

1. 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 tervezett kutatásom elsősorban a CERN LHC gyorsító TOTEM kísérletének legújabb méréseinek az elemzését tűzi célul. 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 szórás, az egyszeresen és a kétszeresen diffraktív folyamatok, valamint a centrális exkluzív produktív folyamatok mérésére. Ezeket a folyamatokat kísérletileg nagy üres, részecskekeletés nélküli fázistérbeli tartományok, nagy rapiditásrések ($\Delta\eta$) jellemzik, mivel ezekben a folyamatokban a vákuum kvantumszámaival rendelkező kvantumok cseréje, a Pomeron csere a domináns.

A rugalmas proton-proton szórási hatáskeresztmetszeteket a TOTEM 2.76, 7 és 13 TeV ütközési energiákon mérte meg és publikálta. A doktori képzés következő éve során várhatóan sor kerül a 8 TeV-es adatok publikálására is. A TOTEM további méréseket végez 0.9 és 14 TeV ütközési energiákon is. A már publikált adatok alapján MSc tanulmányaim befejezéséig jelentős eredményeket sikerült elérni a rugalmas szórási adatok elemzésében mind modellfüggő [1, 2, 3], mind pedig modellfüggetlen módszerekkel [4, 5, 6]. Többek között sikerült a Pomeron negatív töltésszámú társának, az Odderonnak az észlelése felfedezést jelentő, 5σ -nál lényegesen nagyobb statisztikai szignifikanciával [3, 6]. PhD tanulmányaim során is elsősorban ezen a területen folytatatom a kutatásaimat.

A félévben elvégzett kutatások ismertetése

A doktori tanulmányaim első féléve alatt végzett kutatásom tehát a mesteri tanulmányaim alatt elért eredmények továbbfejlesztésében és kibővítésében merült ki. MSc szakdolgozatomban a valós résszel kibővített, unitér Bialas-Bzdak modell (rövidítve ReBB modell) alkalmazásával validációk és extrapolációk útján megmutattam, hogy a proton-proton (pp) és proton-antiproton ($p\bar{p}$) differenciális hatáskeresztmetszetek a TeV energiatartományban egymástól szignifikánsan eltérnek, amely egy legalább 7.08σ statisztikai szignifikanciájú Odderon észlelésnek felel meg [3]. Továbbá a magyar TOTEM csapat részeként bekapcsolódtam a modellfüggetlen vizsgálatokba is. A $H(x)$ skálázási törvény alkalmazásával a TOTEM együttműködés által 7 TeV ütközési energián mért pp differenciális hatáskeresztmetszet adatok 1.96

TeV ütközési energiára átskálázva szignifikánsan eltérnek a D0 együttműködés által 1.96 TeV ütközési energián mért $p\bar{p}$ differenciális hatáskeresztmetszet adatoktól. Ez legalább egy 6.25σ statisztikai szignifikanciájú modell független Odderon észlelésnek felel meg [4, 5, 6].

Az elért eredmények megerősítése céljából az elkészült kéziratok még jelentős bővítése következett a doktori tanulmányaim kezdetével. A következőkben ezeket az új eredményeket részletezem.

A $H(x)$ skálázást tekintve olyan kérdés merült fel, hogy melyek azok kinematikai, s és t (vagy $x = -Bt$) tartományok¹, amelyekben érvényes ez a skálázási törvény. A kérdés megválaszolásához elsősorban megvizsgáltuk, hogy melyek a $H(x)$ skálázás kísérleti feltételei, majd a szélesebb kinematikai tartományt felölelő kísérleti adatok hiányában további modell függő számításokat végeztem a ReBB modell keretén belül.

A $H(x)$ skálázás kísérleti feltételei a $\sigma_{el}(s)/\sigma_{tot}(s)$, a $B_0(s)/\sigma_{tot}(s)$ és $B_0(s)/\sigma_{tot}(s)$ arányok valamint a ρ_0 paraméter energiafüggetlensége. A számítások elvégzése céljából szükség volt a ReBB modell $H(x)$ skálázó változatának a meghatározásához is. Kiderült, hogy a ReBB modell $H(x)$ skálázik, amennyiben az R_q , R_d és R_{qd} geometriai jellegű paramétereinek az energiafüggése faktorizálható és egyforma mindhárom paraméter esetén, azaz $R_q(s) = R_{q0}b(s)$, $R_d(s) = R_{d0}b(s)$ és $R_{qd}(s) = R_{qd0}b(s)$ (ahol a közös energiafüggő faktor a $b(s)$ függvény), valamint ha az α opacitásparaméter energiától független $\alpha(s) = \alpha(s_0)$ (ahol $\sqrt{s_0}$ valamilyen referencia energiát jelöl).

Az eredményeinkből kiderül, hogy előreszórás esetén, azaz mikor $t = 0$, a $H(x)$ skálázási törvény a $0.4 \leq \sqrt{s} \leq 8$ TeV energiatartományban érvényes, amikor a referencia energia $\sqrt{s_0} = 7$ TeV. Az érvényesség $x = -B_0t$ tartománya azonban erősen energiafüggő: $\sqrt{s} = 900$ GeV környékén a $H(x)$ skálázási törvény még a $0 \leq x \leq x_{bump}$ tartományban is érvényes, de $\sqrt{s} = 200$ GeV környékén már csak a $0 \leq x \leq x_{dip}$ tartományban, majd ez $\sqrt{s} = 200$ GeV alatt még tovább szűkül². Fontos eredmény azonban, hogy 1.96 TeV ütközési energián a $H(x)$ skálázás érvényességi tartománya a bump pozíciójánál is továbbra nyúlik. Ez azt jelenti, hogy a TOTEM által 7 TeV ütközési energián mért pp differenciális hatáskeresztmetszet átskálázása 1.96 TeV ütközési energiára valóban megbízhatóan elvégezhető egy elegendően széles x tartományban, a pp és $p\bar{p}$ differenciális hatáskeresztmetszetek észlelt különbsége pedig nem a TOTEM és a D0 mérések energiái közötti "rés" következménye, hanem hogy a kétféle folyamat között energiafüggetlenül különbség van, amely pedig nem más, mint az Odderon hatás megnyilvánulását jelenti.

A kísérleti pp és $p\bar{p}$ adatokhoz illesztett ReBB modell keretén belül továbbá megvizsgáltam a szórás amplitúdó Pomeron és Odderon komponenseinek tulajdonságait, illetve a mérhető fizikai mennyiségek Pomeron és Odderon járulékait. A következő eredményeket kaptam:

- A pp és $p\bar{p}$ differenciális hatáskeresztmetszet Pomeron komponensében nem jelenik meg minimum-maximum struktúra, míg az Odderon komponens esetén ilyenből kettő is jelen van.
- Az amplitúdó Pomeron komponense dominánsan képzetes, elsősorban csak a differenciális hatáskeresztmetszet minimum-maximum tartományában van a valós résznek fontosabb szerepe.

¹ Az s és t a tömegközépponti energia négyzetét és az átadott impulzus-négyzetet reprezentáló Mandelstam változók. Az $x = -B_0t$ skálázási változó az átadott impulzus-négyzet és a proton-(anti)proton differenciális hatáskeresztmetszetet jellemző $B_0 = B(s, t = 0)$ meredekségi paraméter szorzata.

² A pp differenciális hatáskeresztmetszet alakját egy minimum ("dip") és ezt követően egy maximum ("bump") struktúra jellemzi. Az x_{dip} és x_{bump} értékek ezen struktúrák helyét jelölik az $x = -B_0t$ változó tekintetében.

- Az amplitúdó Odderon komponense dominánsan valós, de a differenciális hatáskeresztmetszet Odderon komponenséhez tartozó minimum-maximum tartományokban a képzetes résznek is fontos szerepe van.
- Az Odderon komponens fontossága a Pomeron komponenséhez képest általánosságban növekszik az energia növekedésével; a TeV-es energiatartományban az Odderon járuléka diffraktív minimum tartományában a legnagyobb, 10% körüli (a $-t > 1.5 \text{ GeV}^2$ tartományban ez a részarány nagyobb is lehet, de arra a tartományra nem terjedt ki a jelen vizsgálat).
- A teljes pp szórási hatáskeresztmetszetet tekintve, az Odderon járuléka legalább két nagyságrenddel kisebb a Pomeron járulékától.

Márton Áron Szakkollégium (MÁSZ) program keretén belül, de doktori kutatásaim részeként a Regge-elmélet alkalmazásával vizsgáltam a proton-(anti)proton rugalmas és diffraktív szórási folyamatokat. Az eredmények azt mutatják, hogy a Regge elmélet keretén belül felépített Pomeron és Odderon amplitúdók több esetben kvalitatíve hasonló viselkedést mutatnak a ReBB modellből kinyertekhez képest. A diffraktív szórás tekintetében a proton disszociációs, illetve a centrális exkluzív folyamatokat jellemző hatáskeresztmetszetek becslésére irányuló kutatásba kapcsolódtam be. A Goulianos-Ciesielski-modellt [7] alapul véve az egyszeres, kétszeres és centrális diffrakciót leíró többszörös differenciális hatáskeresztmetszetek modelljeit úgy építettük fel, hogy az tartalmazza a barion, mezon és gluonlabda rezonanciák járulékait is.

Publikációk

Publikálásra elfogadott cikkek:

- T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster, **I. Szanyi**, Evidence of Odderon-exchange from scaling properties of elastic scattering at TeV energies, arXiv:1912.11968 (to be published in European Physical Journal C).

Publikálásra beküldött cikkek:

- T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster, **I. Szanyi**, Scaling of high-energy elastic scattering and the observation of Odderon, arXiv:2004.07318;
- T. Csörgő, **I. Szanyi**, Observation of Odderon Effects at LHC energies – A Real Extended Bialas-Bzdak Model Study, arXiv:2005.14319;
- 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, arXiv:2012.03981.

Tanulmányi tevékenység

A félév során a következő három egyetemi kurzuson vettem részt:

- Bevezetés az általános relativitáselméletbe I. (6 kredit);
- Asztro-részecskefizika (6 kredit);
- Irányított kutatómunka - első szemeszter (18 kredit).

Konferenciák

A félév során a következő konferencikon tartottam előadást:

- 6th Day of Femtoscopy, 29 October 2020, Gyöngyös, Hungary;
- XVII. Fiatal 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, Magyarország;
- 20th Zimányi School (online), 7-11 December 2020, Budapest, Hungary.

Hivatkozások

- [1] I. Szanyi, N. Bence and L. Jenkovszky, *J. Phys.* **G46**, 055002 (2019), arXiv:1808.03588 [hep-ph], doi:10.1088/1361-6471/ab1205.
- [2] I. Szanyi, L. Jenkovszky, R. Schicker and V. Svintozelskyi, *Nucl. Phys. A* **998**, 121728 (2020), arXiv:1910.02494 [hep-ph], doi:10.1016/j.nuclphysa.2020.121728.
- [3] T. Csörgő and I. Szanyi (5 2020), arXiv:2005.14319 [hep-ph].
- [4] T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster and I. Szanyi (12 2019), arXiv:1912.11968 [hep-ph].
- [5] 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].
- [6] T. Csörgő, T. Novák, R. Pasechnik, A. Ster and I. Szanyi (4 2020), arXiv:2004.07318 [hep-ph].
- [7] R. Ciesielski and K. Goulios, *PoS ICHEP2012*, 301 (2013), arXiv:1205.1446 [hep-ph], doi:10.22323/1.174.0301.