

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту ядерних досліджень НАН України
члену-кореспонденту НАН України, доктору
фізико-математичних наук, професору,
виконувачу обов'язків головного наукового
співробітника відділу фізики лептонів
Інституту ядерних досліджень НАН України
Федорові Анатолійовичу Даневичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата фізико-математичних наук, старшого дослідника,
старшого наукового співробітника відділу фізики важких іонів

Інституту ядерних досліджень НАН України

Улеценка Володимира Васильовича

на дисертацію

Добішука Василя Миколайовича

«Утворення чармонію в ультрапериферичних зіткненнях ядер ^{208}Pb за умов
експерименту LHCb та спосіб їх моніторингу»,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії

у галузі знань “10 Природничі науки”

за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”

1. Актуальність теми дисертації.

Дисертація представляє результати досліджень, виконаних на Великому адронному колайдері (LHC) у Європейському центрі ядерної фізики (CERN), який безумовно знаходиться на самому передньому краї досліджень найфундаментальніших властивостей природи. Високоенергетичні зіткнення адронів, які досліджуються на LHC дають величезну кількість нових відомостей про фізику елементарних частинок в умовах, які ще ніколи до цього не були досяжні для досліджень, дозволяють уточнювати наші знання про структуру адронів та механізми взаємодії елементарних частинок, а також здійснювати пошук ефектів, які б дозволили розв'язати проблеми сучасних фундаментальних теорій, наприклад такі як проблема баріонної асиметрії Всесвіту.

Народження кварконіїв, зокрема чармонію, в ультрапериферичних зіткненнях, яке досліджується у представлений дисертації за допомогою експериментальної установки LHCb, може зокрема бути використане для уточнення функцій розподілів партонів, перш за все глюонів, у взаємодіючих

адронах, в даному випадку ядер ^{208}Pb . При цьому зіткнення пучків протонів або важких іонів при енергіях та світимостях ЛНС характеризуються надзвичайно великими потоками народжених частинок, що створює екстремальні радіаційні умови роботи апаратури експериментальних установок і перетворює підтримання і моніторинг експериментальних умов в досить непросту і творчу задачу.

Тому дослідження, представлені в дисертації, безсумнівно відносяться до актуальної тематики.

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

Представлена дисертаційна робота має сумарно 224 сторінки, містить структурно оформлені анотацію (українською та англійською мовами), вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел, а також чотири додатки.

Структура роботи і викладення матеріалу є логічними і зрозумілими.

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики роботи, описано мету і завдання, об'єкт і предмет досліджень для двох аспектів: для отримання нових експериментальних даних для фізичного процесу та для розробки експериментальної установки. Також наведено основні результати, які мають наукову новизну, відзначено особистий внесок здобувача. Також відображено публікацію результатів досліджень у періодичних виданнях та їх апробацію на конференціях та семінарах. Тут же наведено наукові проекти у ході виконання яких проводились дослідження. Зокрема дослідження виконувались в рамках Цільової програми наукових досліджень НАН України “Фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики (міжнародна співпраця)” на 2018 – 2020 рр., планових бюджетних тем відділу фізики високих енергій ІЯД НАН України, проектів НФДУ, УНТЦ, за грантової підтримки ЄС.

У **першому розділі** розглядаються фізико-технічні аспекти експериментального комплексу ЛНСб, складові частини детекторної установки, архітектура електроніки, переваги даного експерименту пов'язані з найвищою точністю вимірювань для процесів, на яких спеціалізується експеримент, а також проблеми та виклики, які постають у зв'язку з екстремальними умовами роботи. Відображено також деякі цікаві результати отримані з використанням комплексу ЛНСб, зокрема в реєстрації нових адронних станів, в яких повною мірою проявились описані переваги.

Другий розділ присвячено вимірюванню перерізу народження J/ψ мезонів в ультрапериферичних PbPb -зіткненнях в умовах експерименту ЛНСб з енергією в с.ц.м. двох нуклонів 5,02 ТеВ. Описано механізм взаємодії двох ядер ^{208}Pb в

ультрапериферичному зіткненні, що веде до когерентного народження чарівного кварконію, яке характеризується низькою множинністю кінцевого стану. Сформульовано критерії відбору подій для аналізу, які б відповідали саме такому механізму взаємодії. Виконано Монте-Карло моделювання, оцінено ефективність реєстрації при ідентифікації станів кварконію за розпадом на пару $\mu^+ \mu^-$. Отримано поперечний переріз народження J/ψ мезонів в діапазоні рапідиті $2 < y < 4,5$.

У **третьому розділі** охарактеризовано умови експериментального середовища LHCb та вимоги до їх моніторингу, описано конкретні зарачі, які потребують розв'язання, зокрема вимірювання світності, вивчення джерел та методики оцінки фону в експерименті LHCb. Розглянуто різні рішення для цих задач, інтегровані в єдину систему контролю експерименту LHCb.

У **четвертому розділі** в деталях описано систему моніторингу RMS-R3 та її особливості у структурі контролю експериментом LHCb. Розглянуто апаратну складову RMS-R3 (сенсори, зчитувальну електроніку) описано потоки даних і алгоритми вимірювання фізичних величин. Виконано тестування і калібрування компонентів RMS-R3 з використанням джерел іонізуючого випромінювання. Показано результати, отримані у серії вимірювань Run 3. Розглянуто можливості розвитку системи моніторингу на основі RMS-R3 для майбутніх серій вимірювань Run 4 та Run 5.

П'ятий розділ описує методи моніторингу стабільності робочих умов (частоти взаємодій пучків та фону) експерименту LHCb за допомогою системи RMS-R3. Розглянуто можливості використання RMS-R3 для моніторингу світності експерименту завдяки її високим показникам у таких характеристиках як: чутливість до зарядів малої амплітуди, лінійність відгуку, часова стабільність відгуку, стійкість до впливу надвисоких рівнів радіації.

У **висновках** підбито підсумки всіх викладених досліджень, вказано практичне значення отриманих результатів.

Високий науковий рівень та достовірність положень, що сформульовані в роботі забезпечуються її виконанням у складі однієї зі всього декількох великих міжнародних колаборацій, що виконують свої дослідження на Великому адронному колайдері Європейського центру ядерної фізики (CERN), на самому передньому краї сучасної науки, використанням сучасної експериментальної техніки, сучасних методів обробки даних, підтверджуються апробацією результатів на 12-х наукових конференціях, публікацією результатів у 3-х престижних наукових журналах з обов'язковим рецензуванням.

3. Наукова новизна одержаних результатів

- Уперше виконано дослідження когерентної генерації J/ψ та $\psi(2S)$ мезонів в ультрапериферичних зіткненнях іонів $^{208}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}$ в колайдерному режимі при енергії в системі центра мас двох нуклонів 5,02 TeV в експерименті LHCb (CERN). Отримано поперечний переріз когерентного утворення J/ψ у діапазоні форвардної рапідиті $2 < y < 4,5$. Розроблено метод аналізу фотонно-ядерних реакцій в ультрапериферичних зіткненнях важких іонів в експерименті LHCb.
- Розроблено та впроваджено систему RMS-R3 для моніторингу умов та безпеки експерименту LHCb із динамічним діапазоном від приблизно 1 Гц до 1 МГц для вимірювання частоти взаємодій пучків Великого адронного колайдера, що забезпечує вимірювання абсолютної миттєвої світності колайдера для протонних пучків до $2 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в експерименті LHCb. Запроваджено нові технічні рішення до конструювання системи, призначеної для онлайн моніторингу зіткнення пучків та фону, на основі технологій металевих сенсорів та високоточних перетворювачів заряду. Досягнуто фемтокулонної чутливості до зарядів у металевих сенсорах

4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Вимірний диференціальний переріз $d\sigma^{\text{когер.}}/dy$ когерентного утворення векторних J/ψ мезонів у залежності від рапідиті y при $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5,02 \text{ TeV}$ збагачує базу експериментальних даних і може бути використаний для перевірки і уточнення теоретичних моделей, зокрема моделей ядерного затінення чи глюонного насичення, уточнення відомостей про структуру адронів, зокрема в мало досліджених значеннях змінної Бйоркена та переданого імпульсу.

Розроблений метод аналізу фотонно-ядерних реакцій в умовах експерименту LHCb може бути використаний для отримання перерізів інших процесів з народження частинок в ультрапериферичних зіткненнях.

Спеціальна система моніторингу RMS-R3 є інтегрованою в систему контролю експерименту LHCb, служить для забезпечення безпечної, стабільної та безперебійної роботи модернізованої детекторної установки LHCb для усієї серії досліджень Run 3 (2022-2025pp.) на Великому адронному колайдері. Важливою функціональною здатністю системи RMS-R3 є дублювання вимірювання миттєвої світності. Нові технічні рішення, знайдені при побудові RMS-R3 можуть бути використані при побудові майбутніх експериментальних установок, здатних функціонувати при надвисоких рівнях радіаційного навантаження або в прикладних задачах.

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

Основні положення досліджень, викладені у 3 статтях у престижних

наукових виданнях, що індексуються наукометричною базою SCOPUS. Дві статті відносяться до другого квартилю і одна – до четвертого. Статті досить повно висвітлюють наукові результати, покладені в основу дисертації та методи їх отримання.

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.

Також результати роботи висвітлені у 12 тезах міжнародних та українських конференцій, на яких результати пройшли апробацію.

6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Спосіб отримання даних з народження J/ψ мезонів включає моделювання подій за допомогою Монте-Карло генераторів подій, які спираються не тільки на точні теорії, а також на емпіричні моделі закладених в них фізичних процесів, у зв'язку з чим такі програмні продукти весь час переживають вдосконалення, а різні генератори часто дають відмінні результати. У представленій роботі використовувався тільки генератор StarLight. Виконання хоча б для певних моделювань інших Монте-Карло генераторів могло б підвищити достовірність, зменшити систематичну похибку отриманих перерізів.

Текст дисертації включає використання не зовсім вдалої термінології. Наприклад занадто часто використовується слово «прецизійність» у різних іпостасях, коли прекрасно звучало б звичайне українське слово «точність». Також не можна назвати вдалим термін «СтандартН» для позначення виходу за межі стандартної моделі (стор. 45). Загалом мова дисертації не завжди тримає сухий науковий стиль. Наприклад фраза «вимірювання розпадів b -адронів» (стор. 31-32) не є зовсім коректною без пояснення які саме величини вимірюються. Присутні одруки: знак питання у кінці речення, яке не є питальним «З'ясуємо далі, яку роль відіграють...» (стор. 57).

При цьому вказані зауваження не є критичними і не змінюють загальну позитивну оцінку роботи.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертація оформлена відповідно до вимог, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40, містить всі необхідні структурні елементи, написана державною мовою, усі використані матеріали, результати і висновки мають відповідні літературні посилання.

Ознаки порушення автором вимог академічної доброчесності не спостерігаються.

8. Загальний висновок.

Представлена дисертація є самостійною, цілісною і завершеною науковою працею з чіткою постановкою задачі, описом методів досліджень та викладенням отриманих результатів. Робота відзначається належним науковим рівнем, а сформульовані в ній положення є обґрунтованими і достовірними. Зміст дисертації відповідає поставленим меті і завданням дослідження. Отримані результати достатньо значущі, мають наукову новизну, відносяться до актуальної тематики, пройшли необхідну апробацію та опубліковані належним чином.

Вважаю, що дисертаційна робота Добішука Василя Миколайовича «Утворення чармонію в ультрапериферичних зіткненнях ядер ^{208}Pb за умов експерименту ЛНСб та спосіб їх моніторингу» відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах) затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 з наступними змінами; пп. 6, 7, 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 з наступними змінами, а її автор Добішук Василь Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

к.ф.-м.н. ст. досл.
старший науковий співробітник
відділу фізики важких іонів
Інституту ядерних досліджень
НАН України

Володимир
УЛЕЩЕНКО