- [5] R. Vértési, T. Csörgő and J. Sziklai
„Significant in-medium reduction of the mass of η' mesons in $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ Au+Au collisions,” Nucl. Phys. A **830**, 631C (2009).
- [6] T. Csörgő, R. Vértési and J. Sziklai
„Indirect observation of an in-medium η' mass reduction in $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ Au+Au collisions,” Phys. Rev. Lett. **105**, 182301 (2010).

Kiemelt jegyzetek, előadások, leiratok

- [a] R. Vértési, G. Dávid, T. Csörgő
„*EMCal ToF Calibration and Slewing Effects in Year 5 Cu+Cu, Year 6 p+p and Year 7 Au+Au collisions,*”
PHENIX Technical Note 428, 2008/06/30,
http://www.phenix.bnl.gov/phenix/WWW/publish/vertesi/tof_tn/tof_tn.pdf
- [b] R. Vértési, G. Dávid
„*Charge Veto and Antibaryon Cuts in the EMCal,*”
PHENIX Hadron Physics Working Group talk, 2004/02/27.
- [c] G. Dávid, T. Sakaguchi, R. Vértési,
„*Simulation Verification in the EMCal PbSc Shower Characteristics of Hadrons,*”
PHENIX Analysis Note 330, 2004/10/11.
- [d] T. Isobe, G. Dávid, T. Sakaguchi, B. Sahlmüller, H. Hamagaki, R. Vértési, J. Imrek,
„*Measurement of direct photon spectra with PbSc EMCal in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au Collisions at Run4,*”
PHENIX Analysis Note 490, 2006/04/13.
- [e] M. Csanád, T. Csörgő, M. I. Nagy, R. Vértési
„*Analyzing heavy tails in pion source function,*”
PHENIX Analysis Note 527, 2006/11/02.
- [f] R. Vértési for the PHENIX Collaboration
„*THERMINATOR simulations and PHENIX images of a heavy tail of particle emission in 200 GeV Au+Au collisions,*”
Proceedings of 23rd Winter Workshop on Nuclear Dynamics, Big Sky, Montana, USA (EP Systema, Budapest, 2007).
- [g] R. Vértési, T. Csörgő and J. Sziklai
„*Significant in-medium η' mass reduction in $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV Au+Au collisions at RHIC,*”
e-print: [arXiv:0912.0258 [nucl-ex]] (Submitted to PRC).