

Search for new Physics with the CMS detector at the LHC

1. féléves beszámoló

Farkas Krisztián (farkask4@gmail.com)

Részecskefizika és csillagászat PhD program

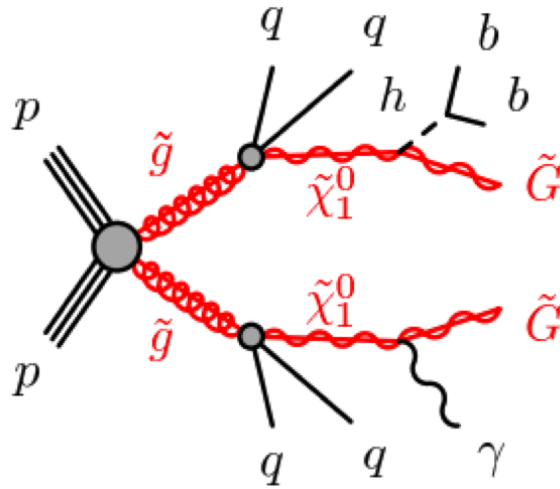
Témavezető: Dr. Pásztor Gabriella

1. Szuperszimmetrikus részecskék keresése

Doktori kutatásom megkezdésekor bekapcsolódtam Dr. Pásztor Gabriella, valamint Bartók Márton és Major Péter doktoranduszok szuperszimmetrikus részecskék keletkezését vizsgáló analizisébe a CERN LHC CMS kísérletben. Szeptemberben részt vettem a CMS SUSY Workshop-on Spanyolországban, ahol az LHC Run2 adatok analizisének állásába és a jövőbeli tervekbe pillanthattam be.

A szuperszimmetria (SUSY) egy téridő szimmetria, amely összeköti a fermionikus és bozonikus tereket. Minden Standard Modell (SM) részecskéhez egy szuperpartnert jósol, ami SM társától spinjében különbözik $\frac{1}{2}$ -del. A legkevesebb új részecskét bevezető szuperszimmetrikus kiterjesztése a SM-nek a Minimális Szuperszimmetrikus Standard Modell, ám még ez is több mint 100 új paramétert tartalmaz. Mivel eddig még nem fedeztünk fel SUSY részecskéket, a szuperszimmetriának sérülnie kell. Hogy leírjuk a szimmetriasértést és minimalizáljuk a paraméterek számát, különböző modelleket használunk. Attól függően, hogy a SUSY spontán sértése miként megy végbe, és az hogyan jut el a SM és SUSY részecskéket tartalmazó látható szektorba, beszélhetünk többek között szupergravitációról illetve mérték kölcsönhatások által közvetített sértésről. Utóbbi esetben két népszerű modell van, a Gauge Mediated Supersymmetry Breaking (GMSB), amely 5 szabad paramétert tartalmaz, illetve ennek általánosítása, a General Gauge Mediation (GGM), mely 8 szabad paramétert tartalmaz.

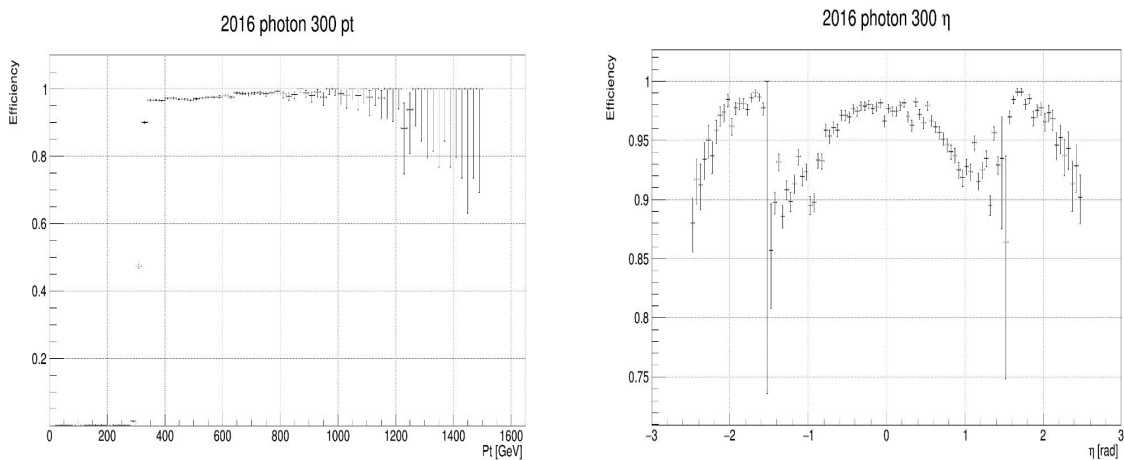
A mi analizisünk gluínó párok keletkezését vizsgálja a GMSB modellben. Még ekkor is sok különböző folyamat várható az LHC-n p-p ütközések során, amelyek eltérő végállapotokra vezetnek. Ezek gyakorisága függ a modell paramétereitől. A gyakorlatban ezért egyszerűsített modelleket alkalmazunk, amelyek egyetlen SUSY folyamatra koncentrálnak. Az általunk használt egyszerűsített modellben (neve T5Hg) az R-paritás megmarad, így a SUSY részecskék párban keletkeznek, és sorozatos bomlásuk után a legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske (LSP) keletkezik. GMSB modellekben ez mindig a gravitino, míg a második legkönnyebb szuperszimmetrikus részecske (NLSP) tipikusan a neutralino. A T5Hg modellben feltételezzük, hogy a neutralino NLSP fotonra vagy Higgs-bozonra és LSP-re bomlik. Gluínó párok keletkezésekor így a végállapotban egy Higgs-bozon, egy izolált foton, több hadronzáró és jelentős hiányzó transzverzális impulzus (p_T^{miss}) keletkezik, ez utóbbi az LSP által a detektorból kivitt impulzusból származik. A folyamat az alábbi ábrán látható.



1. ábra A T5Hg egyszerűsített modell Feynman-gráfja

Elsőként a 2016 és 2018 között felvett CMS adatokban végeztem el a gyors online eseményválogatásra használt foton-triggerek hatásfokának mérését évenkénti bontásban. Ennek első lépéseként az adatfelvétel során használt triggerek közül kiválogattam azokat, amelyek relevánsak az analízis során, azaz be voltak kapcsolva a vizsgált időszak legnagyobb részében. Ezt a CMS BrilCalc nevű luminozítás-számító programjával végeztem el, mely mindegyik triggerre vonatkozóan kiszámoltam éves bontásban a felvett luminozítást. Az így kiválasztott triggerek minél pontosabb ismerete fontos a keresett jelre való kísérleti érzékenység meghatározásához, optimalizálásához.

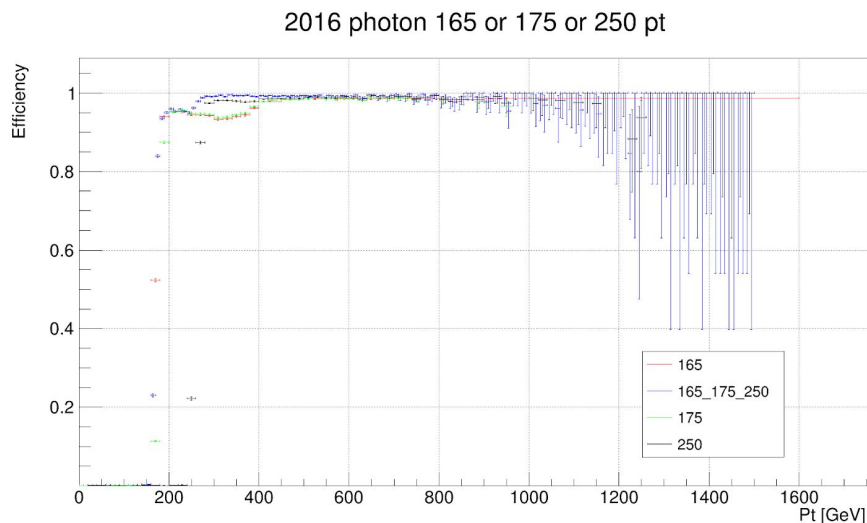
Minden az analízis szempontjából fontos foton trigger hatásfokát meghatároztam a foton transzverzális impulzus, a pszeudorapiditás illetve a rekonstruált proton-proton ütközési pontok (vertexek) számának függvényében. Az egyes triggerek közötti különbség a fotonokra kirótt minimális p_T megkötésben, illetve az azonosítási feltételekben van. A p_T korlát értéke (GeV egységekben) jelenik meg a trigger nevében az alábbiakban. Példaként egy 300 GeV-es foton létét megkövetelő trigger hatásfokát mutatom be.



2. ábra Balra: Az HLT_Photon_300-as trigger hatásfoka az azonosított offline foton p_T függvényében. Jobbra: HLT_Photon_300-as trigger hatásfoka az azonosított $p_T > 310$ GeV impulzusú offline foton pszeudorapiditása függvényében.

A 2. ábra bal oldalán a p_T korlát hatása jól látszik: $p_T \sim 300$ GeV körül hirtelen hatásfoknövekedést, majd nagyobb impulzusoknál egy lassú közelítést észlelünk a 100%-os hatásfok felé. A hatásfok függ a foton irányától is, hiszen ez befolyásolja a foton által bejárt anyag mennyiségét. Ezt ábrázolja a fenti ábra jobb oldala, ahol a hatásfok jelentősen lecsökken nagyjából $|\eta| = 1.5$ környékén, ami megfelel a CMS detektorban az elektromágneses kaloriméter hordó és sapka régiói találkozásának.

Érdeemes megvizsgálni a különböző triggererek logikai VAGY-gyal történő kombinációja által elérhető hatásfoknövekedést is. Ezt mutatja a 3. ábra, ahol a 2016-ban használt 165, 175 valamint 250 GeV-es minimális transzverzális impulzust megkövetelő triggererek, valamint az ezekből logikai VAGY függvénnyel kapott feltétel hatásfokai láthatók. Ez utóbbit kézzel ábrázoltam. A hatásfok nyereség a $p_T = 250 - 400$ GeV régióban jelentős. Ennek oka, hogy a magasabb p_T korlátú triggerereknél az azonosítási feltételek lazábbak.



3. ábra Balra: HLT Photon 165, 175, és 250-es triggererek, valamint az ezekből logikai VAGY függvénnyel kapott feltétel hatásfokai az azonosított offline foton p_T függvényében.

Munkám következő lépéseként a b kvarkokból születő hadronzaporok azonosítási hatásfokának meghatározásán dolgozom, ami szintén fontos az analízisben tárgyalt folyamat vizsgálatához, hiszen a keletkezett Higgs-bozonok nagyjából 60% b-anti-b párra bomlik.

A fenti kutatást leíró belső CMS Analysis Note írása folyamatban van. A munka belső ellenőrzése elkezdődött, és publikációja 2020-ra várható.

2. A CMS luminozítás kalibráció linearitásának vizsgálata a pixel detektor beütéseit valamint a vertexet számláló algoritmus esetén

MSc szakdolgozatom témáját folytatva p-p Monte Carlo szimulációkban vizsgáltam a töltött részecskék által formált vertexek, illetve a pixel nyomkövető detektorban észlelt klaszterek számolásán alapú luminozítás kalibrációt.

Az LHC nyalábcsomagtalálkozásaiban lejátszódó p-p kölcsönhatások számát eseményhalmozódásnak (pile-up-nak) nevezzük. Ez a teljes p-p hatáskeresztmetszettől és a gyorsító által szolgáltatott pillanatnyi luminozitástól függ. Ideális esetben a detektor által érzékelt kölcsönhatási vertexek, melyeket kísérletileg a töltött részecskék nyomainak találkozási pontjait megkeresve határozzuk meg, és az elemi proton-proton interakciók száma megegyezik. Ekkor a vertexek számának méréséből meghatározható a gyorsító által

szolgáltatott luminozítás. A valóságban azonban előfordul, hogy néhány p-p ütközést nem tudunk detektálni, valamint olyan csomópontokat is rekonstruálunk, amik nem egy valódi egyedülálló p-p ütközéshez tartoznak. A rekonstruált vertexek számát a szimulált pile-up események számának függvényében ábrázolva azt találjuk, hogy a kettő közötti összefüggés nem teljesen lineáris, ezért a vertex számláló algoritmussal meghatározott luminozítás sem lineárisan növekszik, ami jelentős szisztematikus hibaforrás, és így minél pontosabb korrekciót igényel.

A pixel klaszterek száma lineárisabb viselkedést mutat, azonban magas pile-up esetén ott is észlelhető a lineáris viselkedéstől való eltérés. Ezek a hatások egyre fontosabbá válnak az LHC pillanatnyi luminozításának növelésével [1].

3. CMS BRIL luminozítás mérő detektor fejlesztése a HL-LHC-hez

2019 októberében részt vettem a harmadik Tracker Update DAQ School-on, melynek során átfogó bevezetést kaptam a fejlesztés alatt álló nyomkövető detektor kiolvasásához, a kiolvasórendszer működésének karakterizálásához szükséges eszközök (keretrendszer, software és hardware) kezeléséről. Az ott megszerzett tudással az ELTE-n felállítandó laborban fogjuk a HL-LHC-re tervezett szilícium alapú nyomkövető és luminozításmérő rendszer [1] kiolvasását tesztelni és a szükséges szoftvert fejleszteni. A rendszer összeállítása folyamatban van, a méréseket a következő félévben kezdjük el.

4. Tanulmányi tevékenység

- Kvantumszindinamika (6 kredit)
- Részecskefizika kísérleti módszerei 2. (6 kredit)
- Irányított kutatómunka – első szemeszter (18 kredit)

5. Konferencia előadás

Search for supersymmetric particles with photons in the final state using the CMS detector, on behalf of the CMS Collaboration, 19th Zimányi School Winter Workshop on Heavy Ion Physics, 2-6 December, 2019, Budapest

6. Konferencia, továbbképzés részvétel

- CMS SUSY Workshop 18-20 September, Santander, Spanyolország
- 3rd Tracker Update DAQ School 7-9 October, 2019 CERN, Genf, Svájc

7. Publikációk

[1] CMS Collaboration, The Phase-2 Upgrade of the CMS Beam Radiation Instrumentation and Luminosity Detectors: Conceptual Design, CMS-TDR-19-003