

## ОТЗЫВ

официального оппонента Смирновой Лидии Николаевны, доктора физ.-мат. наук, профессора Физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Дом 1, строение 2, Физический факультет, тел. (495)939-16-82, Lidia.Smirnova@cern.ch) на диссертацию Шапкина Михаила Михайловича на тему: «Исследование образования адронов в  $e^+e^-$  взаимодействиях в эксперименте DELPHI и BELLE, прецизионное измерение массы и времени жизни  $\tau$ -лептона в эксперименте BELLE» по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук.

Взаимодействия электронов и позитронов на коллайдерах высоких энергий позволяют проводить прецизионные измерения характеристик различных реакций. Особое значение имеют прецизионные измерения масс и времен жизни частиц, и прежде всего, фундаментальных частиц стандартной модели. В этом частицам относится  $\tau$ -лептон. Диссертация Михаила Михайловича Шапкина посвящена прецизионному измерению массы и времени жизни  $\tau$ -лептона в эксперименте на электрон-позитронном ( $e^+e^-$ ) коллайдере КЕКВ (Япония) и сечений реакций  $e^+e^-$ -взаимодействий с образованием адронов на двух коллайдерах КЕКВ и LEP (ЦЕРН, Швейцария). Диапазон энергий, при которых проведены измерения, очень широк, он простирается от 10 до 200 ГэВ и предоставляет возможность изучения большого числа новых реакций, важных для выяснения свойств фундаментальных взаимодействий. К ним относятся редкие эксклюзивные процессы  $e^+e^-$  аннигиляции в два адрона, адронные распады  $Z$ -бозона, взаимодействия фотонов. Особое значение имеет проверка СРТ инвариантности в распадах  $\tau$ -лептонов. Фундаментальность результатов измерений, выполненных в рассматриваемой работе, определяют **актуальность темы диссертации** М.М.Шапкина.

Представленные в диссертации результаты получены на двух установках Belle и DELPHI, размещенных соответственно на коллайдерах КЕКВ и LEP. Экспериментальные установки Belle и DELPHI относятся к числу ведущих в физике высоких энергий. Они имеют трековые системы с хорошим разрешением и системы детекторов для идентификации частиц, критичных при проведении анализа. Интегральная светимость эксперимента Belle при энергии  $e^+e^-$  аннигиляции 10.58 ГэВ, использованная для выделения конечных состояний с двумя адронами, составляет  $516 \text{ фб}^{-1}$ , для анализа  $\tau$ -лептонов 414 и  $711 \text{ фб}^{-1}$  для измерения массы и времени жизни, соответственно. В эксперименте DELPHI для анализа адронных распадов  $Z$ -бозона использовано 3.4 миллиона событий. При анализе взаимодействий фотонов использовалась интегральная

светимость  $617 \text{ пб}^{-1}$ . Представленные в диссертации результаты получены впервые при столь высокой статистике и на установках мирового уровня. Это обусловило **достоверность и научную новизну** результатов диссертации.

**Практическая ценность** результатов диссертации М.М.Шапкина заключается в том, что новые данные, полученные в ней, позволяют провести проверку моделей непертурбативных процессов квантовой хромодинамики (КХД), множественного образования частиц, проверку теоремы СРТ инвариантности и лептонную инвариантность, являющуюся одним из основных свойств стандартной модели. Результаты диссертации могут быть использованы при анализе процессов, регистрируемых на Большом адронном коллайдере и других экспериментальных установках.

Диссертация состоит из 7-и глав, введения и заключения, изложена на 226 страницах, содержит 123 библиографических ссылки. Во **введении** даны общая характеристика работы и описание структуры диссертации. В **первой главе** приведено описание эксперимента Belle на коллайдере КЕКВ, трековая система и детекторы, используемые для идентификации частиц. Во **второй главе** описана установка DELPHI на коллайдере LEP. Помимо характеристик детекторов, описаны триггер установки, системы сбора данных, алгоритмы идентификации и моделирование детекторов. **Третья глава** содержит результаты измерения эксклюзивных реакций  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta'$ ,  $e^+e^- \rightarrow \rho\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \rho\eta'$  при энергии взаимодействий 10.58 ГэВ на установке Belle. В **четвертой главе** приведены результаты анализа адронных распадов Z-бозона, поиска экзотических пятикварковых состояний на установке DELPHI. **Пятая глава** содержит анализ инклюзивных и полуинклюзивных реакций фотон-фотонных взаимодействий, выделенных с помощью установки DELPHI в  $e^+e^-$  соударениях при энергии 190 ГэВ, а также поиск состояния  $\eta_b$ . В **шестой главе** приведены результаты измерения массы  $\tau$ -лептона и разности масс  $\tau^+$  и  $\tau^-$  лептонов. **Седьмая глава** содержит результаты измерения времени жизни  $\tau$ -лептона и разности времен жизни  $\tau^+$  и  $\tau^-$  лептонов. Измерения  $\tau$  лептонов выполнены в эксперименте Belle. В **Заключении** кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Несомненным достижением работы М.М.Шапкина является прецизионное измерение массы и времени жизни  $\tau$  лептонов. Эти результаты входят в таблицы мировых значений характеристик элементарных частиц (Particle Data Group), как за 2012г., так и за 2014г. Более того, по сравнению с измерениями на основе энергетической зависимости сечений  $e^+e^-$  аннигиляции, выполненных в экспериментах BES и KEDR, приведенные в диссертации результаты являются более детальными. Они содержат данные о различии масс заряженных  $\tau$  лептонов и времен жизни, что позволяет сделать заключение о лептонной инвариантности и установить экспериментальное ограничение на точность выполнения СРТ инвариантности.

Достоинством работы М.М.Шапкина является широкий спектр исследованных реакций  $e^+e^-$  аннигиляции. Свойства этих реакции характеризуют область непertурбативной квантовой хромодинамики (КХД), наиболее сложно поддающейся теоретическому описанию. Это придает дополнительную значимость полученным экспериментальным результатам.

Основными результатами диссертации являются:

- Измерены сечения реакций  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \phi\eta'$ ,  $e^+e^- \rightarrow \rho\eta$ ,  $e^+e^- \rightarrow \rho\eta'$  при энергии взаимодействий 10.58 ГэВ, показано, что отсутствует универсальная энергетическая зависимость сечений этих реакций в исследованной области 2 – 11 ГэВ, для отношений сечений  $\eta$  и  $\eta'$  найдено расхождение с теоретическими предсказаниями;
- Обнаружены состояния  $f_1(1285)$  и  $f_1(1420)$  в распадах Z-бозонов, измерены их средние множественности, показан незначительный вклад странных кварков в эти состояния;
- Для взаимодействий фотонов в процессе в  $e^+e^-$  аннигиляции при энергиях 161-207 ГэВ измерено инклюзивное образование J/Ψ-мезонов, описание характеристик реакции получено при учете глюонной составляющей фотона, показано лучшее согласие результатов с теорией при учете цветовых октетных состояний;
- Получены дифференциальные сечения заряженных адронов в фотон-фотонных взаимодействиях в процессе в  $e^+e^-$  аннигиляции при энергии 190 ГэВ, показан высокий уровень систематических неопределенностей

измерений для области больших поперечных импульсов фотонов; установлен верхний предел на сечение процесса  $\gamma\gamma \rightarrow \eta_b$  для событий с множественностью заряженных частиц 4, 6 и 8;

- Измерена масса  $\tau$  лептона на мировом уровне точности и получено ограничение для величины разности масс заряженных  $\tau$  лептонов на уровне, превышающем мировой, существовавший ранее, это ограничение имеет в настоящее время статус мирового достижения;
- Выполнены измерения времени жизни  $\tau$  лептона на мировом уровне точности, впервые измерена разность времен жизни  $\tau^+$  и  $\tau^-$  лептонов, получено мировое значение на относительную величину этой разности по сравнению с временем жизни  $\tau$  лептона.

Результаты работы докладывались на крупнейших конференциях физики высоких энергий, в том числе международных конференциях по физике высоких энергий ICHEP 2004 и 2010гг., представляют передовой уровень исследований в этой области.

Анализ экспериментальных данных выполнен с использованием современных компьютерных алгоритмов, показывают высокий уровень владения автором экспериментальным материалом, знание методики эксперимента и методов физического анализа. В работе проведен тщательный анализ различного рода погрешностей при получении результатов. Впервые применен парциально-волновой анализ для анализа резонансных состояний в распадах  $Z$ -бозонов.

В качестве замечаний к работе можно отметить следующее.

1. Отсутствует размерность для вертикальной оси  $dE/dx$  и обозначение для потерь мюонов на рис.1.3.
2. На стр. 104 приведена ссылка на рис.5.3 вместо рисунка 5.4.
3. В разделе 6.4 приведен окончательный результат для массы  $\tau$  лептона  $1776.61 \pm 0.13 \pm 0.35$  ГэВ, а в Заключение к разделу 6 приведено значение массы  $1776.71 \pm 0.13 \pm 0.32$  ГэВ. Отметим, что оба значения согласуются с мировой величиной PDG за 2014г., составляющей  $1776.82 \pm 0.16$  ГэВ, но неясно, что является результатом работы.

В тексте диссертации присутствуют опечатки, например на стр. 9,15, 20, 21, 26, 29, 33 и т.д., но в целом это не мешает чтению, диссертация написана хорошим литературным языком, свободна от использования англицизмов.

Указанные замечания не снижают высокого качества проведенных исследований.  
Результаты опубликованы.

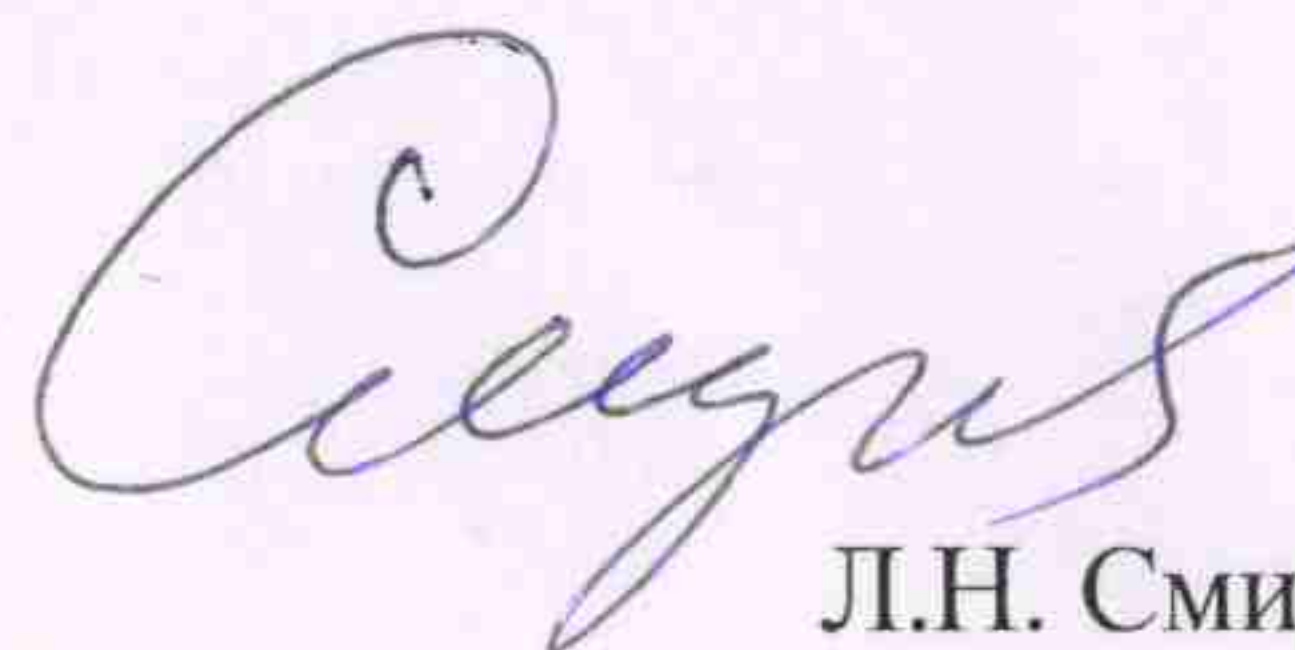
Личный вклад автора не вызывает сомнений.

Автореферат отражает содержание диссертации.

Результаты, полученные автором диссертации, могут быть использованы при проведении, планировании и анализе экспериментов как в нашей стране в Национальном Исследовательском Центре «Курчатовский институт», ОИЯИ, ФИАН, НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН, так и за рубежом.

Таким образом, диссертация Михаила Михайловича Шапкина на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены достоверные и научно-обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие научного потенциала страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент  
Профессор, доктор физ.-мат. наук



Л.Н. Смирнова

Декан физического факультета МГУ  
Профессор



Н.Н. Сысоев

20 января 2015 г.