

2. 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. 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 produkciós 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, 8 és 13 TeV ütközési energiákon mérte meg és publikálta. A TOTEM további méréseket végez 0.9 és 14 TeV ütközési energiákon is. A már publikált adatok alapján MSc tanulmányaim befejezéséig és ezt követően a doktori tanulmányaim első féléve alatt jelentős eredményeket sikerült elérni a rugalmas szórási adatok elemzésében mind modelfüggő [1, 2, 3], mind pedig modelfüggetlen módszerekkel [4, 5, 6]. Többek között sikerült a Pomeron negatív töltéssparitású társának, az Odderonnak az észlelése felfedezést jelentő, 5σ -nál lényegesen nagyobb statisztikai szignifikanciával [3, 6, 7]. A továbbiakban is elsősorban ezen a területen folytatom a kutatásaimat.

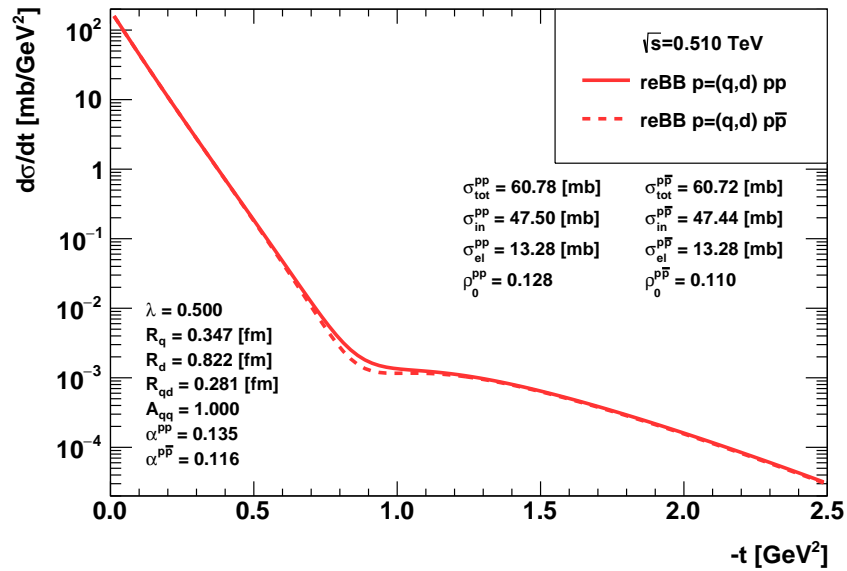
A félévben elvégzett kutatások ismertetése

A doktori tanulmányaim második féléve során folytatott kutatási tevékenységem szorosan kapcsolódik az első félévben és korábban végzett kutatásaimhoz.

A valós résszel kibővített, unitér Bialas-Bzdak modell (rövidítve ReBB modell) alkalmazásával végzett kutatás [3] során azt találtuk, hogy a modell α paramétere eltérő a proton-proton (pp) és a proton-antiproton ($p\bar{p}$) szórás esetén, továbbá ez az α paraméter lineáris kapcsolatban van a ρ_0 aránnyal. Az α paraméter eltérése a pp és a $p\bar{p}$ folyamatokra a TeV-os energiatarományban a szórási amplitúdó odderon komponensének létezését jelenti. Mivel a ρ_0 arány tisztán kísérleti adat az α paraméterrel szemben, ezért célszerű volt megvizsgálni, hogy tisztán a ρ_0 arány adatokban megmutatkozik-e az odderon jelenléte. A vizsgálat eredménye azt mutatja, hogy a 10 GeV-től 13 TeV-ig terjedő energiatarományban a pp és a $p\bar{p}$ adatok külön-külön

statisztikailag kielégítő módon leírhatóak egy egyszerű, $\sum_{k=0}^2 p_k \ln^k(s/s_0)$ alakú modellel. A pp és a $p\bar{p}$ adatok együttes leírása egy $\sum_{k=0}^2 p_k \ln^k(s/s_0)$ alakú, logaritmus-négyzetes modellel statisztikailag kielégítő módon nem lehetséges. Mivel a szórási amplitúdó negatív töltéssparitású komponense eredményezhet különbséget a pp és a $p\bar{p}$ szórás között, ez az eredmény a szórási amplitúdó negatív töltéssparitású komponensének létezését bizonyítja. Azonban ebben a széles energiatartományban a negatív töltéssparitású reggeonok hatása nem elkülöníthető a szintén negatív töltéssparitású odderonétól, emiatt az odderon létezésének tanulmányozása céljából a vizsgálatot a TeV-os tartományban kell lefolytatni. Az derül ki, hogy 0.546 és 13 TeV közötti energiatartományban a ρ_0 arány adatok energiafüggése lineáris logaritmikus, azaz egy $\sum_{k=0}^1 p_k \ln^k(s/s_0)$ alakú modellel reprodukálható a pp és a $p\bar{p}$ folyamatokra. Azonban ebben az energiatartományban a pp és a $p\bar{p}$ ρ_0 adatok egységes leírása nem mutat összeférhetlenséget, ami az odderon hiányára utal. Azonban ebben a tartományban a kísérletileg mért ρ_0 adatoknak nagy a mérési bizonytalansága. Amennyiben a ReBB modell leírásból kapott, precízebb mérésnek tekinthető ρ_0 arány adatokat is felhasználjuk, akkor szignifikáns odderon jel mutatkozik meg a TeV-os energiatartományban. A végső következtetés tehát, hogy a ρ_0 arány adatokon alapuló, modell-független odderon jel becsléséhez további precíz pp és a $p\bar{p}$ ρ_0 arány adat mérésére van szükség.

A Brookhaveni Nemzeti Laboratórium RHIC gyorsítójánál 510 GeV ütközési energián a STAR kísérlet hajtott végre rugalmas pp szórási méréseket és a közeljövőben tervezik előzetes eredményeik közreadását. Ez aktuálissá teszi a pp és $p\bar{p}$ szórás mérhető mennyiségeinek vizsgálatát és az odderon észlelésének a tanulmányozását ebben a kicsivel alacsonyabb energiatartományban is. Ebből a célból megvizsgáltam a ReBB modell jóslatait a rugalmas pp és $p\bar{p}$ szórást jellemző mennyiségekre a 510 GeV ütközési energián. Az 1. ábrán láthatók az eredmények. Rögtön szembetűnő a pp és $p\bar{p}$ szórás differenciális hatáskeresztmetszetei közötti különbség közepes $-t$ értékeknél, ami az odderon jelenlétére enged következtetni.



1. ábra: A rugalmas pp és $p\bar{p}$ szórást jellemző mennyiségek 510 GeV ütközési energián a ReBB modellen alapuló extrapoláció alapján.

Megvizsgáltam, hogy a D0 és a TOTEM kollaborációk közös, az odderon létezésének az igazolását célzó – az általam is társszerzőként jegyzett és a nagy presztízsű Physical Review

Lettersben 2021 június 10-én közlésre elfogadott – cikkben [7] alkalmazott módszer eszközeit felhasználva a $H(x)$ skálázási törvény [4, 6] érvényességi tartományára milyen eredményeket kaphatunk. A szóban forgó módszer alapja, hogy a pp differenciális hatáskeresztmetszet nyolc karakterisztikus pontját választjuk ki és ezen pontok energiafüggését meghatározzuk, ami által a karakterisztikus pontok értékei ismertté válnak olyan energiákon is, amelyeken eddig tisztán kísérleti mérések útján nem elérhetők. Amennyiben a $H(x)$ skálázási törvény érvényes, bármely két karakterisztikus pont energiafejlődésének aránya energiafüggetlen. A vizsgálatom eredményeként az a következtetés vonható le, hogy a jelenlegi kísérleti precizitás mellett $H(x)$ skálázási törvény biztosan érvényes a 2.76 és 8 TeV közötti energiatarományban, de 13 TeV-on már érvényét veszti. További vizsgálatok vannak még folyamatban a $H(x)$ skálázás x változó szerinti érvényességi tartományának modell-független meghatározása és az odderon jel háttérének becslése céljából.

A második félévében is folytattam a Márton Áron Szakkollégium (MÁSZ) program keretén belül, de doktori kutatásaim részeként a Regge-elmélet alkalmazásával történő diffraktív szórás folyamatok tanulmányozását. Egyszeres diffrakcióban (SD) az ütköző protonok egyike disszociál, dupla diffrakcióban (DD) mindkét proton disszociál, centrális diffrakció esetén (CD) a két proton közötti tartományban keletkeznek új részecskék a kölcsönhatást közvetítő virtuális részecskék (elsősorban pomeronok) ütközésének eredményeként. Olyan folyamatok is léteznek, amelyek következtében a középső tartományban keletkezett részecskék mellett az egyik (CDS) vagy mindkét (CDD) proton disszociál. A Goulios-Ciesielski-modellt [8] alapul véve az egyszeres, kétszeres és centrális diffrakciós folyamatokat leíró többszörös differenciális hatáskeresztmetszetek modelljeit úgy egészítettük ki, hogy az tartalmazza a barion, mezon és gluonlabda rezonanciák járulékait is. Ezen folyamatok alternatív modellezését is vizsgálom a Regge faktorizáció elvét figyelembe véve és a diffraktív szórás proton szerkezeti függvényes formalizmusát [9, 10] alkalmazva. Folyamatban van ezen formalizmus kibővítése az SD és DD folyamatokról a CD, CDS és CDD folyamatokra is. Jelenleg az eredmények ellenőrzése és a modellek rendelkezésre álló kísérleti adatokhoz történő hasonlítása zajlik.

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;

Publikálásra elfogadott cikkek:

- 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 (to be published in Physical Review Letters, <https://journals.aps.org/prl/accepted/a307cY4eM5e1436c84761f33fc483a78ffc2cf0e7>).

Publikálásra beküldött cikkek:

- T. Csörgő, **I. Szanyi**, Observation of Odderon Effects at LHC energies – A Real Extended Bialas-Bzdak Model Study, arXiv:2005.14319;

Tanulmányi tevékenység

A félév során a következő három egyetemi kurzuson vettem részt:

- Bevezetés az általános relativitáselméletbe II. (6 kredit);
- A sztandard modellen túl (6 kredit);
- Irányított kutatómunka - második szemeszter (18 kredit).

Konferenciák

A félév során a következő tudományos rendezvényen tartottam előadást:

- ELFT Winter School "Physics beyond the Standard Model: Modern Approaches", 1-5 February 2021, 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. 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.
- [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, *Gribov-90 Memorial Volume*, 69 (4 2021), arXiv:2004.07318 [hep-ph], doi:10.1142/9789811238406_0012.
- [7] D0, TOTEM Collaboration (V. M. Abazov *et al.*) (12 2020), arXiv:2012.03981 [hep-ex], <https://journals.aps.org/prl/accepted/a307cY4eM5e1436c84761f33fc483a78ffc2cf0e7>.
- [8] R. Ciesielski and K. Goulianos, *PoS ICHEP2012*, 301 (2013), arXiv:1205.1446 [hep-ph], doi:10.22323/1.174.0301.
- [9] L. Jenkovszky, O. Kuprash, J. Lamsa and R. Orava, *Mod. Phys. Lett. A* **26**, 2029 (2011), arXiv:1106.3299 [hep-ph], doi:10.1142/S0217732311036346.
- [10] L. Jenkovszky, O. Kuprash, R. Orava and A. Saliu, *Odessa Astron. Pub.* **25**, 102 (2012), arXiv:1211.5841 [hep-ph], doi:10.1134/S1063778814120072.