



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора ФГБУН
«Институт ядерных исследований
Российской Академии наук»
доктор физ.-мат. наук
М. В. Либанов
«17» апреля 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Федина Олега Львовича «Измерение поляризационных угловых коэффициентов в процессах лептонного распада Z-бозона в эксперименте ATLAS на LHC», представленной на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий, в диссертационный совет Д 212.232.16 при Санкт-Петербургском государственном университете.

Диссертационная работа Федина Олега Львовича посвящена одной из актуальных тем современной физики элементарных частиц – прецизионному измерению параметров электрослабых процессов Стандартной модели, а именно измерению поляризационных угловых коэффициентов в процессах лептонного распада Z-бозона. Надежная работа Большого адронного коллайдера и достигнутая в 2012 году пиковая светимость позволила зарегистрировать в эксперименте ATLAS порядка 10 миллионов лептонных распадов Z-бозона. Накопленная статистика позволила приступить к детальному изучению квантовой интерференции между амплитудами рассеяния с промежуточным Z-бозоном в различных спиновых состояниях путем измерения угловых распределений лептонов (мюонов и электронов) в системе покоя лептонной пары, которая как известно описывается матрицей плотности, учитывающей всевозможные корреляции спинов и поперечных импульсов начальных партонов. На практике такие корреляции описываются набором девяти «структурных функций», которые могут быть вычислены в рамках партонной модели, используя пертурбативную КХД. Эти «структурные функции» представляют собой отношение дифференциальных сечений с заданной поляризацией Z-бозона к неполяризованному сечению, и называются угловыми поляризационными коэффициентами. В данной работе впервые был измерен полный набор из восьми поляризационных угловых коэффициентов в зависимости от поперечного импульса Z-бозона интегрально и в нескольких интервалах по быстройте. Для измерения была разработана методика, которая позволила учесть акцептанс детектора, а также искажение спектра лептонов из-за КЭД излучения фотонов лептонами в конечном состоянии. Для сравнения измеренных зависимостей угловых коэффициентов от поперечного импульса использовались расчеты, выполненные как в фиксированных порядках теории

возмущения КХД, так и расчеты с помощью ряда генераторов событий, таких как POWHEG и SHERPA. Выполненные измерения показали ряд интересных результатов. Например, было обнаружено значительное отклонение разницы коэффициентов A_0 и A_2 от вычислений в NNLO приближении, что указывает на необходимость учета поправок КХД более высокого порядка. Так же впервые экспериментально было показано, что наблюдается отличие значений коэффициентов $A_{5,6,7}$ при больших поперечных импульсах от нуля, как это и ожидалось в соответствии с расчетами, выполненными в NNLO приближении. Достигнутая в данной работе точность измерений угловых поляризационных коэффициентов стимулирует дальнейшее проведение их расчетов в более высоких порядках пертурбативной теории возмущений КХД, а также позволяет проверить различные модели образования партоновых ливней, которые используются в современных Монте-Карло генераторах событий.

Данная диссертационная работа открывает новые возможности по прецизионному измерению параметров Стандартной модели таких как, электрослабый угол смешивания и масса W -бозона. Угол смешивания обычно извлекается из измерения асимметрии вперед-назад A_{FB} . Такие измерения модельно зависимы и не позволяют уменьшить систематическую ошибку. С другой стороны, асимметрия вперед-назад A_{FB} пропорциональна угловому поляризационному коэффициенту A_4 . В данной работе измерена зависимость коэффициента A_4 от поперечного импульса лептонной пары. Метод измерения, разработанный в данной работе, может быть использован для измерения зависимости коэффициента A_4 от массы лептонной пары. Измерение такой зависимости позволит измерить угол смешивания. В настоящее время эксперимент ATLAS приступил к измерению угла смешивания, используя метод разработанный в данной работе.

Разработанный в данной работе метод также позволяет измерить спектр поперечных импульсов Z -бозонов непрямым методом, то есть восстановив его из измерений угловых коэффициентов. Прямые измерения спектра Z -бозонов по поперечному импульсу выполняются в искаженном аксептансом и эффективностью детектора фазовом пространстве лептонов. Для восстановления спектра используется метод обратной свертки. В выполненных, таким образом, измерениях не удастся достичь необходимой точности в области малых поперечных импульсов p_T^Z , то есть в области, в которой наиболее интересно сравнить результаты измерений и теоретических расчетов, выполняемых с помощью метода ресуммирования. Вклад в систематическую ошибку измерения спектра в области малых поперечных импульсов p_T^Z от неточного знания функций распределения партонов значителен. Использование измеренных поляризационных коэффициентов позволит заметно снизить систематические ошибки измерения спектра поперечных импульсов Z -бозона.

Работа по измерению спектра поперечных импульсов Z -бозона используя результаты измерения угловых коэффициентов также начата в эксперименте ATLAS.

Одна из амбициозных задач, стоящих перед экспериментом ATLAS, состоит в измерении массы W -бозона с беспрецедентной точностью порядка 10 МэВ. Для выполнения этой задачи нужно существенно снизить систематические ошибки, определяющие точность измерения массы W -бозона. Значительная часть систематической ошибки возникает из-за неточности моделирования угловых распределений лептонов при распаде W -бозона. Распад W -бозона в лептоны является электрослабым процессом аналогичным распаду Z -бозона. Следовательно экспериментальное изучение угловых распределений лептонов в распадах Z -бозонов и введение соответствующих корректировок в Монте-Карло генераторы событий, которые используются для генерации событий распадов как Z - так и W -бозона, позволит улучшить точность моделирования угловых распределений лептонов при распаде W -бозона и как следствие уменьшить систематическую ошибку измерения массы W -бозона.

Вторая часть данной диссертационной работы состоит в создании уникального детектора переходного излучения TRT (Transition Radiation Tracker) для торцевых частей внутреннего трекера эксперимента ATLAS. Детектор TRT предназначен для восстановления треков заряженных частиц, а также для идентификации электронов и подавлении адронного фона. Эта ключевая особенность данного детектора позволяет значительно улучшить эффективность регистрации изолированных электронов, которые образуются в электрослабых процессах в том числе, и при распадах Z -бозонов. Созданный уникальный детектор переходного излучения впервые используется в большом коллайдерном эксперименте. Детектор успешно работает в условиях большой множественности заряженных частиц и большой частоты протон-протонных столкновений, реализуемых на Большом адронном коллайдере.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и четырех приложений. Она изложена на 205 страницах, содержит 78 рисунков, 24 таблицы и список цитируемой литературы из 125 наименований.

Во введении формулируются предмет и цели исследования, раскрывается актуальность и научная новизна работы, сформулированы результаты, выдвигаемые автором на защиту. В первой главе подробно описан теоретический формализм, поясняющий определение поляризационных угловых коэффициентов, а также обсуждается выбор системы покоя Z -бозона, в которой будут выполняться измерения угловых коэффициентов в зависимости от поперечного импульса Z -бозона. Здесь же приведены результаты теоретических расчетов, выполненных при непосредственном участии автора как в фиксированных порядках пертурбативной теории КХД с помощью программ

FEWZ и DYNNOLO, так и с помощью ряда основных генераторов событий, широко используемых для моделирования электрослабых процессов на Большом адронном коллайдере. Во второй главе дается краткое описание эксперимента ATLAS, а также детектора переходного излучения TRT (Transition Radiation Tracker) в разработке и создании которого автор внес решающий вклад. В этой же главе рассмотрена реконструкция и идентификация электронов и мюонов в эксперименте ATLAS. Обсуждается методика измерения эффективностей регистрации и идентификации электронов и мюонов методом тагирования, а также процедура корректировки, которая применяется к моделированным событиям, чтобы учесть несоответствие эффективностей, измеренных в данных и моделированных событиях. В третьей главе рассматривается процедура анализа экспериментальных данных. Методика измерения угловых поляризационных коэффициентов, а также оценка систематических ошибок, приводится в пятой главе. Шестая глава посвящена обсуждению результатов измерений и их сравнению с теоретическими расчетами. В заключении приведен обзор основных результатов работы.

Диссертация выполнена на высоком профессиональном уровне. Основные результаты опубликованы в 18 печатных работах, 15 из которых – в журналах из списка ВАК, и представлены в материалах многочисленных международных конференций, в том числе на международных сессиях-конференциях секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (Москва, 2012 г.; Дубна, 2016 г.).

Необходимо отметить отличное оформление диссертации, обоснованность полученных результатов, завершенность и высокую ценность всего исследования. Таким образом можно сделать вывод, что данная работа является законченным научным исследованием и выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Основные этапы работы, полученные результаты и выводы представлены также в автореферате.

Автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации и в полной мере отражает её содержание.


Диссертационная работа Федина Олега Львовича «Измерение поляризационных угловых коэффициентов в процессах лептонного распада Z-бозона в эксперименте ATLAS на LHC» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком профессиональном уровне, и удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 Положения «О порядке присуждения учёных степеней» №842 от 24.09.2013, предъявляемым к докторским диссертациям. Её автор Федин О. Л. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Отзыв на диссертационную работу Федина О. Л. обсуждён и принят на заседании отдела теоретической физики протокол № 1. от 16.04.2018 г.

Отзыв составил:

Заведующий отделом теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований Российской Академии наук»

доктор физ.-мат. наук



Красников Николай Валерьевич

Данные об организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерных исследований Российской Академии наук»

117312, Москва, В-312, проспект 60-летия Октября, 7а.

сайт: <http://www.inr.ru/>

e-mail: inr@inr.ru

телефон: 8(499)135-77-60

факс: 8(499)135-22-68