

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента на диссертацию**

Шматова Сергея Владимировича

на тему «Исследование процессов парного рождения мюонов в эксперименте CMS на Большом адронном коллайдере»

по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

### **Актуальность темы**

Диссертация посвящена поиску новой физики с использованием данных эксперимента CMS. Эта тематика является центральной для физики элементарных частиц и, в частности, для эксперимента CMS. Факт выполнения автором исследований по этой центральной тематике свидетельствует о его высоком авторитете в международном сотрудничестве CMS, а также о признании вклада всей группы ОИЯИ в создание этого эксперимента.

### **Обоснованность научных выводов, достоверность результатов**

Работа по подготовке физической программы по изучению процесса Дрелла-Яна и по поиску новой физики в конечном состоянии с двумя мюонами выполнена широко и исчерпывающе. При анализе данных эксперимента CMS выполнено много проверок. Так эффективность реконструкции и триггера определяется при помощи контрольных процессов из данных; также из данных найдено разрешение по массе пары  $\mu^+\mu^-$  и фон. В работе используются самые современные методы статистического анализа. Все это позволяет заключить, что результаты являются достоверными. Еще одно свидетельство этому – хорошее согласие с результатами эксперимента ATLAS.

### **Новизна полученных результатов**

В работе получен целый ряд новых результатов, среди них:

1. Впервые измерены дифференциальные, дважды дифференциальные сечения и асимметрия вперед-назад для процесса Дрелла-Яна в новой кинематической области, ставшей доступной на LHC. На основании этих данных уточнены функции распределения партонов в протоне.

2. Впервые при рекордной энергии LHC выполнен поиск сигналов новой физики в канале  $\mu^+\mu^-$ ; рассмотрена возможность как резонансного, так и нерезонансного сигнала. Поставлены ограничения на параметры различных моделей.

3. Впервые в новой кинематической области выполнен поиск микроскопических черных дыр при помощи изучения многочастичных конечных состояний; поставлены верхние пределы на соответствующие сечения и параметры моделей.

В первой части работы выполнены пионерские исследования по возможности проведения этих исследований. Новизна полученных результатов не вызывает сомнений.

## **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Разработанные в первой части методы восстановления жестких мюонов используются при получении результатов, представленных во второй части диссертации, а также во всех остальных анализах эксперимента CMS с мюонами в конечном состоянии. Разработанная программа исследований используется при планировании работы эксперимента CMS. Физические результаты позволили повысить точность в функциях партонных распределений; что уточнит предсказания Стандартной Модели. Принципиально важны результаты об отсутствии сигналов новой физики и ограничения на параметры соответствующих моделей: они стимулируют дальнейшее развитие теории. Исходя из этих результатов планируется дальнейшая работа LHC, в частности, набор данных с повышенной светимостью. Полученные результаты вошли в обзоры Particle Data Group.

## **Оценка содержания диссертации, её завершенность**

Исследования, представленные в первой части диссертации, были выполнены до начала набора данных на ускорителе и легли в основу документа CMS Physics Technical Design Report. Разработанные методы анализа и теоретические расчеты были затем использованы во второй части, где получены важные физические результаты по исследованию конечных состояний с мюонными парами и многочастичных конечных состояний. Таким образом, работа представляет собой полное и завершенное исследование.

## **Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

В работе представлен очень большой объем исследовательской работы, получены важные результаты. Работа включает не только чисто экспериментальные исследования, но и теоретические расчеты. Автор представил исключительно подробный обзор теоретических моделей физики за пределами Стандартной модели. Обзор написан педагогично, и его интересно читать неспециалисту в этой области. Все физические анализы производят очень хорошее впечатление своей надежностью: результаты моделирования для эффективности, разрешения, уровня фона и др. проверяются на данных при помощи различных контрольных процессов. Хочется отметить проработанность анализов: работы по поиску новой физики не просто констатируют факт отсутствия сигнала и устанавливают верхний предел на экспериментально наблюдаемые величины, но и содержат теоретический анализ полученных результатов с постановкой ограничений на параметры моделей.

Диссертация имеет удобную для восприятия структуру, все главы содержат вводные части и заключения, имеется много таблиц и рисунков. Диссертацию интересно читать.

Выскажем несколько замечаний.

В диссертации имеется ряд опечаток. Например, на стр. 58 неправильно указан размер области взаимодействия пучков вдоль оси Z; на Рис.4.79 одна из кварковых линий подписана как глюонная; в формуле для сечения на стр. 241 вместо  $w_d$  должно быть  $w_u$ . Отметим, что общее количество опечаток мало.

На стр. 159 при оценке ожидаемой значимости сигнала новой частицы не обсуждается эффект многократного поиска (“look elsewhere effect”).

На Рис. 5.136 имеется надпись “CMS Preliminary”, в то время как заглавие этого рисунка содержит ссылку на опубликованную работу.

Для уменьшения систематических погрешностей сечения во всей области масс мюонов нормированы на сечение в области  $Z^0$ -бозона (например, стр. 211). Не объясняется, почему систематическая погрешность в области  $Z^0$  мала.

Нет ссылки на источник Рис.6.163.

Среди основных результатов Главы 6 упоминается постановка ограничения на массу резонансных состояний со спином 2 в зависимости от констант связи этой частицы (т.е. гравитона) с материей. Однако соответствующая картинка в диссертацию не включена. (Имеется ее аналог для спина 1.)

Перечисленные недостатки имеют, в основном, оформительский характер и не являются существенными.

**Автореферат** полностью соответствует основному содержанию диссертации.

### Заключение

Диссертация Шматова Сергея Владимировича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой разработана физическая программа исследований в конечном состоянии с парой мюонов и выполнен поиск новой физики в эксперименте CMS; полученные результаты исключительно важны для изучения микромира и развития физики элементарных частиц, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,  
Мизюк Роман Владимирович,  
доктор физико-математических наук,  
специальность 01.04.23 - физика высоких энергий,  
член-корреспондент Российской академии наук,  
почтовый адрес: г. Москва, Плавский проезд, 1/292,  
телефон: +7(903)7752946,  
адрес электронной почты: mizuk@lebedev.ru  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт имени П. Н. Лебедева  
Российской академии наук, г. Москва,  
главный научный сотрудник  
лаборатории тяжелых кварков и лептонов

18.09.2019

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**

Ученый секретарь

Колобов А. В.



Р. В. Мизюк

### Список основных публикаций за 2014 – 2019 годы

член-корреспондента РАН, доктора физико–математических наук, главного научного сотрудника  
Лаборатории тяжелых кварков и лептонов ФГБУН Физического института им. П. Н. Лебедева РАН  
Мизюка Романа Владимировича по теме диссертации Шматова Сергея Владимировича «Исследование  
процессов парного рождения мюонов в эксперименте CMS на Большом адронном коллайдере»,  
представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по  
специальности 01.04.16 – «физика атомного ядра и элементарных частиц».

1. Y. B. Li et al. (Belle Collab.), "Observation of  $\Upsilon_c(2930)0$  and updated measurement of  $B \rightarrow K^- \Lambda_c^+ \Lambda_c^-$  at Belle", Eur. Phys. J. C **78** (2018) 252.
2. Y. Kato et al. (Belle Collab.), "Measurements of the absolute branching fractions of  $B^+ \rightarrow X_c K^+$  and  $B^+ \rightarrow D^{*0} \pi^+$  at Belle", Phys. Rev. D **97** (2018) 012005.
3. V. Zhukova et al. (Belle Collab.), "Angular analysis of the  $e^+e^- \rightarrow D^{(*)\pm} D^{*\pm}$  process near the open charm threshold using initial-state radiation", Phys. Rev. D **97** (2018) 012002.
4. E. Guido et al. (Belle Collab.), "Study of eta and dipion transitions in Upsilon(4S) decays to lower bottomonia", Phys. Rev. D **96** (2017) 052005.
5. K. Chilikin et al. (Belle Collab.), "Observation of an alternative  $\chi_{c0}(2P)$  candidate in  $e^+e^- \rightarrow J/\psi D\bar{D}$ ", Phys. Rev. D **95** (2017) 112003.
6. A. E. Bondar, R. V. Mizuk and M. B. Voloshin, "Bottomonium-like states: Physics case for energy scan above the  $B\bar{B}$  threshold at Belle-II", Mod. Phys. Lett. A **32** (2017) 1750025.
7. A. Garmash et al. (Belle Collab.), "Observation of  $Z_b(10610)$  and  $Z_b(10650)$  Decaying to B Mesons", Phys. Rev. Lett. **116** (2016) 212001.
8. V. Bhardwaj et al. (Belle Collab.), "Inclusive and exclusive measurements of B decays to  $\chi_{c1}$  and  $\chi_{c2}$  at Belle," Phys. Rev. D **93** (2016) 052016.
9. V. Chobanova et al. (Belle Collab.), "First observation of the decay  $B^0 \rightarrow \psi(2S)\pi^0$ ", Phys. Rev. D **93** (2016) 031101.
10. R. Mizuk et al. (Belle Collab.), "Energy scan of the  $e^+e^- \rightarrow hb(nP)\pi^+\pi^-$  ( $n=1,2$ ) cross sections and evidence for  $\Upsilon(11020)$  decays into charged bottomonium-like states," Phys. Rev. Lett. **117** (2016) 142001.
11. U. Tamponi et al. (Belle Collab.), "First observation of the hadronic transition  $\Upsilon(4S) \rightarrow \eta hb(1P)$  and new measurement of the  $hb(1P)$  and  $\eta b(1S)$  parameters," Phys. Rev. Lett. **115** (2015) 142001.
12. D. Santel et al. (Belle Collab.), "Measurements of the  $\Upsilon(10860)$  and  $\Upsilon(11020)$  resonances via  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^+\pi^-)$ ", Phys. Rev. D **93** (2016) 011101.
13. X. L. Wang et al. (Belle Collab.), "Measurement of  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\psi(2S)$  via Initial State Radiation at Belle", Phys. Rev. D **91** (2015) 112007.
14. K. Chilikin et al. (Belle Collab.), "Observation of a new charged charmoniumlike state in  $B^0 \rightarrow J/\psi K^- \pi^+$  decays", Phys. Rev. D **90** (2014) 112009.