

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертационную работу
Елецких Ивана Владимировича

на тему: «Поиск нового бозона Z^* в данных протон-протонных столкновений детектора ATLAS в канале с двумя мюонами в конечном состоянии»

по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Актуальность темы

Современный адронный ускорительный комплекс – Большой адронный коллайдер (LHC), открывает широкие возможности для изучения физики микромира. Основными задачами, решаемыми при выполнении коллайдерных экспериментов, являются, во-первых, всесторонняя и прецизионная проверка Стандартной Модели (СМ), а также поиск новых явлений и объектов (новых частиц и взаимодействий) в достижимой области энергий. Новые частицы могут иметь массу достаточную для наблюдения индуцированных ими прямых эффектов, таких, например, как прямое или резонансное рождение новых калибровочных бозонов Z' и W' , скалярных и векторных лепто-кварков, суперсимметричных лептонов и кварков в суперсимметричных теориях с нарушенной R -четностью, скалярных или векторных билептонов, гравитонных состояний Калуцы - Клейна в моделях с дополнительными пространственными измерениями и др. Очевидно, что достижение порога рождения новых частиц явилось бы прямым доказательством проявлений «новой», нестандартной, физики. Если экспериментальные данные при достигнутом уровне точности согласуются с предсказаниями СМ, т.е. статистически значимых отклонений от предсказаний СМ не наблюдается, то полученная экспериментальная информация может быть использована для оценки ограничений на динамические параметры этих частиц (константы связи и их массы). Чувствительность наблюдаемых величин к эффектам «новой физики» напрямую зависит от точности теоретических расчетов и экспериментальных погрешностей. В этой связи, надежная оценка погрешности измеряемых физических величин, включающей как теоретическую, так и экспериментальную составляющие, является, безусловно, важной задачей.

Рождение лептонных пар в канале Дрелла-Яна является весьма эффективным процессом для проверки СМ и поиска новых объектов и явлений в экспериментах на адронном коллайдере LHC в силу сравнительно простой кинематики, возможности регистрации лептонов с высокой эффективностью и из-за значительной подавленности фоновых процессов. Настоящая диссертационная работа соискателя Елецких И.В. посвящена поиску нового массивного нейтрального векторного бозона Z^* на основе экспериментальных данных установки ATLAS и представляется безусловно актуальной задачей.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Предложенные соискателем возможные пути экспериментального поиска бозонов нового типа базируются на ранее выполненных исследованиях, в которых приводится мотивировка возможного существования Z^* и дается описание основных свойств этих частиц.

Методы анализа экспериментальных данных, моделирования сигнальных и фоновых процессов основаны на общепринятых в экспериментальной физике высоких энергий алгоритмах и программном обеспечении. Разработанные автором методы и алгоритмы изложены в диссертационной работе достаточно подробно.

На основании вышеизложенного можно заключить, что исследования, вошедшие в диссертационную работу, являются логически последовательными, выводы и результаты в достаточной степени обоснованными.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Новизна выполненных в диссертационной работе исследований состоит в том, что здесь впервые было выдвинуто физически обоснованное предложение по экспериментальному поиску нового нейтрального тяжелого бозона Z^* в канале его распада в два мюона, $\mu^\pm$. Кроме того, были

смоделированы процессы резонансного рождения и распада Z^* , исследованы физические наблюдаемые (распределения по кинематическим переменным), с помощью которых можно разделять эффекты, индуцируемые Z^* -бозонами, и другими возможными тяжелыми резонансами с разными спинами (скалярного снейтрино в суперсимметричных теориях с нарушенной R -четностью, нового нейтрального калибровочного Z' -бозона, гравитонного резонанса в модели Рэндалл-Сандрума с дополнительными пространственными измерениями); разработаны алгоритмы реконструкции мюонов и сформулирован набор критериев отбора ди-мюонных событий для экспериментального поиска Z^* . Кроме этого, автором даются оценки качества моделирования фоновых процессов, и предлагается ряд способов его улучшения; получены систематические неопределенности моделирования фона, выполнен статистический сравнительный анализ данных, полученных в эксперименте, с моделированием процессов СМ. Автором сделан вывод об отсутствии какого-либо статистически значимого превышения данных над фоном в исследуемой области масс пар мюонных пар, в соответствии с этим получены новые экспериментальные ограничения на параметры модели Z^* .

Методы исследований, использованные в диссертационной работе и полученные автором результаты, были одобрены в ходе обсуждения работы коллаборацией ATLAS, рабочих совещаний по физике ATLAS в ОИЯИ, прошли детальную и всестороннюю апробацию на международных и российских конференциях и совещаниях, что является подтверждением достоверности исследований и результатов автора. Апробация результатов диссертации, ее положений и выводов проводилась в процессе их представления в виде докладов на научных семинарах, рабочих совещаниях группы ATLAS, различных совещаниях и конференциях. По теме диссертации опубликовано 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК, а также одна статья в материалах международной конференции.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Полученные результаты имеют важное значение для прецизионной проверки Стандартной модели, особенно ее электрослабого сектора, развития представлений о процессах, происходящих на масштабах ТэВ-ных энергий. Экспериментальные ограничения параметров исследуемой модели могут использоваться в дальнейшем для уточнения теоретических сценариев, включающих бозоны типа Z^* .

На практике – методики анализа данных, алгоритмы, созданные автором, опыт моделирования событий протон-протонных столкновений, имеют большое значение для продолжения исследований в данном направлении, в особенности, с учетом планов работы LHC и установки ATLAS, включающих существенное повышение энергии столкновений и светимости пучков протонов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Программное обеспечение, результаты моделирования сигнальных и фоновых событий, исследования, связанные с повышением эффективности и точности реконструкции событий с двумя мюонами могут использоваться в обработке будущих данных ATLAS. Полученные автором результаты позволили вполне обоснованно оценить перспективы поиска тяжелых дилептонных резонансов в будущем в зависимости от энергии и светимости коллайдера LHC.

Вычисления эффективности и разрешения экспериментальной установки при реконструкции событий с двумя мюонами, выполненные в диссертации, показали необходимость дальнейшей работы в направлении улучшения этих характеристик, особенно при увеличении энергии и светимости коллайдера.

Наконец, полученные новые верхние ограничения на массу резонанса Z^* , будут использоваться для разработки новых и совершенствования существующих моделей, предсказывающих этот тип частиц.

Содержание диссертации, ее завершенность.

В диссертационной работе достаточно подробно изложены результаты исследования автора, обзорная и методическая часть работы. Выводы и заключения, сформулированные в диссертации, основаны на материале, изложенном в диссертации, и следуют из результатов выполненных исследований. На основании этого, можно сделать вывод о том, что диссертация Елецких И.В. является полноценным и завершенным научным трудом и соответствует специальности 01.04.16.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

Среди достоинств в содержании диссертационной работы следует отметить:

1. В работе достаточно полно и последовательно изложены обзор устройства экспериментальной установки, алгоритмы реконструкции мюонов, методы анализа экспериментальных данных.
2. Автором подробно исследованы проблемы повышения точности и эффективности реконструкции мюонов детектором. На основании этих данных, получены оптимальные для задачи поиска массивных нейтральных резонансов критерии отбора событий с парой мюонов.
3. Заслуживает положительной оценки изложение результатов исследований по сравнению наблюдаемых данных с предсказанием Стандартной модели – автором получены распределения отобранных событий с парой мюонов по всем ключевым кинематическим переменным, исследовано качество согласия этих распределений в данных и моделировании.
4. Автором обстоятельно изложены методы статистического анализа данных, дан исчерпывающий анализ гипотез существования Z^* -бозона в широком интервале масс.

В качестве замечаний к содержанию работы можно отметить:

1. Заметным недостатком диссертации является то, что положения, выносимые на защиту, сформулированные в автореферате, отличаются от положений, содержащихся в диссертации. Вместе с тем, следует отметить, что содержание этих положений является по существу идентичным. По-видимому, произошел досадный технический сбой при объединении многочисленных положений выносимых на защиту в диссертации, или при редактировании текста и сохранении файлов.
2. В первой главе диссертации автор не приводит формул для дифференциальных и полных сечений процесса рождения мюонных пар с учетом вклада Z^* -бозона на партонном и адронном уровнях. Нет также выражений для констант связи Z^* -бозонов с фермионами и бозонами. Поэтому приходится постоянно обращаться к первоисточникам для нахождения нужных формул, чтобы проверить приведенные в этой главе распределения по кинематическим переменным и массе Z^* -бозонов (рис.4-7). К сожалению, отсутствует также информация о парциальных и полных ширинах Z^* -бозонов, а также каналах их распадов, а именно, только ли в полные ширины дают вклад каналы распада в частицы Стандартной модели, или эти ширины учитывают вклад также экзотических состояний. Если справедливо последнее, то не ясно какой этот вклад.
3. На мой взгляд, рис.5 и 6 дают по сути одну и ту же информацию, если иметь ввиду то, что полуразность псевдобыстрот мюонов выражается через тангенс гиперболический от косинуса угла θ_{CS} .
4. На рис. 4 показаны распределения по поперечному импульсу лептонов для двух случаев, Z' -бозонов и Z^* -бозонов. Для первого случая (Z') это распределение имеет максимум при $p_T \approx M/2$, что является хорошо известным законом. Было бы весьма желательным, чтобы соискатель сформулировал соответствующее соотношение для случая Z^* -бозонов.

В целом нужно отметить, что автором выполнен большой объем исследовательских работ высокого уровня, полученные результаты имеют значительную практическую и теоретическую ценность, достаточно полно изложены в тексте работы, своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, автореферат полностью соответствует содержанию диссертации (за исключением отмеченной выше технической оплошности).

Диссертация «Поиск нового бозона Z^* в данных протон-протонных столкновений детектора ATLAS в канале с двумя мюонами в конечном состоянии» в полной мере соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук – является законченной научно-квалификационной работой, выполненной под руководством доктора физико-математических наук Беднякова Вадима Александровича, содержит новое решение актуальной экспериментальной задачи поиска бозона Z^* в виде дилептонного резонанса и вносит существенный вклад в развитие физики атомного ядра и элементарных частиц. Упомянутые выше замечания не затрагивают основных выводов настоящей диссертационной работы и не сказываются на ее общей положительной оценке.

По моему мнению, автор диссертации, Елецких Иван Владимирович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв составил:
профессор кафедры физики
Гомельского государственного
технического университета им. П.О. Сухого,
доктор физико-математических наук



Панков Александр Альбертович

