

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Елецких Ивана Владимировича “Поиск нового бозона  $Z^*$  в данных протон-протонных столкновений детектора ATLAS в канале с двумя мюонами в конечном состоянии”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – “Физика атомного ядра и элементарных частиц”

### Актуальность темы

Содержанием диссертационной работы является поиск нового тяжелого бозона  $Z^*$  с массой в области 1–10 ТэВ, существование которого предсказывается различными вариантами теоретических расширений Стандартной модели. Поиск новых частиц всегда являлся актуальным направлением современной физики высоких энергий, а используемый в диссертации метод поиска новой тяжелой частицы по ее распаду на мюоны является актуальным вдвойне в свете результатов экспериментов, проведенных в последние годы в космических лучах. В этих экспериментах был обнаружен избыток как одиночных мюонов сверхвысоких энергий (выше 100 ТэВ), так и групп мюонов, образованных первичными частицами с энергией выше  $10^{16}$  эВ. Возможное объяснение этих результатов – рождение новых распадающихся на мюоны частиц при ПэВ-ных энергиях, которые в системе центра масс соответствуют ТэВ-ной области энергии ЛНС. Поэтому обнаружение таких частиц в экспериментах ЛНС может помочь объяснению механизма формирования избытка мюонов.

### Полученные результаты и их научная новизна

Основным результатом диссертационной работы является разработанный метод поиска тяжелого нейтрального резонанса  $Z^*$  по его распаду на два мюона в конечном состоянии и полученные ограничения на его массу. Результат, безусловно, новый и важен для проверки разных моделей, расширяющих Стандартную модель и предсказывающих появление подобных частиц.

Для получения этого результата автором разработаны алгоритмы отбора двухмюонных событий, проведена оценка точности их реконструкции. Проведено моделирование изучаемых событий, определены источники и получены оценки распределения фоновых событий по инвариантной массе. И, хотя работа проводилась с использованием обширных методических разработок коллаборации ATLAS, что существенно облегчало решение поставленной задачи, тем не менее, автором было предложено и реализовано много теоретических и методических подходов, которые отличаются новизной и оригинальностью.

### Обоснованность полученных результатов

Необходимость поиска и возможность обнаружения тяжелых бозонов  $Z^*$  основаны на результатах ряда теоретических исследований, опубликованных в ведущих научных журналах. Изучение наблюдаемых свойств  $Z^*$  и их сравнение с теоретическими предсказаниями проведено на основании моделирования событий с рождением  $Z^*$  в протон-протонных столкновениях, при этом качество этого моделирования прошло дополнительную проверку.

Диссертантом проведена обоснованная оценка систематической неопределенности моделирования фона Стандартной модели в зависимости от инвариантной массы пары мюонов, необходимая для корректной оценки отклонений экспериментальных данных от фона. На основе такого анализа автором сделан вывод об отсутствии значимых отклонений от фонового распределения, при этом верхние пределы сечений рождения  $Z^*$  получены на основе байесовского подхода к сравнению данных с фоном.

## Достоверность

Основные выводы диссертации получены путем сравнения экспериментальных и моделированных данных. Поэтому их достоверность определяется надежностью как отбора и анализа экспериментальных данных, так и процедуры моделирования.

Для поиска  $Z^*$  бозона автором использован банк данных коллаборации ATLAS, прошедших стандартную процедуру их подготовки к физическому анализу. Качество использованных данных и достоверность результатов автора подтверждается другими результатами коллаборации ATLAS, полученными с использованием данных с двумя лептонами. Для реконструкции и отбора событий с двумя мюонами автором используются алгоритмы, созданные на основе рекомендаций коллаборации ATLAS.

Моделирование событий, связанных с  $Z^*$  бозоном, проводилось с использованием хорошо известного генератора (ComHEP) и функций партонных распределений CTEQ6L1 и MISTW2008LO. Для оценки фоновых событий также использовался хорошо известный генератор PYTHIA6 и те же самые функции партонных распределений. О корректности использованных процедур говорит хорошее согласие массы  $Z^0$ -бозона, полученной в диссертационной работе, с ее табличным значением. Поэтому достоверность полученных результатов является достаточно высокой.

## Замечания по диссертационной работе

Основное замечание, которое необходимо сделать, относится не к содержанию или выводам диссертации, а скорее к постановке задачи. Дело в том, что рассматриваемые исследования были проведены в протон-протонных взаимодействиях, в то время как в космических лучах избыток мюонов был получен, в основном, в ядро-ядерных взаимодействиях. К сожалению, в диссертации вопрос о поиске новых распадающихся на мюоны частиц в ядро-ядерных взаимодействиях не обсуждается даже при анализе дальнейших поисков  $Z^*$  в следующих циклах набора данных эксперимента ATLAS. Хотя на том же ATLAS'e получены явные указания на изменение характера взаимодействий в ядро-ядерных столкновениях (быстрый рост множественности, дисбаланс в образовании струй).

Непосредственно по содержанию диссертации можно сделать два замечания:

1. Приведенный в первой главе диссертации обзор теоретических работ, предсказывающих существование бозонов типа  $Z^*$ , основан на анализе статей, опубликованных до открытия Хиггс-бозона. Из 59 ссылок, которые имеются в первой главе диссертации, лишь 4 опубликованы в 2012 году, да и то они посвящены либо открытию, либо обсуждению Хиггс-бозона. Было бы целесообразно кратко осветить, как изменились (и изменились ли?) предсказания возможности существования таких частиц, как  $Z^*$ , после открытия Хиггса.
2. Автором предложен ряд критериев идентификации  $Z^*$ , на основании которых этот резонанс можно отличить от других. Однако в диссертации нет исследований эффективности этих критериев и оценки статистики резонансных событий, необходимой для подтверждения или опровержения соответствия этих событий бозону  $Z^*$ .

Можно сделать замечания и по тексту диссертации. Обилие иллюстративного материала привело к тому, что ссылки на рисунки иногда оказываются довольно далеко от места их расположения. Например, на стр. 117 упомянуты ссылки на рисунки 50, 51, 52, которые находятся на страницах 121, 122 и 123. Хотя диссертация в целом написана хорошим языком, иногда встречаются такие выражения: "с точностью вплоть до процессов второго порядка за ведущим включительно" (стр. 103).

## Общая оценка диссертации

Высказанные замечания не умаляют значимость результатов, полученных автором. Диссертация "Поиск нового бозона  $Z^*$  в данных протон-протонных столкновений детектора ATLAS в канале с двумя мюонами в конечном состоянии" является законченным научным исследованием, соответствует специальности 01.04.16 – "Физика атомного ядра и элементарных частиц" и полностью удовлетворяет требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автореферат полностью и последовательно отражает содержание диссертации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы.

За новое решение актуальной экспериментальной задачи поиска тяжелых бозонов  $Z^*$ , которое имеет существенное значение для развития физики элементарных частиц высоких энергий, автор диссертации Елецких Иван Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16.

Официальный оппонент:  
главный научный сотрудник  
Научно-образовательного центра НЕВОД  
Национального исследовательского ядерного  
университета "МИФИ",  
доктор физико-математических наук,  
профессор

  
Петрухин Анатолий Афанасьевич

Подпись проф. Петрухина А.А.  
Заверяю

8.12.2014



Начальник Организационно-правового  
департамента НИЯУ МИФИ  
Цыганов В.Г.