

Утверждаю:

Директор НИЦ
“Курчатовский институт” –
ИФВЭ

доктор физ.-мат. наук,
академик РАН

С.В. Иванов

“13” августа 2018



ОТЗЫВ

ведущей организации Национального исследовательского центра “Курчатовский институт” – Институт физики высоких энергий имени А.А.Логунова на диссертацию Сухарева А.М. «Измерение произведения электронной ширины на вероятность распада в пару мюонов $\psi(2S)$ -мезона», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация А. М. Сухарева посвящена измерению произведения электронной ширины на вероятность распада в $\mu^+\mu^-$ конечное состояние ($\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$) $\psi(2S)$ -мезона. Результат получен на основе анализа многолетнего набора статистики детектором КЕДР на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-4М при энергии близкой к резонансу $\psi(2S)$. Автор принимал непосредственное участие в разработке программного обеспечения мюонной системы детектора КЕДР, включающее процедуру калибровки системы, реконструкцию событий в системе и моделирование системы. Он также принимал участие в обеспечении работоспособности системы на протяжении более десяти экспериментальных сеансов. А.М. Сухаревым проведено наиболее актуальное измерение произведения электронной ширины и вероятности распада в пару мюонов для $\psi(2S)$ -мезона, что позволяет получить рекордную точность для экспериментального значения электронной ширины $\psi(2S)$ -мезона.

Актуальность избранной темы исследования определяется тем, что чармоний является сравнительно простым и удобным объектом для изучения в рамках квантовой хромодинамики (КХД) предсказаний параметров резонансов для системы чармония в различных потенциальных моделях и в рамках вычислений КХД на решётках.

В качестве научной новизны следует отметить рекордную точность измерения электронной ширины $\psi(2S)$ -мезона.

Несомненна научная и практическая ценность полученных в диссертации результатов, поскольку описанная в диссертации мюонная система представляет существенную часть универсального детектора КЕДР,

улучшающая качество и разнообразие физических результатов с этого детектора. Описанный многолетний успешный опыт эксплуатации мюонной системы несомненно пригодится при проектировании будущих экспериментов.

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения.

Во **введении** обоснована актуальность описанных в диссертации исследований, перечислены выносящиеся на защиту основные результаты.

В **первой главе** диссертации дан обзор теоретических подходов к определению параметров чармония и описаны экспериментальные результаты предшествующих экспериментов по измерению лептонной ширины $\psi(2S)$ -мезона. В этой главе также описан учёт вклада фоновых процессов в изучаемые процессы $\psi(2S) \rightarrow l^+l^-$, поскольку из-за малого брэнчинга данной моды распада полностью подавить фоновые события критериями отбора не удаётся.

Вторая глава диссертации посвящена описанию экспериментального комплекса ВЭПП-4М/КЕДР. Дано описание ускорительного комплекса ВЭПП-4М, приведены основные параметры ускорителя. При описании детектора КЕДР приведены устройство и характеристики трековых детекторов, времяпролётной системы, электромагнитных калориметров, системы мюонных камер и монитора светимости. Описаны также триггер и система сбора данных.

В **третьей главе** диссертации дано детальное описание мюонной системы детектора КЕДР, в обеспечении многолетней работоспособности которой автор принимал непосредственное участие. Описаны конструкция стримерных трубок, их объединение в блоки, газовая система для приготовления рабочей смеси, электроника, высоковольтное питание, система сбора данных. Детально описана реконструкция событий в мюонной системе, восстановление координаты пролёта частицы вдоль оси пучков, описана привязка срабатываний мюонной системы к трекам заряженных частиц, реконструированных в центральной части детектора. Детально описана калибровка мюонной системы, а также программа мониторингирования мюонной системы, разработанная автором диссертации. Описана процедура моделирования откликов мюонной системы. В конце главы приведены важные выводы по результатам многолетней эксплуатации мюонной системы, которые имеют большую практическую ценность при проектировании будущих детекторов.

В **четвёртой главе** описывается отбор событий $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ и e^+e^- . Приведены критерии отбора данных событий и распределения для данных и Монте-Карло, мотивирующие конкретный выбор обрезаний. Поскольку анализировались данные нескольких сканирований в области массы $\psi(2S)$ -мезона и несколько наборов статистики в режиме пик/подложка из текста диссертации не понятно, для какого из наборов статистики приведены

данные распределения. Описано также моделирование распадов $\psi(2S) \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и $\psi(2S) \rightarrow e^+ e^-$, а также нерезонансное упругое рассеяние $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^-$. Приведён список фоновых распадов $\psi(2S)$ -мезона, вклад которых учитывался в данном анализе.

Пятая глава посвящена определению эффективности время-пролётной системы, поскольку эффективность восстановления времени пролёта была заметно меньше 100%. Информация о времени пролёта необходима для отделения пучковых мюонных событий от космических. Для определения эффективности были применены два метода. В первом методе использовались каскадные распады $\psi(2S) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ и $\psi(2S) \rightarrow J/\psi \pi^0 \pi^0$, в которых J/ψ в свою очередь распадается на пару мюонов. Второй метод основан на предположении, что события потери времени отдельными счётчиками не скоррелированы между собой. Тогда для событий прошедших отбор $\mu^+ \mu^-$ можно построить распределение по времени пролёта для одного из треков. Это распределение будет иметь вид суммы вкладов от событий с измеренным временем пролёта, случайных времён от пролёта космических мюонов и событий с потерей времён пролёта. Этих данных достаточно для определения эффективности время-пролётной системы. Оба метода дали согласующиеся в пределах статистических погрешностей результаты. В среднем эффективность срабатывания была на уровне чуть выше 80%.

В **шестой главе** описана процедура получения результата (измерения $\Gamma_{ee} \times V_{\mu\mu}$), а также анализ систематических погрешностей, возникающих при использовании этой процедуры. Для каждого набора данных проводился совместный анализ мюонного и электронного конечных состояний. Для определения интегральной светимости $e^+ e^-$ события разбивались по среднему полярному углу электрона и позитрона на равные интервалы, для $\mu^+ \mu^-$ событий такого разбиения не требовалось. Приводится формула для ожидаемого числа событий для данного интервала по полярному углу и данной энергии пучков в системе центра масс. После максимизации Пуассоновской функции правдоподобия интегральная светимость для данной энергии пучков определялась как отношение суммы наблюдаемых чисел электронных и мюонных событий к сумме ожидаемых сечений в электронные и мюонные конечные состояния. При максимизации Пуассоновской функции правдоподобия свободными параметрами подгонки являлись $\Gamma_{ee} \times V_{\mu\mu}$ и $\Gamma_{ee} \times V_{ee}$. При усреднении результатов, полученных для различных сеансов, считалось, что статистические ошибки независимы, систематические – частично скоррелированы. Оценка систематической погрешности усреднённого результата включала в себя как коррелированную часть, так и усреднённый вклад некоррелированных частей.

Систематические погрешности оценивались изменением критериев отбора в разумных пределах и варьированием используемых внешних параметров в пределах точности, с которой они известны.

В **седьмой главе** приведены результаты измерения произведения $\Gamma_{ee} \times V_{\mu\mu}$ $\psi(2S)$ -мезона в отдельных наборах данных и статистические и систематические погрешности, а также усреднённых результатов всех наборов

статистики. Поскольку Particle Data Group не приводит прямых измерений произведения $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$, для сравнения полученного результата со среднемировым брались табличные значения Γ_{ee} и $B_{\mu\mu}$ по отдельности и вычислялось их произведение. Полученный в диссертации результат численно совпадает со среднемировым и существенно превосходит его по точности. Используя полученное в диссертации значение $\Gamma_{ee} \times B_{\mu\mu}$, а также измеренное ранее экспериментом КЕДР значение $\Gamma_{ee} \times B_{\text{адроны}}$, получено значение электронной ширины $\psi(2S)$ -мезона и приведено сравнение этой величины с данными, полученными в других экспериментах. Наблюдается хорошее согласие всех измерений, при этом точность измерения эксперимента КЕДР превосходит другие измерения.

В **заключении** перечислены основные результаты, полученные в работе. Полученные результаты показали, что разработанное автором программное обеспечение мюонной системы обеспечило работу этой системы на протяжении более десяти экспериментальных сезонов. При этом достигнуты ожидаемое продольное координатное разрешение и эффективность регистрации мюонной системы. Данные мюонной системы использовались при получении важного физического результата - электронной ширины $\psi(2S)$ -мезона с лучшей на данный момент точностью.

В качестве замечания следует отметить чрезмерное дробление текста диссертации на главы. Компановка материала диссертации в виде четырёх глав была бы более оптимальной. Из рисунка 3.14 диссертации следует, что магнитное поле в ярме магнита не учитывается и трек в магнитной системе идет по прямой. Не приводится аргументов в пользу допустимости данного приближения. На странице 23 диссертации при описании цилиндрического и торцевого электромагнитных калориметров написано, что они перекрывают соответственно 79% и 21% телесного угла, то есть в сумме 100%, а между тем из описания следует, что полярные углы 0-6 и 174-180 градусов не перекрыты.

Отмеченные недостатки не влияют на качество результатов, полученных в диссертации.

Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. По теме диссертации опубликовано 5 статей в ведущих международных журналах, а также препринт ИЯФ.

Представленная диссертационная работа А. М. Сухарева является законченным научным исследованием и полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц и критериям, установленным в п.9 “Положения о порядке присуждения учёных степеней”. Автор диссертации, А. М. Сухарев, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Работа обсуждена на семинаре Отделения экспериментальной физики ИФВЭ 23 августа 2018 г. и одобрена.

Отзыв составил
ведущий научный сотрудник ОЭФ ИФВЭ,
доктор физико-математических наук



М.М. Шапкин

Подпись М.М. Шапкина подтверждаю
Учёный секретарь ИФВЭ



Н.Н. Прокопенко