

Nagyenergiájú proton-atommag kölcsönhatások további kísérleti vizsgálata

Siklér Ferenc, Wigner FK RMI NFO, Hadronfizika kutatócsoport

1. A kutatócsoport összetétele

A csoport az RMI Nagyenergiás Fizikai Osztályán működik. Hadronok – főként protonok és atommagok – kölcsönhatásainak kísérleti vizsgálatával (adatfelvétel, kiértékelés, publikálás) foglalkozunk. Tagjaink vezető szerepet játszanak a CERN CMS kísérletének nehézionfizikai kiértékelő csoportjában (Krajczár K, Siklér F, Zsigmond AJ), az NA61 kísérlet adatfelvételében és kiértékelésében (Fodor Z, László A), továbbá az ALICE kísérlet adatainak elemzésében is (Lowe A, Pochybová S). A csoport aktív tagjai javarészt fiatalok, jelenleg két doktorandusz kutatónk van (a régebb óta külső tagokat nem listázzuk):

Név	Beosztás	Fokozat	FTE
Siklér Ferenc	tud. főmts.	PhD (1998)	1
László András	tud. mts.	PhD (2008)	0,3
Lowe, Andrew John	tud. mts.	PhD (2008)	1
Krajczár Krisztián	fiatal kutató	PhD (2012)	0,25
Pochybová, Sona	fiatal kutató	<i>PhD (2014)*</i>	1
Zsigmond Anna Julia	fiatal kutató	<i>PhD (2015)*</i>	1
Pálla Gabriella	emerita	DSc	
Fodor Zoltán	külső	CSc	0,5
Sziklai János	tud. főmts.	CSc	
Hegyí Sándor	tud. mts.		0,5
Boldizsár László	tud. mts.		0,5

* a fokozatszerzés várható éve

Három vezető kutatónk kiemelkedő teljesítményei az elmúlt három évből:

Siklér F: független kutatások (új kiértékelési módszerek); döntő hozzájárulás a CMS kísérlet hadronfizikai cikkeihez; a CMS kísérlet QCD csoportjának vezetője (2010-2011); a CMS kísérlet publikációs bizottságának tagja, nehézion tanács (2012-); az MTA Fizikai Osztályának díja (2010); az MTA Rézecskefizikai Tudományos Bizottságának titkára (2012-), közgyűlési képviselő (2013-); CERN scientific associate (2011-2012), CERN ECFA tag (2010-2013), SPSC tag (2013-); Certificate of Excellence in Reviewing for Physics Letters B (2012); MTA doktori védése kitűzve (2014); 42 éves

László A: az NA61 kísérlet adatgyűjtő rendszerének kiépítése, független kutatómunka (adatkiértékelés, numerikus gravitációelmélet); ELFT Jánossy-díj (2011); CERN research fellow, majd vendégkutató (2009-2013).

Krajczár K: döntő hozzájárulás a CMS kísérlet első cikkeihez, nehézionfizika; MIT postdoc (2012); CERN research fellow (2012-); CMS Achievement Award (2013) „for his contribution to the CMS High Level Trigger during the p-Pb run in 2013”.

További információk (egyéni weblapok önéletrajzzal, publikációkkal) a kutatócsoport weboldalán található: <http://www.grid.kfki.hu/twiki/bin/view/Main/HadronPhysics> (<http://goo.gl/9MxRI>).

2. Kutatási terv

Bár kutatóink több, egymással versengő kísérletben dolgoznak, tavaly – a kísérleti programok párhuzamosságait és a Wigner Kutatócsoporti Pályázat támogatását felhasználva – nagyon jó lehetőségünk nyílt egy összehangolt kutatási program elindítására: több millió nagyenergiájú proton-atommag ütközést vettünk fel, majd tanulmányoztunk $\sqrt{s_{NN}} = 17$ GeV (NA61) és 2,76 TeV (ALICE, CMS) nukleonpáronkénti energiákon.

A hadron-mag ütközéseket a nagyenergiás magfizika egyik alapvető elemének tekinthetjük, hiszen vizsgálatuk fontos szerepet játszik a mag-mag ütközések adatainak értelmezésében, a QCD-anyag fázisátmenetének tanulmányozásában, továbbá az anyag paritonikus szerkezetének kiderítésében, alacsony impulzusoknál [1]. A hadron-mag ütközések önmagukban is érdekesek lehetnek: érvényes-e a többszörös ütközéseken alapuló Glauber-modell, hogyan folyik a hadronizáció? A téma az Elméleti Osztály több kutatója érdeklődésének is középpontjában áll [2,3], így ez a választás támogatja az intézeten belüli, eddig is jól működő együtt gondolkodást.

Adatfelvétel ♦ Az NA61 kísérlet centralitás szerint differenciált proton-atommag adatai egy nagyon érdekes kérdéskörbe engednek betekintést: az eseményeink megfelelő súlyozásával azok tulajdonságai összevethetők a nagyméretű atommagok ütközéseivel [4]. Idén egy újabb p-Pb adatsort veszünk fel, megduplázva a rendelkezésre álló események számát. Mielőtt az időprojekciós kamra adatait kiértékelnénk, azok finomabb kalibrációja szükséges, elsősorban a környezeti paraméterek lassú változása miatt. A kalibrációs eljárások automatizálásával szeretnénk a fizikai analízishez használt adatok minőségét javítani [FZ,LA]. A CMS kísérletben – az LHC nagy leállása alatt – felkészülünk a jövőre újrainduló újabb nehézionos mérésekre [SF,ZsAJ].

Az ütközések centralitása ♦ Fontos feladat a proton-atommag ütközések centralitásának meghatározása, egy becslő eljárás kidolgozása. Tovább folytatjuk ezzel kapcsolatos vizsgálatainkat a CMS kísérlet keretében, a felvett p-Pb adatokat használva [5]. Célunk egy, a Pb-Pb és p-Pb ütközések centralitásának méréséről szóló összefoglaló publikáció elkészítése, továbbá az eredményeken alapuló kiértékelő szoftver fejlesztése [ZsAJ].

Az NA61 kísérletben a proton-atommag ütközésekben detektált lassú protonokkal azt vizsgáljuk, hogy számuk mennyire korrelál az ütközés centralitásával. A kapott adatokat először különböző ismert effektusokra korrigáljuk (céltárgybeli és szögfüggő abszorpció), melyhez speciálisan e célból felvett kalibrációs adatokat használunk. A szögeloszlásokat ezután többféle energián, különféle nukleonszámú céltárgy atommagok esetére készítjük el.

Töltött részecskék eloszlásai ♦ Bár az 5,02 TeV-es p-Pb ütközésben keltett részecskék eloszlásának kiértékelésével végeztünk, hátra van még a nagy p_T -n különösen érdekes, „anti-shadowing”-ra utaló eredményünk [6,7] publikálása referált folyóiratban, mely az év első felének feladata lesz [KK].

Részecske-korrelációk ♦ A p-Pb ütközésben kapott eredményeinket úgy is értelmezhetjük, hogy a keltett részecskék folyási jelenségeket mutatnak [8,9]. Egyelőre nem világos, hogy a kérdéses, részecskékkel teli tartomány elegendően nagy-e ahhoz, hogy fejlődését – a folyadékok tárgyalásánál megismert – hidrodinamika eszközeivel tárgyaljuk. A korrelációs vizsgálatok a proton-atommag ütközésekben keltett tartomány alakjáról, méretéről („homogeneity volume”) adhatnak közvetett felvilágosítást. A spektrumok kiértékelése során tavaly megszerzett ismereteinket fogjuk felhasználni a $\sqrt{s} = 0.9, 2.76$ és 7 TeV tömegközépponti energiájú p-p, valamint a $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV nukleonpáronkénti energiájú p-Pb ütközésekben keltett töltött pionok, kaonok és protonok analízisében. A munka meglehetősen nehéz, hiszen a kétrészecske korrelációs függvények nem csak a kvantumstatisztikus (Bose-Einstein, Fermi-Dirac), hanem a Coulomb- és az erős kölcsönhatásra jellemző korrelációkat is tartalmazzák, ugyanakkor jellemzőiket a rezonanciabomlások és a minijetek is befolyásolhatják. A kapott egy-, két- és háromdimenziós korrelációs függvényeket a részecskepár impulzusának, valamint az eseményben keltett töltött részecskék számának függvényében is tanulmányozni fogjuk. A javasolt analízis jól kiegészíti a jelenleg az ALICE

kísérletben nagy erővel folyó hasonló irányú kutatásokat, azzal versenyképes [SF,HS].

Müonpárookra bomló rezonanciák ♦ A p-Pb ütközésekben keltett nem erősen kölcsönható részecskék fontos szerepet játszanak a nehézion-ütközésekkel történő összehasonlításban. Ezek a részecskék a kialakuló forró maganyag tulajdonságaitól, hőmérsékletétől függően más-más számban figyelhetők meg Pb-Pb ütközésekben [10,11], mint p-Pb vagy p-p esetén. A gyenge bozonok müonpárra való bomlásainak mérésében a CMS detektor világszereplője. Csoportunk a p-Pb ütközésekben keletkező Z bozonok analizálásában érdekelt, ahol a bozonok transzverzális impulzus- és rapiditás-eloszlásait, a kapott eredmények centralitásfüggését tanulmányozzuk, valamint elméleti jóslatokkal vetjük majd össze. A mérések alapján következtethetünk a Pb magban található partonok eloszlásfüggvényeinek módosulására is [ZsAJ].

Részecskezápörök azonosítása. ♦ A hadronok ütközéseiben keletkező, nagyenergiájú kvarkoktól és gluonoktól származó részecskezápörök (jetek) tanulmányozásával megismerhetjük az előállított forró és sűrű anyag tulajdonságait. A kvarkok és a gluonok eltérő színtöltésük miatt másképp hatnak kölcsön. A kétfajta jet elkülönítése a részecskezápörök hadronikus összetevőinek vizsgálatával, összehasonlításával lehetséges [12]. A témában 2013-ban két tanulmányt is előkészítettünk, melyek publikálására fogunk ez évben vállalkozni [PS]. Tervezzük még új, jet-struktúra változók (diszkriminánsok) kifejlesztését, valamint hadronikus eseményalakok (szfericitás, aplanaritás, Fox-Wolfram momentumok) kódolását és vizsgálatát az ALICE kísérlet keretében [LAJ].

Garanciák; források és pályázatok; a kutatás jövője ♦ A kutatócsoport tagjai vezető vagy fontos szerepet játszanak a fent bemutatott kutatási témák mindegyikében. A kutatás eredményei még ebben az évben létrejöhetnek publikációk, konferencia-előadások formájában. Az egyes témákat tavalyi cikkeinkkel[†] illusztráltuk: munkánk, a nemzetközi együttműködések eredményeihez való hozzájárulásunk releváns és jól látható.

A tagok kutatásait támogató, jelenleg is aktív ill. tervezett pályázatok:

Pályázat	Kutatási téma	Témavezető	Időtartam
OTKA NK 106119	ALICE	Lévai P	2013-2016
OTKA K 81614	CMS hadron, független	Siklér F	2010-2014
OTKA K 109703	CMS	Siklér F	2013-2016
EC FP7 C 262025	független (AIDA WP2)	Siklér F (contact)	2011-2015
<i>OTKA K tervezett</i>	NA61	László A	2014-2018
<i>SNSF SCOPES beadva</i>	CMS	Siklér F (contact)	2014-2017

[1] C. Salgado, J. Alvarez-Muniz, F. Arleo, N. Armesto, M. Botje, ..., *F. Siklér, et al.*; *J Phys G*; **39**, 015010, 2012

[2] G. Barnaföldi, J. Barrette, M. Gyulassy, P. Lévai, and V. Topor Pop; *Phys Rev C*; **85**,024903, 2012

[3] G. Barnaföldi, K. Ürmössy, and T. Biró, *J Phys Conf Ser*; **270**, 012008, 2011

[4] NA61 Collaboration; *Nucl Instrum Meth A*; **701**, 99-114, 2013

[5] CMS Collaboration; CMS [DP-2013/034](#), 2013

Internal reference: E. Appelt, S.M. Dogra, *F. Siklér*, S. Tuo, Q. Xu, *A.J. Zsigmond*, CMS AN-13/060

[6] CMS Collaboration; CMS PAS [HIN-12-017](#), 2013

Internal reference: E. Appelt, Y.-J. Lee, *K. Krajczár*, Y. Mao, M. Sharma, S. Greene, CMS AN-2012/377

[7] *K. Krajczár* for the CMS Collaboration; *Nucl Phys A*; **910-911**, 339-342, 2013

[8] CMS Collaboration; CMS PAS [HIN-12-016](#), 2013; [arXiv:1307.3442](#), under review in *Eur Phys J C*

Internal reference: *F. Siklér*, CMS AN-2012/404

[9] *F. Siklér* for the CMS Collaboration; CMS [CR-2013/458](#), 2013

[10] CMS Collaboration; CMS PAS [HIN-13-004](#), 2013;

Internal reference: L. Benhabib, *A.J. Zsigmond*, M. Gardner, R.G. de Cassagnac, CMS AN-2012/085

[11] *A.J. Zsigmond* for the CMS Collaboration; CMS [CR-2013/450](#), 2013

[12] *S. Pochybová*; *Acta Phys Polon Supp*; **6**, 539-544, 2013

[†] A CMS kísérlet esetében az „Internal reference:” után az analizishez való tényleges hozzájárulást tanúsító *analysis note*-kat (AN), *detector performance note*-okat (DP), valamint az első szerzős *conference report*-okat (CR) is feltüntettük.