

3. félévi beszámoló

Szanyi István (atlantis@student.elte.hu)

Részecskefizika és csillagászat PhD program

Témavezető: Csörgő Tamás

Társ-témavezető: Csanád Máté

A dolgozat címe: A rugalmas proton-proton és proton-antiproton ütközések vizsgálata TeV energiákon

Bevezetés

A doktori tanulmányaim során végzett kutatásom elsősorban a CERN LHC gyorsító TOTEM kísérletének legújabb méréseinek az elemzését tűzi célul, ahogy ezt korábbi beszámolóimban már részletesebben is kifejtettem. Az MSc tanulmányaim alatt megkezdett kutatásaim folytatásaként a doktori tanulmányaim első másfél éve alatt jelentős eredményeket sikerült elérni a rugalmas szórás adatok elemzésében mind modelfüggő, mind pedig modelfüggetlen módszerekkel.

A 2021 júliusában publikált [1] cikkben a valós résszel kibővített, unitér Bialas-Bzdak modell (rövidítve ReBB modell) alkalmazásával végzett analízisben 7.08σ szignifikanciájú modelfüggő Odderon észlelést sikerült kimutatnunk. Ebben a modelfüggő analízisben azt is tanulmányoztuk, hogy az Odderon hogyan járul hozzá a szórást jellemző fizikai mennyiségek leírásához.

A proton-proton ütközéseket jellemző $H(x)$ skálázási törvény megtalálásával és alkalmazásával a [2, 3, 4] cikkekben részletezett módon modelfüggetlenül, tisztán korábban publikált kísérleti adatok használatával 6.26σ statisztikai szignifikanciájú Odderon jelet sikerült megfigyelni és publikálnunk. A $H(x)$ skálaviselkedés értelmezési tartományát azonban még nem tudtuk ekkor modelfüggetlen módszerekkel meghatározni. Az [1] cikkben megadott elméleti módszerek segítségével azonban azt is megállapítottuk, hogy a skálaviselkedés alsó határa a D0 kísérlet proton-antiproton adatainak az energiája, $\sqrt{s} = 1.96$ TeV alatti, tehát az odderon jelét 6.26σ szignifikanciával kimutató, 2021 februárjában publikált modelfüggetlen eredményünk értelmezési tartománya elégségesen nagy.

A TOTEM és D0 kísérleti együttműködések közös analíziséhez csatlakozva új, korábban nem publikált mérési adatokat is bevonva az analízisbe, extrapolációs módszerek alkalmazásával 5.2σ szignifikanciájú Odderon jelet sikerült kimutatnunk, eredményünket 2021 augusztusában a rangos Physical Review Letters folyóirat közölte [5]. Az Odderon felfedezései jelentős hazai és nemzetközi sajtófigyelmet kaptak. Ezek közül is kiemelhető, hogy a CERN a 2021-es fizikai eredményei között az első helyen szerepelteti a D0 és a TOTEM közös Odderon jelet kimutató cikkét [6]. Erről a D0-TOTEM cikkünkről [5] a Nature is „kiemelt fizikai kutatási eredmény/physics research highlight” cikket közölt [7].

A félévben elvégzett kutatások ismertetése

A bevezetőben ismertetett eredményeket alapul véve a megkezdett kutatásaim folytatásaként doktori tanulmányaim harmadik félévé során részletesebben tanulmányoztam az Odderon (\mathbb{O}) tulajdonságait valamint a $H(x)$ skálázás következményeit ReBB modell keretén belül illetve ezen modell kiterjesztésének lehetőségeit az újonnan publikussá vált 8 TeV ütközési energián megmért proton-proton differenciális hatáskeresztmetszet adatokra [5, 8].

A ReBB modell keretén belül tanulmányoztam az $A(s, t)$ rugalmas szórási amplitúdó és a $\frac{d\sigma}{dt}$ differenciális hatáskeresztmetszet $B(s, t) = \frac{d}{dt} \ln \left(\frac{d\sigma}{dt} \right)$ meredeksége \mathbb{O} komponensének viselkedését; LHC energiákon meghatároztam az \mathbb{O} -trajektória metszését, $\alpha_{\mathbb{O}}(t=0)$ -t, valamint az \mathbb{O} $\frac{d\sigma}{dt}(s, t=0)$ optikai pont alakulásában betöltött szerepét. Az eredmények azt mutatják, hogy TeV energiákon: *i*) az $A_{\mathbb{O}}(s, t)$ valós és képzetes részében a $-t$ függvényét tekintve két rögzített, azaz energiával nem változó elhelyezkedésű pont van; *ii*) az $A_{\mathbb{O}}(s, t)$ valós és képzetes részének rögzített energián $-t$ függvényében két zérushelye van; *iii*) $B_{\mathbb{O}}(s, t)$ nagy negatív értékeket is felvesz, míg a Pomeron (\mathbb{P}) komponens, $B_{\mathbb{P}}(s, t)$, épp hogy érinti a nullát vagy relatíve kicsivel megy nulla alá; *iv*) $\alpha_{\mathbb{O}}(t=0) - 1 = 0.32^{+0.32}_{-0.06}$ nagy értékű az $\alpha_{\mathbb{P}}(t=0) - 1 = 0.075 \pm \pm 0.001$ értékez képest és kis mértékben energiafüggő is; *v*) az \mathbb{O} kis különbséget alakít ki a proton-proton és proton-antiproton optikai pontok energiafüggésében, amely különbség lassan növekszik az energia növekedésével.

A ReBB modell $H(x)$ skálázó változata (ReBBH) megengedi a $H(x)$ skálázási tulajdonság következményeinek ellenőrzését és látványos szemléltetését. A ReBB és a ReBBH modellek keretein belül kiszámoltam a $H(x, s) = \frac{1}{B(s)\sigma_{el}(s)} \frac{d\sigma}{dt} \Big|_{x=-tB}$ skálafüggvényeket és a $B(x, s)/B(s)$ arányokat a TeV energiatartományban. Az eredmények azt mutatják, hogy a ReBB modell esetében a $H(x, s)$ és $B(x, s)$ nagyon enyhén energiafüggők, de a ReBBH modell esetén teljesen energiafüggetlenek.

Megvizsgáltam azt is, hogy a kisebb energiákon kalibrált ReBB modell és ReBBH modell képes-e statisztikailag elfogadható módon reprodukálni az újonnan publikussá vált 8 TeV ütközési energián megmért proton-proton differenciális hatáskeresztmetszet adatokat [5, 8]. Az eredmények azt mutatják, hogy a kalibrált érvényességi tartományán belül a ReBB modell képes statisztikailag elfogadható módon reprodukálni ezeket az adatokat és mindemelett 10σ -nál is nagyobb statisztikai szignifikanciájú modellfüggő Odderon jel mutatható ki a 8 TeV-es adatokból. A ReBBH modell azonban csak egy korlátozottabb $-t$ tartományban ad statisztikailag is elfogadható, kvantitatív leírást.

A részletezett eredmények alapján a referált folyóiratokba szánt cikkek előkészítését már megkezdtem. A cikkek befejezése és publikálása a következő félév során esedékes.

Az új részecskék keltésével járó (rugalmatlan) diffraktív folyamatok Regge-elmélet keretén történő modellezésében is sikerült kisebb előrelépéseket tenni, de még kérdéses a $\mathbb{P}\mathbb{P}$ ütközéseket jellemző amplitúdó pontos felépítése, amely megfelelően tartalmazza a reakcióban keletkező gluonlabdák és mezonok járulékait. Ebben az irányban még további kutatómunka szükséges.

Publikációk

Megjelent cikkek:

- T. Csörgő, **I. Szanyi**, Observation of Odderon Effects at LHC energies – A Real Extended Bialas-Bzdak Model Study, *Eur. Phys. J. C* **81**, 611 (2021) <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-021-09381-5>;

- V. M. Abazov, ... **I. Szanyi** et al. (TOTEM & D0 Collaborations), Comparison of pp and $p\bar{p}$ differential elastic cross sections and observation of the exchange of a colorless C-odd gluonic compound, *Phys. Rev. Lett.* **127**, 062003 (2021) <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.062003>.

Megjelenés alatt álló cikkek:

- Szanyi István: Protondiffrakció. (A Momentum Doctorandus kárpátaljai magyar doktorandusz szervezet *Terítéken a tudomány. Természettudományt mindenkinek!* c. kötetében megjelenés alatt álló ismeretterjesztő jellegű cikk.)

Konferenciák

A félév során a következő tudományos rendezvényeken vettem részt és tartottam előadást kutatási eredményeimről:

- ELTE Kárpát-medencei Nyári Egyetem 2021, Szakkollégiumi konferencia (online), 2021. július 8., Budapest, Magyarország;
- Low-x 2021, 2021. szeptember 26. - október 1., Elba, Olaszország [9];
- 7th Day of Femtoscopy, 2021. október 28., Gyöngyös, Magyarország [10];
- XVIII. Fiatal Kárpátaljai Magyar Kutatók Konferenciája, 2021. november 12., Beregszász, Ukrajna (előadásomért a Kárpátaljai Magyar Akadémiai Tanács különdíjban részesített);
- Karrieriránytű - Galaxis útikalauz fiatal kutatóknak c. konferencia, 2021. december 1-3., Budapest, Magyarország;
- 21th Zimányi School, 2021. december 6-10., Budapest, Magyarország [11].

Tanulmányi tevékenység

A félév során a következő három egyetemi kurzuson vettem részt:

- Az erősen kölcsönható anyag fázisszerkezete (6 kredit);
- A részecskefizika kísérleti módszerei II. (6 kredit);
- Irányított kutatómunka - harmadik szemeszter (18 kredit).

Oktatási tevékenység

A félév során a Környezetfizikai Laboratóriumi Gyakorlatok c. tárgy keretén belül az Ásványozimétria c. valamint a Gamma-spektroszkópia félvezető detektorral c. méréseket vezetem (heti 4 óra 8 héten át).

Díjak, elismerések

- Márton Áron Emlékérem a Márton Áron Szakkollégium keretén belül folytatott kiemelkedő tanulmányi eredmények és a jelentős közösségi munka elismerésére (2021).
- Kitüntetés az Odderon felfedezéséért a MATE Károly Róbert Campusának főigazgatója adományozásában (2021).

Ösztöndíjak

- A Márton Áron Szakkollégium program kutatási ösztöndíja a 2021/2022-es tanévre.

Szakmai közéleti tevékenység

- A Momentum Doktorandusz kárpátaljai magyar doktoranduszok szervezete tagjaként részt vettem az V. Kárpátaljai Nyári Egyetem szervezésében, amely 2021. augusztus 25-28. között zajlott a kárpátaljai Tiszapéterfalván. A szervezői feladatok mellett én voltam a Fizikai kísérletek előben c. program koordinátora és egyik előadója.
- A Kárpátaljai Magyar Diákok és Fiatal Kutatók Szövetsége (KMDFKSZ) gondozásában időszaki kiadványként megjelenő Scientia Denique c. tudományos folyóirat szerkesztői csapatának természettudományi szakreferensi pozícióját töltöm be 2021 márciusának végétől.
- A 21. Zimányi Iskola (Budapest, 2021. december 6-10.) Helyi Szervezőbizottságának tagjaként besegítettem a rendezvényt kapcsolatos szervezési feladatok elvégzésében.

Hivatkozások

- [1] T. Csörgő and I. Szanyi, *Eur. Phys. J. C* **81**, 611 (2021), arXiv:2005.14319 [hep-ph], doi:10.1140/epjc/s10052-021-09381-5.
- [2] T. Csörgő, T. Novak, R. Pasechnik, A. Ster and I. Szanyi, *Eur. Phys. J. C* **81**, 180 (2021), arXiv:1912.11968 [hep-ph], doi:10.1140/epjc/s10052-021-08867-6.
- [3] T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster and I. Szanyi, Proton Holography – Discovering Odderon from Scaling Properties of Elastic Scattering, in *49th International Symposium on Multiparticle Dynamics*, (4 2020). arXiv:2004.07095 [hep-ph].
- [4] T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster and I. Szanyi, *Gribov-90 Memorial Volume* , 69 (4 2021), arXiv:2004.07318 [hep-ph], doi:10.1142/9789811238406_0012.
- [5] TOTEM, D0 Collaboration (V. M. Abazov, ..., I. Szanyi *et al.*), *Phys. Rev. Lett.* **127**, 062003 (2021), arXiv:2012.03981 [hep-ex], doi:10.1103/PhysRevLett.127.062003.
- [6] <https://home.cern/news/news/knowledge-sharing/relive-2021-cern>.
- [7] E. Leader, *Nat. Rev. Phys.* , 680 (2021), doi:10.1038/s42254-021-00375-6.
- [8] TOTEM Collaboration (G. Antchev *et al.*) (11 2021), arXiv:2111.11991 [hep-ex].
- [9] <https://indico.cern.ch/event/1003281/contributions/4502546/>.
- [10] <https://indico.cern.ch/event/1089091/>.
- [11] <https://indico.cern.ch/event/1097820/contributions/4622117/>.