

ОТЗЫВ

на диссертацию Федина Олега Львовича
"Измерение поляризационных угловых коэффициентов
в процессах лептонного распада Z -бозона
в эксперименте ATLAS на LHC,

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Общая характеристика и актуальность работы

Введение в строй уникального ускорительного комплекса – Большого адронного коллайдера (LHC) – позволило приступить к систематическому изучению фундаментальных объектов электрослабой теории – W и Z бозонов. Диссертация Олега Львовича Федина посвящена измерению угловых распределений лептонов, рождающихся при их распаде. Угловые распределения продуктов распада несут информацию о поляризации распадающейся частицы. В поляризации, в свою очередь, находят отражение как основные параметры модели (константы векторной и аксиально-векторной связи Z бозонов с кварками и лептонами), так и состояние исходных вступающих во взаимодействие кварков (на котором, как выяснилось, заметно сказываются хромодинамические поправки от начального партонного излучения). Таким образом, измерение угловых распределений лептонов открывает возможность для комплексной проверки нашего понимания происходящих процессов как в электрослабом так и в сильном секторе.

Поставленная (и успешно решённая в диссертации) задача чрезвычайно сложна. Речь идёт по существу об измерении многократно дифференциальных сечений. Задачи в физике высоких энергий могут иметь разный уровень сложности. Простейший – зарегистрировать объект. (Регистрация и идентификация W и Z бозонов была в своё время удостоена Нобелевской премии.) Следующий – измерение полных инклюзивных сечений. Далее – измерение дифференциальных сечений. Затем – многократно дифференциальных сечений, а также проведение корреляционного и поляризационного анализа. К этой последней, наиболее сложной категории и относится настоящая диссертация.

Помимо необходимости набора огромной статистики для построения распределений по двум переменным (полярному и азимутальному углам θ и ϕ , притом как функций поперечного импульса, и к тому же для нескольких интервалов по быстрой), дело сильно осложняется экспериментальным аксептансом. Невозможность регистрации лептонов с малым поперечным импульсом выводит из рассмотрения значительную и едва ли не самую показательную часть фазового объёма. Достаточно посмотреть на рис. 29, чтобы увидеть, во что превращаются базовые сферические полиномы после их пропускания через эффективность установки. Задача на первый взгляд кажется невыполнимой, но невозможное становится возможным в умелых руках! Последовательное и грамотное использование методов математической статистики (подробно разобранных в диссертации) позволило разрешить все трудности и привело автора к закономерной победе.

Хочется также выразить особое восхищение разносторонним талантом автора, которому удалось внести определяющий вклад в разработку и создание торцевой части детектора переходного излучения, в сборку и испытание его модулей, в отладку алгоритмов идентификации электронов и наконец в собственно обработку полученных данных и извлечение из них угловых коэффициентов методами математической статистики.

Научная новизна

- Разработан и практически реализован новый метод измерения поляризационных угловых коэффициентов в лептонных распадах Z -бозонов, рождающихся в протон-протонных столкновениях на коллайдере LHC.
- Впервые выполнены измерения полного набора поляризационных угловых коэффициентов A_{0-7} , описывающих угловые распределения лептонов при распаде Z -бозонов. Угловые коэффициенты представлены как функции поперечного импульса Z -бозонов для нескольких диапазонов быстрот.
- Впервые выполнены теоретические расчеты угловых коэффициентов как функций p_T^2 в фиксированных порядках теории возмущений $\mathcal{O}(\alpha_f)$ и $\mathcal{O}(\alpha_f^\xi)$.
- Проведено сравнение измеренных значений угловых коэффициентов с результатами аналитических вычислений и предсказаниями различных генераторов событий.
- Создан уникальный детектор переходного излучения для эксперимента ATLAS, обеспечивающий высокую эффективность восстановления треков заряженных частиц ($\sim 100\%$) и хорошее импульсное разрешение ($\delta p_T/p_T \sim 0,05\% p_T \oplus 1\%$) в условиях большой множественности заряженных частиц. Впервые детектор переходного излучения успешно работает в коллайдерном эксперименте.
- Разработаны алгоритмы идентификации электронов, использующие информацию с детектора переходного излучения и позволяющие проводить дополнительную идентификацию электронов в широком диапазоне их поперечных импульсов от 0,5 до 100 ГэВ.

Практическая значимость и рекомендации по использованию

Разработанные методики анализа экспериментальных данных широко используются в коллаборации ATLAS. В частности, отлаженная методика измерения угловых поляризационных коэффициентов позволила приступить к прецизионному измерению электрослабого угла смешивания $\sin^2 \theta_W$ и непрямому измерению спектра поперечных импульсов Z -бозонов. Ожидается, что точность измерения спектра поперечных импульсов данным методом при малых значениях импульса будет лучше, чем при "прямом" измерении спектра, восстанавливаемого методом обратной свертки.

Достигнутая точность измерений угловых поляризационных коэффициентов стимулирует как дальнейшее развитие теоретических методов их расчета, так и позволяет уточнить модели адронизации, заложенные в различных генераторах событий. Последнее, в свою очередь, имеет значение для более прецизионного измерения массы бозонов, ожидаемого в будущем.

Разработанная и созданная торцевая часть детектора переходного излучения позволяет успешно выполнять исследовательскую программу эксперимента ATLAS. Успешная работа созданного детектора демонстрирует возможность использования пе-

реходного излучения для идентификации частиц в будущих коллайдерных экспериментах.

Структура Диссертации и её оформление

Диссертация состоит из введения, шести глав основного текста, заключения, четырёх приложений и содержит 78 рисунков, 24 таблицы и список литературы из 125 наименований. Общий объём диссертации составляет 157 страниц. Содержание диссертации полно и точно отражено в автореферате.

Достоверность полученных результатов

Обоснованность результатов, полученных в диссертационной работе, обусловлена использованием современных экспериментальных методик физики высоких энергий и хорошо проверенных методов математической статистики. Достоверность полученных результатов подтверждается также их согласованностью с данными других экспериментов и с теоретическими расчетами.

Апробация результатов

Результаты, представленные в диссертации, докладывались на совещаниях коллаборации ATLAS, семинарах ОФВЭ НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, международной сессии-конференции секции ядерной физики ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» в 2012 году (Москва, 2012 г.) и в 2016 году (Дубна, 2016 г.), на многочисленных международных конференциях, в том числе: XXIV International Workshop on Deep-Inelastic Scattering and Related Subjects (Гамбург, Германия, 2016 г.); The Annual Large Hadron Collider Physics Conference (Санкт-Петербург, Россия, 2015 г.); Technology and Instrumentation in Particle Physics (Цукуба, Япония, 2009 г.), Low X Physics (Реховот, Израиль, 2013 г.). По результатам диссертации опубликовано 18 печатных работ в реферируемых журналах.

Вклад автора в получение результатов

Автор настоящей диссертации участвовал в разработке, создании и проведении эксперимента ATLAS, а также в физическом анализе экспериментальных данных и их интерпретации. На протяжении многих лет автор является руководителем физической группы сотрудников Отделения физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ в эксперименте ATLAS. Основной вклад автора состоит в следующем:

- Автор предложил и внес решающий вклад в реализацию нового метода измерения поляризационных угловых коэффициентов в лептонных распадах Z-бозонов. Разработанный метод позволил существенно улучшить точность измерений, а также приступить к измерению электрослабого угла смешивания $\sin^2 \theta_W$, не используя измерение асимметрии вперед-назад в лептонных распадах Z-бозона.
- Автор внес определяющий вклад в измерения поляризационных угловых коэффициентов в лептонных распадах Z-бозонов.
- Автор внес существенный вклад в разработку, отладку и проверку алгоритмов идентификации электронов в эксперименте ATLAS. Под руководством автора была выполнена оптимизация алгоритмов идентификации электронов, используя информа-

цию с детектора переходного излучения. Автор внес существенный вклад в измерение, изучение и учет распределения пассивного вещества во внутреннем детекторе перед входом в электромагнитный калориметр, что позволило увеличить эффективность идентификации электронов. Существенный вклад был внесен автором также в работу по восстановлению энергетических потерь электронов за счет тормозного излучения в пассивном веществе внутреннего детектора. Это позволило поднять эффективность регистрации электронов в эксперименте ATLAS в среднем на 5%.

– Автор внес определяющий вклад в разработку и создание торцевой части детектора переходного излучения для внутреннего детектора эксперимента ATLAS. Под его руководством была выполнена сборка и испытания модулей типа А детектора переходного излучения в НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ. При определяющем вкладе автора была разработана методика проведения испытаний модулей детектора переходного излучения. Автор координировал установку и запуск внутреннего детектора эксперимента ATLAS.

– Автор участвовал в экспертной поддержке эксперимента и наборе экспериментальных данных в ходе работы коллайдера LHC.

Из работ, выполненных в соавторстве, в диссертации представлены те положения и результаты, которые получены либо лично соискателем, либо при его определяющей роли в постановке задач, разработке и реализации их решений.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

Представленная на суд обстоятельная и добросовестная работа фактически не оставляет места для сколько-нибудь значимой критики. Поэтому, к большому разочарованию для читающего, все замечания носят лишь косметический, литературный характер и не имеют отношения к содержанию диссертации.

Возможно, введение было бы более уместно начать не с бозона Хиггса, лежащего в стороне от темы диссертации, а непосредственно с W и Z бозонов: они были открыты в ЦЕРНе и там же подробно теперь исследуются на ускорителе нового поколения.

Возможно, учитывая правила русской грамматики о склонении иностранных мужских фамилий, правильнее говорить процесс Дрелла-Яна, а не Дрелл-Яна и соотношение Лама-Тунга, а не Лам-Тунга, но Катани-Сеймура, а не Катания-Сеймура (стр.33); фамилия Vjogken транскрибируется в русской литературе как Бьёркен, а не Бьёркин.

Отмеченные погрешности ни в коей мере не отменяют полученных автором результатов и не умаляют их научной значимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Олега Львовича Федина "Измерение поляризационных угловых коэффициентов в процессах лептонного распада Z -бозона в эксперименте ATLAS на LHC" представляет собой законченное научное исследование, доставившее исчерпывающую информацию о состоянии поляризации Z бозонов, рождающихся в протон-протонных столкновениях. Полученные сведения составляют основу для комплексной проверки нашего понимания происходящих процессов как в слабом так и в сильном секторе, а также стимулируют дальнейшее развитие точных расчётных методов в теории. Используемые в диссертации методические разработки открывают возмож-

ность для нового независимого подхода к измерению угла Вайнберга $\sin^2 \theta_W$.

Особого восхищения заслуживают разносторонние таланты автора, которые простираются от разработки детектора переходного излучения, сборки и испытания его модулей до отладки и проверки алгоритмов идентификации электронов и наконец до проведения собственно обработки полученных данных и извлечения из них угловых коэффициентов методами математической статистики.

Диссертация основана на работах, опубликованных в реферируемых высокорейтинговых журналах. Основные её результаты докладывались автором на семинарах, рабочих совещаниях и международных конференциях. Выводы диссертации обоснованны, полностью соответствуют поставленной задаче и логично вытекают из проведённой работы. Все выносимые на защиту результаты получены при определяющем вкладе самого автора. Автореферат полно и ясно отражает содержание диссертации. Полученные диссертантом результаты могут использоваться в ИТЭФ, ИФВЭ, ИЯИ, НИИЯФ, ПИЯФ, ОИЯИ, ФИАН, а также других научных центрах России, Европы, Азии и США.

Диссертация О.Л.Федина отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор О.Л.Федин заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Отзыв составил:
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ФИАН

Баранов

С.П.Баранов

Подпись С.П.Баранова удостоверяю,
заместитель директора ФИАН



[Handwritten signature]

С.Ю.Савинов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской Академии Наук
119991 Москва, Ленинский проспект 53, Тел.: (499) 132 4264, Fax: (499) 135 7880
E-mail: postmaster@lebedev.ru <http://www.lebedev.ru>