

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию

**ТЕРЕШКО Павла Владимировича**

«Исследование мягких процессов квантовой хромодинамики и корреляционных явлений в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS на большом адронном коллайдере»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий

### **Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представляется к защите**

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы (Указ президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156), пункту 1: Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства: физика фундаментальных взаимодействий микро- и макромира, зарождающиеся технологии. Работа полностью соответствует отрасли физико-математических наук и специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

### **Целью и задачами исследования**

данной работы, выполненной Терешко Павлом Владимировичем, было участие в наборе экспериментальных данных на установке ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (БАК) в ЦЕРНе (Швейцария), их обработке и получении на их основе новых физических результатов для изучения мягких протон-протонных взаимодействий. Следует подчеркнуть, что получение экспериментальных данных очень трудоемкий и длительный процесс, это работа большого коллектива ученых, которые создают детекторы, настраивают их и после выполнения измерений продолжают обрабатывать полученные данные, чтобы превратить их в физические результаты (энергетические, импульсные спектры, распределения по множественности и многое другое).

Теория сильных взаимодействий, квантовая хромодинамика (КХД), в настоящее время не способна описывать мягкие адронные процессы. Поэтому их экспериментальное изучение позволяет дополнить наше знание об этой области к области, рассчитываемой в КХД. Также, эти результаты позволяют уточнять феноменологические модели, вносить изменения в Монте-Карло генераторы, которые используются при планировании любого эксперимента.

### **Актуальность темы**

Соискателем для изучения мягких адронных соударений была выбрана область большой множественности, когда число вторичных заряженных частиц значительно превышает их среднее значение. Эта область исследований в настоящее время крайне актуальна. Предполагается, что в ней могут проявляться ряд коллективных явлений, в том числе, лежащие вне стандартной модели элементарных частиц. В частности, физики выделяют в протонных соударениях адронные струи с большой множественностью, изучают эти события с рождением частиц с тяжелыми ароматами. При этом возникает вопрос, может ли один партон рассматриваться как проявление

кварк-глюонной плазмы, наблюдаемой в центральных столкновениях тяжелых ионов или в области большой множественности в протонных соударениях? Соискателем представлены результаты по изучению поведения множественности в мягких протонных соударениях в широком интервале по энергии, доступной на БАКе. Им рассчитаны корреляционные моменты. Следует отметить, что метод корреляционных моментов актуален в физике высоких энергий.

Наиболее важным результатом, представленным в диссертации Терешко П.В., является поведение параметров Бозе-Эйнштейна корреляций (БЭК). Выполяживания параметра радиуса БЭК при больших множественностях было получено впервые. Физики пытаются объяснить стремление силы корреляции (параметр  $\lambda$ ) к нулю и радиуса испускания вторичных пионов к постоянному значению при приближении к максимальным значениям зарегистрированной множественности (близкой к 300 частицам).

Терешко П.В. внес большой вклад в получение экспериментальных результатов на этапе выполнения достаточно длительной процедуры калибровки адронного калориметра. Эта работа предполагала получение электромагнитных калибровочных констант при облучении пучком электронов, на основании которого было определено энергетическое разрешение адронного калориметра, что позволило выполнить реконструкцию вторичных адронов.

Кроме измерения множественности, соискатель получил псевдобыстротные спектры в разных областях поперечного импульса и множественности, а также при разных энергиях БАК. Им исследовано масштабное поведение скейлинга КНО, наблюдаемое при невысоких энергиях, который нарушается при высоких. Им выделена область, в которой этот скейлинг сохраняется.

### **Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту**

В диссертации впервые:

- Приведены измеренные на эксперименте спектры по псевдобыстроте, по множественности;
- Обнаружена широкая область по псевдобыстроте  $|\eta| < 2.5$ , в которой выполняется скейлинг КНО по нормированной множественности  $z$ , причем при значениях превышающих единицу;
- Рассчитаны корреляционные моменты множественности и их отношения, исследована их энергетическая зависимость. Показано, что в области энергий при 7 ТэВ и выше (13 ТэВ) эти отношения остаются примерно постоянными;
- Выполнено сравнение экспериментальных распределений, результатами моделирования Монте-Карло генераторами, которое показало, что среди них наиболее близки к экспериментальным значениям генераторы EPOS и PYTHIA 8 A2;
- Впервые получены параметры корреляционной функции Бозе-Эйнштейна, параметр  $\lambda$  (сила корреляции) и радиус испускания в протон-протонных взаимодействиях при 13 ТэВ. Их поведение в области большой множественности свидетельствуют о проявлении коллективного поведения вторичных частиц, которое можно интерпретировать как образование пионного конденсата, предложенного физиком Чук-Ин Вонгом.

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертации**

Данные результаты докладывались на совещаниях сотрудничества ATLAS, прошли тщательное рецензирование перед публикацией.

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов, защищаемых положений и рекомендаций определяются:

использованием адекватных теоретических моделей и экспериментальных методов измерений; практической апробацией многих положений и выводов диссертации.

### **Научная, практическая, социальная и экономическая значимость полученных результатов**

Высокая научная и практическая значимость диссертации обусловлена использованием полученных данных физиками для построения феноменологических моделей и настройки Монте-Карло генераторов, согласующихся с полученными данными.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы к использованию в ведущих научно-исследовательских центрах Беларуси (Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Белорусский государственный университет, Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси и др.), стран СНГ и дальнего зарубежья, занимающихся исследованием мягких адронных взаимодействий в области большой множественности, а также при чтении спецкурсов и написании учебных пособий для студентов и аспирантов по специальностям физика высоких энергий (включая физику элементарных частиц), релятивистская ядерная физика ядра.

### **Полнота опубликованности результатов в научной печати**

Основные результаты работы полностью опубликованы в:

6 статьях в рецензируемых научных журналах,

8 статьях в материалах конференций и сборниках статей, представлявшихся на конференциях.

Среди публикаций следует отметить статьи в авторитетных журналах “Eur. Phys. J.”, “ЖЭП”, “Physics Letters”, “Nuclear Instruments and Methods” и др.

### **Оценка оформления работы**

Содержание диссертации хорошо организовано в форме 5 глав, каждая из которых посвящена отдельной проблеме и содержит краткое введение в проблему, постановку и обоснование актуальности решаемых задач, стройное и последовательное изложение оригинальных результатов исследований с привлечением при анализе и обсуждении необходимых литературных данных.

Текст диссертации в целом изложен хорошим научным языком, четко, ясно, логично и аргументировано.

Диссертация снабжена достаточным количеством иллюстраций. Список литературы соответствует содержанию. Диссертация аккуратно оформлена.

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

### **Соответствие научной квалификации соискателя искомой степени**

На основании тщательного ознакомления с текстом диссертации и требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, с научными публикациями автора можно с уверенностью утверждать, что диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, а соискатель заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.04.23 – физика высоких энергий».

### **Недостатки**

При чтении автореферата и диссертации были выявлены несколько опечаток, с которыми автор согласился. Также при изложении материала соискатель часто использует англоязычные термины. Это объяснимо тем, что он выполнял исследования в англоязычной среде, в частности, он излагает полученные результаты в соответствии с текстом авторских статей на английском языке.

Отмеченные недостатки, однако, ни в коей мере не влияют на квалификационные признаки диссертации.

### **Заключение**

Таким образом, диссертационная работа П.В. Терешко «Исследование мягких процессов квантовой хромодинамики и корреляционных явлений в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS на большом адронном коллайдере» является законченной квалификационной работой, выполненной соискателем на высоком научном уровне и по актуальной тематике.

Основные выводы и рекомендации диссертации детально аргументированы, сформулированы на базе глубокого анализа, являются достоверными и обоснованными.

Все основные результаты, полученные в диссертации, и научные положения, выносимые на защиту, являются принципиально новыми. Они вносят важный вклад в физику высоких энергий и могут быть использованы при выполнении международных экспериментов.

Диссертация содержит новые научно обоснованные результаты, совокупность которых является крупным научным достижением в физике высоких энергий, а ее автор, Терешко Павел Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук за:

- Измерение спектров элементарных частиц в области энергий БАК;
- Подготовку адронного калориметра к проведению измерений спектров адронов;
- Определение корреляционных моментов и обнаружение их постоянства при энергиях свыше 7 ТэВ;
- Впервые измеренные параметры силы корреляции и радиуса испускания для Бозе-Эйнштейна интерференционной функции при 13 ТэВ;

Вышесказанное позволяет утверждать, что диссертационная работа «Исследование мягких процессов квантовой хромодинамики и корреляционных явлений в протон-протонных взаимодействиях в эксперименте ATLAS на большом адронном коллайдере» отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК Республики Беларусь к работам на соискание степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Терешко Павел Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ему искомой научной степени.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук

*Кокоулина*

Е.С. Кокоулина

