

Отзыв официального оппонента
на диссертацию Углова Евгения Дмитриевича "Систематическое описание четырех-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.

Основной целью данной диссертации является разработка вычислительной среды для аналитических и численных расчетов в рамках системы SANC на примере четырех-бозонных процессов. Конкретнее, в стандартной модели вычислялись однопетлевые вклады в амплитуды процесса рассеяния света на свете $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma$, процессов $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$, $Z \rightarrow \gamma\gamma$, $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$ и процесса $ud \rightarrow W\gamma$. Аналитические вычисления производились на языке FORM в ренормализационной схеме на массовой поверхности в R_ξ -калибровке, с учетом масс промежуточных фермионов и бозонов в петле и поляризаций начальных, или конечных бозонных состояний.

Фотонные соударения с необходимостью учитываются в современных ускорительных экспериментах – на ускорителях Tevatron, LHC, мюонных фабриках, будущих ускорителях ILC и CLIC, поскольку они с большой множественностью происходят при периферийном взаимодействии заряженных сталкивающихся частиц, особенно тяжелых ядер. Они не только важны, как фоновые, например, в процессах рождения Хиггсовского бозона, но и могут наблюдаться напрямую.

Так, коллаборация ATLAS набрала в 2015г. и планирует увеличить статистику в прямых наблюдениях в тяжелоионной моде рассеяния света на свете с учетом поляризации сталкивающихся фотонов. Вследствие возрастания, по мере набора статистики, точности измерения сечения процесса, необходимо оценить его теоретическую неопределенность на однопетлевом уровне точности для поиска возможной Новой физики с учетом эффекта поляризации.

Разработанные в диссертации аналитические и фортранные SANC модули для вычисления спиральных амплитуд и сечений рассеяния света на свете, процессов $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$, $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$ с учетом поляризации не только фотонов, но и Z-бозона предполагаются в дальнейшем к использованию коллаборацией ATLAS для оценки теоретической неопределенности на данном уровне точности. Это показывает, насколько важны и актуальны полученные в диссертации результаты, в том числе, и в виде программного продукта.

Необходимо отметить, что результаты исследований, представленные в виде аналитических и фортранных модулей системы SANC для вычис-

ления электрослабых петлевых диаграмм в процессах $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z, Z \rightarrow \gamma\gamma, \gamma\gamma \rightarrow ZZ$ являются первыми шагами в создании окружения для автоматического внедрения четырех-бозонных процессов ($\gamma\gamma \rightarrow \gamma H, gg \rightarrow \gamma\gamma, gg \rightarrow ZZ$ и т.п.) в целях оценки их теоретической неопределённости на настоящих и будущих ускорителях высоких энергий. Важность такой работы не требует пояснений, перспектива дальнейшего развития основанного в диссертации направления просматривается ясно и четко.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Она включает в себя 103 страницы, 33 рисунка и 3 таблицы. Список литературы включает в себя 44 наименования.

Во введении обосновывается актуальность вычисления амплитуд и сечений четырех-бозонных процессов на однопетлевом уровне, формулируются цели и задачи диссертации.

В первой главе на примере процесса рассеяния света на свете в однопетлевом КЭД-приближении описывается процедура внедрения в рабочую среду системы SANC для полуавтоматического вычисления спиральных амплитуд и сечений с учетом поляризации начальных фотонов.

Во второй главе диссертации тот же процесс рассматривается в стандартной модели. Описывается процедура внедрения в рабочую среду системы SANC для полуавтоматического вычисления спиральных амплитуд и сечений в однопетлевом приближении через фермионную и бозонную петли с учетом ненулевых масс петлевых частиц.

Третья глава посвящена вычислению электрослабых поправок к процессам в однопетлевом приближении в каналах аннигиляции $\gamma\gamma \rightarrow \gamma Z$ и распада $Z \rightarrow \gamma\gamma$. Получены формулы для сечений рассеяния и ширины распада.

В четвертой главе на однопетлевом уровне вычисляется процесс $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$. Получены спиральные амплитуды, исследованы поляризационные эффекты.

Пятая глава диссертации посвящена описанию компьютерных продуктов системы SANC. В частности, описана процедура применения стандартных пакетов SANC FORTRAN для вычисления однопетлевых вкладов в амплитуды и сечения процессов $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\gamma, \gamma\gamma \rightarrow \gamma Z, \gamma\gamma \rightarrow ZZ$, ширину распада $Z \rightarrow \gamma\gamma$.

Шестая глава диссертации посвящена описанию вычисления электрослабых поправок к процессу $ud \rightarrow W\gamma$. Рассмотрен подход к аналитическому сокращению массовых и инфракрасных сингулярностей петлевых интегралов с помощью редукции Пассарино-Вельтмана.

В заключении приведены основные результаты работы.

Основное достоинство диссертационной работы заключается в еди-

ном подходе для полуавтоматического расчета электрослабых поправок на однопетлевом уровне четырех-бозонных процессов. Подход основан на полуавтоматических символьных вычислениях на языке FORM. Получены формулы спиральных амплитуд процессов, которые можно использовать в дальнейшем для детального изучения поляризационных эффектов. Вычислены сечения рассеяния поляризованных частиц с учетом масс фермионов и бозонов в петле. Достоверность полученных результатов определяется явной калибровочной инвариантностью амплитуд, сокращением калибровочных параметров в окончательных результатах, а также, там где это возможно, согласием с имеющимися в литературе результатами аналитических вычислений.

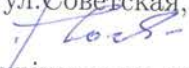
К недостаткам диссертации следует отнести:

- Большое количество глав при сравнительно небольшом объеме текста. По смыслу, первую и вторую главы можно объединить в первую главу, а третью и четвертую – во вторую
- На стр.16-20 Гл.1 приведено общее выражение амплитуды рассеяния света на свете в однопетлевом КЭД-приближении. Надо было четко указать, как получена амплитуда, сославшись на Гл.5, раздел 5.3 – генерация амплитуды процесса с приведением кода вычисления амплитуды процесса.
- На рис. 2.4 Гл.2 не видно, какие энергии отложены по горизонтальной оси (то же самое – в автореферате). В тексте пояснения написано "от МэВ до ГэВ" без указания численных значений.
- На стр.70-72 гл.6 приведена амплитуда процесса $ud \rightarrow W\gamma$, не полностью описанная в пояснениях к формуле в тексте.
- В таблицах 6.1-6.3 Гл.6 не указано, при каких значениях масс легких кварков вычислялась функция J_{sub} . В тексте пояснения к таблицам не объясняется, насколько сильно зависит эта функция от масс легких кварков.

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа Е.Д.Углова "Систематическое описание четырех-бозонных процессов в Стандартной модели на однопетлевом уровне" выполнена на высоком профессиональном уровне. Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в шести работах в ведущих физических журналах и

представлены на международных конференциях. Личный вклад автора не вызывает сомнения.

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

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры теоретической физики Федерального Государственного Бюджетного Образовательного Учреждения Высшего Образования Ярославский Государственный Университет им.П.Г.Демидова 150000 Россия, Ярославль, ул.Советская, 14,
Гвоздев А.А. 
e-mail: gvozdev@uniyar.ac.ru, телефон : 8 (4852)79-77-66

Подпись доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры теоретической физики ЯрГУ им.П.Г.Демидова Гвоздева А.А. заверяю.

