

Отзыв официального оппонента доктора физико-математических наук

Пахловой Галины Владимировны

на диссертационную работу Маевского Артёма Сергеевича

«Прецизионные измерения характеристик $B_{(s)}$ -мезонов и их распадов в эксперименте ATLAS»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «физика высоких энергий»

Диссертация А.С. Маевского посвящена, в первую очередь, проверке предсказаний Стандартной модели (СМ) посредством измерения параметров СР-нарушения в распадах B_s -мезонов. Исследуемый распад, $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, является одной из «золотых мод» для поиска Новой физики за пределами СМ, поскольку с хорошей точностью позволяет измерить не прямое СР-нарушение, величина которого в рамках СМ ожидается близкой к нулю. Исследование выполнено в эксперименте ATLAS на полном наборе данных первого сеанса работы Большого адронного коллайдера (БАК) при энергии протон-протонных столкновений в системе центра масс, равной 7 и 8 ТэВ. Полученные ограничения на параметры СР-нарушения перекрываются с результатами экспериментов D0, CDF, CMS и LHCb и позволяют получить мировое среднее значение с высокой точностью, которое согласуется с предсказаниями СМ. Безусловно, актуальность представленной работы не вызывает сомнений.

Установка ATLAS представляет собой сложнейшую систему из большого числа подсистем, от надежной работы которых напрямую зависят результаты измерений. Таким образом, решение целого ряда методических задач является необходимым условием для успешного физического анализа набранных данных. Существенная часть диссертации А.С. Маевского посвящена достижению стабильной работы трекового детектора переходного излучения внутреннего детектора ATLAS во втором сеансе работы БАК, в частности, исследованию и выбору альтернативной газовой смеси для трекового детектора и соответствующей модификации математической модели описания детектора. Ещё одной из важных задач, решённых диссертантом, стала проверка работы внутреннего детектора ATLAS во втором сеансе работы БАК (при энергии протон-протонных столкновений в системе центра масс равной 13 ТэВ, временном интервале между столкновениями 25 нс, а также при добавлении дополнительного слоя пиксельных детекторов) с помощью измерения массы B^+ -мезона в распаде $B^+ \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)K^+$ с высокой точностью.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Полный объём диссертации составляет 108 страниц, включая 51 рисунок, 13 таблиц, 88 библиографических наименований и одно приложение. Основные результаты, представленные в диссертации, изложены в 9 научных статьях, из которых 2 опубликованы в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК.

Во введении автор определяет основную цель работы как измерение параметров СР-нарушения в распаде $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, включая значение угла ϕ_s и разность ширин лёгкого и тяжёлого собственных массовых состояний B_s^0 -мезона, $\Delta\Gamma_s$, а также обосновывает актуальность подобных исследований. Здесь же сформулированы задачи, которые

необходимо решить для достижения поставленной цели, обсуждаются степень достоверности полученных результатов, их научная новизна, научная и практическая значимость. Диссертант формулирует основные положения, выносимые на защиту, и приводит информацию о своем личном вкладе, об апробации работы, об объеме и структуре диссертации.

Первая глава посвящена экспериментальной установке ATLAS на Большом адронном коллайдере. После обсуждения параметров БАК автор детально описывает подсистемы детектора ATLAS, уделяя особое внимание внутреннему детектору и мюонному спектрометру. Затем диссертант рассматривает физические задачи, стоящие перед экспериментом ATLAS, а в последнем разделе подробно рассказывает о процессе и результате модернизации БАК и ATLAS перед вторым сеансом работы, при энергии столкновения протонов 13 ТэВ в системе центра масс и светимости $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Во второй главе обсуждается трековый детектор переходного излучения (Transition Radiation Tracker, TRT) внутреннего детектора ATLAS, включая его структуру, принцип работы, а также его задачи в эксперименте ATLAS. Специальный раздел посвящен моделированию условий регистрации переходного излучения при использовании аргоновых и криптоновых газовых смесей в трековом детекторе переходного излучения. Приведены результаты исследования различных газовых смесей на тестовом пучке SPS в 2015 году.

В третьей главе представлены результаты сравнительного анализа спектров заряженных адронов по поперечным импульсам и псевдобыстроте при различных энергиях протон-протонных столкновений в системе центра масс.

Четвертая глава посвящена прецизионному измерению массы B^+ -мезона в распаде $B^+ \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)K^+$. Диссертант мотивирует такое измерение необходимостью проверки работы и оценки калибровки внутреннего детектора установки ATLAS после его модификации при переходе к энергии протон-протонных столкновений в системе центра масс от 8 к 13 ТэВ. Автор обсуждает процесс реконструкции B -кандидатов, критерии отбора событий, рассказывает, как осуществляется выбор единственного из нескольких B -кандидатов, описывает процедуру подгонки распределения инвариантной массы B -кандидатов в 16-ти интервалах по быстрой для определения массы B^+ -мезона, а также оценку систематических неопределенностей. Результаты измерения массы B^+ -мезона свидетельствуют о качественной калибровке и стабильной работе внутреннего детектора установки ATLAS.

В пятой ключевой и наиболее объемной главе диссертации представлено измерение параметров CP-нарушения в распадах $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$. Во введении автор обсуждает явление CP-нарушения и его формализм в рамках Стандартной модели, а также мотивирует выбор распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$ для измерения параметров ϕ_s и $\Delta\Gamma_s$. В следующих разделах рассматриваются критерии отбора событий, реконструкция B_s^0 -кандидатов, а также моделирование изучаемого процесса методом Монте-Карло. Затем автор детально описывает процедуру тагирования начального аромата B -мезона и процесс подгонки, позволяющий получить параметры распада. Представлен детальный анализ источников фона и оценка систематических погрешностей. Приведено сравнение полученных результатов с предсказаниями Стандартной модели, а также с результатами экспериментов D0, CDF, CMS и LHCb.

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

Помимо основной части диссертация содержит списки литературы, иллюстраций, таблиц, а также используемых сокращений и обозначений. В приложении автор приводит подробные результаты калибровки параметров аргоновой смеси в трековом детекторе переходного излучения.

Новизна, научная значимость и актуальность диссертации А.С. Маевского не вызывают сомнений. Автором получены оригинальные физические результаты и впервые решён целый ряд методических задач.

Достоверность результатов подтверждает хорошее согласие полученных параметров CP-нарушения с результатами аналогичных измерений экспериментов D0, CDF, CMS и LHCb, а также публикация результатов в рецензируемых журналах с высоким индексом цитирования.

Научная и практическая ценность представленной работы как для теории, так и для экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц очевидна. Измеренные параметры ϕ_s и $\Delta\Gamma_s$ уже использованы международной Группой усреднения параметров тяжёлых ароматов (HFAG) для получения мировых средних значений, что позволило существенно повысить точность измерений этих параметров и убедиться в их хорошем согласии с предсказаниями Стандартной модели.

Исследование альтернативной газовой смеси для трекового детектора на основе аргона или криптона позволяет решить проблему замены ксеноновой смеси в тех дрейфовых камерах, где была обнаружена её утечка. Результаты прецизионного измерения массы B^+ -мезона свидетельствуют о качественной калибровке и стабильной работе внутреннего детектора установки ATLAS.

Результаты, полученные в данной работе, представляют интерес как для теории, так и для экспериментов в области физики высоких энергий. Они могут быть использованы в крупнейших мировых научных центрах, таких как Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (г. Москва), Институт ядерных исследований РАН (г. Москва), Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН (г. Новосибирск), Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И.Алиханова (г. Москва), Институт физики высоких энергий (г. Протвино), Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна), ЦЕРН (г. Женева, Швейцария), КЕК (г. Цукуба, Япония), СЛАК (г. Стэнфорд, США) и других.

Однако к диссертации имеется ряд замечаний, приведенных ниже.

Структура диссертации. Автор утверждает, что основной целью работы является измерение параметров CP-нарушения в распаде $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$, включая значение ϕ_s и разность ширин лёгкого и тяжёлого собственных массовых состояний B_s^0 -мезона, $\Delta\Gamma_s$. Однако в диссертации этому, безусловно, наиболее важному фундаментальному исследованию отведена последняя глава и последнее место в заключении при перечислении результатов. Кроме того, поскольку в этом анализе были использованы данные, набранные в первом сеансе работы БАК, было бы естественно обсуждать их до представления измерения массы B^+ -мезона в распаде $B^+ \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)K^+$ на статистике второго сеанса работы БАК.

В разделе 1.3 автор обсуждает физические задачи эксперимента ATLAS. Поскольку диссертация посвящена изучению $B_{(s)}$ -мезонов, а не бозона Хиггса (не умаляя важности исследования последнего), хотелось бы видеть более развернутое, превышающее один абзац, обсуждение физики тяжёлых ароматов в эксперименте ATLAS.

Во второй главе автор решает серьёзную проблему утечек газовой смеси ксенона из модулей детектора TRT, моделирует альтернативные газовые смеси на основе аргона или

криптона, приводит полученные количественные характеристики этих смесей и делает вывод, что полная замена ксенона на аргон или криптон во всем детекторе приведёт к значительному ухудшению эффективности. Однако ключевой вопрос о принятом решении, какими газовыми смесями будут заполнены конкретные дрейфовые камеры в дальнейшем, остается открытым.

Третья глава содержит обзор последних результатов ATLAS по измерению спектров заряженных адронов по поперечным импульсам и псевдобыстроте при различных энергиях протон-протонных столкновений в системе центра масс 7 и 8 ТэВ. Хотя важность полученных результатов не вызывает сомнений, остаётся неясным, какое отношение они имеют к представленному автором физическому анализу по измерению параметров CP-нарушения, и каков личный вклад диссертанта. В целях и задачах диссертации эти исследования не обозначены.

Наконец, остаётся ряд вопросов непосредственно к анализу данных и получению физических результатов, представленных в пятой главе.

- Алгоритм тагирования представлен как набор рецептов без обоснования, каким образом эти рецепты были оптимизированы для достижения наилучшего результата.
- Эффективность тагирования и вероятность неправильного тагирования («размытия», а не «разбавления»!) определялась из данных по самотагирующемуся V^+ -мезону. Однако в диссертации не обсуждается, насколько полученные из V^+ -мезона значения применимы к тагированию V_s -мезона. Существуют ли корреляции при рождении различных типов пар b -адронов, что приводило бы к изменению фактора размытия тага?
- В любом случае размытие тага различно для V_s - и анти- V_s -мезонов, поскольку изначально сталкивается пара протонов и рождение барионов, содержащих b -кварк, (не имеющих осцилляций!) усилено по сравнению с антибарионами. Этот вопрос не обсуждается в диссертации.
- Поскольку осцилляции V_s - и анти- V_s -мезонов очень быстрые, немаловажным является вопрос параметризации разрешения по собственному времени. Из диссертации остаётся непонятным, откуда получены параметры размытия разрешения по вершине и откуда взят «фактор скейлинга», на который поправлена функция разрешения.
- В диссертации упоминается влияние аксептанса детектора и критериев отбора на угловые распределения (важные для определения вкладов двух CP-собственных состояний в исследуемый распад), но ничего не говорится о влиянии триггера на угловые распределения.
- Хотелось бы увидеть более информативные рисунки. В частности, сравнение результатов для разных способов тагирования, а также для разных поляризаций J/ψ - и ϕ -мезонов. Полезно было бы показать, как выглядит распределение по собственному времени жизни V_s -мезона с результатами подгонки для разных CP-состояний и разных тагов (рисунок 5.10 малоинформативен).

Хотя диссертация написана хорошим языком и легко читается, она не лишена опечаток, пропущенных знаков препинания и иных недостатков. В частности, в терминах «Стандартная модель» и «Новая физика» первое слово принято писать с прописной буквы. Мелкие подписи ко многим рисункам трудно разглядеть, что затрудняет понимание.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, представляющей собой важное законченное обоснованное экспериментальное исследование. Диссертация содержит богатый иллюстративный материал, детальное описание предложенных методов и выполненных измерений, демонстрирует хорошее

знание автором методики эксперимента и владение современными методами анализа данных.

Основные результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на многочисленных научных совещаниях, международных конференциях и школах физики в России и за рубежом и опубликованы в ведущих реферируемых журналах. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. с дополнениями №335 от 21 апреля 2016 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, А.С.Маевский, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – «физика высоких энергий».

Отзыв подготовила:

Галина Владимировна Пахлова,

доктор физико-математических наук,

название и шифр специальности: 01.04.23 - «физика высоких энергий»,

ведущий научный сотрудник лаборатории тяжёлых кварков и лептонов

ФГБУ 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 _____

Подпись Г.В.Пахловой заверяю:

Учёный секретарь ФГБУ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,

Кандидат физико-математических наук

e-mail: kolobov@lpi.ru

А.В.Колобов _____

