

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Пивоварова Алексея Александровича «Рождение мезонов в распадах  $\tau$ -лептонов и  $e^+e^-$ -аннигиляции в рамках расширенной модели Намбу–Иона-Лазинио», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Исследование процессов с участием  $\tau$ -лептонов в настоящее время вызывает существенный интерес. Так в недавно измеренных отношениях ширины полуплептонных распадов В мезонов в D мезоны с участием  $\tau$ -лептонов к ширинам таких распадов с участием  $e$  и  $\mu$ -лептонов были обнаружены отклонения от предсказаний Стандартной модели. Эти отклонения многие авторы связывают с возможными вкладами так называемой «новой физики» в распады с участием  $\tau$ -лептонов. С другой стороны,  $\tau$ -лептон единственный лептон способный распадаться на мезоны. Исследование его инклюзивных распадов в адронные конечные состояния позволяет с хорошей точностью определить константу сильного взаимодействия  $\alpha_s$ , так как его масса достаточно велика для использования операторного разложения. Однако при этом необходим последовательный учёт нарушения кварк-адронной дуальности и связанных с ним непертурбативных поправок.

Диссертационная работа А.А. Пивоварова посвящена актуальной проблеме физики распадов  $\tau$ -лептона, а именно теоретическому исследованию процессов его эксклюзивных адронных распадов, а также изучению низкоэнергетических процессов электрон-позитронной аннигиляции в мезоны. В настоящее время такие процессы активно изучаются во многих экспериментальных центрах. Основной сложностью при теоретическом исследовании эксклюзивных адронных распадов  $\tau$ -лептона является необходимость выхода за рамки теории возмущений квантовой хромодинамики.

В диссертационной работе процессы такого типа исследуются в рамках феноменологической модели Намбу–Иона-Лазинио (НИЛ). Её основным достоинством является малое число произвольных исходных параметров, значения которых фиксируются при рассмотрении хорошо изученных экспериментально процессов и не изменяются при дальнейших вычислениях. Для исследования новых типов процессов не требуется вводить дополнительные произвольные параметры, что существенно повышает надёжность предсказаний модели.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы.

В введении сформулированы цели и задачи исследования, обоснована актуальность и научно-практическая значимость работы.

Первая глава является вводной. В ней подробно описаны две версии модели НИЛ, которые используются для дальнейших вычислений. Сначала представлены основные принципы построения стандартной модели НИЛ. Показано, как из четырёхкваркового лагранжиана происходит переход к кварк-мезонному и мезонному лагранжиану. Продемонстрировано возникновение массы составляющих кварков из масс токовых кварков в результате спонтанного нарушения киральной симметрии. Детально рассмотрены скалярный, псевдоскалярный и векторный секторы модели. Обоснована необходимость использования взаимодействия 'т Хофта для обеспечения правильного синглет-октетного смешивания в псевдоскалярном секторе. Затем приведена формулировка расширенной модели НИЛ. Показано, как с помощью введения формфактора становится возможным описать возбуждённые состояния мезонов в рамках кирально-симметричной модели со спонтанным нарушением.

Во второй главе модель НИЛ использована для описания распадов  $\tau$ -лептона с участием странных мезонов:  $\tau \rightarrow K\pi^0\nu_\tau$ ,  $\tau \rightarrow K\eta\nu_\tau$ ,  $\tau \rightarrow K\eta'(958)\nu_\tau$  и  $\tau \rightarrow K^*K^0\nu_\tau$ . Дано обоснование необходимости учёта различных каналов для каждого процесса. На основе модели НИЛ получены их амплитуды, вычислены петлевые интегралы и рассчитаны парциальные и дифференциальные ширины. Проведён сравнительный анализ результатов с экспериментальными данными и с теоретическими работами других авторов. Найдено удовлетворительное согласие вычисленных значений полных и дифференциальных ширин распадов с имеющимися экспериментальными данными.

Изучено влияние поляризации  $\tau$ -лептона на дифференциальную ширину на примере распада  $\tau \rightarrow K\pi^0\nu_\tau$ . Проведена оценка вклада поляризации в дифференциальную ширину. Показано, что максимальная асимметрия достигается в случае поперечной поляризации. Для этого случая исследована зависимость дифференциальной ширины распада от инвариантной массы конечных мезонов и от энергии конечного пиона.

В третьей главе изучены процессы электрон-позитронной аннигиляции в мезоны:  $e^+e^- \rightarrow K^+K^{*\mp}(892)$ ,  $e^+e^- \rightarrow K^+K^{*\mp}(1410)$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi(1020)\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi(1020)\eta'(958)$  и  $e^+e^- \rightarrow \phi(1680)\eta$ . Эти процессы содержат кварковые петли аномального типа. Рассмотрены промежуточные вклады векторных мезонов в основном и первом возбуждённом состоянии. Вычислены амплитуды таких процессов, и на этой основе построены графики



зависимости полных сечений от энергии сталкивающейся электрон-позитронной пары.

В заключении приводятся основные результаты работы.

В качестве замечаний и пожеланий укажем на следующее. В диссертации используется нестандартный вид пропагатора Брейта-Вигнера без обсуждения преимуществ используемого выбора. Все вычисленные значения ширины распадов приведены без учёта теоретических неопределённостей. Было бы желательно в дальнейшем оценить теоретические ошибки в рамках рассматриваемой модели, например, связанные с неопределённостями в параметрах модели. В работе имеется ряд мелких опечаток. Так на стр. 53 написано «в качестве промежуточных могут выступать только векторные и псевдоскалярные частицы», а в дальнейшем правильно рассматриваются вклады векторных и скалярных частиц. Подписи к рисункам 3.3 и 3.4 совпадают, хотя на них изображены разные процессы.

Диссертационная работа А.А. Пивоварова является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение актуальной задачи — теоретического исследования процессов адронных распадов  $\tau$ -лептона и процессов электрон-позитронной аннигиляции в мезоны, содержащие странные кварки. Необходимо отметить, что распады с участием странных мезонов были рассмотрены в рамках модели НИЛ впервые.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, докладывались на международных и российских конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Пивоваров Алексей Александрович, безусловно заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

9 января 2017 г.

Ведущий научный сотрудник  
Института образовательной информатики  
ФИЦ ИУ РАН  
д.ф.-м.н.



Галкин В.О.

Подпись В.О. Галкина удостоверяю

Учёный секретарь ФИЦ ИУ РАН  
д.т.н.



Захаров В.Н.

19/01/2017