

Új részecskék keresése a CERN LHC CMS detektorával

PhD kutatási beszámoló, II. szemeszter

Major Péter

Témavezető: Dr. Pásztor Gabriella
(ELTE TTK Fizikai Intézet Atomfizikai Tanszék)

2018. június 15.

1. Szuperszimmetrikus részecskék keresése foton + Higgs-bozon + hiányzó energia végállapotú folyamatokban

MSc szakdolgozatom témáját folytatva továbbra is dolgozom a Dr. Pásztor Gabriella és Bartók Márton doktorandusz által megkezdett szuperszimmetrikus (SUSY) részecskék utáni kutatásban. Ennek során egy olyan végállapotot vizsgálunk a CMS detektor 2016-ban gyűjtött $\sqrt{s} = 13$ TeV energiájú adataiban, melyben a szuperszimmetrikus általános mérték-közvetítés (GGM, General Gauge Mediation) model a kísérletileg elérhető paramétertartományának számottevő hányadában eseménytöbbséget jósol. Ezen végállapotot egy nagy energiájú foton, nagy hiányzó transzverz energia és egy b kvarkokra bomló Higgs bozon jellemzi (GHbbMET).

Az új fizika kimutatásához a Standard Modell folyamatokból származó háttér minél pontosabb becslése szükséges. A második legnagyobb járulékot a $W+$ hadronsugár keletkezés adja, amikor a W bozon bomlásából származó leptonok a detektor egy érzéketlen részén keresztül távoznak. Az én feladatom kezdetben ezen háttér in-situ adatok felhasználásán alapuló meghatározása volt.

A számítások során egy, a jel régiótól diszjunkt, leptont is tartalmazó kontroll régióból extrapoláltam a háttérrel vissza a leptont nem megengedő jel régióba. Ezt (a végállapotban leptont tartalmazó folyamatokat leíró a CMS kísérlet által központilag biztosított) Monte Carlo adathalmazok segítségével tettem. A kontroll régiót kibővítettem, hogy hadronikusan bomló tau leptonokat is tartalmazzon (eredetileg csak elektronok és müonok jelenlétét vizsgáltam). Míg korábbi munkám során a fent említett GHbbMET végállapot egy általam választott és kinematikus változók segítségével meghatározott részén számítottam ki a kérdéses háttérrel, addig most a már folyamatban lévő analízishez kellett a kódot adaptálni mind paraméterekben, mind formailag, hogy az analízisben minden háttér forrás becslése konzisztensen kezelhető legyen. A becslést ezért az analízis jel régióján kívül el kellett végezni az ebben az analízisben domináns QCD háttér kontroll régióira is. Ezt a célkitűzést sikerült elérni, azonban a félév során több infrastrukturális változtatást kellett végrehajtani a kódon.

Jelenleg az analízisben fellépő szisztematikus hibák becslését végzem, valamint új ellenőrzési régiókat (validation region, VR) alakítottunk ki, melyre újabb komplex háttérbecslést végeztünk. Ezen túl megkíséreltem a háttérbecslésem statisztikus hibájának csökkentése érdekében új, exclusive leptonikus, Monte Carlo eredményeket használni, melyek azonban nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket.

Az analízis következő lépéseként a Monte Carlo algoritmus segítségével generált szuperszimmetrikus jelet és a becsült Standard Modell hozzájárulást figyelembe véve statisztikai hipotézisvizsgálat végezhető arra vonatkozólag, hogy a SUSY jel várhatóan kizárható lesz-e a kísérlet során, ha valóban nincs jelen.

Feladatom volt az ezen lépést elvégző CMS Higgs Combine program köré épülő szoftveres infrastruktúra fejlesztése. Ez a több komponensű kód működő és könnyen üzemeltethető állapotba került a félév során, és az analízis végső optimalizálását ennek segítségével végezzük.

Az kutatást leíró Analysis Note az előkészületi fázisban van.

2. A van der Meer szkennelésében való részvétel

A luminositás a részecskefizikai analízisek alapvető mennyisége, mely összeköti egy folyamat hatás-keresztmetszetét (geometriai valószínűségét) a várhatóan megfigyelt eseményszámmal, s mindemellett a precíziós analízisek szisztematikus hibájának egy fő forrása az LHC-n.

A van der Meer módszer (vdM szkennelés) azon luminositásmérő detektorok kalibrációját teszi lehetővé, melyek az abszolút luminositást a detektor felületén keresztülhaladó effektív részecskefluxus segítségével határozzák meg. Az ilyen detektorok nagy népszerűségnek örvendenek a hadronütköztetőknél, ugyanis a leptonütköztetőkben használatos, rendszerint precízebb módszerek nem vihetők át a hadronos esetre az alacsony energiás QCD számítások nagy hibájából eredően. A CMS detektorban négy ilyen aldetektor egység üzemel.

Az genfi nagy hadronütköztető (LHC) rövid 2018 júniusi technikai szünete után az eszközök beüzemlése teszt és kalibrációs mérésekkel kezdődött, melyek közt sor került több van der Meer adatgyűjtésre is. Egy hetet töltöttem a CERN-ben, ahol a mérés lebonyolításában, az adatminőség ellenőrzésében segítkeztem.

3. Nagy nyáláb-szeparációjú szkennelés és statisztikus hibák vizsgálata van der Meer módszer pontosítására

A vdM kalibrációs módszer él bizonyos feltevésekkel, melyek nem teljesülnek maradéktalanul egy valódi gyorsító esetében, és jellemzően néhány százalékos hibát okoznak. A legfontosabb feltételezés, hogy a nyálábalak leírása faktorizálható x és y irányban. Ez az egyik legjelentősebb hibaforrás az abszolút luminositás kalibráció során, így a CMS kísérlet BRIL csoportjában arra törekszünk, hogy ezt minimálisra szorítsuk.

Munkám során a sztenderd vdM adatokon kívül ún. nagy szeparációjú adatokkal is dolgozok, melyek a lehetőséget biztosítanak arra, hogy első rendben korrekciót vezethessünk be a részecske-nyáláb alakjának a kezdeti feltételezésektől való eltérésére. Feladatomban ezen lehetőség, valamint az eredmények más mérésekkel való konzisztenciájának ellenőrzése.

Vizsgálataim kiterjedtek a részecskefluxus mérések statisztikus hibájának korrekt meghatározására a "zero counting" módszer használatakor abban az esetben, ha a hibát egyetlen fluxus érték adatpontból kell meghatároznunk, azaz nem támaszkodhatunk az empirikus szórásra.

Ez azért volt lényeges, mert a kalibrációs mérések során rendszerint kicsi statisztikus mintát gyűjtünk össze, ami a tapasztaltok szerint nem adott az elvártakkal konzisztens eredményt alacsony részecskefluxus esetén. A vizsgálatok eredményeképpen új hibaszámítási módszert vezettek be az automatikus kalibrációt végző keretrendszerbe.

4. A PLT detektor sugárzási károsodásának prompt diagnosztikája

A Pixel Luminosity Telescope (PLT) a CMS egyik célra tervezett luminositásmérő aldetektora. A PLT érzékeny felületét szilícium félvezető pixel mátrixok összessége adja, melyek a sugárzás hatására veszíthetnek a hatásfokukból, így a detektor által mért effektív részecskefluxus konstans luminositás mellett is csökkenhet.

A PLT üzemeltetése közben többször is tapasztaltunk hirtelen változásokat az eredményekben a többi luminométer adataihoz képest. Mivel a PLT "zero counting" segítségével méri a fluxust, de elektronikája alacsonyabb rátával pixel szintű információk kiolvasására is képes. Így a fluxusmérés hatásfokának hirtelen csökkenését megkísérelhetjük előre jelezni és kompenzálni az előfeszítési feszültség változtatásával.

Feladatomban a pixel szintű információk vizsgálata és ezekből egy a hatásfokra jellemző mérőszám meghatározása volt. Az egyes pixelekben leadott elektronok számának eloszlását megfelelően pontos kalibráció hiányában nem használhattuk, így a kevésbé ideális klaszter méret eloszlást vizsgáltam. Az ebből számolt új mérőszám általában jól mutatja a hatásfok változását (függetlenül egy másik luminométerrel való összehasonlítástól), bár prediktív ereje nem konzisztens. Az új mérőszám kiszámolását automatizáltam, az új ábrák integrálása a valós idejű megfigyelőrendszerbe folyamatban van.

A luminositásméréshez nyújtott technikai hozzájárulásommal elnyertem a kollaborációban a szerzői státuszt.