

Отзыв официального оппонента
на диссертацию **Углова Евгения Дмитриевича**
**”Систематическое описание четырёх-бозонных процессов
в Стандартной Модели на однопетлевом уровне”** ,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц.

Диссертация Углова Е.Д. посвящена описанию четырёх-бозонных процессов, одним из которых является $\gamma\gamma$ упругое рассеяние. Этот процесс представляет интерес сам по себе как интересное физическое явление, и в этом аспекте исследовался ранее. Однако, γ -кванты в большом количестве могут рождаться в пучках ускоренных частиц, т.е. являются фоновыми для многочисленных экспериментов и могут давать вклад в наблюдаемые измеряемые характеристики. В работе отмечено, что в 2015 г. коллаборация ATLAS начала измерения прямых $\gamma - \gamma$ взаимодействий с учётом поляризации фотонов.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы и 44 наименований. Она изложена на 103 страницах, содержит 33 рисунка и 3 таблицы.

Работа открывается **Введением**, в котором освещается актуальность описания процессов рассеяния γ квантов в связи с экспериментом с тяжёлыми ионами на LHC в 2015 г. а также будущим экспериментам, приводится обзор текущей литературы. Здесь же определяются цели работы и формулируются задачи, которые надо решить для их достижения.

В **Главе 1** описывается процесс вычисления КЭД амплитуды процесса $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ в однопетлевом приближении и внедрения в рабочую среду системы SANC. Массы петлевых частиц предполагаются ненулевыми. Приводятся вычисления однопетлевых форм-факторов. Ковариантная амплитуда разлагается через 14 тензорных структур, приводится явный вид полного базиса. Достаточно подробно описано включение расчётов амплитуд в систему SANC с указанием модулей. Для проверки работы рассчитаны дифференциальное и полные сечения процесса $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$, которые совпадают с известными расчётами.

Глава 2 продолжает описание процесса $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ с учётом электро-слабых поправок. Приводятся структуры амплитуд с разной топологией для различных петель, как фермионных, так и бозонных. Заканчивает-

ся изложение полученными численными результатами и их сравнением с имеющимися в литературе расчетами.

Глава 3 диссертации описывает расчёт ЭС поправок в процессах $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$ и $Z \rightarrow \gamma\gamma$. Детально описана структура амплитуды $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$, приведены спиральные амплитуды для различных каналов, а также формулы для расчётов сечения рассеяния и ширины распада $Z \rightarrow \gamma\gamma$. Приведены примеры расчётов сечений с исследованием различных вкладов, а также зависимость ширины распада в зависимости от параметров обреза в широком диапазоне.

В **Главе 4** диссертации рассматриваются результаты вычисления процесса $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$ на однопетлевом уровне. Представлены спиральные амплитуды процесса и пример их использования в поляризационной физике.

В **Главе 5** диссертации описываются компьютерные продукты системы SANC: стандартные пакеты SANC FORTRAN для вычислений ЭС поправок в однопетлевом приближении процессов: $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$, $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$, $Z \rightarrow \gamma\gamma$, $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$; а также библиотека специальных функций и алгоритмов, представлено описание генератора диаграмм и амплитуд SANC2.

Глава 6 диссертации посвящена описанию вычисления поправок к процессу $ud \rightarrow WA$ на партонном уровне. Кроме того, рассматривается подход к аналитическому сокращению массовых и инфракрасных сингулярностей при расчете ЭС поправок. Описаны введение и вычисление вспомогательных функций J , возникающих при отделении инфракрасных расходимостей из D_0 функций в редукции Пассарино-Вельтмана для этого процесса.

В **Заключении** изложены основные результаты работы.

В качестве замечаний следует отметить, что авторскому стилю присущи некоторая небрежность при построении графиков и рисунков. Также, возможно, вынесение некоторых технических подробностей в приложения упростило бы изложение материала. Практическая и научная ценность диссертации состоит в возможном использовании созданных программных продуктов в процедурах анализа данных в современных экспериментах на ЛНС. Исследуя процессы при энергиях ЛНС изложение было бы более интересным, если бы представленные процессы были рассмотрены и в Минимальной Суперсимметричной Стандартной Модели.

Кроме того, в диссертации не приведены алгоритм генерации амплитуд однопетлевых диаграмм, библиотеки и процедуры вычислений про-

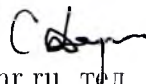
цессов, отсутствует сравнение с аналогичными полуавтоматическими системами для расчета петлевых процессов;

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа Углова Е.Д. "Систематическое описание четырёх-бозонных процессов в Стандартной Модели на однопетлевом уровне" выполнена на высоком профессиональном уровне. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах и представлены на конференциях.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Углов Евгений Дмитриевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики Государственного Бюджетного Образовательного Учреждения Высшего Профессионального Образования Университет "Дубна" 141980 Россия, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19.

Доркин Сергей Михайлович



электронная почта dorkin@theor.jinr.ru, тел. 8 (49621) 66055

Подпись кандидата физико-математических наук, доцента, доцента кафедры общей физики Доркина С.М. заверяю.

Государственный университет «Дубна»
Подпись Доркина
С.М. УДОСТОВЕРЯЮ
Начальник общего отдела Иванов
«04» ав 20 17г.



Иванов И.В.