

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

ПАХЛОВОЙ Галины Владимировны на диссертацию

ЛОГАШЕНКО Ивана Борисовича

«Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ и аномального магнитного момента мюона»,

представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук

по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц

в диссертационный совет Д 003.016.02

ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Актуальность избранной темы. Диссертация Ивана Борисовича Логашенко посвящена, в первую очередь, прецизионной проверке предсказаний Стандартной модели (СМ) посредством поиска отклонений измеренного аномального магнитного момента мюона, a_μ , от теоретических ожиданий. Найденные отклонения могли бы стать указанием на проявление новых взаимодействий за пределами СМ. Сегодня точность вычисления «стандартных» электромагнитного и электрослабого вкладов в аномальный магнитный момент мюона существенно превышает точность его измерения. В то же время, для вклада сильных взаимодействий, a_μ^{had} , теоретическая и экспериментальные точности остаются сравнимыми. Одним из наиболее обещающих способов определения a_μ^{had} является прецизионное измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ в энергетическом диапазоне до 1.4 ГэВ, выполненное автором на детекторе КМД-2 на ускорительном комплексе ВЭПП-2М в ИЯФ СО РАН им. Г.И.Будкера. Дополнительное независимое прямое измерение аномального магнитного момента мюона в эксперименте E821 в Брукхейвенской Национальной Лаборатории позволило сравнить полученный результат с ожиданиями Стандартной модели. Безусловно, актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. В диссертации представлены результаты многолетних исследований автора, обсуждавшиеся на многочисленных научных совещаниях, международных конференциях в России и за рубежом, прошедшее тщательное рецензирование и допущенные к публикациям в серьезных журналах. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются, безусловно, научно обоснованными. Другим свидетельством обоснованности полученных результатов является основательное описание методов измерения и математически строгая методика получения результатов.

Достоверность и новизна, полученных результатов. Достоверность результатов подтверждает хорошее согласие полученных значений формфактора пиона с результатами аналогичных измерений экспериментов ОЛЯ, СНД, KLOE, BaBar и BESIII, согласие измеренного a_μ с предыдущими измерениями, а также публикация полученных результатов в рецензируемых журналах с высоким индексом цитирования.

Научная новизна, полученных результатов очевидна. Впервые в прямых измерениях удалось получить наиболее точные значения сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ в энергетическом диапазоне до 1.4 ГэВ (в системе центра масс). Полученное в независимом эксперименте E821 значение аномального магнитного момента мюона в настоящий момент является прецизионным.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов. Измеренное сечение $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ (в виде таблиц и графиков) включено в мировую базу данных физики высоких энергий Durham HepData Project, что позволяет физикам на основе этих данных осуществлять расчеты целого ряда важных физических величин, таких как аномальный магнитный момента мюона и τ -лептона, электромагнитный радиус пиона, адронная поляризация вакуума и др

Использованная методика измерения сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, наряду с полученными физическими результатами, являются актуальным подспорьем для подготовки новых экспериментов на электрон-позитронных коллайдерах, работающих в соответствующем диапазоне энергий.

Полученное в эксперименте E821 значение аномального магнитного момента мюона включено в таблицы свойств элементарных частиц Particle Data Group, которыми ежедневно пользуются для своих расчетов как теоретики, так и экспериментаторы.

Оценка содержания диссертации, её завершенность. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, благодарностей и списка литературы. Полный объём диссертации составляет 252 страницы, включая 111 рисунков, 14 таблиц и 249 библиографических наименований. Основные результаты, представленные в диссертации, изложены в 14 научных статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

Во введении автор определяет основную цель работы как прецизионное измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ и измерение аномального магнитного момента мюона. Здесь же обоснована актуальность работы, отмечены личный вклад автора, научная новизна работы, её научная и практическая ценность, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, представлена апробация работы, указан её объем и структура.

Первая глава посвящена истории и современному состоянию проблемы измерения аномального магнитного момента мюона. Автор подробно рассказывает о первых измерениях аномального магнитного момента электрона и мюона, о трёх сериях измерений аномального магнитного момента мюона в ЦЕРН, детально описывая развитие методики, а также об эксперименте E821 в Брукхейвенской Национальной Лаборатории. Вычислению a_μ в рамках Стандартной модели посвящён специальный раздел, в котором обсуждается вклад электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий в аномальный магнитный момента мюона.

Во второй главе представлено измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, позволяющего определить основной вклад в адронную поправку в a_μ . Автор детально описывает детектор КМД-2 на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М, уделяя особое внимание дрейфовой камере, Z-камере, электромагнитному калориметру, а также системе сбора данных. Затем обсуждаются критерии отбора сигнальных событий и методика отделения их от конечных состояний e^+e^- и $\mu^+\mu^-$. Подробно изложена методика

вычисления сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, включая учёт радиационных поправок, учёт эффективности реконструкции и триггера. Специальный раздел посвящён вычислению систематических ошибок. Наконец, показан результат измерения форм-фактора пиона и его сравнение с результатами других экспериментов. Кроме того, представлен вклад сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ в аномальный магнитный момент в трёх энергетических диапазонах, и продемонстрировано влияние измерений КМД-2 на вычисление a_μ^{had} на фоне предыдущих экспериментов.

Третья глава посвящена эксперименту E821 по прямому измерению аномального магнитного момента мюона. Автор подробно рассказывает об усовершенствованной методике эксперимента: о производстве и инжекции мюонного пучка, конструкции магнита накопительного кольца, детекторах электронов и позитронов, реконструкции данных с электромагнитных калориметров, электронике детекторных систем. Затем обсуждается организация набора данных, оценка систематических погрешностей и результаты нескольких сезонов прецизионных измерений магнитного момента мюона.

В заключении изложены основные результаты работы и подчеркнута их научная и практическая значимость.

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

Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования. Диссертация написана хорошим языком и легко читается. Она содержит богатый иллюстративный материал, детальное описание предложенных методов и выполненных измерений, демонстрирует глубокое знание автором методики и техники современного эксперимента, а также уверенное владение методами анализа данных. Основные материалы, представленные в работе, опубликованы в 1999-2009 гг., и остается неясной десятилетняя задержка с написанием столь актуальной диссертации.

К недостаткам в оформлении можно отнести отдельные опечатки и неоправданное обилие научного сленга, например, «Баба-рассеяние», «бранчинги» и пр.

Во второй главе автор описывает процесс вычисления сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$. Корректное разделение вкладов конечных состояний e^+e^- , $\mu^+\mu^-$ и $\pi^+\pi^-$ – ключевое место анализа. Необходимо использовать информацию об энерговыделении от каждого трека в электромагнитном калориметре и знать функцию отклика калориметра от энергии на каждый тип частиц с очень хорошей точностью и знанием систематики. В разделе 2.5.1 выдвинуто предположение, что энерговыделение одной частицы (E^+) не зависит от энерговыделения другой (E^-) в этом же событии (формула (2.5)). Позднее вводится поправка на корреляцию, основанную на геометрии длин треков в калориметре. Возникает вопрос: нет ли других источников корреляции из-за конструктивных особенностей калориметра или процедуры его калибровки?

В разделе 2.5.3 автор приводит формулу параметризации энерговыделения электронов (2.15), не поясняя, чем обоснована такая параметризация, и что такое «меченные» электроны, насколько велика статистика набора «меченных» электронов и чистота этого образца, насколько хорошо получилось описать форму энергетического отклика для этого образца. Важная процедура описана недостаточно подробно.

Аналогичное замечание можно сделать для мюонов, важные тонкости не описаны. Слабым местом является параметризация формы энергетического отклика для пионов, параметры которого получены из моделирования (без указания на конкретные пакеты, использованные для симуляции). Неясно, каким образом при параметризации энергосвечения пионов в калориметре учитывается процесс перезарядки заряженных пионов на ядре (дающий вклад, схожий с электронами), и чем объясняется присутствие событий с нулевым энергосвечением. Хотелось бы понять, почему энергосвечения положительно и отрицательно заряженных частиц, показанные на рисунке 2.25, отличаются.

В разделе 2.8.5, посвященном вычитанию фона, вводится поправка на источники фона от других адронных конечных состояний. Непонятно, почему этот фон вместо непосредственного вычитания учитывается посредством поправочного коэффициента. Хотя результат при правильном учете ошибок должен получиться правильным, операция вычитания, представленная в виде умножения на поправочный коэффициент, вызывает недоумение. Поскольку фоновые процессы никак не связаны с сигнальным, логика явно нарушена.

В разделе 2.9 обсуждается исключительно важный вопрос об источниках систематических ошибок в измерении сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$. Остается вопрос о корреляции систематики от точки к точке в измеренном сечении. Или же ли систематика в каждой измеренной точке имеет случайный характер? От ответа на этот вопрос напрямую зависит неопределенность в a_μ^{had} , полученная из измеренного сечения, поэтому необходимо разделить систематическую ошибку на некоррелированную от точки к точке и общую ошибку в нормировке сечения.

В третьей главе, где подробно описана методика и процесс прямого измерения аномального магнитного момента мюона, раздел 3.6, посвященный обсуждению полученного результата, неоправданно лаконичен и обсуждения фактически не содержит, в то время как именно отклонение этой измеренной физической величины от Стандартной модели имеет фундаментальный характер и представляет для физиков наибольший интерес.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, представляющей собой фундаментальное законченное обоснованное экспериментальное исследование.

Диссертация ЛОГАШЕНКО Ивана Борисовича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой разработан метод прецизионного измерения сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, измерено указанное сечение, знание которого позволило определить вклад сильного взаимодействия в аномальный магнитный момент мюона a_μ . Кроме того, автором выполнено независимое прямое и наиболее точное измерение аномального магнитного момента мюона в эксперименте E821, значение которого существенно отличается от предсказаний Стандартной модели. Диссертация ЛОГАШЕНКО Ивана Борисовича содержит результаты, которые являются фундаментальным вкладом в дальнейшее развитие современной физики элементарных частиц, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, безусловно,

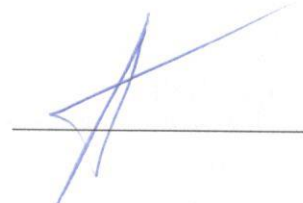
заслуживает присуждения учёной степени доктора наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв подготовила:

Пахлова Галина Владимировна,
доктор физико-математических наук,
название и шифр специальности: 01.04.23 - физика высоких энергий,
ведущий научный сотрудник лаборатории тяжёлых кварков 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) 513-46-77
e-mail: gпахлова@lebedev.ru

Г.В.Пахлова

6 сентября 2018



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

