

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

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Члена-кореспондента НАН України, доктора фізико-математичних наук,
старшого дослідника, провідного наукового співробітника відділу
електродинаміки високих енергій у речовині ННЦ ХФТІ НАН України,
Кирилліна Ігоря Володимировича
на дисертацію Чернишенка Сергія Борисовича
на тему: «**Концепція фіксованої металевої мікромішені
та спосіб її реалізації в експерименті ЛНСб (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

На сьогодні Великий адронний колайдер (ВАК) є найбільшим у світі прискорювачем заряджених частинок, на якому проводиться велика кількість експериментів. Для проведення цих експериментів окрім самого прискорювача потрібно мати ще й велику кількість детекторів, які реєструють частинки, що народжуються при зіткненнях пучків, та вимірюють їх характеристики. Одним з чотирьох найбільших експериментів, які проводяться на ВАК є експеримент ЛНСб. Наразі разом зі звичайним колайдерним режимом, при якому пучки стикаються у вакуумі, в цьому експерименті реалізовано можливість проводити дослідження із використанням фіксованої мішені, коли в канал прискорювача вводиться речовина. Поки що ця речовина вводиться лише у вигляді газу, що накладає певні обмеження на вибір матеріалу мішені. В цій дисертації досліджується можливість застосування твердотільних мікростріпових мішеней в якості фіксованої мішені. Застосування таких мішеней може суттєво розширити коло ядер, взаємодію частинок з якими можна буде вивчати в експерименті ЛНСб. Наразі це коло обмежене лише ядрами інертних газів при використанні режиму фіксованої газової мішені. Через це дисертація С.Б. Чернишенка є **актуальною** і спрямована на розв'язання важливої задачі фізики прискорювачів. Окремо потрібно підкреслити, що застосування твердотільних мікростріпових мішеней в якості фіксованої мішені дає змогу, зокрема, досліджувати потрібні ядерні зіткнення, що створить унікальні

можливості для точного вивчення сильно взаємодіючої матерії, яка утворюється при зіткненнях прискорених частинок з ядрами мішені. Ця робота має важливе значення для розвитку експериментальної бази фізики високих енергій.

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

Матеріал, наведений в дисертаційній роботі, добре структуровано та викладено послідовно. Загальний обсяг роботи становить 235 сторінок. У **першому** розділі представлено детальний опис експерименту ЛНСб. **Другий** розділ присвячений опису концепції фіксованої металевої мікромішені, яка може дати змогу досліджувати, зокрема, потрійні ядерні реакції. У **третьому** розділі представлено конструкцію одного із прототипів мішенного комплексу, включаючи систему прецизійного позиціонування металевої мікромішені із використанням пристроїв, створених за технологією MEMS (мікро-електронні мікромеханічні системи). Це свідчить про високий рівень знань автором найдосконаліших сучасних науково-технічних досягнень. **Четвертий** розділ присвячено опису системи управління мікромішенним комплексом RMS-R4 для дистанційного позиціонування металевої мікромішені в гало пучка ВАК з метою забезпечення визначеної технічним завданням номінальної світності експерименту ЛНСб. Викладений матеріал демонструє здатність автора до розробки складних систем контролю умов протікання та безпеки експерименту. У **п'ятому** розділі представлено дизайн різних прототипів мішенної системи, для її реалізації в складних умовах високоінтенсивних, сфокусованих до мікронних масштабів пучків ВАК.

Обґрунтованість та достовірність результатів підтверджується використанням сучасних методів дослідження та програмного забезпечення (Autodesk Autocad, Gauss, Boole, Brunel, Moore, ROOT, DaVinci), застосуванням методу Монте-Карло для моделювання, практичним впровадженням розробленої системи RMS-R3 в експерименті ЛНСб, публікацією результатів у реферованих наукових виданнях.

Дослідження проводились в рамках кількох наукових тем, включаючи:

1. Цільову програму наукових досліджень НАН України «Фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики» на 2018-2020 рр.
2. Тематичний план науково-дослідних робіт ІЯД НАН України у 2017-2021 рр.
3. Грант НФДУ для реалізації проекту 2020.02/0257 у 2020-2021 рр.
4. Тематичний план науково-дослідних робіт ІЯД НАН України у 2022-2026 рр.

Результати дисертації пройшли апробацію на численних наукових конференціях, включаючи щорічні конференції Інституту ядерних досліджень НАН України, міжнародні конференції та робочі групи в рамках експерименту ЛНСб. Це

свідчить про високий рівень наукової комунікації дисертанта та визнання результатів дослідження науковою спільнотою.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Вперше на експериментах ЛНС застосовано метод асиметрій відгуку детекторів системи RMS-R3 для моніторингу умов протікання експерименту, відновлення цих умов та відстеження зміни положення області взаємодій пучків ВАК або пучка ВАК з ядрами фіксованої газової мішені (SMOG2). Це дозволяє прецизійно контролювати стабільність та відтворюваність умов експерименту. Вперше зроблено оцінки залежності кількості подій від товщини мішеней при потрібних ядерних зіткненнях $p+C+p$ та $Pb+Pb+Pb$ для номінальних умов експерименту ЛНСб. Це відкриває нові можливості для дослідження екстремальних станів ядерної матерії. Розроблено нову концепцію мікростріпової металеві надтонкої мішені з використанням MEMS пристроїв та крокових двигунів для прецизійного позиціонування в пучку ВАК. Це дозволяє реалізувати режим фіксованої твердотільної мішені в експерименті ЛНСб. Запропоновано нову концепцію системи RMS-R4 для керування мішенним комплексом, що є розвитком успішно функціонуючої системи RMS-R3. Це забезпечує можливість стабілізації частоти взаємодій ядер мікромішені з пучком ВАК. Вперше розроблено програмне забезпечення для візуалізації даних RMS-R3 на пульті управління експериментом ЛНСб у режимі реального часу, що підвищує оперативність контролю умов протікання та безпеки експерименту.

Таким чином, дисертаційне дослідження містить низку **нових** наукових результатів, які розширюють можливості експерименту ЛНСб та відкривають нові перспективи для досліджень у фізиці високих енергій.

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

В дисертації С.Б. Чернишенка розвинуто концепцію використання фіксованої металеві мікромішені в експериментах з надвисокими енергіями і світностями. Це розширює коло теоретичних підходів до інтерпретації та проведення нових експериментів на ВАК. Запропоновано оригінальну ідею реалізації потрібних ядерних зіткнень для дослідження властивостей матерії в нових умовах фазової діаграми квантової хромодинаміки при надвисоких густинах речовини. Це відкриває поле для нових теоретичних моделей для вивчення екстремальних станів ядерної матерії. Розвинуто теоретичні основи застосування методу асиметрій відгуку детекторів для моніторингу умов протікання експерименту та відновлення цих умов. Це поглиблює розуміння процесів, що відбуваються під час експерименту.

Практичне значення полягає в розробці та впровадженні детекторної системи RMS-R3 в експерименті ЛНСб, що забезпечує моніторинг умов та безпеку експерименту. Це має безпосереднє практичне застосування в поточних

фізичних вимірах. Створено програмне забезпечення для відображення даних RMS-R3 у режимі онлайн в ЦЕРН, що гарантує безпечне функціонування і проведення експерименту. Це підвищує ефективність та безпеку експериментальних робіт. Розроблено концепцію нового детекторного комплексу RMS-R4, який планується застосувати не лише в експерименті LHCb, а й в інших експериментах, наприклад у CBM, FAIR (Дармштадт). Це розширює можливості практичного застосування розробленої технології моніторингу умов експерименту. Запропоновано дизайн прототипу мішенного вузла з використанням MEMS технологій та крокових двигунів, що може бути практично реалізований в рамках майбутньої модернізації експерименту (UPGRADE II, 2035-2040 pp.) для проведення експериментів з фіксованою мішенню в фізичних дослідженнях при надвисоких світностях. Розроблено метод асиметрій відгуку сенсорів RMS-R3, який практично застосовується для спостереження локалізації області ядерних взаємодій в експерименті LHCb. Створено віртуальний монітор контролю асиметрій для пульта управління експериментом LHCb, що має безпосереднє практичне застосування для чергових операторів.

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

На основі представленої в дисертації інформації можна зробити наступні висновки щодо повноти викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях здобувача: опубліковано 16 наукових праць за темою дисертації, серед них 2 статті у реферованих наукових виданнях України, індексованих в Scopus (Q4), 1 стаття у фаховому періодичному виданні України, 1 стаття як публікація матеріалів конференції у виданні, індексованому в Scopus (Q4), 2 статті у виданнях, індексованих в Scopus (Q1-Q3), 7 тез/презентацій доповідей на наукових конференціях в Україні, 2 тези/презентації доповідей на міжнародних конференціях, 1 технічно-інженерний звіт LHCb (CERN).

Публікації прямо пов'язані з темою дисертації і розкривають її зміст, оскільки стосуються розробки концепції фіксованої металевої мікромішені, методу асиметрій для моніторингу експерименту LHCb, системи RMS-R3/R4 тощо. Положення і висновки дисертації обґрунтовані на основі особистих досліджень автора і відображені в його основних публікаціях. Зазначено, що автор брав безпосередню участь у всіх етапах досліджень, від постановки завдань до інтерпретації результатів і підготовки публікацій. Конкретний особистий внесок здобувача детально описаний для кожного аспекту роботи. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8 «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, оскільки

включають необхідну кількість статей у фахових виданнях України та виданнях, індексованих у міжнародних наукометричних базах.

Таким чином, можна зробити висновок, що наукові положення, висновки і результати дисертації **повно викладені** в опублікованих працях здобувача, які відповідають встановленим вимогам.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

На основі тексту дисертації можна виділити наступні дискусійні положення та зауваження:

1. У тексті присутні деякі стилістичні неточності та граматичні помилки, які потребують редагування. У тому числі, у тексті багато англійських жаргонізмів замість українських термінів (фактор замість коефіцієнту, колізії замість зіткнень, сигми замість стандартних відхилень тощо).
2. В переліку джерел посилання одночасно використовуються різні стилі оформлення посилань.
3. Недостатньо розкрито порівняння запропонованої концепції фіксованої мікромішені з існуючими аналогами в інших експериментах.
4. Бракує детального аналізу потенційних обмежень та недоліків запропонованого підходу.

Зроблені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку роботи, не зменшують вагомості та цінності отриманих при її виконанні наукових та практичних результатів.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертація Сергія Борисовича Чернишенка виконана відповідно до вимог, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40. Структура роботи відповідає стандартам, включаючи всі необхідні розділи: вступ, огляд літератури, основну частину, висновки, список використаних джерел та додатки. Оформлення дисертації в основному дотримується встановлених норм, включаючи стиль представлення матеріалу, що є науково коректним і логічним.

Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача, що підтверджується глибиною аналізу та новизною запропонованих підходів і висновків. Сергій Борисович Чернишенко продемонстрував здатність самостійно виконувати наукові дослідження високого рівня, що видно з якісного аналізу даних, обґрунтування результатів та запропонованих інноваційних рішень.

Аналіз тексту дисертації та супутніх наукових публікацій не виявив порушень академічної доброчесності. Усі використані джерела коректно цитовані, що

відповідає вимогам академічної етики. Оригінальність дослідження підтверджується новизною отриманих результатів і відсутністю будь-яких ознак плагіату. Таким чином, можна стверджувати, що дисертаційна робота відповідає усім вимогам щодо академічної доброчесності.

Загалом, дисертація повністю відповідає встановленим вимогам і заслуговує на позитивну оцінку.

8. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Сергія Борисовича Чернишенка є вагомим внеском у розвиток експериментальної фізики елементарних частинок. Робота відповідає вимогам, що зазначені у «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 та заслуговує на позитивну оцінку. Враховуючи новизну, теоретичну та практичну значимість дослідження, а також його актуальність, вважаю, що Сергій Борисович Чернишенко заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний опонент:

Член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник
відділу електродинаміки високих енергій у
речовині ННЦ ХФТІ,
старший дослідник

Ігор КИРИЛЛІН