



“Утверждаю”

Заместитель директора ФИАН

доктор физико-математических наук

профессор В.Н.Неволин

_____ 2014 г.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ

ведущей организации –

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им.П.Н.Лебедева РАН на диссертацию

Клопота Ярослава Николаевича

“Аксиальная аномалия и переходные формфакторы мезонов”,

представленную на соискание учёной степени кандидата

физико-математических по специальности 01.04.02 –

теоретическая физика.

В диссертации Я.Н.Клопота изучаются переходные формфакторы легких псевдоскалярных мезонов. Такие формфакторы определяют процессы с участием виртуальных фотонов, как, например, $\gamma\gamma^* \rightarrow \pi^0$. Метод, используемый в диссертации для исследования такого рода процессов основан на применении аномальных правил сумм – непertурбативных соотношений, являющихся следствием дисперсионного представления аксиальной (киральная) аномалии.

Явление аксиальной аномалии стало широко известным в физике частиц после классических работ Адлера, Бэллы и Джэкива. Хорошо известным является пример вычисления ширины двухфотонного распада нейтрального пиона – в этом случае аксиальная аномалия полностью определяет этот процесс. Развитый в диссертации метод аномальных правил сумм фактически позволяет расширить использование свойств аксиальной аномалии на случай процессов с участием виртуальных фотонов.

Переходные формфакторы псевдоскалярных мезонов являются весьма удобными характеристиками адронов в теоретических вычислениях: с одной стороны, в области низких энергий (переданного импульса виртуального фотона) они определяются непertурбативной КХД и вычисляются в киральной теории возмущений и различных модельных подходах. С другой стороны, в области высоких энергий, вычисления пертурбативной КХД приводят к асимптотическим значениям для этих формфакторов. Конечно, пертурбативные вычисления при этом существенно полагаются на КХД факторизацию, которая предполагает разделение амплитуды на низкоэнергетическую часть (определяемую обычно через феноменологическую функцию пионной амплитуды распределения) и высокоэнергетическую часть, хорошо вычисляемую пертурбативно. В области же промежуточных энергий до некоторой степени (до нескольких ГэВ²) возможны КХД вычисления с использованием различных моделей

пионной амплитуды распределения. Также широко представлены различные феноменологические модельные подходы. Одной из первых попыток представить выражение переходного формфактора пиона было сделано Бродским и Лепажем в виде интерполяционного выражения между двумя точками: высокоэнергетической асимптотикой, вычисленной ими в пертурбативной теории, и точкой, заданной аномалией, когда оба фотона находятся на массовой поверхности. В диссертации на основе аномального правила сумм получено выражение для переходного формфактора пиона при произвольных виртуальностях фотона Q^2 и дано обоснование интерполяционной формулы Бродского-Лепажя.

Актуальность темы исследования переходных формфакторов мезонов подтверждается также активными экспериментальными исследованиями. Переходные формфакторы измеряются на электрон-позитронных коллайдерах. В последние несколько лет получены данные коллабораций BABAR (SLAC) и Belle (KEK), также планируются в скором будущем новые данные коллабораций BES-III (BEPC), KLOE-2. Всплеск интереса к переходным формфакторам был недавно вызван данными BABAR, которые выявили неожиданное превышение формфактора пиона над асимптотическим значением при больших виртуальностях фотона, что можно интерпретировать как нарушение КХД факторизации. Это послужило мотивацией для многих теоретических работ, пытавшихся объяснить столь необычное поведение формфактора пиона. В диссертационной работе исследуется возможность непертурбативной поправки к спектральной плотности, не входящей в операторное разложение. Точность аномального правила сумм позволяет установить связь между поправками к различным вкладам в это правило сумм.

Важным вопросом, исследуемым в диссертации, является смешивание псевдоскалярных мезонов. Этот вопрос с неизбежностью возникает при рассмотрении октетного канала аномальных правил сумм, где основные адронные вклады задаются смешивающимися состояниями η и η' мезонов. В диссертации смешивание описывается с помощью полей, что позволяет избавиться от введения нефизических состояний. При рассмотрении смешивания η и η' мезонов, в литературе рассматриваются обычно две схемы: октет-синглетная и кварк-ароматная. Каждая из схем имеет свои преимущества и недостатки. В диссертации показано, что известные схемы смешивания удобно вводить с помощью уравнений связи на константы распада мезонов. Исследован также вопрос о численных значениях порога континуума в изовекторном и октетном каналах: оказывается, что смешивание в октетном канале аномального правила сумм смещает значение порога континуума к меньшим значениям и он становится близким к значению порога в изовекторном (пионном) канале. На основе экспериментальных данных в диссертации проведен численный анализ и получены оценки констант распада η и η' мезонов в разных схемах смешивания. Также дана оценка этих констант в случае, когда не предполагается наложения дополнительных схемных ограничений.

Содержание диссертации, состоящей из введения, трех глав и заключения распределено следующим образом.

Во введении приводится общая характеристика работы, обосновывается актуальность, сформулируются цели работы, приводятся основные результаты диссертации.

Первая глава содержит подробное рассмотрение основного метода, используемого в диссертации – аномальное правило сумм. Исследован изовекторный канал аномального правила сумм, наименьший адронный вклад в которое дает пион. Получено выражение для переходного формфактора пиона, которое обосновывает интерполяционную формулу Бродского-Лепаж. Основываясь на свойстве точности аномального правила сумм, проведено исследование непертурбативной поправки к спектральной плотности, с помощью которой можно описать весь массив данных по переходному формфактору пиона.

Вторая глава посвящена исследованию октетного канала аномальных правил сумм. Здесь наименьшие вклады определяются η и η' мезонами. Изучен вопрос об описании смешивания η и η' мезонов, приводится анализ известных кварк-ароматной и октет-синглетной схем смешивания. Проведен численный анализ параметров смешивания в октет-синглетной и кварк-ароматной схемах смешивания. Также сделана оценка констант распада (связи) η и η' мезонов без наложения ограничений схем смешивания. Рассмотрен вопрос об интервалах дуальности в двухточечных и трехточечных правилах сумм.

Третья глава содержит вычисление отдельных выражений для переходных формфакторов η и η' мезонов. Рассматривается влияние кварковых массовых поправок на аномальное правило сумм. Сделано также аналитическое продолжение аномального правила сумм во времениподобную область, получены выражения для переходных формфакторов η и η' мезонов в этой области. Обсуждается связь моделью векторной доминантности.

В заключительном разделе формулируются результаты, выносимые на защиту.

Из недостатков отметим следующее.

Хотя вопрос о зависимости результатов (аномальной комбинации и переходных формфакторов) от наборов констант, полученных в различных схемах смешивания, достаточно подробно исследован в случае пространственноподобных переходных формфакторов (во 2-й главе), для случая формфакторов во времениподобной области (в 3-й главе) эти вопросы почти не рассмотрены.

Также заметим, что хотя текст в целом написан ясным языком, встречаются несогласования падежей и опечатки, которые, впрочем, не затрудняют понимание.

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки диссертации в целом. Диссертация представляет собой законченное научное исследование, направленное на решение важной актуальной задачи.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения развитого в диссертации метода при вычислении других процессов, связанных с AVV -диаграммой, таких как, например, $Z^0 \rightarrow \pi^0 \gamma$.

Диссертация Я.Н.Клопота 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 кандидата наук. Диссертация основана на опубликованных, в том числе в реферируемых высокорейтинговых журналах, работах. Результаты исследований многократно докладывались автором на семинарах и международных конференциях. Выводы диссертации обоснованны, полностью соответствуют постав-

ленной задаче и логично вытекают из проведённой работы. Автореферат полно и ясно отражает содержание диссертации. Полученные диссертантом результаты могут использоваться во всех организациях, ведущих исследования в области физики высоких энергий, в том числе ИФВЭ, ИЯИ, ИТЭФ, НИИЯФ, ОИЯИ, ФИАН, а также других научных центрах России, Европы, Азии и США.

Считаем, что Ярослав Николаевич Клопот заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Результаты диссертационной работы и отзыв обсуждены на семинаре Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН 15 апреля 2014 года.

Отзыв составил: доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Лаборатории электронов высоких энергий ФИАН
Тел.: (499) 132 6317 E-mail: baranov@sci.lebedev.ru

Баранов

С.П.Баранов

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

Подпись С.П.Баранова удостоверяю,
учёный секретарь ФИАН



Н.Г.Полухина