

4. 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

Kutatásaim célja elsősorban a CERN LHC gyorsító TOTEM kísérlete legújabb méréseinek elemzése. A TOTEM kísérlet (TOTAl cross section, Elastic scattering and diffractive dissociation Measurement) a proton-proton ütközések során lezajló diffraktív események mérésére specializálódott: a rugalmas proton-proton szórásra és részecskekeltéssel járó, a diffraktív szórások csoportjába tartozó különböző folyamatokra. Ezeket a folyamatokat kísérletileg nagy üres, részecskekeltés nélküli térbeli tartományok, nagy pszeudorapiditás-rések jellemzik, mivel ezekben a folyamatokban a vákuum kvantumszámaival rendelkező kvantumok cseréje, a Pomeron csere a domináns.

Az előző három félévben elért fő kutatási eredmények

Az MSc tanulmányaim alatt megkezdett kutatásaim folytatásaként a doktori tanulmányaim első másfél éve alatt jelentős eredményeket sikerült elérni a rugalmas szórási adatok elemzésében mind modellfüggő, mind pedig modellfüggetlen módszerekkel.

A 2021 júliusában publikált [1] cikkben a valós résszel kibővített, unitér Bialas-Bzdak modell (rövidítve ReBB modell) alkalmazásával végzett analízisben 7.08σ szignifikanciájú modellfüggő odderon észlelést sikerült kimutatnunk. Ebben a modellfüggő analízisben azt is tanulmányoztuk, hogy a Pomeron mellett 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 modellfüggetlenül, 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 modell független 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. Ez megerősítette azt, hogy az odderon jelét 6.26σ szignifikanciával kimutató, 2021 februárjában publikált modellfüggetlen módszerünk értelmezési tartománya elégségesen nagy.

A TOTEM és D0 kísérleti együttműködések közös analizéséhez csatlakozva új, korábban nem publikált mérési adatokat is bevonva az analizisbe, 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 ReBB modell keretén belül tanulmányoztam a rugalmas szórás amplitúdó és a differenciális hatáskeresztmetszet $B(s, t)$ mereedsége odderon komponensének viselkedését. LHC energiákon meghatároztam az odderon, mint Regge-trajektória metszését, $\alpha_{\mathbb{O}}(t = 0)$ -t, valamint az odderon optikai pont alakulásában betöltött szerepét. Megvizsgáltam 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 diffraktív részecskekeltéssel járó folyamatok terén olyan Regge elméletből származtatott fenomenológiai modellek kiépítésén dolgoztam, amelyekben a Regge faktorizációs szabályt alkalmazzuk és a rugalmatlan vertexeket szerkezeti függvényekkel azonosítjuk.

A félévben elvégzett kutatások ismertetése

Folytattam a múlt félévben elkezdett munkát annak vizsgálatával kapcsolatban, 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 ReBB modell statisztikailag elfogadható módon leírja az adatokat a $0.37 \leq -t \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ átadott négyesimpulzus-négyzet tartományban. Ez a kinematikai tartomány magába foglalja a proton-proton differenciális hatáskeresztmetszet minimum-maximum struktúráját és így lehetőséget ad az odderon jelenlétének észlelésére is: egy 18σ statisztikai szignifikanciájú odderon jelet kapunk, ha a ReBB modellből 8 TeV tömegközépponti energiára kiszámolt proton-antiproton differenciális hatáskeresztmetszetet az ugyanezen az energián megmért proton-proton differenciális hatáskeresztmetszet adatokhoz hasonlítjuk. Az is kiderül, hogy mikor kombináljuk a ReBB modellből kapott odderon jelek szignifikanciáit a $0.37 \leq -t \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ kinematika tartományban $\sqrt{s} = 1.96, 2.76, 7$ és 8 TeV tömegközépponti energián, abban a domináns járulékot nem a 8 TeV-es adatok adják, hanem a korábban mért 7 TeV-es adatok. Összegzésképp ez azt jelenti, hogy a $0.37 \leq -t \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ és $1.96 \leq \sqrt{s} \leq 8 \text{ TeV}$ kinematikai tartományokban elvégzett ReBB modell analizis alapján a szórás amplitúdó odderon komponense valóban jelen van és odderon csere történik a nagyenergiás szórásban részt vevő protonok és antiprotonok között. Az eredményeket összefoglaló cikk elkészült és az European Physical Journal C folyóiratba került beküldésre.

Ebben a félévben is folytattam a diffraktív részecskekeltéssel járó folyamatok terén a munkát. A diffraktív szórások teljes keresztmetszetei esetén a rendelkezésre álló kísérleti adatok tendenciáit a kialakított modellek jól reprodukálják. Ezen a téren a következő lépés a modellek tesztelése a rendelkezésre álló mért differenciális hatáskeresztmetszet adatokra támaszkodva.

Publikációk

Megjelent cikkek:

- T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster, **I. Szanyi**, Evidence of odderon-exchange from scaling properties of elastic scattering at TeV energies, *Eur. Phys. J. C* **81**, 180 (2021), <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-021-08867-6>, arXiv:1912.11968.
- T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster, **I. Szanyi**, Scaling of high-energy elastic scattering and the observation of odderon, *Gribov-90 Memorial Volume*, pp. 69-80 (2021), https://doi.org/10.1142/9789811238406_0012, arXiv:2004.07318 (a kontribúció könyvfejezetnek számít);
- 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>.
- Szanyi István: Protondiffrakció. (A Momentum Doctorandus kárpátaljai magyar doktorandusz szervezet *Terítéken a tudomány. Természettudományt mindenkinek!* c. kötetében megjelent ismeretterjesztő jellegű cikk.)

Folyóiratba beküldött cikkek:

- **I. Szanyi**, T. Csörgő, The ReBB model and its $H(x)$ scaling version at 8 TeV, <https://arxiv.org/abs/2204.10094>

Megjelent könyv:

- Jenkovszky László, Spenik Sándor, **Szanyi István**, Turóci-Sütő Jolán. Rugalmas és diffraktív szórás az LHC korában: a pomeron, az odderon és gluonlabdák. Ungvár, „AUTDOR-SHARK”, 2021, 152 old.

Konferenciák

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

- 6th Day of Femtoscopy, 2020. október 29., Gyöngyös;
- XVII. Fiala Kárpátaljai Magyar Kutatók Konferenciája, 2020. október 30., Beregszász, Ukrajna (online előadásomat a Kárpátaljai Magyar Akadémia Tanács különdíjban részesítette);
- Doktori és posztdoktori képzésben résztvevő, külföldi magyar egyetemi hallgatók részére szervezett online PhD-konferencia, 2020. november 7., Szeged;
- 20th Zimányi School (online), 2020. december 7-11., Budapest;

- ELFT Winter School "Physics beyond the Standard Model: Modern Approaches", 2021. február 1-5., Budapest;
- ELTE Kárpát-medencei Nyári Egyetem 2021, Szakkollégiumi konferencia (online), 2021. július 8., Budapest;
- Low-x 2021, 2021. szeptember 26. - október 1., Elba, Olaszország [9];
- 7th Day of Femtoscopy, 2021. október 28., Gyöngyös [10];
- XVIII. Fialat 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;
- 21th Zimányi School, 2021. december 6-10., Budapest [11];
- 18th International Scientific Days – Femtoscopy Session, 2022. május 5., Gyöngyös <https://indico.cern.ch/event/1152630/>;
- Seminarium HEP Białasówka, 2022. április 1., Krakkó, Lengyelország (meghívott előadás a Białas Szemináriumon) <https://indico.fis.agh.edu.pl/event/125/>;
- ELTE Márton Áron Szakkollégium doktorandusz-konferencia, 2022. április 29., Budapest <https://www.elte.hu/content/masz-konferencia.e.14769>.

Tanulmányi tevékenység

A félév során a következő három egyetemi kurzuson vettem részt:

- Sztandard Modell (6 kredit);
- Haladó térelmélet (6 kredit);
- Irányított kutatómunka - negyedik szemeszter (18 kredit).

Oktatási tevékenység

A félév során a Bevezetés a fizikába 1. gyakorlat c. tárgyat oktattam (heti 2 óra 13 héten át).

Ösztöndíjak

- A Márton Áron Szakkollégium program kutatási ösztöndíja a 2021/2022-es tanévre;
- ÚNKP ösztöndíj a 2021/2022-es tanév második félévére.

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.*), *Eur. Phys. J. C* **82**, 263 (2022), arXiv:2111.11991 [hep-ex], doi:10.1140/epjc/s10052-022-10065-x.
- [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/>.