

Nagy impulzusú részecskék vizsgálata nehézion-ütközésekben

doktori értekezés tézisei

Hamar Gergő

Fizika Doktori Iskola

Részecskefizika és Csillagászat Program

Témavezetők:

Dr. Lévai Péter

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Dr. Varga Dezső

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Budapest, 2014.

Bevezetés

Doktori munkám a nehézion ütközéseket vizsgáló CERN ALICE kísérlethez tervezett VHMPID detektorhoz kapcsolódik. A disszertáció a tervezett fizikai program inspirálta elméleti munkámat és a modern detektorfizikai kutatási-fejlesztési eredményeimet tartalmazza.

A modern technika vívmányai közül a részecskegyorsítók és hadronütköztetők segítségével lehetőségünk nyílt az Univerzum őanyagának, a kvak-gluon-plazmának (QGP) laboratóriumi előállítására és kísérleti vizsgálatára. Bár az anyag ezen korábban nem ismert fázisát csupán igen rövid időre vagyunk képesek előállítani, megfelelő eszközökkel sokmindent megtudhatunk róla, mely közelebb vihet minket az alapvető természeti erők és a Univerzum fejlődésének megismeréséhez.

A protonokba és neutronokba zárt kvarkokat és gluonokat nehézionok ütköztetésével szabadítjuk fel, és így hozhatjuk létre földi körülmények között a forró és erősen kölcsönható QGP fázist. A plazma pillanatszerű keletkezése után tágulni és hűlni kezd, majd újra hadronokba záródik. Ezen végtermékek precíz és sokoldalú mérésével lehet az eredeti anyag tulajdonságaira következtetnünk.

Az újrahadronizáció megértése és leírása kulcsfontosságú a színes plazma részletes vizsgálatához. A részecskeprodukciónak mechanizmusok közül a termikus modellek és a kvak koaleszcencia modellek kínálnak megfelelő leírást. Utóbbinak kétségtelen előnye, hogy struktúrájában hordozza a kísérletileg megfigyelt kvarkszám skálázást, illetve lehetőséget biztosít részecskekorrelációk kezelésére. A kísérleti technikák fejlődésével a megfelelő részecskeazonosítással a keletkező hadron rezonanciák is vizsgálhatóvá váltak, amelyeket a korábbi koaleszcencia

modellek nem tudtak kezelni. A VHMPID segítségével LHC energiákon is megnyílik a lehetőség nehéz rezonanciák mérésére, amely a modellsalád továbbfejlesztését kívánja meg.

A CERN LHC gyorsítójának nehézionfizikára specializálódott kísérlete az ALICE. A kilencvenes évektől tervezett kísérlet összetett detektorrendszere az ütközésenként keletkező több ezer részecske egyenkénti nyomkövetését és azonosítását célozta meg. A RHIC gyorsító új eredményeinek fényében azonban érdemes az ALICE kísérletet kiegészíteni a nagy impulzusú részecskék azonosításával.

Ezt a feladatot a VHMPID, egy gáztöltésű gyűrűformáló Cserenkov detektor látná el, amely a kísérlet egyedi részecskeazonosítási tartományát 5 GeV/c-ről 25 GeV/c-re növelné. Az érdekes nagy impulzusú részecskék ritka megjelenése miatt a detektornak egy speciális triggerre is szüksége van, amit majd a HPTD detektor szolgáltat. Ez a több rétegű, gáztöltésű kamrákból álló rendszer különböző szintű gyors trigger jelek előállításával mellett nyomkövető funkciót is betölt, ami a VHMPID számára nélkülözhetetlen.

A kiváló működés megkövetelte speciális igények miatt elengedhetetlen volt mindkét detektor esetén a precíz kutatási-fejlesztési munka. A HPTD esetén kis anyagmennyiségű és szűk válaszfüggvényű töltött részecskéket érzékelő detektorra, míg a VHMPID esetén kiváló fotondetektálásra van szükség. A klasszikus és módosított sokszálas kamrákon túl a modern mikrostruktúrák, illetve hibrid technológiák is színesítik a lehetőségek tárházát. A megfelelő jelöltek kiválasztása és részletes tesztjei elsőrendűek a végső detektor megfelelő működése szempontjából.

Kutatási eredmények

A kvark-gluon-plazma hadronizációja során keletkező alapállapotú hadronikus részecskék ugyan leírhatóak koaleszcencia modellekkel, ám a nehéz rezonanciáknál problémák jelentkeznek. Megalkottam az alapjait egy, a keletkező hadronrezonanciák produkcióját kezelni képes koaleszcencia modellt (RCM). Az új modell képes megjósolni nagy tömegű rezonanciák keletkezésére, kiterjeszthető ritka és bájos ízekre, valamint megőrzi a kvarkszám skálázást.

A VHMPID kísérleti kutatási és fejlesztési munkálatainak részeként a REGARD csoportban részletesen foglalkoztam a HPTD detektor felépítésével és teszméréseinek analízisével; különös tekintettel a mikrostruktúras TGEM és az új típusú sokszálas CCC alapú részecskedetektálás, valamint az ALICE kísérletbe való integrálás témakörével.

Részt vettem a VHMPID első nagy méretű prototípusának tesztmérésein, mérési adatok analízisével elősegítettem a további fejlesztési irányok pontosítását.

A mikrostruktúras alapú TCPD fotondetektor tervezésével, tesztjeivel és analízisével kimutattam annak Cserenkov-detektorokban való használhatóságát. A nagy felbontású felületi mérések bevezetésével és méréseink analízisével új eszköz született a mikrostruktúras detektorok vizsgálatára.

1. **Hadronrezonanciák keltése koaleszcencia modellel**

Kifejlesztettem a Rezonancia Koaleszcencia Modellt (RCM), amely egy kvark koaleszcencia alapú modellt, ahol a relativisztikus mechanika használatával elérhetővé tettem a nagy tömegű állapotok keltését. A különböző kvarktartalmú hadroncsaládok megjelenési függvényével pedig a rezonanciák keletkezésére adtam jóslatot.

Megmutattam, hogy az RCM modell alkalmas az új ízek, például bájos szektor figyelembe vételére. A charmonia és nyitott-bájos állapotok produkciója azonban erősen függ a kezdeti paraméterek megválasztásától. Kiszámítottam, hogy a rezonanciák bevezetésével felmerült kvarkszám skálázástól való eltérés elhanyagolható. [1, 9, 10, 11, 12]

2. **A HPTD feladataira alkalmas detektorrendszer kifejlesztése**

A HPTD céljaira, azaz a triggerjel- és a VHMPID-en áthaladó részecskepályák mérésére a sokszálas és a mikrostruktúrák technológia is alkalmasnak tűnt. Az ígéretes TGEM alapú lehetőség esetén megmutattam, hogy a kívánt hely- és időfelbontás elérhető, de a szikrázási problémák miatt jelenleg nem ez az optimális választás. [13, 14]

Az általunk kifejlesztett ún. CCC típusú sokszálas kamrákról megmutattam, hogy a HPTD összes kívánalmait teljesíti, és a technológia nagy méretben is használható, kis anyagmennyiségű, költséghatékony detektorok építését teszi lehetővé. [2, 3, 15, 16]

3. VHMPID és HPTD megvalósíthatósági vizsgálata

A VHMPID nagyméretű prototípusának tesztje után az adatok analízisével megmutattam, hogy a detektor egyes elemi részei mennyire felelnek meg az elvárásoknak, illetve szimulációs jóslatoknak.

A mérési adatok alapján megvizsgáltam a HPTD detektor legfontosabb paramétereinek megvalósíthatóságát. Megmutattam, hogy a CCC kamrák segítségével kiváló L1 triggerrel hozhatunk létre. A MIP detektáláshoz szükséges hatásfoka kiváló, valamint L0 triggerként eléri a megfelelő ALICE-os követelményeket. [4, 5, 6, 16, 17]

4. Mikrostruktúrák TCPD fotondetektor vizsgálata

Kifejlesztettem egy UV tartományban működő gáztöltésű hibrid fotondetektort, a TCPD-t. Megmutattam, hogy az eszköz használható Cserenkov-sugárzás detektálására. [7]

A detektálás kulcsfontosságú eleme egy TGEM, amelynek nagy felbontású feltérképezésére kidolgoztam egy mérési technológiát. A mérésekkel számszerűsíteni lehetett a TGEM erősítési és fotonbegyűjtési mikrostruktúráját. [8, 19]

Tézispontként nem említett további munkám részeként részt vettem nem koaleszcencia alapú hadronprodukción mechanizmusok fejlesztésének diszkusszióiban [20]. Valamint a CCC technológia geo- és környezetfizikai alkalmazásainak munkálataiban, nevesen egy CCC alapú kozmikus müöntomográf kifejlesztésében és vizsgálataiban [23, 24, 25, 26, 27].

Hivatkozások

[**Referált nemzetközi folyóiratban megjelent cikkek**]

- [1] G. Hamar, P. Lévai
Resonance production in a quark coalescence framework
J.Phys.G 35 (2008) 104075
- [2] D. Varga, G. Hamar, G. Kiss
Asymmetric multi-wire proportional chamber with reduced requirements to mechanical precision
Nucl.Instrum.Meth. A 648 (2011) 163
- [3] D. Varga, G. Hamar, G. Bencédi, G. Kiss
Close Cathode Chamber: Low material budget MWPC
Nucl.Instrum.Meth. A 698 (2013) 11
- [4] A. Di Mauro et al. (VHMPID Collaboration, incl. G. Hamar)
The VHMPID RICH upgrade project for ALICE at LHC
Nucl.Instrum.Meth. A639 (2011) 274
- [5] A. Agocs et al. (VHMPID Collaboration, incl. G. Hamar)
Very high momentum particle identification in ALICE at the LHC
Nucl.Instrum.Meth. A617 (2010) 424
- [6] T. V. Acconcia et al. (VHMPID Collaboration, incl. G. Hamar)
A Very High Momentum Particle Identification Detector
Eur.Phys.J.Plus 129 (2014) 91
- [7] G. Hamar, D. Varga
TCPD, a TGEM based hybrid UV photon detector
J.Instr. 8 (2013) C12038

- [8] G. Hamar, D. Varga
High Resolution Surface Scanning of Thick-GEM for Single Photo-Electron Detection
Nucl.Instrum.Meth. A 694 (2012) 16
- [**További tézispontokhoz kapcsolódó közlemények**]
- [9] G. Hamar, L. L. Zhu, P. Csizmadia, P. Lévai
Strange hadron yields and ratios in heavy ion collisions at RHIC energy
J.Phys.G 35 (2008) 044067
- [10] G. Hamar, L. L. Zhu, P. Csizmadia, P. Lévai
The robustness of quasiparticle coalescence in quark matter
Eur.Phys.J.ST 155 (2008) 67
- [11] G. Hamar, P. Lévai
Charmonium resonance production from quark coalescence
PoS EPS-HEP2009 (2009) 033
- [12] G. Hamar, P. Lévai
Strange and nonstrange hadron resonance production by quark coalescence investigating quark number scaling
Acta Phys.Pol. B Supp. 5 (2012) 451
- [13] G. Hamar, D. Varga
Thick-GEM Based Trigger Detector development
IEEE NSS Conf.Rec. 2008 (2008) 955
- [14] G. Hamar, D. Varga
Vastag-GEM trigger az ALICE kísérlethez
MNT Nukleon 2 (2009) 47
- [15] D. Varga, G. Hamar, G. Kiss
Close Cathode Chamber: cost efficient and lightweight detector for tracking applications
Proceedings of Science TIPP2014 (2014) 066

- [16] L. Boldizsár et al. (VHMPID Collaboration, incl. G. Hamar)
High-p(T) trigger detector development for the ALICE
experiment at CERN
Nucl.Phys.Proc.Suppl. 197 (2009) 296
- [17] G. Hamar for the VHMPID Collaboration
VHMPID : ALICE detector upgrade proposal in the high-pT
region
CERN Proc. 2012-001 Proc. 6th Int.Ws. High pT Phys. At LHC
(2012) 140
- [18] G. G. Barnafödi et al. (VHMPID Collaboration, incl. G. Hamar)
Letter of Intent of a Very High Momentum Particle Identification
Detector (VHMPID) for ALICE
CERN ALICE (2013) 1
- [19] G. Hamar, D. Varga
High granularity scanner for MPGD based photon detectors
Proceedings of Science TIPP2014 (2014) 056
- [**Egyéb kutatási közlemények**]
- [20] J. Cleymans, G. Hamar, P. Lévai, S. Wheaton
Near-thermal equilibrium with Tsallis distributions in heavy ion
collisions
J.Phys.G 36 (2009) 064018
- [21] VHMPID Collaboration (incl. G. Hamar)
R&D studies of a RICH detector using pressurized C4F8O
radiator gas and a CsI-based gaseous photon detector
Nucl.Instrum.Meth. A732 (2013) 361

- [22] L. Boldizsár for the VHMPID Collaboration (incl. G. Hamar)
HPTD: The High-pT Trigger Detector for ALICE VHMPID,
feasibility and Monte Carlo simulations
CERN Proc. 2012-001 Proc. 6th Int.Ws. High pT Phys. LHC
p144
- [23] G. G. Barnaföldi, D. Varga, L. Oláh, G. Hamar, H. G. Melegh,
G. Surányi
Portable Cosmic Muon Telescope for Environmental
Applications
Nucl.Instrum.Meth. A 689 (2012) 60
- [24] L. Oláh, G. G. Barnaföldi, G. Hamar, H. G. Melegh, G. Surányi,
D. Varga
CCC-based Muon Telescope for Examination of Natural Caves
Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 1 (2012) 229
- [25] G. G. Barnaföldi, D. Varga, L. Oláh, G. Hamar, H. G. Melegh,
G. Surányi
Kincskeresés kozmikus müonokkal
Fizikai Szemle 61.12 (2012) 401
- [26] D. Kálmán, G. G. Barnaföldi, D. Varga, L. Oláh, G. Hamar, H.
G. Melegh, G. Surányi
Kozmikus müonok elnyelődése vas és ólom abszorbensben
Nukleon 5 (2013) 122
- [27] L. Oláh, G. G. Barnaföldi, D. Varga, G. Hamar, H. G. Melegh,
G. Surányi
Cosmic muon detection for geophysical applications
Adv. in High Energy Phys. (2013) 560192

