

## Szakmai beszámoló – NKTH-OTKA H07-C 74248 – Veres I. Gábor – 2008.07.01-2009.12.31.

A pályázat keretében a *CERN*-ben az *LHC* beindulására készültünk fel, illetve az első mérési adatokat dolgoztuk fel, értékeltük ki és publikáltuk. Ezt a munkát világ egyik legnagyobb tudományos együttműködésében, a *CMS* kísérletben végeztük [1]. Munkánk számos kutatási területre (a *QCD* és a *Nehézion* munkacsoportokban) és a kísérleti munka különböző fázisaira (hardver *trigger*, szoftver, adatkiértékelés és publikáció) is kiterjedt, valamint az eredményeket is többféle módon tettük közzé. Mindezt az alábbiakban foglaljuk össze, a tiggertől kezdve az adatkiértékelésig. Az *idegen szavakat és rövidítéseket* a beszámoló végén közölt szójegyzékben magyarázzuk meg. Megjegyezzük, hogy az *LHC* 2008. szeptemberi beindítása félbeszakadt, mielőtt egyetlen ütközés is történt volna, ezért pályázatunk futamideje (a maximálisan megengedett) hat, az *LHC* beindulása pedig mintegy 14 hónappal későbbre toldott. Munkánk jelentőségét az általunk írt publikációk, hivatalos *Analysis Note*-ok, *Physics Analysis Summary*-k, *Conference Report*-ok, illetve az általunk a *CMS* kísérlet nevében tartott konferencia-előadások számával lehet lemérni. Ezért ezeket a beszámolóban feltüntetjük, illetve hivatkozunk. Ebben a pályázatban Veres Gábor (témavezető, *VG*), Krajczár Krisztián (*KK*) és Siklér Ferenc (*SF*) vettek részt. Az előadások esetén főleg az első két résztvevő (*VG*, *KK*) tevékenységét emeljük ki.

### 1.) Nyaláb-szcintillációs számlálók, *minimum bias trigger*

2009. első felében a *CMS* kísérlet még nem rendelkezett olyan *trigger*rel, amely képes lett volna nagy hatásfokkal jelezni (érezkelni) az inelasztikus *p+p* ütközések megtörténtét. Ez azonban elengedhetetlen az első publikációkhoz; ahol az ütközési frekvencia csak század- illetve ezredrésze volt a beindulásnál vártnak (<10 Hz), és fontos, hogy a *trigger* ne befolyásolja túlságosan az adathalmazt (*minimum bias*), tehát az ütközések lehető legnagyobb részét kiválogassa, felismerje.

Ezt a problémát a mi oldottuk meg (*VG*), a nyaláb-szcintillációs számlálók (*BSC*) adaptálásával erre az - előre nem tervezett - feladatra. Ennek eredményeképpen a *BSC* rendszer jeleiből 12 különböző *trigger* jelet konstruáltunk, melyek az inelasztikus ütközéseket, a nyalábot kísérő (*halo*) müonokat, a nyaláb-gáz ütközéseket és a nagy multiplicitású eseményeket ismerik fel. Ezen *triggerek* elkészítése, az *LI trigger* rendszerbe való integrálása, tesztelése, szimulációja, hardveres beállításai, karbantartása, beüzemelése, majd üzemeltetése a mi feladatunk volt (*VG*), amit sikeresen oldottunk meg. A legnagyobb hatásfokú *trigger*ünk azon események 98,5%-át már az *LI trigger* szinten érezkelni tudta, amelyekben rekonstruálható *vertex* volt. A *BSC* nemcsak *trigger* jeleket szolgáltatott, hanem az ütközési frekvenciát is mérni tudta már 0,1 Hz felett (amelyet az *LHC* irányítóközpont felé is élőben közvetítettünk), amely egyedülálló volt a *CMS* beindulásakor.

Ezeket a *triggereket* nemcsak mi használtuk fel a *CMS* első publikációjához, hanem a kollaboráció más munkacsoportjai is általánosan használják az adatkiértékelésben (*off-line* eseménnyálogatásban). A *CMS* indulásakor a *trigger*-stratégia technikai okokból kényszerűen megváltozott, ami miatt a *BSC* detektorra még nagyobb felelősség hárult. Az új adatfelvételi stratégia ésszerű kialakítása részünkről is (*VG*) nagyfokú aktivitást, vitát és odafigyelést igényelt. Minderről összesen 21 előadást tartottunk (*VG*) a *CMS* kísérlet számára a pályázat futamideje alatt.

### 2.) Forward Calorimeter (*HF*) *trigger*

Az első adatfelvételre készülve foglalkoztunk (*KK*) a részben magyar készítésű hadronikus kaloriméter (*HF*) *trigger*ként való felhasználhatóságával is. Tanulmányoztuk a lehetséges *triggerek* hatásfokát szimulációval, hibákat fedeztünk fel és korigáltunk az ehhez tartozó szoftver különböző verziókban és vizsgáltuk az általunk hasznosnak vélt nagy hatásfokú *triggereket*, amelyeket a *CMS trigger* csoportja jóváhagyott. A *CMS* indulásáig ezeket a *HF* munkacsoport nem tudta megvalósítani, azonban *off-line* szinten ezeket az eseménnyálogatáshoz használtuk. Mostanra pedig javaslatunk nyomán az *LI* szintű *triggereket* is elkészítették. Eredményeinket ismertettük a *CMS* kísérlet megbeszélésein (*KK*).

### 3.) Ütközési pont on-line meghatározása Pb+Pb ütközésekben

Az *LHC* első nehézion-ütközései a gyorsító korábban már említett problémái miatt csak 2010. novemberére várhatók. Aktívan hozzájárultunk azonban a Pb+Pb ütközések adatfelvételére való felkészüléshez, elsősorban szoftver-fejlesztéssel.

Ennek egyik eleme az általunk javasolt és elkészített *nehézion HLT-vertexing* volt (*KK*). A *CMS* nehézion-vertex kereső algoritmus a rekonstruált részecskepályák alapján határozza meg az ütközési pont helyét. Egy-egy centrális nehézion-ütközésben várhatóan több mint tízezer részecske keletkezik majd. Ekkor a *HLT* által használt algoritmusok futási idejének csökkentése és kiértékelési módszerének optimalizálása elengedhetetlen. Ezért kidolgoztunk egy olyan algoritmust, amely kellően pontos, de lényegesen gyorsabb. Első lépésben a nyomkövető rendszer betöltöttségéből az algoritmus megbecsli az ütközés során keletkezett részecskék számát, majd ennek függvényében definiál egy „elfogadási régiót”, és csak az ezen belüli részecskepályákat számítja ki. Kevés részecske esetén ez a módszer visszaadja a p+p ütközésekben használtat, mert ekkor az elfogadási régió a teljes nyomkövető rendszernek felel meg. Így sikerült az átlagos futási időt századrészére csökkenteni, amely így már belefér a rendelkezésre álló időbe. Az algoritmust a *CMS* nehézion csoportja most és a jövőben is használja. Az eredményeket két alkalommal mutattuk be a *CMS* kísérlet számára tartott előadásokban (*KK*).

### 4.) „Pixel részecskepálya” és „pixel aktivitás” triggerek

A p+p ütközésekre való felkészülés fontos része volt az adatok felvételi módjának optimalizálása. Minthogy az analízisek során *minimum bias* eseményeket szeretnénk vizsgálni, a legkevésbé megszorító, ugyanakkor zajmentes *trigger* megtalálása volt a feladat. A töltött részecskék által a nyomkövető detektorban hagyott beütések a szimulációk szerint alkalmasak az eseményválogatásra. Mivel a *CMS* legelső ütközéseinek válogatása (*trigger*) a feladat, az ilyen egyszerű és zajra potenciálisan érzékeny objektumokat csak tartalék *trigger*nek (ún. aktivitás *trigger*nek) használtuk.

Emellett javasoltuk, kidolgoztuk, szimulációval vizsgáltuk (*KK*) az ún. egyrészecske-*triggert*, amely akkor dönt az esemény adatainak rögzítése mellett, ha rekonstruálható legalább egy, nyalábhoz közel elhaladó részecskepálya. Ennek a *trigger*nek a hivatalos felelősei voltunk (*KK*), és részletesen tanulmányoztuk azt az ütközési adatok szimulációjában, a *CMS* által rögzített kozmikus sugárzás adatokban, valamint az ütközési háttér (nyaláb-gáz ütközések, *beam halo*) szimulációjának használatával.

Az eredmények szerint ezen *trigger* hatásfoka kiemelkedően magas, és elhanyagolható a hamis *trigger*ek aránya. A módszer sikeres elfogadtatása után valóban működött ez a *trigger*, rögtön a *CMS* kísérlet indulásánál. A módszerről négy előadást tartottunk (*KK*) a *CMS* kollaboráció előtt.

### 5.) „Minimum bias” nyomkövetés, részecskepálya-rekonstrukció

A *CMS*-ben két részecskepálya-rekonstruálásra írt algoritmus létezik, különböző célokra. Az első módszer az egyikünk (*SF*) által korábban kifejlesztett ún. *minimum bias tracking*, a második a „standard” iteratív *tracking*. Míg az előbbi a kis transzverzális impulzus ( $p_T$ )-tartományba terjesztette ki a részecskék nyomkövetését, addig a standard algoritmus a nagy- $p_T$  tartományban a töltött részecskék pontos rekonstrukciójára törekedett [2, 3].

Ezt a két módszert most sikerült olyan alakra hozni, hogy a *minimum bias tracking* mostmár illeszkedik a standard eljárás iteratív szerkezetéhez, és annak bizonyos lépéseiként konfigurálható. Munkánk (*KK*, *SF*) együtt járt a kis impulzusú *tracking* fejlesztésével is. A legfontosabb fejlesztés a *seeding* lépésben történt. Ehhez korábban csak a belső, pixel detektorban talált beütésekből épített ponthármassokat használtunk. A fejlesztés eredményeként már nemcsak ponthármassok, hanem pontpárok is biztonságosan használhatók. Ezzel sikerült megnövelni a rekonstruálható részecskék számát ~10%-kal, míg a hamis rekonstrukciós arány 1% alatt maradt, csökkentve ezzel a

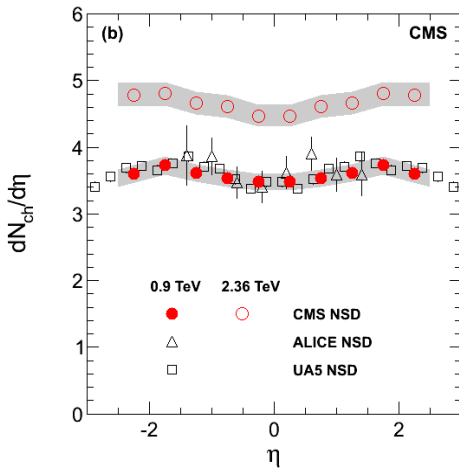
szisztematikus hibákat. Növekedett a nyomkövetés megbízhatósága is: a részecske által létrehozott ponthármas az egyik beütés elvesztése esetén párként így továbbra is rekonstruálható marad.

A témában kilenc előadást tartottunk (KK) a CMS nyilvánossága előtt.

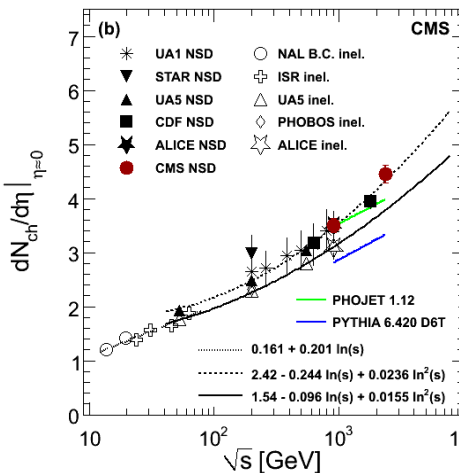
## 6.) Beütés rekonstrukciós hatások vizsgálata (pixel detektor)

A nyomkövető detektorban a beütések rekonstrukciós hatásfokának ismerete nagyon fontos az adatkiértékelés során. Ez a hatásfok 1-2% pontossággal megbecsülhető a ponthármasok és pontpárok által kezdeményezett részecskepályák arányából, alacsonyabb hatásfok esetén ugyanis megnő a párok száma a szimulációban kapotthoz képest. Ez a munka (KK) szintén fontos volt az első CMS publikációhoz.

## 7.) Töltött részecskék eloszlásának mérése p+p ütközésekben



A proton-proton ütközésekben keletkezett töltött hadronok szögeloszlása 0.9 és 2.36 TeV ütközési energián.



A proton-proton ütközésekben keletkezett, a nyalábirányra merőlegesen haladó töltött hadronok számának függése az ütközési energiától.

Az LHC első proton-proton ütközéseiben keletkező töltött részecskék szögeloszlásának mérésére való felkészülés egyik fontos lépése volt az általunk javasolt mérési módszer kísérleten belüli hivatalos elfogadtatása, amihez több *Analysis Note*-ot [4, 5], egy *Physics Analysis Summary*-t [4] és két *Early Paper Draft*-ot [6,7] írtunk (KK, VG, SF), melyek mind belső bírálaton és több bemutatási procedúrán estek át. Terveinket konferenciákon is bemutattuk [8, 9]. 2009 októberében a CMS hivatalos, még szimuláción alapuló főpróbáján is részt vettünk, amelyben bizonyítottuk, hogy alapos felkészülésünknek köszönhetően *egyetlen nap alatt* ki tudjuk értékelni a mérési adatokat.

Maga az analízis a CMS nyomkövető rendszerének pixel alapú szilícium detektoraira épül. Ezen detektorok közel vannak a nyalábhöz (4, 7 és 10 cm távolságra), velük a részecskék detektálásának alsó határa rendre  $p_T \approx 25$ ,  $\approx 40$  és  $\approx 60$  MeV/c. Finom szegmentáltságuk miatt az átlagos betöltöttségük nagyon alacsony, továbbá zajszintjük elhanyagolhatóan kicsi, ami alkalmassá teszi őket a részecskék szögeloszlásának betöltöttségükön alapuló mérésére.

Az elsődleges részecskék nyomai azonban a többkomponensű, fizikai eredetű háttérrel együtt jelennek meg a detektorban, így korrekciók szükségesek. A mérés során korrigáltunk azon elsődleges részecskékre, amelyek kis transzverzális impulzusuk miatt spiráloznak a detektorban („looperek”), és így többször döfik át ugyanazt a detektor-felületet. Korrigálunk továbbá a gyenge bomlásokból származó részecskék okozta beütésekre, a detektor-rétegek átlapolásából adódó többszörös jelekre, a nyalábcsovel és egyéb anyagokkal való kölcsönhatásból származó másodlagos részecskék nyomaira, valamint delta-elektronokra és a foton-konverziókból származó részecskepárookra is.

Az elsődleges részecskék által hagyott beütések nyalábirányú hosszúsága arányos  $\ln(\sinh(\eta))$ -val, ahol  $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$  és  $\theta$  az ütközési ponthoz képesti kirepülési szög. A háttérből származó részecskék általában kisebb

nyomot hagynak, ami alapján ezek nagy részét ki tudtuk zárni az elemzésből.

Az analízisben további fejlesztés volt egy új, kizárólag a beütések alakját használó *vertex*-kereső algoritmus bevezetése (*SF*). Ez a már fentebb említett összefüggés alapján állapítja meg a *vertex* helyét. Ezzel a lépéssel a mérés teljesen függetlenné válik a részecskepálya-rekonstrukciós módszerektől.

A fentebb leírtak értelmében ezen méréshez valóban zajmentes detektorra és a felvett ütközések közül helyesen kiválasztott tényleges proton-proton ütközésekre volt szükségünk. Az adatok kiolvasását a hatékony *BSC* indította el, amennyiben egyidejűleg a nyaláb-érzékelő detektorok is jelezték legalább az egyik nyalábcsomag megérkezését a *CMS*-hez. Az elemzéshez használt eseményeket ebből a *HF* segítségével válogattuk. Ez a szelekció az ún. nem-egyszeresen diffraktív (*NSD*) ütközésekre a „leghatásosabb”, ezeket választja ki a legnagyobb valószínűséggel, így eredményeinket erre az ütközés-csoportra korrigáltuk, illetve vonatkoztattuk. A módszer nehézion-ütközésekre való alkalmazhatóságát is demonstráltuk.

Fenti eredményeinket (*KK*, *VG*) kombináltuk a kizárólag pontpárokat alkalmazó mérési módszerrel (melyet az MIT-n dolgozó kollégáink dolgoztak ki), valamint a részecskepálya-rekonstrukcióval kapott eredményeinkkel (*SF*). Az eredményeket a *CMS* kísérlet első ütközési adatokból írt cikkében [10] publikáltuk (*VG*, *KK*, *SF*). Ez egyúttal az első cikk a világon, amelyben 2 TeV fölötti ütközési energiájú laboratóriumi mérési adatok szerepelnek. Ez a második cikk az *LHC*-ből, de az első olyan publikáció, ahol impulzumérés is alkalmazásra került. A kapott végeredmény illeszkedik a régebbi mérések által kijelölt trendhez, de a 2,36 TeV-en kapott érték alapján megállapíthatjuk, hogy a keletkezett részecskeszám sokkal meredekebben nő az energia függvényében, mint több népszerű fenomenológiai modell erre vonatkozó jóslata. A *CMS* kísérleten belüli nagyfokú láthatóságunkat jelzi, hogy a fenti, első *CMS*-publikáció megírását a kísérletek közötti éles versenyhelyzetben ránk bízta (*KK*, *SF*, *VG*) a 2500 fős kollaboráció. A felkészülés és a belső bírálatok során 47 előadást tartottunk a *CMS* kísérlet nyilvánossága előtt ebben a témában (*KK*: 18, *VG*: 29). Eredményeinket egy rangos nemzetközi konferencián [11] és meghívott szemináriumokon, kollokviumokon [12-14] is bemutattuk.

## 8.) *V0* részecskék azonosítása

A  $K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  és  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  bomlási csatornáknál keletkezett részecskék mérésével lehetőségünk van megmérni a  $K_s^0$ , és  $\Lambda$  (közös néven *V0*) spektrumokat. Ehhez elengedhetetlen a korábban röviden bemutatott *minimum bias tracking* használata, hiszen minél kisebb transzverzális impulzusig (azaz a részecskék minél nagyobb részét lefedve) szeretnénk a spektrumokat rekonstruálni. *V0*-k esetében azonban (a  $K_s^0$  és a  $\Lambda$  nagy élettartama miatt) a bomlás nem korlátozódik a detektor belsejére, tehát nem minden bomlástermék fog teljesülni az alapértelmezett rekonstrukció feltétele (t.i. beütések a pixel detektorban). A standard iteratív *tracking*-be való integráltságnak köszönhetően azonban kiegészítettük az algoritmust egy, a nyalábtól távolabbi (*strip*) detektorokon alapuló *seeding* lépéssel is (*KK*, *SF*). Így megnövelhető a nyomkövetés során rekonstruált bomlástermékek, és így a belőlük rekonstruálható *V0* részecskék száma is. A *V0*-k rekonstrukciójához az olyan egymáshoz „kellően” közel mutató trackeket használjuk, amelyek összipulzusa visszamutat az ütközési pontba. A módszer szimuláció esetén ki van dolgozva, az adatokon való alkalmazása ezekben a hetekben történik. Ezeket a módszereket tervezzük a következő publikációinkban alkalmazni.

A fenti módszerrel történő *V0* azonosítás nehézion-ütközésekre való alkalmazhatóságát is demonstráltuk, azonban a lényegesen nagyobb részecskesűrűség miatt a jel/zaj arány sokkal kisebbnek adódik. A módszert szintén ismertettük a *CMS* előtt (*KK*).

## 9.) Kaszkád részecskék azonosítása

A kaszkád részecskék egy  $V0$ -ra és egy töltött részecskére bomlanak ( $\Xi \rightarrow \Lambda \pi^-$ ,  $\Omega^- \rightarrow \Lambda K^-$ ). A töltött részecskék a *minimum bias tracking*nél leírtak szerint, míg  $V0$ -k az előző pontban leírtak szerint azonosíthatók. Maguknak a kaszkád részecskéknek az azonosítása hasonlóan végezhető, mint a  $V0$ -ké. Különbség, hogy míg  $V0$ -k esetében két töltött részecske, azaz két hélix közötti legrövidebb távolságot keressük, addig itt (mivel a  $V0$  semleges) egy egyenes és egy hélix közötti legrövidebb távolságot. Az ehhez szükséges programcsomagok kidolgozásra kerültek. Ennek a módszernek az alkalmazását is tervezzük a következő publikációinkban.

## 10.) Nehézion-program

Aktívan részt vettünk a *CMS* nehézion-programjában is, amely főleg a jet-fizikával kapcsolatos munkánk folytatását illetve terveink ismertetését [15-17] jelentette (*VG*, *KK*), valamint a már említett nehézion-*vertexing* fejlesztést (*KK*). Emellett a nehézionokkal történő mérésben a *BSC* és a *HF* detektorok további tanulmányozásával is készültünk. Ebben a témában is tartottunk 6 előadást a *CMS* kísérletben (*VG*). Az első nehézion-ütközések 2010 novemberében várhatók.

## 11.) Mérések felügyelete

Végül a pályázat lehetővé tette azt is, hogy a *CMS* hivatalos mérési műszakjaiból kivegyünk a kötelezően ránk jutó részt. Ez a pixel detektort (*KK*) és a *BSC* detektort (*VG*) felügyelő műszakjaink vállalásával valósult meg.

## 12.) Az eredmények közzététele

A *CMS* kísérlet szabályai szerint az *Analysis Note*-ok (AN) nem nyilvánosak és nem tartalmaznak köszönetnyilvánítást, viszont csak a néhány tényleges szerzőjük van feltüntetve. A *Conference Report*-ok (CR) és a *Physics Analysis Summary*-k (PAS) nyilvánosak, de az utóbbiak – a folyóiratcikkekkel ellentétben – nem tartalmazhatnak szerzőlistát és köszönetnyilvánítást. Munkánk során a fenti kategóriák mindegyikében közzétettük eredményeinket. Ezen kívül összesen 95 előadást tartottunk a *CMS* kísérlet nemzetközi hallgatósága előtt (*KK*, *VG*). A *CMS*-ben elért eredményeinket 9 nemzetközi konferencián [2,3,8,9,11,12,15,16,17] és 5 magyar nyelvű előadásban [13, 18-21] is ismertettük (*KK és VG*), miközben a *CMS* kísérlet egy résztvevőjére átlagosan kb. 0,5 konferencia-előadás jut évente. A magyar és nemzetközi sajtó is beszámolt új eredményeinkről [22-26]. A pályázat segítségével elértük, hogy mostmár a *CMS* fizikai kutatócsoportjainak vezetésében is van magyar részvétel: 2010. januárjától egyikünk (*SF*) a QCD csoport vezetője, másikunk pedig (*VG*) a QCD csoport egyik alcsoportjának vezetője lett. Csoportunk azon egyetlen tagja, aki a támogatást a *CERN*-beli jelenlétre és ottani kutatómunkára fordíthatta (*KK*), 2010-ben tervezi megvédeni PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, jórészt az pályázat támogatásával végzett munkáját felhasználva.

## Publikációk:

[1] (CMS Collaboration) R. Adolphi, ..., F. Siklér, ..., G. Veres, *et al.*: *The CMS experiment at the CERN LHC*. **JINST 3 S08004**, 2008.

[2] Krisztián Krajczár, *Measurement of Charged Hadron Spectra in pp collisions at CMS*, előadás, Europhysics Conference on High Energy Physics, 16-22 July 2009 Krakow, Poland. **PoS(EPS-HEP 2009)062**, valamint **CMS CR-2009/234**, 2009, [http://pos.sissa.it/archive/conferences/084/062/EPS-HEP%202009\\_062.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/084/062/EPS-HEP%202009_062.pdf)

[3] Krisztián Krajczár, *QCD Studies with CMS*, **PANIC 08**: 18th International Conference On Particles and Nuclei, 9-14 Nov 2008, Eilat (Israel) konferencián bemutatott poszter, 2008

[4] Gábor I. Veres, Krisztián Krajczár, *Pseudorapidity Distributions of Charged Hadrons in Minimum Bias pp collisions at 14 TeV*, **CMS AN-2008/018**, valamint **CMS PAS QCD-08-004**, 2008. <http://cms-physics.web.cern.ch/cms-physics/public/QCD-08-004-pas.pdf>

[5] Gábor I. Veres, Krisztián Krajczár, *et. al*, *Transverse momentum and pseudorapidity distributions of charged hadrons in proton-proton collisions at  $\sqrt{s}=900$  GeV and 2.36 TeV*, **CMS AN-2009/182**, 2009

[6] (CMS Collaboration) Gábor I. Veres, Krisztián Krajczár, *et. al*, *Pseudorapidity distributions of charged hadrons produced in minimum bias p+p collisions at  $\sqrt{s}=0.9$  and 7 TeV*, **CMS PAPER QCD-09-009**, 2009

[7] (CMS Collaboration) Ferenc Siklér, Krisztián Krajczár, *et. al.*: *Measurement of Hadron Spectra  $dN/dp_T$  in pp Collisions at 10 TeV*, **CMS PAPER QCD-09-008**, 2009

[8] Gábor I. Veres: *Preparation for the first p+p physics with the CMS experiment and the plans of the CMS Heavy Ion group*, (előadás), **Zimányi Winter School on Heavy Ion Physics**, Budapest, 2008. nov. 25-28, <http://zimanyischool.kfki.hu/08/>, <http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=27&sessionId=4&resId=1&materialId=slides&confId=45788>

[9] Gábor I. Veres: *Correlation and multiplicity measurements from RHIC to the LHC*, (plenáris előadás), **4th International Workshop on High- $p_T$  physics at LHC '09**, Prague, Czech Republic, 2009. feb. 4-7, <http://cquark.fffi.cvut.cz/~hpt09/program.html> **PoS(High- $p_T$  physics09)040**, 2009, [http://pos.sissa.it/archive/conferences/080/040/High-pT%20physics09\\_040.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/080/040/High-pT%20physics09_040.pdf)

[10] CMS Collaboration, Gábor I. Veres, Krisztián Krajczár, Ferenc Siklér *et. al*, *Transverse momentum and pseudorapidity distributions of charged hadrons in pp collisions at  $\sqrt{s}=0.9$  and 2.36 TeV*, **Journal of High Energy Physics 02 041**, 2010, <http://arxiv.org/pdf/1002.0621>

[11] Gábor I. Veres, *Transverse momentum and pseudorapidity distributions with minimum bias events in CMS at the LHC* (plenáris előadás), **Lake Louise Winter Institute**, Canada, 2010. feb. 18. <http://cpp.phys.ualberta.ca/LLWI/>, <https://indico.triumf.ca/getFile.py/access?contribId=41&sessionId=3&resId=1&materialId=slides&confId=864>

[12] Gábor I. Veres, *Transverse momentum and pseudorapidity distributions with minimum bias events in CMS at the LHC* (meghívott előadás), **NIKHEF**, Amsterdam, 2010. feb. 26. [http://www.nikhef.nl/en/news/tt-news/events/back\\_to/nikhef/article/26-02-2010-colloquium-gabor-veres-1/b25afe4349/](http://www.nikhef.nl/en/news/tt-news/events/back_to/nikhef/article/26-02-2010-colloquium-gabor-veres-1/b25afe4349/)

[13] Krajczár Krisztián: *Töltött részecske spektrumok mérése CMS detektorral 0,9 és 2,36 TeV-es ütközési energiákon*, **ELFT Részecskefizikai Szemináriuma**, 2010.febr. 17.

<http://www.kfki.hu/~elftrfsz/szem.html>

[https://krajczar.web.cern.ch/krajczar/17.02.10.KK\\_ReszfizSzeminarium.pdf](https://krajczar.web.cern.ch/krajczar/17.02.10.KK_ReszfizSzeminarium.pdf)

[14] Siklér Ferenc: *Első LHC eredmények rekord energián*, **ELTE Ortway Kollokvium**,

2010. febr. 18. <http://ortway-koll.elte.hu/Programs/Abstracts/sikler2010tavasz.abs.html>

[15] Krisztián Krajczár, *Measuring Nuclear Modification Factors at High- $p_T$  Using Jet Triggers*, előadás, High- $p_T$  Physics at LHC - Tokaj, Hungary, March 16 - 19, 2008

**PoS(High- $p_{TLHC}$ )025**, valamint **CMS CR-2008/080**, 2008,

[http://pos.sissa.it/archive/conferences/076/025/HIGH-pTLHC\\_025.pdf](http://pos.sissa.it/archive/conferences/076/025/HIGH-pTLHC_025.pdf)

[16] Gábor I. Veres: *Jet quenching studies in CMS*, **PANIC 08**: 18th International Conference On Particles and Nuclei, 9-14 Nov 2008, Eilat (Israel) konferencián bemutatott poszter, 2008

[17] Gábor I. Veres for the CMS Collaboration, *Measurements of high- $p_T$  probes in heavy ion collisions at CMS*, előadás, **Quark Matter 2009 Conference**, Mar 29-Apr 4, 2009, Knoxville, TN, USA, 2009. **Nucl. Phys. A 830, 793C-796C** valamint **CMS CR-2009/231** 2009,

<http://arxiv.org/pdf/0907.4814>

[18] Veres I. Gábor: *Részecskegyorsítók, Kísérleti adatok hibaszámítása*,

előadások, **Atommagok Ütközései Nyári Iskola**, Budapest, 2008. július 4-9.

<http://ludens.elte.hu/~magfizika/aunyi8/autkprog.html>

[19] Veres I. Gábor: *Részecske- és magfizikai kutatások a CERN-ben*,

előadás, **II. Nukleáris Szaktábor**, Göd-Budapest, 2008. július 6-11.

[http://mnt.kfki.hu/Tabor/DL/Program\\_2008\\_DRAFT.pdf](http://mnt.kfki.hu/Tabor/DL/Program_2008_DRAFT.pdf)

[20] Veres I. Gábor: *A Nagy Hadron Ütköztető – a fizika új fejezete*,

előadás, **Kutatók Éjszakája**, Budapest, 2008. szeptember 26.

<http://kutatokejszakaja.hu/index.php?page=3&id=645&reszlet=reszlet>

[21] Veres I. Gábor: *A Nagy Hadron Ütköztető – a fizika új fejezete*,

előadás, **Középiskolai Matematikai Lapok Ankét**, Budapest, 2008. november 16.

<http://www.komal.hu/hirek/anket/2008/program2008.h.shtml>

[22] Duna Televízió (riport Veres Gáborral): *Mi vagyunk az unió*, 2009. nov. 13.

<http://www.dunatv.hu/musor/videotar>

[23] [http://index.hu/tudomany/2010/02/03/magyarok\\_publikaltak\\_eloszor\\_az\\_lhc\\_rekordjat/](http://index.hu/tudomany/2010/02/03/magyarok_publikaltak_eloszor_az_lhc_rekordjat/)

[24] <http://www.origo.hu/tudomany/20100203-cern-lhc-magyarok-az-also-publikacio-236-teven-a-cmstol.html>

[25] *Record-breaking collisions*, **MIT News Office**,

<http://web.mit.edu/newsoffice/2010/lhc-results-0205.html>

[26] *High-energy Large Hadron Collider results published*, **BBC news**,

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/8505203.stm>

## **Szójegyzék:**

*beam halo*: a proton- vagy ionnyalábot követő, vele majdnem párhuzamos, főleg müonokból álló részecskék halmaza.

*BSC*: Beam Scintillator Counters, szcintillációs detektorok a CMS kísérletben, melyeket alkalmassá tettünk eseményválogatásra (*trigger*).

*CERN*: Európai Részecskefizikai Kutatóintézet (Genf). [www.cern.ch](http://www.cern.ch)

*CMS*: Compact Muon Solenoid, az LHC-re épült egyik legnagyobb kísérleti berendezés és a 2500 kutatóból álló együttműködés neve. <http://cms.cern.ch>

*HF*: Hadronikus forward kaloriméter, amely a nyalábirányhoz képest kis szögben kirepülő részecskék energiáját méri.

*HLT*: High Level *Trigger*, vagyis felső szintű *trigger*. A CMS kísérletben az eseményválogatást a nagy számítógép-farmon futó, gyors algoritmusok végzik, amelyek a detektorrendszer minden kiolvasott adatát használhatják.

*L1 trigger*: a gyors detektorok (müonkamrák, szcintillátorok, kaloriméterek) jelei alapján végzett elsődleges eseményválogatás illetve az ehhez szükséges elektronika, firmware és software.

*LHC*: Nagy Hadron Ütköztető (Large Hadron Collider), Genf. Itt hozták létre eddig a legnagyobb energiájú laboratóriumi részecske-ütközéseit (a jelenlegi rekord 2.36 TeV). <http://lh.cern.ch>

*minimum bias*: a legkevésbé megszorító módja annak, hogy egy részecske- vagy ion-ütközést kísérletileg definiáljunk, illetve az (inelasztikus) ütések lehető legbővebb detektálható halmaza, melyet a *trigger* a lehető legkevésbé befolyásol.

*seeding*: a részecskepályák rekonstrukciójának első és nagyon fontos lépése, ahol azokat a pontpárokat vagy ponthármasokat (stb.) jelöljük ki, amelyekből a nyomkeresés kiindulhat.

*tracking*: részecskepályák számítógépes rekonstrukciója a részecskék detektorokban létrehozott jelei, beütései alapján.

*trigger*: az események (részecske-ütközések) közül a valamilyen szempontból fizikailag érdekes eseményeket kiválogató berendezés, algoritmus, melyeknek adatai végül rögzítésre kerülnek.

*V0*: egy semleges részecske két töltött részecskére bomlásakor a mágneses térben „V” alakot formázó két részecskenyom. Ezek rekonstrukciójával tulajdonképpen a semleges részecske impulzusa és tömege mérhető meg.

*vertexing*: a részecskék vagy ionok ütközési pontjának pontos meghatározása a keletkezett részecskék szoftveres rekonstrukciójával a detektorban.