

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический  
институт  
имени  
П.Н.Лебедева**  
Российской академии наук

**Ф И А Н**

119991, ГСП-1, Москва,  
Ленинский проспект, 53, ФИАН  
Телефоны: (499) 135 1429  
             (499) 135 4264  
Телефакс: (499) 135 7880  
<http://www.lebedev.ru>  
[postmaster@lebedev.ru](mailto:postmaster@lebedev.ru)

**УТВЕРЖДАЮ**

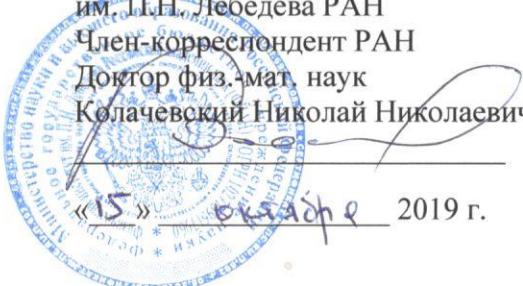
Директор ФГБУН Физический институт

им. П.Н. Лебедева РАН

член-корреспондент РАН

Доктор физ.-мат. наук

Колачевский Николай Николаевич



2019 г.

**ОТЗЫВ**

ведущей организации Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук на диссертацию ТОДЫШЕВА Корнелия Юрьевича «Аннигиляция электронов и позитронов в адроны в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

Диссертация Корнелия Юрьевича Тодышева посвящена прецизионному измерению сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны в энергетическом диапазоне от 1.84 до 3.72 ГэВ в системе центра масс. Работа выполнена в ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера на ускорительном комплексе ВЭПП-4М на детекторе КЕДР.

**Актуальность избранной темы.** Актуальность исследований К.Ю. Тодышева несомненна, поскольку речь идет, в первую очередь, об определении точных значений таких фундаментальных физических величин как константа сильного взаимодействия, аномальный магнитный момента мюона, постоянная тонкой структуры в области пика  $Z^0$ -бозона, массы тяжёлых кварков. Для теоретического вычисления перечисленных параметров необходимо знание вклада адронной поляризации вакуума с высокой точностью, который можно извлечь исключительно в результате прецизионных измерений величины  $R$  (отношения полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны к сечению рождения пары мюонов в борновском приближении).

Точное измерение параметров состояний чармония с массами ниже порога рождения открытого чарма,  $J/\psi$  и  $\psi(2S)$ , необходимо для надёжного описания тяжёлого кваркония в стандартной кварковой модели, где в последние годы обнаружено множество противоречий и остаётся целый ряд открытых вопросов.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, списка иллюстраций и списка таблиц. Полный объём диссертации составляет 167 страниц, включая 52 рисунка и 44 таблицы, а также 186 библиографических

наименований. Основные результаты по теме диссертации изложены в 11 научных статьях, опубликованных в журналах из списка ВАК.

*Во введении* сформулирована основная цель работы как определение сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ в системе центра масс. Автор обосновывает актуальность прецизионного измерения величины  $R$ , опираясь на краткую предысторию вопроса. Здесь же перечислены основные положения, которые диссертант выносит на защиту, а также приведена информация об аprobации работы.

*В первой главе* рассматриваются теоретические и экспериментальные аспекты определения сечения аннигиляции электрон-позитронных пар в адроны. Представлены результаты предшествующих экспериментов по измерению  $R$ . Подробно изложен процесс вычисления адронного сечения в области узких векторных резонансов, таких как  $J/\psi$  и  $\psi(2S)$ . В последнем разделе главы в рамках краткого обзора спектроскопии чармония обсуждаются параметры состояний  $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$  и  $\psi(3770)$ .

*Вторая глава* посвящена ускорительному комплексу ВЭПП-4М и детектору КЕДР. После рассмотрения параметров коллайдера на встречных электрон-позитронных пучках автор детально описывает процесс измерения энергии методом резонансной деполяризации и методом обратного комптоновского рассеяния. Затем речь идет о подсистемах детектора КЕДР: вершинном детекторе, дрейфовой камере, аэрогелевых черенковских счётчиках, время-пролетной системе, цилиндрическом электромагнитном калориметре с жидким криптоном, торцевом электромагнитном калориметре на основе кристаллов CsI, мюонной системе, системе регистрации рассеянных электронов, мониторе светимости, сверхпроводящей магнитной системе детектора, а также системе сбора данных и триггера. Здесь же представлена статистика набора данных на детекторе КЕДР в экспериментах 2002-2015 гг.

*В третьей главе* представлен анализ данных, полученных в экспериментах на детекторе КЕДР, связанный с определением величины  $R$  в диапазоне энергий от 1.84 до 3.72 ГэВ. Автор обсуждает схему проведения экспериментов, процедуру анализа данных, критерии отбора адронных событий, процесс измерения светимости, сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования, вклад фоновых процессов, в том числе, вклад фона от взаимодействия пучка с остаточным газом и стенками вакуумной камеры. Описан расчёт радиационной поправки и вычисление вклада  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний чармония. В конце главы приведены результаты измерения зависимости величины  $R_{uds}$  от энергии, включая статистические ошибки.

*Четвертая глава* посвящена источникам систематических неопределенностей измерения величины  $R$ . Речь, в том числе, идет о систематических неопределенностях измерения светимости, моделирования  $uds$ -континуума, вычисления радиационной поправки, а также неопределенностях, связанных с работой детектора и ускорительного комплекса. Показана процедура усреднения систематических ошибок, приведены итоговые значения зависимости величины  $R_{uds}$  от энергии со статистическими и систематическими ошибками. Здесь же представлены результаты предыдущих измерений.

*В пятой главе* обсуждается прецизионное измерение произведения электронной ширины на вероятность распадов  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний чармония в адроны. Подробно

описаны критерии отбора событий, оценка фона и измерение светимости. Автор сравнивает экспериментальные данные с результатами моделирования, а также демонстрирует процедуру и результаты подгонки сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны в области  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний.

*В шестой главе* показаны основные источники систематических неопределенностей измерения величины произведения электронной ширины на вероятность распадов  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний в адроны. Автор описывает систематические неопределенностии, связанные с измерением светимости, с моделированием исследуемых распадов, с моделированием подсистем детектора и работы коллайдера, а также неопределенности расчета сечения. В конце главы приведены итоговые значения величины произведения электронной ширины на вероятность распадов  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний в адроны с статистическими и систематическими ошибками.

*В заключении* кратко сформулированы результаты работы, выносимые на защиту диссертации.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Диссертация содержит подробное обсуждение теории вопроса, детальное описание экспериментальной установки, методики измерений, а также физического анализа, включая получение результатов и систематических ошибок. Сформулированные выводы базируются на статистически значимом объеме обработанных данных и не вызывают сомнений в достоверности.

**Достоверность и новизна полученных результатов.** *Достоверность* результатов подтверждается прекрасным согласием измеренного инклузивного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны не только с предыдущими измерениями, но и с теоретическими расчетами в рамках пертурбативной КХД. Результаты представленной работы докладывались на многочисленных научных семинарах и международных конференциях и опубликованы в ведущих реферируемых журналах с высоким индексом цитирования. *Новизна* исследований К.Ю. Тодышева не вызывает сомнений. Автором получены прецизионные значения величины  $R$  в энергетическом диапазоне от 1.84 до 3.72 ГэВ. Впервые использован метод прямого вычитания вклада  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -резонансов, параметры которых получены экспериментально с высокой точностью. Выполнены прецизионные измерения произведения электронной ширины на вероятность распадов  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -состояний в адроны.

**Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов** очевидна. Измеренные К.Ю. Тодышевым значения зависимости  $R$  от энергии включены в международные базы данных физики высоких энергий, что позволяет использовать их для наиболее точного определения фундаментальных физических величин, таких как аномальный магнитный момент мюона, константа сильного взаимодействия, массы тяжелых夸克ов и др. Кроме того, полученные результаты востребованы теоретиками для построения достоверной модели тяжелого кваркона, в которой в настоящий момент существует множество противоречий с экспериментом и нерешенных проблем. Наконец, результаты докторанта актуальны как для существующих экспериментов на электрон-позитронных коллайдерах, так и для будущих экспериментов на с-т-фабриках.

**Оценка содержания диссертации, её завершенность.** Диссертация К.Ю. Тодышева

представляет собой добrotно выполненное законченное экспериментальное исследование.

**Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования.** Диссертация К.Ю. Тодышева демонстрирует глубокое знание автором теории, методики эксперимента, а также современных методов анализа данных. Диссертация разумно структурирована и содержит богатый иллюстративный материал. К недостаткам в оформлении можно отнести многочисленные опечатки и злоупотребление научным сленгом. Кроме того, имеется ряд замечаний, приведенных ниже.

В третьей главе в таблице 3.2 приведены относительные вклады  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -резонансов в полное сечение в адроны без пояснений, каким образом они получены. В разделе 3.4 в таблице 3.6 представлена эффективность регистрации адронных событий для 13 точек по энергии, которые перечислены по порядку от 1 до 13, однако значения энергии не указаны. Аналогично в таблицах 3.7-3.14, 3.16 вместо значения энергии автор приводит порядковый номер «точки по энергии», что, безусловно, затрудняет восприятие результатов. В таблице 3.15 приведены «результаты подгонки  $J/\psi$ - и  $\psi(2S)$ -резонансов», но остается неясным, как они определены, поскольку сама подгонка обсуждается позднее.

В шестой главе в разделе 6.6 приведены окончательные результаты измерения величины произведения электронной ширины на вероятность распадов в адроны для состояний чармония  $J/\psi$  и  $\psi(2S)$ , а также электронная и полная ширины для состояния  $\psi(2S)$ . Сравнивая полученные значения с результатами измерений предыдущих экспериментов, автор, ссылаясь на соответствующие статьи, утверждает, что его результаты значительно точнее. Однако для наглядности хотелось бы видеть численные значения величин, полученных в других экспериментах, приведенными в таблице или в тексте.

В представленной диссертации автор основательно обосновывает актуальность своих исследований, как для теории, так и эксперимента, подробно описывает физический анализ данных, уделяя пристальное внимание оценке систематических неопределенностей, однако полученные результаты обсуждают неоправданно кратко и скрупульзно. Между тем, прецизионное измерение величины  $R$  в 22 точках по энергии представляет собой уникальный результат с наилучшей в мире точностью, который стоило бы подробно обсудить, не только в сравнении с результатами предыдущих экспериментов, но и в рамках его влияния на теорию и перспективы использования в существующих и будущих экспериментах.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, которая является результатом многолетнего кропотливого труда.

**Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.** Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Корнелия Юрьевича Тодышева на соискание учёной степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований электрон-позитронной аннигиляции в адроны получены уникальные по своей точности результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области физики высоких энергий, открывающее широкие возможности как для дальнейших экспериментов, так и для развития теории, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. **Корнелий Юрьевич Тодышев**, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа заслушана на научном семинаре лаборатории тяжёлых夸克ов и лептонов 4 октября 2019 года. Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Учёного совета лаборатории тяжёлых夸克ов и лептонов, ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 8 октября 2019 года, протокол № 4.

Секретарь Учёного совета лаборатории тяжёлых夸克ов и лептонов,  
ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,  
кандидат физико-математических наук,  
высококвалифицированный старший научный сотрудник  
Е.И. Соловьёва

**Отзыв подготовила:**

**Пахлова Галина Владимировна,**  
доктор физико-математических наук,  
название и шифр специальности: 01.04.23 - физика высоких энергий,  
высококвалифицированный ведущий научный сотрудник  
лаборатории тяжёлых夸克ов и лептонов,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,  
119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53  
Телефон: +7 (916) 5134677  
e-mail: pahlovagv@lebedev.ru  
Г.В. Пахлова  
8 октября 2019 года.

Подпись Г.В. Пахловой заверяю  
Учёный секретарь ФГБУН ФИАН им. П.Н. Лебедева  
кандидат физико-математических наук  
А.В. Колобов  
e-mail: scilpi@mail.ru

**Контакты ведущей организации:**

Адрес: 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН  
Телефон: 8(499)135-42-64  
Факс: 8(499)135-78-80  
e-mail: postmaster@lebedev.ru