

## АНОТАЦИЯ НА МАТЕРИЛИТЕ

по чл. 65 от Правилника за развитието на академичния състав на  
Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“  
на  
гл. ас. д-р Мариана Филипова Шопова

за участие в конкурс за заемане на академична длъжност „доцент“ по област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.1. Физически науки (Физика на микросвета, високите енергии и елементарните частици) към Физико-технологичен факултет на ПУ „Паисий Хилендарски“, обявен в ДВ, бр. 98 от вторник, 19.11.2024 г.

Представените публикации за участие в конкурса за заемане на академична длъжност „Доцент“ са разработени след придобиване на ОКС „Доктор“ и след заемане на академичната длъжност „Главен асистент“ и включват 18 публикации.

- Всички публикации за конкурса са в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и/или Scopus).
- Основните научни тематики на представените в конкурса публикации на кандидата са насочени към физиката на високите енергии и елементарните частици, детекторите за отчитане на частици, газонапълнените детектори, тригерните детектори и представянето (работата) на детекторите за физика на високите енергии..
- Представени са 18 публикации, от които 18 имат IF (с общ **IF 42.17**).
- **h-индекс 117** (по Scopus)

Източник: SCOPUS (16.01.2025)

Линк към SCOPUS профил: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58085747300>

### Публикации:

- **По критерий В4: Хабилитационен труд – научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus):**

**B4-1.** A. Hayrapetyan, ..., **M. Shopova**,..., et al., JINST, 19 (2024) P05064, DOI: 10.1088/1748-0221/19/05/P05064, ISSN 17480221, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/19/05/P05064>, **IF(2023) 1.3**, SJR (2023) 0.58

### **Развитие на детектора CMS за LHC Run 3**

След първия период на набор на данни на CERN LHC, CMS експериментът е претърпява значителни надстройки и подобрения. Тази статия обсъжда конфигурация на CMS детектора в началото на третия период на набор на данни Run 3, който започна през 2022 г. Целият вътрешен треков силициев пикселен детектор бе подменен. Инсталирана е нова захранваща система за свръхпроводящия соленоид. Електрониката на адронния калориметър беше модернизирана. Всички мюонни електронни системи бяха модернизирани и бяха добавени нови мюонни детекторни станции, включително GEM детектори. Прецизният протонен спектрометър беше модернизиран. Специализираните детектори за светимост и мониториране за загуба на ускоряваните снопове бяха обновени. Бяха въведени и значителни подобрения на тригера, събирането на данни, софтуера и изчислителните системи, включително нова хибридна CPU/GPU ферма за тригера на високо ниво.

Мюонната система на CMS е най-голямата детекторна система на експеримента и е съставена от 4 отделни под-системи от газови детектори с различен дизайн, оптимизирани за тригериране (пропускане на събития), реконструкция и идентификация на мюони. Това са камерите с дрейфови тръби (DT – Drift Tubes) в централната част, т.н. барел, катодно-стрипови камери в затварящите части (CSC – Cathode Strip Chambers), оптимизирани за прецизна реконструкция на мюонните трекове, камерите със съпротивителна плоскост (RPC – Resistive Plate Chambers) в централната и затварящите части, оптимизирани за времеви измервания и камерите с усилване на електронните лавини (GEM - Gas Electron Multipliers) в затварящите части, предназначени да подсилват мюонния тригер в най-предната част на детектора. По-голяма част от мюонната система не е променена от тази използвана през периода на първия набор на данни, но са направени някои добавки и подобрения. Основните допълнения са в затварящите части – външния пръстен на четвъртата станция от CSC детектори (“ME4/2”), външните пръстени от RPC камери в станция четири (“RE4/2” и “RE4/3”, накратко “RE4”), както и новата система GEM в станция едно (“GE1/1”).

Представени са основните дейности по обновяването на RPC системата с инсталиране на нови детектори (“RE4”), новостите при тригерната система, дейностите по поддръжката на камерите и резултатите от проведените изследвания за калибриране и основните параметри за оценка на работата на системата.

*Личния принос на кандидата е като главен редактор на главата за мюонната система от RPC камери, както и в анализа на данните, наблюдението на работата на системата, тестването и калибровката на детекторите, поддръжка на RPC системата, производството на нови детектори за планираните периоди на обновяване и участие в проучванията за продължителна работа на детекторите.*

**B4-2.** M. Shopova, ..., et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1052 (2023) 168272, DOI: 10.1016/j.nima.2023.168272, ISSN 01689002, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168272>, IF (2023) 1.5, SJR (2023) 0.51

### **Готовност на системата от RPC на експеримента CMS за периода за набор на данни Run-3**

През периода на набор на данни Run-3, Големият адронен колайдър LHC се подготвя да доставя сблъсъци с моментна светимост от  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  to  $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . С цел осигуряване стабилен набор на данни, съдържащи достатъчна и допълваща се информация за тригериране, реконструкция и идентификация на мюоните, работната група към системата RPC на CMS използва периода за модернизация и профилактика на LHC, т.н. Long Shutdown 2 (LS2), за да осъществи серия от дейности за поддръжка и възстановяване на камерите и тяхната подготовка за новия период на набор на данни. В тази публикация са представени обобщени резултати за работата на системата RPC след въвеждането ѝ в експлоатация след LS2 и дейностите по подготовка за предстоящия набор на данни.

Представени са обобщени резултати за основните параметри за оценка на работата на системата от RPC на детектора CMS – ефективност за регистрация на мюони и размер на формираните клъстери, след въвеждане в експлоатация на системата след дългия период на модернизация и планирани ремонти LS2 (Long Shutdown 2) от 2018 до 2022 г. Ефективността на системата е определена за космични мюони и за мюони от протон-протонните сблъсъци на LHC. За целта е използван метода на екстраполираните сегменти от съседните мюонни детектори. Получените резултати са сравнени с подобни от края на 2018 и показват сравнимо качество на работа, като стойностите са съгласно технологичните изисквания на експеримента CMS – ефективност на системата не по-малка от 95% и размер на клъстерите не по-голям от три стрипа.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в поддръжката на камерите и тяхната подготовка за новия период на набор на данни, анализа на данни, координиране на отделните задачи за детекторен анализ, в обработката на данни и довеждането им до крайни резултати.*

**B4-3.** A. Samalan, ..., M. Shopova, ... et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1060 (2024) 168272, DOI: 10.1016/j.nima.2024.169075, ISSN 01689002, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2024.169075>, IF (2023) 1.5, SJR (2023) 0.51

### **Подобрени камери със съпротивителна плоскост за HL-LHC обновяването на CMS**

С оглед на предстоящия период с висока светимост на LHC (HL-LHC), мюонната система на CMS ще бъде модернизирана, за да се запази нейната висока ефективност при отчитане и реконструкция на мюони. Камерите със съпротивителна плоскост (RPC) са специализирани детектори за отчитане на мюонни, поради отличната си времева разделителна способност. Системата RPC ще бъде разширена до достигане на покритие от 2.4 псевдобързина. Преди третия период за профилактика и модернизиране на детекторите

и ускорителя, на новите станции RE3/1 и RE4/1 на предната част от мюонната система ще бъдат инсталирани подобрени камери със съпротивителна пласкост (iRPC), които в сравнение със сегашната RPC система имат различен дизайн и геометрия и 2D отчитане на сигналните електроди. Тази усъвършенствана геометрична конфигурация на iRPC позволява да се подобри скоростта на отчитане на сигналите и устойчивостта на потока частици и по този начин да се оцелее при тежките фонове условия по време на HL-LHC.

Няколко демонстрационни камери на iRPC бяха инсталирани в CMS по време на наскоро приключилия втори период за профилактика и модернизирание, за да се изследва поведението на детекторите в реални условия на LHC. Този документ обобщава проекта iRPC и неговия график, включително състоянието на лабораториите за асемблиране и тестване на iRPC, подробности за процедурите за контрол на качеството на камерите и резултатите от пускането в експлоатация на демонстрационните камери.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в асемблирането и тестването на детекторите, както и в анализа на работните им параметри и критериите за преминаване на различните етапи от контрола по качеството.*

**B4-4.** K. Mota Amarilo, ..., M. Shopova, ...et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1052 (2023) 168271, DOI: [10.1016/j.nima.2023.168271](https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168271), ISSN 01689002, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168271> , IF (2023) 1.5, SJR (2023) 0.51

### **Система от камери със съпротивителна плоскост проследяване на частици в лабораторията GIF++ в ЦЕРН**

С модернизацията HL-LHC на колайдера LHC се очаква петкратно увеличение на моментната светимост и настоящите детекторни системи трябва да бъдат тествани и одобрени за такива условия на работа, за да се осигури стабилния набор на данни. В лабораторията за гама облъчване на ЦЕРН (GIF++) много мюонни детектори са подложени на такива изследвания, но високият гама фон може да представлява предизвикателство за мюонната тригерна система, която е изложена на много фалшиви попадения от гама фона. За изчистване на фалшивите попадения е въведена трекова система, използваща RPC, използваща високата ефективност за регистрация на мюони на тези камери. В тази работа е представена конфигурацията на трековата система, използваният алгоритъм за анализ на детекторите и резултатите.

Прилагането на трековата системата е мотивирано от необходимостта да се тестват камерите на CMS RPC в условията на HL-LHC. Резултатите показват, че трековата система се справя много добре с отстраняването на фалшивите попадения от гама фона, дори при рейт, достигащ  $2 \text{ kHz/cm}^2$ . Тестовата камера се представи много добре и показва увеличение на работната точка от  $\approx 650 \text{ V}$  със загуба на ефективност от  $\approx 7.5 \%$ , като се използва специално разработена електроника с праг от  $75 \text{ fC}$ . В момента тази система се използва за изследвания на стареенето на системата CMS RPC.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в асемблирането и тестването на детекторите, анализа на работните им параметри, както и осигуряване на набора на качествени данни в различните тестови периоди в лабораторията GIF++ в ЦЕРН.*

**B4-5.** R. Aly, ..., **M. Shopova**, ..., et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1055 (2023) 168452, DOI: 10.1016/j.nima.2023.168452, ISSN 01689002, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168452> , **IF (2023) 1.5**, SJR (2023) 0.51

### **Резултати от изследванията дълголетие на RPC системата на експеримента CMS в очакване на HL-LHC**

Настоящата система от камери със съпротивителна плоскост на експеримента Компактен Мюонен Соленоид работи ефективно по време на първия (Run 1) и втория (Run 2) период на набор на данни. През следващите години на работа с висока светимост на LHC (HL-LHC) очаквания рейт и интегрирания заряд се очаква да бъдат съответно около 600 Hz/cm<sup>2</sup> и 840 mC/cm<sup>2</sup> (включващи статистическа значимост от 3 стандартни отклонения). В следствие, фазата на висока светимост HL-LHC ще бъде предизвикателство за системата RPC, тъй като очакваните условия на работа са много по-тежки от тези, за които са проектирани детекторите, и може да доведе до невъзстановими ефекти на стареене, които да променят свойствата на детектора.

От 2016 г. насам в лабораторията за гама-облъчване на ЦЕРН при контролирани условия се провеждат изследвания на дълголетие на няколко резервни камери със съпротивителна плоскост. Резултатите показват, че експлоатационните характеристики на камерите са стабилни до 97% от стойността на очаквания интегриран заряд в HL-LHC и до най-високото фонове облъчване, очаквано при HL-LHC (600 Hz/cm<sup>2</sup>). До момента не са наблюдавани доказателства за какъвто и да е ефект на стареене. Следователно настоящата система RPC е в състояние да работи надеждно във фазата на висока светимост HL-LHC. Показани са последните резултати от теста с облъчване.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в асемблирането на част от детекторите, анализа на работните им параметри и оценка на дълголетие им, както и осигуряване на набора на качествени данни в различните тестови периоди в лабораторията GIF++ в ЦЕРН.*

**B4-6.** A. Samalan, ..., **M. Shopova**, ... et al., JINST 15 (2020) 10, C10007, DOI:10.1088/1748-0221/15/10/C10007, ISSN 17480221, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/C10007> , **IF (2020) 1.415**, SJR (2020) 0.741

### **Системата RPC в първото ниво (Level-1) на мюонния тригер на експеримента CMS**

Тригерната система на експеримента CMS е организирана в две нива – тригер от първо ниво, т.н. Level-1 (L1), оборудван с електроника със специфичен дизайн и тригер от високо ниво, т.н. High Level Trigger (HLT), който включва специфични софтуерни алгоритми и ресурси. За да се справи с все по-предизвикателните условия на повишаване на

моментната светимост, архитектурата на L1 беше организирана в нова схема през периода на набор на данни Run2 (2015 – 2018). Новата архитектура експлоатира по оптимизиран начин дублиращата се и допълващата се информация, идваща от трите мюонни под-системи: катодно стрипови камери - Cathode Strip Chambers (CSC), камери с дрейфови тръби - Drift Tubes (DT) и камери със съпротивителна плоскост - Resistive Plate Chambers (RPC). В тази публикация е описана ролята на всяка от подсистемите в мюонния тригер от първо ниво, като е обърнато повече внимание на приноса на системата RPC. Също така са дискутирани предизвикателствата, дължащи се на условията на HL-LHC и новите възможности на модернизирания мюонни детектори и тригер.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на изходните данни използвани за реконструкция и осигуряване на добро качество на записаните данни и стабилното представяне на системата RPC.*

**B4-7.** M.A. Shah, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 14 (2019) 11, C11012,  
DOI: 10.1088/1748- 0221/14/11/C11012, ISSN 17480221,  
<https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/11/C11012> ,IF (2019) 1.454, SJR (2019)

## **Оперирание и стабилност на системата RPC на CMS през периода на набор на данни RUN-2**

Експериментът CMS, който се намира на LHC в ЦЕРН, има мюонна система, изградена от три взаимно допълващи се детекторни под-системи, които използват три различни технологии на газонапълнени детекторни технологии: катодно стрипови камери - Cathode Strip Chambers (CSC) в предните затварящи части на комплекса, камери с дрейфови тръби - Drift Tubes (DT) в централната цилиндрична част и камери със съпротивителна плоскост - Resistive Plate Chambers (RPC), които са инсталирани както в централната, така и в предните части на експерименталния комплекс. И трите системи се използват за тригериране на мюони и реконструкция на техните траектории. Системата от RPC придава устойчивост на мюонния тригер. В тази публикация е представена работата на системата RPC в условията на предизвикателно големи нива на фонові събития и брой първични взаимодействия (pile-up), предоставени от LHC.

Системата от RPC изпраща информация до всички алгоритми за търсене на мюонни траектории и по този начин допринася както за тригериране (пропускане) на мюонни събития, така и за мюонната реконструкция. В тази работа е показано обобщение на резултатите от детекторния анализ на системата при набор на данни от протон-протонни сблъсъци при енергия в система център на масите от 13 TeV през 2016 и 2017 г. Стабилността на системата е представена чрез ефективността за регистрация и размери на формираните кълстери като функция на времето и нарастващата моментна светимост. Експерименталните резултати са екстраполирани до светимостите, очаквани при HL-LHC (фаза на висока светимост на LHC) и са представени оценките за очакваното качество на работа на RPC при тези условия.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в поддръжката и осигуряването на правилната работа камерите, анализа на данни, координиране на отделните задачи за детекторен анализ, в обработката на данни и довеждането им до крайни резултати.*

- **По критерий Г7: Научна публикация в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация (Web of Science и Scopus), извън хабилитационния труд:**

**Г7-1.** A. Samalan, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 17 (2022) 01, C01011, DOI: 10.1088/1748-0221/17/01/C01011, ISSN 17480221, <https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/17/01/C01011>  
**IF (2022) 1.3**, SJR (2022) 0.65

### **Обновяване на камерите със съпротивителна плоскост на CMS за периода на висока светимост на LHC**

През предстоящата фаза на висока светимост на Големия адронен колайдер (HL-LHC), интегрираната светимост на ускорителя ще нарасне до  $3000 \text{ fb}^{-1}$ . Очакваните експериментални условия през този период по отношение на фоновото облъчване, натрупването на събития (pile-up) и вероятното стареене на настоящите детектори, представляват предизвикателство за всички съществуващи експерименти на LHC, включително експеримента „Компактен мюонен соленоид“ (CMS). За да се осигури високата ефективност на мюонната система за този период, в момента се прилагат няколко подобрения на системата от камери със съпротивителна плоскост (RPC) на CMS. Те включват подмяна на четящата електроника на настоящата система и инсталиране на две нови RPC станции с подобрени конструкции на камерата и предната електроника. Представен е настоящият общ статус на проекта за модернизация на RPC системата на CMS.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в асемблирането и тестването на детекторите, както и в анализа на работните им параметри и критериите за преминаване на различните етапи от контрола по качеството.*

**Г7-2.** M.A. Shah, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 15 (2020) 10, C10027, DOI:10.1088/1748-0221/15/10/C10027, ISSN 17480221, <https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/C10027>,  
**IF (2020) 1.415**, SJR (2020) 0.741

### **Експериментален опит на системата RPC, натрупан през периода за набор на данни RUN-2**

През периодите за набор на данни RUN-1 (2010-2012) и RUN-2(2015-2018), експериментът CMS е регистрирал данни в обем от  $177.75 \text{ fb}^{-1}$  при протон-протонни сблъсъци с енергия от 7 и 8 TeV (RUN-1) – 13 TeV (RUN-2). Успешният набор на данни при увеличаваща се моментна светимост на взаимодействията и развиваща се детекторна конфигурация е голям успех за колаборацията CMS. Системата от RPC осигурява допълваща информация за правилното пропускане на събития с мюони (мюонен тригер), тяхната реконструкция и идентификация. За осигуряването на стабилни условия за набор

*Гл.ас. д-р Мариана Шопова. Анотация на материалите за участие в конкурс за доцент.*

на данни, колаборацията CMS RPC е провела анализ на работата на системата, калибриране на работните параметри и характеристики. За тази цел са разработени различни софтуерни пакети и приложения. В тази публикация е представена обобщена оценка за работата на системата RPC и натрупания опит през RUN-2.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в поддръжката и осигуряването на правилната работа камерите, анализа на данни, координиране на отделните задачи за детекторен анализ, в обработката на данни и довеждането им до крайни резултати.*

**Г7-3.** W. Elmetenawee, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 15 (2020) 09, C09025, DOI: 10.1088/1748-0221/15/09/C09025, ISSN 17480221, <https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/C09025>, **IF (2020) 1.415**, SJR (2020) 0.741

### **Ефект на дискриминиращия праг на напрежение на детекторната електроника върху качеството на работата на системата RPC на експеримента CMS**

Камерите със съпротивителна плоскост имат важна роля за формирането на мюонния тригер (пропускане на събития с мюони) в централната и предните части на експеримента CMS на Големия адронен колайдер (LHC). За оптимизиране на работата на камерите, от съществено значение е правилното настройване на дискриминиращия праг на напрежение, подаван към предната електрониката, която чете сигналите от детекторите. В тази публикация са представени резултатите от изследване, което цели да определи ефекта върху ефективността за регистрация, размер на клъстерите и вътрешен шум при промени на приложеното дискриминиращо напрежение.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на изходните данни използвани за това изследване и осигуряване на добро качество на записаните данни и стабилното представяне на RPC системата.*

**Г7-4.** M.A. Shah, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 15 (2020) 10, C10027, DOI: 10.1088/1748-0221/15/10/C10025, ISSN 17480221, <https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/10/C10025>, **IF (2020) 1.415**, SJR (2020) 0.741

### **Дейности по RPC системата на експеримента CMS през втория период за профилактика и модернизиране на LHC LS-2**

Вторият период за профилактика и модернизиране на LHC (LS2) предоставя важна възможност за камерите със съпротивителна плоскост на CMS (RPC) да завършат проектите си за укрепване и модернизация. Укрепването включва поддръжка на детекторите за изтичане на газ, HV (високо напрежение), LV (ниско напрежение) и работа по бавното управление. Всички сервизни системи за модернизацията на RPC през Фаза 2: подобрени RPC в станции RE3/1 и RE4/1, бяха предвидени за инсталиране през LS2. В настоящия документ се обобщават дейностите по поддръжка и модернизация на системата RPC.

RPC камерите на CMS работят много успешно по време на втория период по набор на данни RUN-2. За да се осигури отлична работа на детектора в последващата физична програма, експертите по RPC системата работят усилено за консолидиране на RPC детектора и неговата газова система за стабилна бъдеща работа. Всички ремонтирани



детектори и детекторни системи ще бъдат напълно пуснати в експлоатация и сертифицирани за предстоящия набор на данни, след като LHC възобнови работата си в края на LS2.

*Личният принос на кандидата се състои в калибрирането на детекторите, анализа на данните, участие в повторното инсталиране на част от детекторите от четвъртите станции на затварящите дискове, наблюдение на работните параметри на системата при тестването ѝ след повторно включване, както и поддръжка на RPC системата.*

**Г7-5.** R. Reyes-Almanza, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 14 (2019) 09, C09046, DOI: 10.1088/1748-0221/14/09/C09046, ISSN 17480221, <https://doi.org/10.1088/1748-0221/14/09/C09046> , **IF (2019) 1.454**, SJR (2019) 0.805

### **Калибриране на работните точки на високото напрежение на RPC камерите на детектора CMS**

Камерите със съпротивителна плоскост (RPC) се използват за формиране на мюонен тригер на експеримента CMS. За определяне на оптималното работно напрежение, подавано на камерите (WP - работна точка на високото напрежение) и за да идентифицира деградирането на камерите заради йонизиращата радиация или химическо увреждане (химически промени в работната газова смес), е проведен т.н. високо-волтово сканиране (определяне на работните параметри на камерите за различни стойности на приложеното напрежение), като са използвани данни от протон-протонни сблъсъци с енергия в център на масите от 13 TeV. В тази публикация е представен метода за определяне на оптималната работна точка и резултатите, получени през 2017 г. Сравнението между резултатите на всички подобни сканирания, проведени от 2011 г. досега дава възможност за изследване на стабилността на работата на детектора с течение на времето.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на изходните данни използвани за това изследване и осигуряване на добро качество на записаните данни и стабилното представяне на RPC системата.*

**Г7-6.** J. Goh, ..., **M. Shopova**, ..., et al., JINST 14 (2019) 10, C10020, DOI: 10.1088/1748-0221/14/10/C10020, ISSN 17480221, <https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/14/10/C10020> , **IF (2019) 1.454**, SJR (2019) 0.805

### **Ефективност за регистрация на RPC системата на експеримента CMS получена чрез метода tag-and-probe**

Измерваме ефективността на системата от камери със съпротивителна плоскост на детектора CMS (RPC) в протон-протонни сблъсъци при енергията в центъра-на-масите от 13 TeV, като използваме метода tag-and-probe. За проба при измерване на ефективността е избран мюон от разпад на Z0 бозон, реконструиран с помощта на вътрешния треков детектор на CMS и останалите под-системи от мюонната система на CMS. Общата ефективност на RPC камерите на CMS по време на сблъсъците през 2016-2017 г. е измерена на повече от 96% за номиналните RPC камери.

В тази статия въвеждаме нов алгоритъм, базиран на TrackerMuons, метод с екстраполация на трековете за измерване на производителността на RPC. Мюоните от трековия детектор се реконструират чрез екстраполацията на трековете им до намеране на съпадащите сегменти в мюонната система по тяхната траектория, като се отчитат магнитното поле и геометричните ефекти.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на изходните параметри използвани за това изследване и осигуряване на добро качество на записаните данни и стабилното представяне на RPC системата.*

**Г7-7.** М. Abbas, ..., **M. Shopova**, ..., et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, 1034, (2022), 166716, DOI: 10.1016/j.nima.2022.166716, ISSN 01689002, <https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.166716> , **IF (2022) 1.4**, SJR (2022) 0.685

### **Контрол на качеството при масовото производство на GEM детектори за GE1/1 модернизацията на мюонната система на CMS**

Поредицата от модернизации на Големия адронен колайдер, чиято кулминация е достигането на фазата на висока светимост (HL-LHC), ще позволи значително разширяване на физичната програма на експеримента CMS. Модернизацията на ускорителя обаче ще направи работните условия на експеримента по-трудни, което ще се отрази на работата на детектора, тригерирането и анализа на данните. Очаква се светимостта на протон-протонните сблъсъци да надхвърли  $2-3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  за третия период на набор на данни Run-3 (от 2022 г.), а при започване на четвъртия период Run-4, при фазата на висока светимост на LHC, тя ще бъде поне  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Тези условия ще се отразят на тригерирането, идентифицирането и измерването на мюони, които са критични параметри на експеримента. За да се справи с тези предизвикателства, в затварящите части на CMS се инсталират допълнителни мюонни детектори, базирани на технологията Газово електронни Умножители (Gas Electron Multiplier – GEM). За тази цел са конструирани и тествани 161 големи трислойни GEM детектори. Инсталирането на тези устройства започна през 2019 г. със станцията GE1/1 и ще бъде последвано от две допълнителни станции - GE2/1 и ME0, които ще бъдат инсталирани съответно през 2023 г. и 2026 г.

Сглобяването и контролът на качеството на детекторите GE1/1 са разпределени в няколко производствени лаборатории по целия свят. Мотивираме и обсъждаме процедурите за контрол на качеството, които бяха разработени за стандартизиране на работното представяне на детекторите, и представяме крайните резултати от производствения процес. От 161 произведени детектора, 156 детектора преминаха всички тестове, а 144 детектора вече са инсталирани на експеримента CMS. Различните визуални проверки, тестовете за изтичане на газ, характеристиките за вътрешен шума на електрониката и тестовете за ефективно усилване на газа и равномерност на реакцията, позволиха на проекта да постигне този висок процент на успеваемост.

*Личният принос на кандидата се състои в участие в асемблирането и тестването на GEM детекторите за GE1/1 станцията на мюонната система на CMS, както и в анализа на работните им параметри и критериите за преминаване на различните етапи от контрола по качеството.*

**Г7-8.** A. Hayrapetyan, A., ..., **M. Shopova**,..., et al., J. High Energ. Phys. 2024, 47 (2024), DOI: 10.1007/JHEP05(2024)047, ISSN 10298479, [https://doi.org/10.1007/JHEP05\(2024\)047](https://doi.org/10.1007/JHEP05(2024)047) , **IF (2023) 5.4**, SJR (2023) 0.83

**Търсене на дълго-живеещи частици, които се разпадат да крайно състояние с два мюона при протон-протонни сблъсъци при енергия  $\sqrt{s}=13.6$  TeV**

Представено е всеобхватно търсене на дългоживеещи екзотични частици (LLP), които се разпадат до крайни състояния с двойка мюони. Анализът използва данни, съответстващи на интегрирана светимост от  $36,6 \text{ fb}^{-1}$ , събрани от експеримента CMS от протон-протонни сблъсъци при  $\sqrt{s} = 13,6 \text{ TeV}$  през 2022 г., първата година от третия период на набор на данни на LHC в CERN. Експерименталната сигнатура е двойка противоположно заредени мюони, образувани от вторичен връх, пространствено отделен от точката на протон-протонно взаимодействие на разстояния от няколко сантиметра до няколко метра. Чувствителността на търсенето се повишава благодарение на новите тригери за отместени ди-мюонни събития, разработени за Run 3. Резултатите са интерпретирани в рамките на скрития Абелиан-Хигс модел, в който Хигс бозонът се разпада на двойка дългоживеещи тъмни фотони, и на модел на нарушаване на суперсиметрията на R-четността, в който дългоживеещите неутрино се разпадат на двойка мюони и неутрино. Границите, определени за тези модели, са най-строгите досега в широките области на времената на живот за LLP с маси, по-големи от 10 GeV.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на данни и осигуряването на доброто качество на данните записвани от системата RPC, които се използват в последващите стъпки за идентификация и реконструиране на мюони от мюонната система на CMS, което позволява използването им за различни физични анализи с мюони в крайното си състояние.*

**Г7-9.** A. Tumasyan, ..., **M. Shopova**, ..., et al., J. High Energ. Phys. 2022, 62 (2022), DOI: 10.1007/JHEP04(2022)062, ISSN 10298479, [https://doi.org/10.1007/JHEP04\(2022\)062](https://doi.org/10.1007/JHEP04(2022)062) , **IF (2022) 5.4**, SJR (2022) 0.859

**Търсене на дълго-живеещи частици, които се разпадат на двойки мюони при протон-протонни сблъсъци при енергия  $\sqrt{s}=13$  TeV, получени от специален поток данни с висок рейт**

Търсенето на дългоживеещи частици, които се разпадат на мюонни двойки, се извършва с помощта на протон-протонни сблъсъци при енергия в център-на-масите от 13 TeV, събрани от експеримента CMS в LHC през 2017 и 2018 г., което съответства на интегрирана светимост от  $101 \text{ fb}^{-1}$ . Пакетите от данни, използвани в това търсене, са събрани в специален дву-мюонен тригерен поток с ниски прагове на напречния импулс, получени при висок рейт, като се запазва намалено количество информация, за да се изследва иначе недостъпното фазово пространство при ниска маса на ди-мюоните и ненулево изместване от първичната точка на взаимодействието. Не е открит значителен излишък от събития извън очакванията на Стандартния модел. Горните граници на разклоняващите се фракции при 95 % ниво на достоверност са определени за широк диапазон от хипотези за масата и продължителността на живот извън рамките на Стандартния модел с Хигс бозон, разпадащ се на двойка дългоживеещи тъмни фотони, или с дългоживеещ скаларен резонанс,

*Гл.ас. д-р Мариана Шопова. Анотация на материалите за участие в конкурс за доцент.*

възникващ от разпадането на  $b$ -адрон. Границите са най-строгите до момента за съществени области от параметричното пространство. Тези резултати могат да се използват и за ограничаване на моделите на изместени димуони, които не са изрично разгледани в тази статия.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на данни и осигуряването на доброто качество на данните записвани от системата RPC, които се използват в последващите стъпки за идентификация и реконструиране на мюони от мюонната система на CMS, което позволява използването им за различни физични анализи с мюони в крайното си състояние.*

**G7-10.** A.M. Sirunyan, ..., **M. Shopova**, ..., et al., J. High Energ. Phys. 2021, 148 (2021), DOI: 10.1007/JHEP01(2021)148, ISSN 10298479, [https://doi.org/10.1007/JHEP01\(2021\)148](https://doi.org/10.1007/JHEP01(2021)148), **IF (2021) 5.81**, SJR (2021) 0.895

### **Доказателство за разпадане на Хигс бозон на двойка мюони**

Представено е доказателство за разпадане на Хигс бозон на два мюона. Този резултат комбинира търсенията в четири ексклузивни категории, като разглежда раждането на Хигс бозон при глюонно сливане, сливане на векторни бозони, раждане заедно с векторен бозон и раждане с двойка кварк-антикварк. Анализът използва данни от протон-протонни сблъсъци с енергия 13 TeV, съответстващи на интегрална светимост от  $137 \text{ fb}^{-1}$ , записани от експеримента CMS на LHC в CERN. В експерименталните данни е наблюдаван излишък от събития над очаквания фон със статистическа значимост от 3 стандартни отклонения, където очакванията за Хигс от стандартния модел с маса от 125.38 GeV са за 2.5. Комбинацията на този резултат със съответния, получен от данните, записани при енергии в център на масите от 7 и 8 TeV, съответстващи на интегрална светимост от 5.1 и 19.7  $\text{fb}^{-1}$ , увеличава с 1% както очакваната, така и наблюдаваната статистическа значимост на резултатите. Измерената сила на сигнала, сравнен към очакванията от стандартния модел е  $1.19 +0.40 -0.39$  (stat) and  $+0.15 -0.14$  (syst). Този резултат първото доказателство за разпадане на Хигс на фермиони от второто поколение и е най-прецизното измерване на взаимодействието на Хигс бозона с мюони, рапортувано досега.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на данни и осигуряването на доброто качество на данните записвани от системата RPC, които се използват в последващите стъпки за идентификация и реконструиране на мюони от мюонната система на CMS, което позволява използването им за различни физични анализи с мюони в крайното си състояние.*

**Г7-11.** А.М. Sirunyan, ..., **М. Shopova**, ..., et al., J. High Energ. Phys. 2021, 208 (2021),  
DOI: 10.1007/JHEP07(2021)208, ISSN 10298479,  
[https://doi.org/10.1007/JHEP07\(2021\)208](https://doi.org/10.1007/JHEP07(2021)208) , **IF (2021) 5.81**, SJR (2021) 0.895

**Търсене на нови феномени от резонансен и нерезонансен тип при крайни състояния с два лептона с висока инвариантна маса при енергия в системата център на масите от 13 TeV**

Представено е търсене за физика извън стандартния модел (СМ), като са използвани двойки електрони или мюони с висока инвариантна маса. Анализирани са извадка от данни от протон-протонни взаимодействия, записани от експеримента CMS на LHC, при енергия в център на масите 13 TeV, през периода от 2016 до 2018, съответстващи на интегрирана светимост от 140 fb-1. Не са наблюдавани значителни отклонения в сравнение с очакванията за фон от СМ. Представени са горни граници на отношението на производението на сечението за раждане на новите резонанси и парциалната вероятност за разпадането им на лептони, към това за Z бозона. Тези отношения осигуряват най-стриктните долни граници до сега на масите на различни частици със спин 1, за гравитон със спин 2 от модел на Рандал-Сундрум, а също така и за частици със спин 1, медиатори на взаимодействия между СМ и тъмната материя. Определени са по-ниски граници на УВ граничния параметър както за моделите на четири-фермионно контактно взаимодействие, така и за моделите с големи допълнителни измерения на Аркани-Хамед, Димополус и Двали. За първи път е тествана лептонната универсалност при енергии от порядъка на TeV като са сравнени спектрите по инвариантни маси на двойките електрони и мюони. Не е наблюдавано значително отклонение от очакванията на СМ.

*Личният принос на кандидата се състои в анализа на данни и осигуряването на доброто качество на данните записвани от системата RPC, които се използват в последващите стъпки за идентификация и реконструиране на мюони от мюонната система на CMS, което позволява използването им за различни физични анализи с мюони в крайното си състояние.*

Дата 17.01.2025 г.  
Гр. Пловдив

Изготвил:.....  
/гл. ас. д-р Мариана Шопова/