

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Інституту ядерних досліджень НАН України  
*Доктору фізико-математичних наук,  
Старшому науковому співробітнику,  
зав. відділом фізики важких іонів  
Інституту ядерних досліджень НАН України  
Олегу ПОНКРАТЕНКО*

## РЕЦЕНЗІЯ

*Кандидатки фізико-математичних наук, старшої наукової співробітниці  
відділу фізики лептонів Інституту ядерних досліджень НАН України*

*Поліщук Оксани Григорівни*

на дисертацію *Чернишенка Сергія Борисовича*

на тему: “*Концепція фіксованої металевої мікромішені та спосіб її реалізації в  
експерименті LHCb (ЦЕРН)*”,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії

у галузі знань “10 Природничі науки”

за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

### **1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи**

Дисертація С.Б. Чернишенка представляє актуальний та інноваційний внесок у галузь експериментальної фізики високих енергій, зокрема в контексті експерименту LHCb у ЦЕРН. Запропонована концепція системи фіксованої металевої мікромішені є своєчасною для запланованої модернізації LHCb Upgrade II, спрямованої на роботу Великого адронного колайдера (ВАК) при підвищеній світності. Це демонструє передбачливість у розробці та розвитку нових експериментальних методик, що відповідають можливостям прискорювального комплексу. Дисертант наводить переконливі аргументи щодо того, як запропонована система мікромішеней могла б розширити фізичну програму LHCb, зокрема, уможливіючи дослідження потрійних ядерних зіткнень. Це відкриває нові перспективи для вивчення екстремальних станів матерії та фазових переходів у квантовій хромодинаміці (КХД), що наразі є передовими дослідженнями у фізиці високих енергій.

Робота ефективно використовує передові технології мікростріпових детекторів, розроблених в Інституті ядерних досліджень, демонструючи, як національний досвід може бути застосований у міжнародних колабораціях. Інтеграція технології MEMS (мікроелектромеханічних систем) для точного позиціонування мішені є інноваційним підходом. Розробка системи радіаційного моніторингу RMS-R4 на базі працюючої зараз у LHCb системи RMS-R3

відповідає критичній потребі точного моніторингу пучка та світності в експериментах з фізики високих енергій. Новий метод асиметрії для відстеження стабільності області взаємодії демонструє оригінальність у методах аналізу даних.

Робота поєднує теоретичні концепції з експериментальною реалізацією завдяки моделюванню методом Монте-Карло та дослідженню можливості здійснення таких явищ, як потрійні ядерні зіткнення. Детальні проєкти прототипів мікромішеней включають ідеї щодо використання систем управління та інтеграції з існуючою інфраструктурою LHCb. Більше того, запропоновані методи та системи (наприклад, RMS-R4) мають потенційне застосування за межами LHCb, наприклад, в інших експериментах, таких як CBM (FAIR), що вказує на ширшу актуальність цього дослідження для спільноти фізики високих енергій.

## **2. Оцінка структури дисертації, її наукового рівня та обґрунтованості/достовірності положень, що в ній сформульовані**

Дисертаційна робота С.Б. Чернишенка є ґрунтовним науковим дослідженням, що складається з 235 сторінок комп'ютерного тексту, включаючи 149 сторінки основної частини. Робота структурована у п'ять розділів, містить 89 рисунків та 3 таблиці. Список використаних джерел налічує 172 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів.

Перший розділ надає детальний опис експерименту LHCb та його модернізації, що закладає основу для подальшого дослідження. Другий розділ присвячено розробці концепції фіксованої металеві мікромішені та можливості її реалізації. Третій розділ присвячено Монте-Карло симуляціям фіксованої мікростріпової мішені в експерименті LHCb. Четвертий розділ описує основні функціональні характеристики системи RMS-R3 та її еволюцію до RMS-R4, а також опис нового для експерименту LHCb методу асиметрій, що дозволяє відслідковувати умови проведення експерименту. П'ятий розділ представляє варіанти дизайнів прототипів системи мішеней, підкреслюючи технічну специфікацію та пропонуючи варіанти проведення експерименту.

Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів підтверджується використанням надійних методів дослідження, включаючи Монте-Карло симуляції, детальне проєктування з використанням сучасних CAD систем, та практичну реалізацію розроблених концепцій в умовах діючого експерименту LHCb. Важливо відзначити, що результати роботи базуються на реальних даних, отриманих в ході експериментів на LHCb, що додає їм високої достовірності.

Дослідження, представлені в дисертації, були проведені в рамках кількох важливих науково-дослідних тем, включаючи "Властивості взаємодії при

високих температурах та густинах ядерної матерії", "Режим фіксованої твердотільної мішені в експерименті LHCb (CERN) і пошук екстремальних станів матерії в зіткненнях важких ядер на Великому Адронному Колайдері", та "RMS beam and background online monitoring system in the LHCb experimental environment". Це свідчить про актуальність роботи та її відповідність пріоритетним напрямкам досліджень у галузі фізики високих енергій.

Сформульовані в дисертації результати та положення пройшли широку апробацію на численних наукових конференціях та семінарах, включаючи щорічні наукові конференції Інституту ядерних досліджень НАН України, міжнародні конференції з фізики високих енергій, та робочі наради в рамках експерименту LHCb. Це підтверджує визнання наукової спільноти та практичну значимість проведених досліджень.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертаційна робота С.Б. Чернишенка демонструє значну наукову новизну в кількох ключових аспектах:

1. Вперше запропоновано та детально розроблено концепцію використання надтонких металевих мікростріпових детекторів як фіксованої мішені в експерименті LHCb. Це інноваційне рішення розширює експериментальні можливості LHCb та відкриває нові напрямки досліджень.
2. Автор вперше пропонує використання мікромішеней для вивчення потрійних ядерних зіткнень, що є новим підходом до дослідження екстремальних станів матерії та фазових переходів у квантовій хромодинаміці. Вперше проведено детальне моделювання та оцінку можливості спостереження потрійних ядерних зіткнень в умовах експерименту LHCb, що відкриває нові перспективи для фізики високих енергій.
3. Розроблено та успішно застосовано новий метод асиметрій відгуку сенсорів RMS-R3 для спостереження локалізації області ядерних взаємодій. Цей метод дозволяє з високою точністю контролювати умови проведення експерименту та їх відтворюваність.
4. На основі успішного досвіду роботи системи RMS-R3 запропоновано концепцію її еволюції до RMS-R4, що здатна функціонувати в умовах високої світності ВАК та керувати мікромішенним комплексом.
5. Робота пропонує системний підхід до розширення можливостей експерименту LHCb, включаючи не лише нові експериментальні методики, але й відповідні системи контролю та аналізу даних.

Ці інноваційні аспекти роботи не лише розширюють можливості конкретного експерименту LHCb, але й мають потенціал для застосування в інших експериментах з фізики високих енергій, демонструючи широкий спектр наукової новизни дисертаційного дослідження.

#### **4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.**

Дисертаційна робота С.Б. Чернишенка має вагоме теоретичне та практичне значення для галузі експериментальної фізики високих енергій.

Робота пропонує розширення теоретичних основ експериментальної фізики, використовуючи концепцію фіксованої металевої мікромішені, що розширює теоретичні підходи до проведення експериментів на колайдерах та відкриває нові можливості для вивчення фундаментальних взаємодій, екстремальних станів матерії та фазових переходів у КХД. Розроблений метод асиметрій для моніторингу умов експерименту збагачує теоретичний інструментарій аналізу даних у фізиці високих енергій. Обґрунтування застосування надтонких металевих мікростріпових детекторів як мішеней збагачує теорію детекторів елементарних частинок.

Розроблені концепції та технології можуть бути безпосередньо застосовані для розширення експериментальних можливостей LHCb, що має практичне значення для майбутніх досліджень. Запропонований комплекс з фіксованими металевими мікромішенями може бути реалізований на практиці, відкриваючи нові напрямки експериментальних досліджень. RMS-R4 має безпосереднє практичне застосування для моніторингу умов експерименту в Run5 та Run6 у LHCb та керування мікромішенним комплексом. Створене програмне забезпечення для візуалізації даних RMS-R3 має пряме практичне застосування в управлінні експериментом LHCb. Метод асиметрій практично застосовується для контролю умов проведення експерименту LHCb, а також для відстеження відновлення умов проведення експерименту.

Розроблені методи та технології мають потенціал для застосування в інших експериментах з фізики високих енергій, розширюючи їх практичне значення за межі LHCb. Таким чином, результати дисертаційної роботи мають збалансоване теоретичне та практичне значення, пропонуючи як нові концептуальні підходи до експериментальної фізики високих енергій, так і конкретні технологічні рішення для їх реалізації.

#### **5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.**

Основні положення досліджень, виконаних в рамках дисертаційної роботи, викладені у 3-х статтях у фахових наукових виданнях України та 2-х статтях у

зарубіжних журналах. В кожній статті дисертант Чернишенко С.Б. є одним з авторів. Ці публікації присвячені завданням, що відповідають проблематиці дисертаційної роботи та висвітлюють наукові результати, покладені в основу дисертації та методикау їх отримання.

Дисертант запровадив, удосконалив та розвинув використання методу асиметрій в експерименті LHCb на основі отриманих відгуків сенсорів модулів RMS-R3. Дисертант застосував цей метод для відслідковування умов проведення експерименту, умов відновлення експерименту, та змін положення області взаємодій. Дисертант розробив віртуальний монітор контролю асиметрій для пульта управління експериментом LHCb та започаткував віртуальний монітор відстеження асиметрій та відгуку сенсорів RMS-R3 у онлайн-середовищі Monet.

Здобувач розробив концепцію фіксованої твердотільної мікростріпової мікромішені та обґрунтував використання мікроелектромеханічних систем (MEMS) та крокових електродвигунів для управління мішенями. Окремо здобувач виконав оцінки можливих умов спостереження явища потрійних ядерних зіткнень та провів Монте-Карло симуляції для стріпових мішеней у різних положеннях відносно пучка.

Здобувач розробив концепцію RMS-R4 як покращеної версії RMS-R3 для роботи з мішенями та мішенними комплексами, а також створив тестове програмне забезпечення для управління кроковими мікродвигунами.

Наукові публікації відповідають вимогам пп. 8-9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. з наступними змінами.

## **6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.**

До самого тексту дисертації є певні зауваження, зокрема до формулювання речень та використання англіцизмів, список умовних позначень варто було б подати в алфавітному порядку, а деякі означення перекласти українською. Але, загалом, матеріали дисертації викладені в науковому стилі, добре структуровані, ілюстровані інформативними малюнками; по кожному розділу й роботі в цілому зроблені чіткі висновки.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

## **7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

Оформлення дисертації за структурою, стилем представлення матеріалу та мовою відповідає вимогам оформлення дисертацій, затвердженим в наказі № 40 Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. Дисертаційна робота є

самостійним дослідженням здобувача. Відсутні ознаки порушення здобувачем вимог академічної доброчесності. Усі використані результати, матеріали і висновки мають відповідні літературні посилання.

#### **8. Загальний висновок.**

Вважаю, що дисертаційна робота за новизною та важливістю отриманих результатів, за обсягом та змістом наведеного матеріалу цілком задовольняє вимогам до дисертацій за спеціальністю “104 Фізика та астрономія” та вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”.

Рецензент:

*Кандидатка фізико-математичних наук,*

*старша наукова співробітниця*

*відділу фізики лептонів*

*ІЯД НАН України*



*Оксана ПОЛІЩУК*