

Beszámoló
a T47050
“Effektív elméletek nehézion ütközésekben”
OTKA pályázathoz

A kutatási projektben a brookhaveni RHIC gyorsító legújabb méréseihez igazodva vizsgáltuk a részecskekeltésben a nukleáris effektusokat. Az előző OTKA pályázatban az ütközési tengelyre merőlegesen érkező, ún. nulla rapiditású esetben vizsgált Cronin jelenségkör újabb érdekes aspektusait tanulmányoztuk az új kísérletek fényében, és ehhez végeztünk elméleti számolásokat.

2004-ben a BRAHMS és STAR kísérlet eredményeinek fényében a fő kutatási téma a nukleáris effektus rapiditásfüggése volt. Az erősen előre- és hátraszórt hadronok esetében a naiv modellek jóslataival pont ellentétes hatást tapasztaltak: a nagy rapiditású mérések erőteljes elnyomást mutattak az előremutató irányba. Ennek egy lehetséges magyarázata lenne a színes üveg kondenzátum (Color Glass Condensate - CGC) megjelenése, azonban annak egyes megfigyelt esetekben elvi problémái vannak, emellett nem alkalmazható a nagy impulzusú ($x > 0.05$) folyamatokra. Kiderült azonban, hogy az általunk kifejlesztett perturbatív QCD-n alapuló modell sikeresen le tudta írni az észlelt jelenséget, külön módosítások nélkül.

A modell sikerének és az új kísérleti eredményeknek köszönhetően vizsgálatainkat kiterjeszthettük különböző centralitású deutérium-arany, réz-réz, valamint arany-arany ütközésekre is. 2005-ben a brookhaveni RHIC gyorsító legújabb mérései eredményeihez igazodva tovább vizsgáltuk a részecskekeltésben a nukleáris effektusokat. Az új kísérletek az eddigieknél nagyobb rapiditástartományt tettek elérhetővé, miáltal a nemrég felfedezett új állapot, az erősen kölcsönható kvark-gluon plazma hatását vizsgálhattuk a nehézionütközésekben mind a transzverzális mind a longitudinális irányokban. A korábbi mérésekkel együtt különböző ütközési energiákon különböző ütközési centralitások esetében is sikeresen tesztelhetjük modellünket. Ezen kutatásainkat a Budapesten megrendezett Quark Matter 2005 világkonferencián mutatta be Barnaföldi Gergely Gábor.

Kutatásaink során megállapítottuk, hogy a kijövő részecskék más szintöltést érzelnek az ütközéssel megegyező, illetve az arra merőleges irányokban, és értelmeztük az eltérés okait: az ütközéssel megegyező irányban távozó gyors részecskék esetében az erősen kölcsönható kvark-gluon plazma még nem épül fel teljesen, ezért a hatása a részecskeszám elnyomás szempontjából jóval kisebb. Ennek nyomán készült el az a modell, amelyet a Hot Quarks 2006 nemzetközi konferencián mutattunk be. Ebben előreszórt, nagy rapiditású hadronok általi jet-tomográfiát elemeztük különböző energiasűrűségű (tömegközépponti energiájú és centralitású) atommag-atommag ütközésekben vizsgáltuk. A modellben a jetek energiavesztegét a QGP tágulási geometriával kombinált képpen adtuk meg. Így sikerült feloldani egy korábbi rejtélyt: a nukleáris módosulási faktor rapiditás-függetlenségét arany-arany ütközésekben.

Ezzel párhuzamosan, az év végén elkezdődött a munka a másik új brookhaveni kutatási irány, a kétrészecske-korrelációk vizsgálatára. A PHENIX és STAR kísérletek egyik új, áttörő eredménye a kétrészecske korreláció, a jet-jet korreláció vizsgálata volt. Az általunk felépített modellben sikerült azonosítani és letisztázni a kísérleti mérésekben használt korrelációs paraméterek számolási módját, valamint fizikai eredetüket. Számolásainkat -- a rendelkezésre álló adatok alapján -- ellenőriztük a korábbi ISR, illetve a legújabb RHIC kísérletekre.

Megmutattuk, hogy mely esetben lehet kinyerni a kísérleti adatokból a partonok kezdeti transzverz impulzus eloszlását a nukleonokban, és javaslatot tettük a kísérleti kollegáknak a analízis eljárások elvégzésére a rendelkezésükre álló adatok alapján.

Az év során márciusban rendeztünk egy mini workshopot 15 fő részvételével a RHIC fizikáról, augusztus elején pedig a szakma legrangosabb konferenciáját, a Quark Matter 2005-t szerveztük meg, nagy sikerrel. Doktoranduszunk, Barnaföldi Gergely Gábor befejezte, és beadta doktori dolgozatát. A dolgozat megvédésére 2006 februárjában került sor.

2006-ban kutatócsoportunk folytatta a RHIC nehézion programja eredményeinek értékelését a kidolgozott modelleink alapján. Az új mérési eredmények kiterjednek a nagy transzverz momentumú részecskekeltés elnyomására nehézionütközésekben (nagyobb statisztika), nagy rapidástartományú szisztematikus vizsgálatára (új eredmények, illetve javított statisztikák), valamint a kétrészecske korrelációs vizsgálatokra (új eredmények).

Az Fermilab E706 és a RHIC kísérleti eredményei alapján megvizsgáltuk a Cronin effektusként azonosított nukleáris effektus skálázását. Analízisünkéből kiderült, hogy a többszörös nukleon-nukleon szórás eredményeként létrejövő relatív részecskehozam transzverzális impulzusban vett maximumhelye az ütközés tömegközépponti energiájának logaritmusával változik. Ennek nyomán becslést adtunk a hamarosan induló Nagy Hadron Ütköztető (LHC CERN) energiáin mérhető Cronin-csúcs helyére. Eredményeinket a shanghai Quark Matter 2006 konferencián mutattuk be 2006 novemberében.

2007-ben munkánk során beépítettük az eddigi modelleinkbe a Hirai-Kumano-Nagai (HKN) csoport legújabb nukleáris partoneloszlás függvényeit, melyek már a nukleáris módosulási faktor hibabecslésére is lehetőséget adtak. A nukleáris partoneloszlás függvények ezen új generációja lehetővé tette, hogy a megvizsgáljuk a hideg maganyagban keltett jetek kölcsönhatását a nagyenergiás ütközésben létrejött hideg színes anyaggal. Eredményeink a júveskulai High-pT Physics at the LHC tudományos konferencián ismertettük.

Ugyanebben az évben vált publikussá az Albino-Kniel-Kramer (AKK) csoport által készített fragmentációs függvény parametrizáció. Ennek a programkódba implementálása lehetővé tette, hogy számolásainkat kiterjeszthessük a kaon, lambda és proton produkcióra. A STAR és PHENIX kísérletek adatait figyelembe véve, igen jó egyezést sikerült elérni a közepes és nagy transzverzális impulzusú tartományokban. Emellett kiszámítottuk a részecskearányokat RHIC energiákon, valamint megjósoltuk a várható arányokat LHC energiákon. Eredményeinket a lőcsei Strange Quark Matter 2007 és a CERN-ben tartott Last Call for Prediction for the LHC konferencián ismertettük, valamint két cikkben publikáltuk a J. Phys. G folyóiratban.

2008. március 16-19 között Tokajban megrendeztük a 3. Nemzetközi Workshopot a Nagy- p_T Fizika az LHC-nél témakörben (3rd International Workshop on High- p_T Physics at LHC). A rendezvény aktualitását az adta, hogy 2008 őszén várhatóan elindul az LHC, ezért kívánatosnak tűnt a kapcsolódó elméleti és kísérleti kérdések áttekintése. Az 50 résztvevő fele külföldről érkezett, ugyanakkor a résztvevők fele az LHC gyorsító kutatási témáin dolgozó fiatal kutató vagy doktorandusz volt. 30 előadás hangzott el a proton-proton és nehézion ütközésekben keletkező nagy transzverzális impulzusú részecskék tulajdonságainak elméleti és kísérleti vizsgálatának tárgyköréből. A Workshop nagyon sikeres volt, jelenleg készül az előadások anyagából összeállított Proceedings szerkesztése, amely a Proceedings of Science sorozatban, elektronikusan jelenik meg. Az OTKA téma a magyar diákok részvételét támogatta.

2008. február 4-10 között Jaipurban (India) zajlott a Quark Matter 2008 konferencia, amely a kvarkanyag kutatás két évente lezajló nagy nemzetközi seregszemléje, 600 résztvevővel. (Ez a konferencia 2005-ben Budapesten került megrendezésre az OTKA tagjainak aktív szereplése mellett.) A mostani konferencia legizgalmasabb témája a nagyenergiás proton-proton és nehézion ütközésekben mérhető hadron-hadron korrelációk témaköre volt, amelyet mind kísérletileg, mind elméletileg kimerítően vizsgáltak a konferencia résztvevői. Az OTKA téma támogatásával Papp Gábor, Barnaföldi Gergely Gábor és Lévai Péter is részt vett a konferencián, két előadást és három posztert bemutatva a fenti és kapcsolódó témakörben. E munkából két Journal of Physics G cikk, valamint egy Indian Journal of Physics publikáció született.

Eredmények:

A hadron részecskekeltésben nagy rapiditásablakban tapasztalt elnyomás alakja vizsgálataink szerint jelentős végkölcsonhatásra utalnak mind a longitudinális, mind a transzverz irányban. Az arany-arany és a réz-réz ütközések tanulmányozása alapján levontuk azt a következtetést, hogy az ütközés során kialakul jelentős színtöltést hordozó közeg opacitása arányos az ütközésben résztvevő részecskék számával, és az opacitás rapiditásfüggése lehetővé teszi a kezdeti geometria rekonstruálását.

A kísérleti korrelációs adatok értékeléséhez kidolgoztunk egy, a kinematikán alapuló egyszerűsített modellt fenomenológikus paraméterezésekkel. A modell alapján kiszámolható a párok átlagos transzverz impulzuskülönbsége, és megállapítható, hogy az mennyire véletlenszerű. Az eredmények megerősítették az átlagos transzverz impulzuseloszlás szélességére vonatkozó korábbi, egyrészecske spektrumok analízisére épülő eredményeinket. Felhívtuk a figyelmet a kísérleti adatok kiértékelése során alkalmazott közelítésekre, és javasoltuk azok fennállásának ellenőrzését.

Az elért eredményeket nemzetközi folyóiratokban publikáltuk, valamint számos konferencián mutattuk be, beleértve a Jaipuri QM2008 (3 poster, 2 előadás), a Shangai QM2006 konferencia (egy plenáris előadására és 2 poszterére), rangos folyóiratokban jelentettük meg, illetve ez évben készült el az általunk szervezett QM2005 konferencia proceedingje is.