

Új fizika keresése a CERN CMS detektorával

A H07-C-74281 jelű OTKA-pályázat szakmai zárójelentése
Témavezető: Trócsányi Zoltán (Z.Trocsanyi@atomki.hu)

ÖSSZEFOGLALÁS

A részletes kutatási terv összefoglalója szerint a pályázat célkitűzése a következő volt: „két doktorandusz 12-hónapos CERN-beli kiküldése, és ezáltal a kutatócsoportunk Ph.D. hallgatóinak mélyebb bevonása a CMS együttműködés és a CERN adatkezelő és -értékelő technikájának fejlesztésébe. Az egyik kiküldendő kutató feladata lesz a müonkamrák helyzetmeghatározó rendszerének felügyelete, valamint részvétel az új fizika keresésében a mértékbozonpárokat tartalmazó események adatainak elemzésével. A másik kutató az új részecskék kereséséhez szükséges adatkiértékelés kidolgozásában fog részt venni, különös tekintettel a mikroszkópikus fekete lyukak, vagy más, az extra dimenziók létezésére utaló jelek felfedezésére.”

A megvalósításban összesen négy kutató vett részt:

- Béni Noémi doktorandusz 2008. augusztus 1–szeptember 28 valamint 2009. január 6–augusztus 31. között összesen 9.5 hónapot,
- Regös Enikő posztdoktor 2008. augusztus 1–október 31. között összesen 3 hónapot,
- Ujvári Balázs doktorandusz 2008. július 1–31, 2008. október 5–november 4, valamint 2009. január 1–február 6 között összesen 3 hónapot,
- Veszprémi Viktor posztdoktor 2009. január 1–szeptember 30. között két hét megszakítással összesen 9.5 hónapot

töltött a CERN-ben a pályázat terhére.

A kiküldöttek munkájának eredményeként megvalósult a CMS müonkamrák helyzetmeghatározó rendszerének fejlesztésével, megépítésével, kipróbálásával és üzemeltetésével kapcsolatos összes célkitűzésünk. Megtörtént az első üzemi tapasztalatok összegyűjtése, az észlelt hibák javítása, és a felkészülés az új mérési időszakaszra. A tevékenység másik ága az őszi mérések kiértékelése, illetve a kiértékelési módszerek tökéletesítése volt a szerzett tapasztalatok alapján. A célkitűzéseken túlmenően foglalkoztunk a Pixel detektor időzítésével is. Kozmikus müonok segítségével a Pixel adatrögzítésének idejét a kozmikus eseményt kiválasztó detektor idejéhez hangoltuk, majd a 2009-es adatok segítségével a Pixel detektor időzítését az LHC-ben történő első ütközésekhez igazítottuk, illetve a detektor moduljainak egyedi időzítését összehangoltuk.

Az adatkiértékelés terén a szuperszimmetrikus jelenségek keresésében vettünk részt. Csoportunk csatlakozott a CMS SUSY-csoportjában alakult egy-leptonos alcsoporthoz és elvégezte a csoport által kijelölt RA4 referencia-analízist. Komoly előrelépés történt a proton-proton ütközésben hipotetikus keletkező fekete lyukak modelljének vizsgálatában is: a BlackMax program segítségével szimulált adatokon vizsgáltuk a jelenség megfigyelésének lehetőségeit a CMS-nél.

1. A kutatások részletes eredményei

A CMS műionkamrák helyzetmeghatározó rendszerével kapcsolatban végrehajtottuk a kutatási terv következő pontjait:

- a rendszer működésének rendszeres ellenőrzése, karbantartása,
- a mérési adatok feldolgozására szolgáló számítógépes programok megírása,
- a működés közben gyűjtött adatok feldolgozása alapján a rendszer működésének további optimalizálása,
- a CMS adattárolásával összhangban levő adatbázist és adattárolás megvalósítása,
- kozmikus sugárzási próbák kivitelezése.

E feladatok végrehajtása Béni Noémi és Ujvári Balázs feladata volt.

Béni Noémi ellenőrizte a rendszer összes (9072 db) optikai vonalát a kamerák használható referenciapontjainak meghatározása érdekében, kiejvította a hibákat. Felelőse a rendszer DCS (Detector Control System) szoftverének. PVSS (Prozessvisualisierung- und Steuerungssystem) programnyelven egy olyan programot fejlesztett, amely a műionkamra helyzetmeghatározását szolgáló rendszer működését tudja irányítani, felügyelni és az esetlegesen előforduló hibákat közvetíteni. A programot beépítette a CMS központi DCS rendszerébe, így már a CMS belső hálózatában levő számítógépéről fut és a CMS irányítóterméből használható, azaz az aldetektort felügyelő úgynevezett ügyeletes is képes irányítani a rendszert. A 2008-as téli leálláskor részt vett a rendszer 2008-as üzemeltetése során felfedezett hardverhibák kijavításában: lecseréltek 30 BoardPC-n a firmware-t (összesen 36 BoardPC van a rendszerben); megjavítottak egy kamerát, egy másikat kicseréltek (összesen 600 kamera van a rendszerben); kijavították két hőmérő csatlakozási problémáját (összesen 144 van a rendszerben); továbbá leszereltek 17 MAB-ot (összesen 36 MAB van a rendszerben) hibajavítási, újrakalibrálási és biztonsági okok miatt. Minden egyes ilyen MAB-ot ellenőriztük, majd detektor-zárás előtt visszatették a helyükre. Részt vett a rendszer által gyűjtött adatok kiértékelésében, az úgynevezett rekonstrukciós analízis egyes részfeladataiban. 18 alkalommal volt a detektor üzemelésén ügyeletes. 24 CMS belső előadást tartott [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24] (ezek nem referált közlemények, ezért az OTKA honlapján a közlemények összesítőjében nem soroljuk fel).

Ujvári Balázs szintén a CMS műion-helymeghatározó rendszer fejlesztésén dolgozott. A hardver méréseit egy COCOA nevű térinformatikai programmal értékeli ki. Először a helyi számítógépen futtatott példányról áttért a CMSSW (a kísérlet hivatalos kódrendszere) keretén belüli változatra, kidolgozta egy konfigurációs fájl generáló program keretrendszerét, az ehhez szükséges adatbázisok vázát. Hozzájárult az adatfolyam megtervezésében, helyességének ellenőrzésére tett kezdeti lépésekhez is. Elkészültek azok az adatbázis táblák, amelyek szükségesek a futáshoz és adatbázisba kerültek az egyes mérések eredményei is. A kiértékelést először ismert, stabil méréseken ellenőrizték le, ezek eredményeit bemutatták a csoportnak. A detektorelemeket működtető csoportok közötti munka, mely során az eredményük a többiekével egybevetve tovább adódik, jelenleg is folyik. Az utolsó fázisnál tart, amikor ellenőrzik az adatok valóságát más mérésekkel, az eredményeik hamarosan hivatalossá válnak. A program számára bemenetként a kiértékelendő sík sorszámát és a mérés azonosítóját kell megadni, kimenetként kész COCOA bemenő fájl gyárt, ami rögtön futtatható. Részt vett továbbá a detektor hibás alkatrészeinek javításában, valamint 6 alkalommal volt üzemeltető ügyeletes.

A kutatási tervben megcélzott hardvermunkákon kívül Veszprémi Viktor révén a csoport részt vett a szilikon alapú Pixel detektor kalibrációs munkáiban is. A Pixel detektor a CMS pályarekonstrukciós és objektumfelismerő rendszerének az egyik legfontosabb

eleme köszönhetően annak, hogy a részecskék keletkezési pontjához legközelebb szolgáltató információt töltött részecskék helyzetéről (a részecskepályákat meghatározó rendszer legbelső eleme). A Pixel detektor szolgáltatja a CMS nyomrekonstrukciós és elektron-felismerő algoritmusainak kiinduló pontját, növeli az elsődleges kölcsönhatási pont helymeghatározásának pontosságát, és lehetőséget ad hosszú életű hadronok bomlási pontjának és életidejének meghatározására másodlagos vertexek keresésén keresztül.

Veszprémi Viktor a Pixel detektor időzítésével foglalkozott. Az pixel detektor adatrögzítési módja?ból adódóan, az időzítés jelentősége kicsit eltér a más jellegű kalibrációkétól. A legszembetűnőbb különbség az, hogy míg a detektor a moduljain mért beütések pontos energiájának és helyzetének hibáját az adatgyűjtés után bármikor optimalizálni lehet az eltárolt információk alapján, addig az időzítés hibájából adódó pontatlanságok végérvényesek. Emiatt a Pixel detektor időzítését csak valódi ütközésekben, valós időben, lehet beállítani. A kalibrációt három fázisra lehet bontani. Az első fázisban kozmikus müonok segítségével a Pixel adatrögzítésének idejét a kozmikus eseményt kiválasztó detektor idejéhez hangolták. A második szakaszban a 2009-es korai adatok segítségével a pixel detektor időzítését mérsékelt pontossággal az LHC-ben történő első ütközésekhez igazították, illetve a detektor moduljainak egyedi időzítését összehangolták. A harmadik szakaszban (2010-ben) fogják véglegesíteni a Pixel detektor időzítését kihasználva a rendelkezésre álló idő hosszát és az adat mennyiségét. Az utóbbi két szakasz pontos előkészítése már elkezdődött, és jelenleg is zajlik. A projekt jellegéből adódóan folyóiratbeli közleményre még nincsen kilátás, de végrehajtása a CMS hatékony működtetése és majdani fizikai analízisek elvégzése és publikálása szempontjából igen lényeges. A munkáról készült belső jelentések a [25, 26, 27, 28, 29, 30] hivatkozások, amelyeket az OTKA honlapján a közlemények összesítőjében szintén nem sorolunk fel.

2. Felkészülés adatok kiértékelésére

Az adatok kiértékelésével kapcsolatban két fő célkitűzést fogalmaztunk meg a kutatási tervben:

1. a részecskefizikai Standard Modell ellenőrzése a hármas mértékbozon-csatolások vizsgálatával, illetve anomális hármas mértékbozon-csatolások keresésével,
2. mikroszkópikus fekete lyuk keresése.

Ismert technikai problémák miatt az LHC nem indult el, ezért az adatkiértékelő munkákkal lényeges eredményeket nem értünk el. A hármas mértékbozon-csatolások vizsgálatával felkészülési szinten sem foglalkoztunk, helyette Veszprémi Viktor kezdeményezésére a szuperszimmetrikus skalár t-kvark keresésére tettünk előkészületeket. A szuperszimmetria elmélete új részecskék és új részecskefizikai folyamatok jelenlétét jósolja az LHC által elérhető energiákon. Míg kezdetben az új folyamatok pontos tanulmányozásához sem megfelelően beállított detektorral, sem megfelelő mennyiségű adattal nem fogunk rendelkezni, addig az elmélet által jósolt részecskék bomlástermékeinek jelét viszonylag egyszerű mennyiségek spektrumain keresztül ki tudjuk mutatni. Ezek a jelek bizonyos tartományokban – például a szuperszimmetrikus részecskékre keletkezésére jellemző nagy hiányzó energiák esetén – az ismert fizika által jósolt eseményeken túli többletként fognak jelentkezni. Fontos tehát a standard modell által jósolt részecskék számának és tulajdonságainak megbecslése. Az általunk tanulmányozott események végállapotában egy felismert leptont (elektront vagy müont), néhány hadronsugarat („jet”-et), és nagy hiányzó energiát várunk. A standard modell folyamatai közül a top-kvarkok párban történő keletkezése vezet hasonló végállapotokhoz. Az elmúlt néhány hónapban a várható top-háttér megbecslésének módszereit tanulmányoztuk. Nem a pályázaton kiküldött debreceni doktori hallgató, Aranyi Attila segítségével lefektettük a

hosszú távú következetes analízishez szükséges szoftverek alapjait és elkezdtek a 2010-es adatok tanulmányozását szimulációkon keresztül. Ennek első lépése a CMS SUSY csoportja által közösen végzett, referencia analízisek elvégzése, és az eredmények összehasonlítása a SUSY csoporton belül működő európai és amerikai intézetek hasonló eredményeivel. Egy másik szintén debreceni doktorandusszal közösen a korábban említett végállapotot jellemző leptonok közül a müonok rekonstrukcióját vettük vizsgálat alá, illetve megkezdtük a müon-rekonstrukció által keltett háttér tanulmányozását. A munkáról készült belső jelentések (ezeket az OTKA honlapján a közlemények összesítőjében szintén nem soroljuk fel) [31, 32, 33].

A mikroszkópikus fekete lyuk keresére vontakozó előkészületekkel Regős Enikő foglalkozott. A BlackMax program segítségével szimulált adatokon vizsgálta a jelenség megfigyelésének lehetőségeit a CMS-nél. Eredményeiről belső jelentésben [34], továbbá a 2009. évi Rencontres de Moriond (Very High Energy Phenomena in the Universe) konferencián számolt be [35].

Az LHC indulásának csúszása miatt eddig egyetlen közlemény jelent meg, és a közeljövőben sajnos nem is várható adatkiértékelésről szóló közlemény megjelenése nemzetközi vagy hazai folyóiratokban. Jelentős publikációk megjelenése a 2010-es adatgyűjtéshez lesz köthető. Bár a detektorfejlesztő munkánkról közvetlenül három közlemény megjelentetése van folyamatban (egyelőre csak a CERN felhasználók számára elérhető közlemények: CMS-CFT-09-001-002, CMS-CFT-09-016-003, CMS-CFT-09-017-003), szeretnénk hangsúlyozni, hogy a CMS együttműködés keretében készülő összes közlemény használni fogja a detektorfejlesztő munkánk eredményét. Itt szeretnénk megjegyezni továbbá, hogy a CMS-ben elfogadott köszönetnyilvánítási elv szerint csupán a támogató szervezet nevét tartalmazzák a közlemények, a kutatási pályázat számát nem. Ezen nem áll módunkban változtatni, ezért az OTKA szám egyetlen közleményen sem jelenik meg, csupán az OTKÁ-ra, mint támogató szervezetre történő hivatkozás. Ezeket a hivatkozásokat, OTKA számmal ellátott hivatkozásokként tüntetjük fel az OTKA honlapján.

A kutatási támogatás lehetőséget biztosított a CERN-ben zajló kutatói munka szélesebb körű ismertetéséhez is. A felnövekvő generáció pályaválasztásában jelentős szerepet játszhat a részükre nyújtott ismeretek pontossága és frissessége az élvonalbeli tudományos kutatások területén. Ebben nagy része lehet a középiskolai fizika tanárok felkészültségének és tájékozottságának. Részt vettünk a középiskolai tanárok továbbképzését biztosító, a CERN által évente megrendezésre kerülő továbbképző tanfolyam lebonyolításában is [36].

Hivatkozások

- [1] AlHardware alignment: measurement of movements during magnet comissioning 2009-07-31 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=65533>)
- [2] Update on DT reconstruction, 2009-07-31 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=65372>)
- [3] Brief report on recent Barrel data taking, 2009-07-31 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=65372>)
- [4] Hardware barrel alignment in CRAFT09, 2009-07-30 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=65379>)
- [5] Brief report on recent Barrel data taking, 2009-07-24 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=65062>)
- [6] Update on DT reconstruction, 2009-07-17 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=64678>)

- [7] Brief report on recent Barrel data taking, 2009-07-17
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=64678>)
- [8] Update on DT reconstruction, 2009-07-03
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=63450>)
- [9] Update on DT reconstruction, CMS week, 2009-06-26
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=62658>)
- [10] Analysis of hardware alignment data, CMS week, 2009-06-23
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=62578>)
- [11] Update on DT reconstruction, 2009-06-19
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=62256>)
- [12] Update on DT reconstruction, 2009-06-08
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=60557>)
- [13] MAB installation and CMS closing update, 2009-06-08
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=60557>)
- [14] DT hardware alignment: overview and future developments, Muon Barrel Workshop, 2009-04-21 (<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=56281>)
- [15] Update on reconstruction of Barrel hardware alignment data, 2009-04-15
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=56670>)
- [16] Barrel Geometry Reconstruction update, CMS Week, 2009-03-20
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=55049>)
- [17] Barrel Hardware update, CMS Week, 2009-03-20
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=55049>)
- [18] Optical alignment; bench measurement of chamber thickness, CMS Week, 2009-03-17
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=54652>)
- [19] Barrel Hardware update, 2009-03-09
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=54167>)
- [20] Update on Barrel reconstruction results, 2009-03-02
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=53542>)
- [21] Alignment: status of data from hardw systems, Muon Barrel Workshop, 2009-02-16
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=52151>)
- [22] First analysis output from Barrel alignment system, 2009-02-04 (<http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=3&resId=1&materialId=slides&confId=52152>)
- [23] Status of barrel hardware and operations + SHUTDOWN activities, CMS week, 2008-12-12
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=46683>)
- [24] Status of barrel hardware and operations, CMS week, 2008-09-24
(<http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=40980>)
- [25] V. Veszprémi: Time calibration, CMS Pixel Offline and Calibration Meeting, 2009.08.06.

- [26] V. Veszprémi: Fine-Grain Timing Calibration, CMS Pixel Offline and Calibration Meeting, 2009.07.09.
- [27] V. Veszprémi: A CMS pixel-detektorának időzítése, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései¹, 2009.10.12
- [28] Veszprémi Viktor: A CMS pixel-detektorának időzítése 2009-es kozmikus eseményekben, felkészülés az első ütközésekre, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései, 2009.11.02
- [29] V. Veszprémi: Timing calibration: CMS Tracker Detector Performance Group Forum, 2009.10.29
- [30] V. Veszprémi: Timing studies, CMS Pixel Offline and Calibration Meeting, 2009.10.29.
- [31] Veszprémi Viktor: Top-kvark azonosítása t-tbar eseményekben, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései, 2009.09.14
- [32] Kapusi Anita, Veszprémi Viktor, Horváth Dezső: Stop-keresés a CMS detektornál, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései, 2009.02.23;
- [33] Kapusi Anita, Veszprémi Viktor: Reference analysis RA4 Jet+Met+Lepton, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései, 2009.07.06.
- [34] Regős Enikő: Low-Scale Gravity Black Holes at LHC, A magyar CMS-csoport Budapest-Debrecen-CERN megbeszélései, 2009.03.09
- [35] Enikő Regős: Low-Scale Gravity Black Holes at LHC, <http://moriond.in2p3.fr/J09/schedule2.html>
- [36] Veszprémi Viktor: Accelerators / Gyorsítók, CERN Hungarian Teachers Programme 2009, 2009.08.17.

¹<http://www.grid.kfki.hu/twiki/bin/view/CMS/WeeklyBudapestDebrecenMeetings>