

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

## РЕЦЕНЗІЯ

*Кандидата фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника  
Відділу фізики важких іонів  
Степаненка Юрія Миколайовича*  
на дисертацію *Чернишенка Сергія Борисовича*  
на тему: “*Концепція фіксованої металевої мікромішені та спосіб її реалізації в  
експерименті ЛНСь (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**

За останнє десятиріччя колаборація ЛНСь, здійснивши суттєву модернізацію UPGRADE I, створила високоефективний детекторний комплекс світового рівня, який розширив можливості досліджень не лише закономірності утворення та розпаду важких адронів у галузі порушення CP парності та рідкісних мод розпаду, але й дослідження фазової діаграми квантової хромодинаміки в процесах зіткнень релятивістських важких іонів.

Обрана тема дисертаційної роботи є дуже актуальною в контексті сучасної фізики високих енергій. Дослідження спрямоване на розробку концепції фіксованої металевої мікромішені для експерименту ЛНСь на Великому адронному колайдері (ВАК), націленої на створення можливості нового напрямку досліджень, зокрема, залежності вимірюваних спостережуваних від квантових характеристик ядер фіксованої металевої мішені. У своїй дисертації Чернишенко Сергій Борисович приділяє особливу увагу інноваційному підходу з використанням режиму фіксованої мішені одночасно з колайдерним режимом, що дозволило би значно підвищити ефективність використання високовартісного часу ВАК а також розширити діапазон енергій для вивчення ядро-ядерних зіткнень (кілька TeV в колайдерному режимі та порядку 0.1 TeV з фіксованою мішенню).

Особливу рису актуальності роботі надає розгляд можливості вивчення потрійних ядерних зіткнень - нового явища для дослідження екстремальних станів ядерної матерії. Це може сприяти глибшому розумінню властивостей кварк-глюонної плазми та фазової діаграми квантової хромодинаміки.

Робота тісно пов'язана з планами наступної модернізації експерименту LHCb (UPGRADE II, 2035 – 2045 р.р.), що підкреслює її своєчасність та важливість для розвитку експериментальної бази фізики високих енергій. Розробка нових методів моніторингу та контролю умов експерименту, зокрема застосування методу асиметрій, є важливою для забезпечення якості отримуваних даних.

Дослідження також актуальне в контексті пошуку нової фізики за межами Стандартної моделі - одного з ключових напрямків сучасної фізики елементарних частинок. Виконання роботи в рамках міжнародної співпраці та актуальних науково-дослідних тем додатково підкреслює її значимість для наукової спільноти.

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

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Загальний обсяг роботи - 238 сторінок, з яких основна частина займає 150 сторінок. Дисертація містить 87 рисунків та 2 таблиці. Список використаних джерел включає 172 найменування.

Основні розділи дисертації демонструють високий науковий рівень досліджень:

1. Детальний опис експерименту LHCb та його модернізації.
2. Концепція фіксованої металеві мішені та її фізичне обґрунтування.
3. Конструкція прототипу мішенного комплексу та результати симуляцій.
4. Розробка системи моніторингу RMS-R4 на основі RMS-R3.
5. Дизайн прототипів мішенної системи та їх характеристики.

Структура роботи і викладення матеріалу є логічними і зрозумілими.

Обґрунтованість і достовірність результатів підтверджується використанням сучасних методів досліджень, зокрема нових версій Монте-Карло симуляцій, та узгодженістю з наявними експериментальними даними LHCb.

Дослідження проводились в рамках декількох науково-дослідних тем ІЯД НАН України, зокрема:

- "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"

- "Адронізація кваркових станів в ядро-ядерних зіткненнях на Великому Адронному Колайдері при енергіях до 14 TeV"
- "RMS beam and background online monitoring system in the LHCb experimental environment"

Результати дисертації пройшли апробацію на численних наукових конференціях, включаючи щорічні конференції Інституту ядерних досліджень НАН України, міжнародні конференції, а також на регулярних наукових семінарах та засіданнях робочих груп експерименту LHCb.

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

Новизна положень, висновків та результатів дисертації Чернишенка Сергія Борисовича полягає у розробці низки оригінальних концепцій та методів для експерименту LHCb на Великому адронному колайдері. Дисертант розробив концепцію фіксованої металевої мікромішені, запропонував оригінальну ідею реалізації потрібних ядерних зіткнень для вивчення властивостей матерії в нових умовах фазової діаграми квантової хромодинаміки при надвисоких густинах речовини, розробив нове застосування методу асиметрій відгуку сенсорів RMS-R3 для моніторингу стабільності локалізації області світності експерименту та контролю умов проведення експерименту.

Здобувач провів оцінку залежності спостережених характеристик потрібних ядерних зіткнень від товщини мікромішені в реакціях  $p+C+p$  та  $Pb+Pb+Pb$ , розробив оригінальний дизайн прототипу мішенного вузла із декількома незалежними мікромішенями з використанням MEMS технологій та крокових двигунів, після чого запропонував новий підхід до управління мікромішенним комплексом за допомогою модифікованої системи RMS-R4, що базується на успішно функціонуючій наразі системі RMS-R3 в експерименті LHCb (ЦЕРН). Оригінальною є запропонована схема проведення експерименту з прототипом металевої мікромішені на основі технології MEMS для тестування на пучку протонів на прискорювальних комплексах SPS та PS у ЦЕРН.

Чернишенко С.Б. в дисертації запропонував новий метод спостереження прецизійної локалізації області зіткнень ядер мішені з пучком ВАК, що може значно покращити селекцію рідкісних процесів і відкрити нові області вимірів з еволюції розпадів короткоживучих адронів. Окрім того, розроблене дисертантом оригінальне програмне забезпечення відображає дані системи RMS-R3 в режимі реального часу у середовищах WinCC та MONET.

Ексклюзивною особливістю роботи є практичне використання методу асиметрій для ідентифікації відновлюваності умов експерименту при

виконанні вимірів з окремими мішенями, що послідовно вводяться в гало пучка ВАК. Описаний новий віртуальний монітор контролю асиметрій для пульта управління експериментом LHCb дозволяє в режимі реального часу стежити за умовами протікання експерименту, що є вагомим внеском в полегшення роботи чергових на пульті управління LHCb.

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

Теоретичне значення одержаних результатів полягає у розробці нових підходів до дослідження властивостей ядерної матерії в екстремальних умовах, зокрема через вивчення потрійних ядерних зіткнень. Це сприятиме розширенню області досліджень фазової діаграми квантової хромодинаміки та властивостей кварк-глюонної плазми.

Практичне значення роботи включає розробку концепції фіксованої металеві мікромішені для експерименту LHCb, що відкриває нові експериментальні можливості. Створення системи RMS-R4 та методу асиметрій для моніторингу умов експерименту має безпосереднє застосування для підвищення ефективності експерименту та якості отримуваних даних. Розроблені програмні рішення для відображення даних у реальному часі можуть бути використані в інших експериментах з фізики високих енергій. Запропоновані технічні рішення щодо конструкції мішенного вузла можуть знайти застосування в майбутніх експериментальних установках.

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

Загальна кількість публікацій: 16 (5 основних, 10 апробаційного характеру, 1 додаткова). Статті здобувача опубліковано в журналах Q1, Q3 та Q4, що індексуються в SCOPUS. Публікації безпосередньо пов'язані з темою дисертації "Концепція фіксованої металеві мікромішені та спосіб її реалізації в експерименті LHCb (ЦЕРН)". Статті розкривають різні аспекти дослідження, включаючи розробку системи моніторингу RMS-R3, концепцію фіксованої мікромішені, та їх застосування в експерименті LHCb.

Публікації містять опис методології досліджень, включаючи опис концепцій фіксованої мішені, аналіз даних з використанням методу асиметрій, Монте-Карло симуляції, та експериментальні вимірювання. Представлені експериментальні дані та їх аналіз, що підтверджує обґрунтованість висновків.

У більшості публікацій здобувач є першим або відповідальним автором. Внесок здобувача чітко визначений для кожної публікації, включаючи аналіз

даних, розробку концепцій фіксованих мішеней, проведення симуляцій та експериментів.

Наявна стаття в журналі "Particles" (Q3, SCOPUS), що відповідає вимогам щодо публікації в періодичних наукових виданнях інших держав. Опубліковані статті у наукових фахових виданнях України (Nuclear Physics and Atomic Energy, Наука і техніка сьогодні). Публікації пройшли рецензування, що підтверджується їх публікацією в рецензованих журналах.

Публікації здобувача повністю відповідають темі дисертації та розкривають її зміст. Положення і висновки, сформульовані в дисертації, обґрунтовані на основі особистих досліджень автора і відображені в основних публікаціях. Внесок здобувача у спільні публікації є значним і чітко визначеним. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8 "Порядку присудження ступеня доктора філософії", затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р.

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

Стиль викладення подекуди занадто описовий та розлогий. Деякі частини тексту можна було б сформулювати більш лаконічно, не втрачаючи при цьому змісту. У тексті присутні певні повторення інформації, особливо щодо опису експерименту ЛНСб та планів подальшої модернізації. Це дещо ускладнює сприйняття основних результатів роботи. Перелік літератури міг би бути оформлений більш охайно.

Сподобалось, що на початку дисертаційної роботи наведено досить повний «Перелік умовних скорочень», який полегшує орієнтуватись у термінології під час прочитання тексту. Водночас для частини поданих скорочень відсутнє одночасне тлумачення англійською та українською мовами, що ускладнює розуміння термінів.

Загалом робота написана хорошою українською мовою, однак у тексті зустрічаються огріхи перекладу: «бомбардуємої поверхні» (стор. 70), «12 площин с гіпотетичним розположенням» (стор. 159). Також поширені англіцизми, які можна було б уникати (наприклад «банчі» — як альтернатива «пакети»). А вживання слова «колізії» в деяких розділах роботи замість загально прийнятого терміну «зіткнення» викликає неоднозначне трактування.

Непозбавлений текст і граматичних помилок та одруків: «продемонстрровала» (стор. 23), «існуючої програми. досліджень" (стор. 23), «асиметрій для ля» (стор. 26), «моніторувати» (стор. 26), «для частинок Pb, Wі» (хімічний елемент вісмут Ві, стор. 79), «створюються інжекцією струмів» (стор. 129), «базових ліні зарядових інтеграторів» (стор. 129), «локалізації фізичних подів» (стор. 138). А посилання на рис. 4.20 (на стор. 87) викликає плутанину. Ймовірно автор посилався до рисунків 2.4.

Також згідно правопису для власних назв коректним написанням буде «Великий адронний колайдер».

З огляду на запропоновану концепцію потрійних ядерних зіткнень для вивчення закономірностей еволюції матерії в залежності від індивідуальних характеристик ядер було б цікаво у розділі 2 збільшити кількість включених до розгляду ядер, використавши ядра із спінами істотно більшими за нуль (наприклад, актиноїди) чи тезово описати відмінності взаємодії таких ядер порівняно з розглянутими ядрами  $^{12}\text{C}$  та  $^{208}\text{Pb}$ .

Однак, важливо зазначити, що ці зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. Дисертація демонструє значний обсяг виконаних досліджень, містить оригінальні наукові результати та має практичну цінність для розвитку експериментальної фізики високих енергій. Зазначені недоліки не знижують наукової та практичної цінності отриманих результатів.

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

Дисертація має всі необхідні структурні елементи, включаючи вступ, основну частину з п'яти розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Це відповідає вимогам до структури дисертацій. Матеріал викладено науковим стилем, логічно та послідовно. Наявні всі необхідні компоненти наукового дослідження - постановка проблеми, аналіз існуючих досліджень, опис методології, представлення та обговорення результатів. Дисертація написана українською мовою, що відповідає вимогам. Дисертація містить результати власних досліджень автора. Особистий внесок здобувача детально описаний, що свідчить про самостійність виконаної роботи. Результати дисертації опубліковано у достатній кількості наукових праць, включаючи статті у рецензованих виданнях та матеріали конференцій. Результати роботи були представлені на численних наукових конференціях та семінарах, що свідчить про їх належну апробацію.

Враховуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що дисертація в цілому відповідає встановленим вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача, і в дисертації мною не виявлено ознак порушення академічної доброчесності.

## **8. Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Чернишенка Сергія Борисовича "Концепція фіксованої металевої мікромішені та спосіб її реалізації в експерименті LHCb (ЦЕРН)" відповідає спеціальності 104 "Фізика та астрономія". Дослідження присвячене актуальним питанням експериментальної фізики високих енергій, зокрема

розробці нових методів та інструментів для проведення експериментів на Великому адронному колайдері.

Робота відповідає 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

Враховуючи актуальність теми, новизну отриманих результатів, їх теоретичне та практичне значення, а також відповідність роботи всім встановленим вимогам, дисертація заслуговує на позитивну оцінку.

Таким чином, можна зробити висновок, що Чернишенко Сергій Борисович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 "Фізика та астрономія". Його дисертаційна робота є вагомим внеском у розвиток експериментальної фізики високих енергій та відкриває нові перспективи для досліджень на Великому Адронному Колайдері.

Рецензент:

*Кандидат фізико-математичних наук,  
Старший науковий співробітник  
відділу фізики важких іонів  
Інституту ядерних досліджень НАН України*



*Юрій СТЕПАНЕНКО*