

Заявка на участие в конкурсе научно-исследовательских работ  
НИЦ «Курчатовский институт» - ИТЭФ в разделе лучшая  
экспериментальная работа

Изучение распадов  $B_s^0$ -мезонов с чармонием и многочастичными  
адронными состояниями в эксперименте LHCb

Автор работы:  
Беляев И.М.,  
Голубков Д. Ю.,  
Матюнин В.И.  
Никитин Н.В.,  
Овсянникова Т. А.,  
Перейма Д.Ю.,  
Саврина Д. В.

Москва 2021

## Краткий реферат работы

Изучение распадов  $B_s^0$ -мезонов с чармонием и многочастичными адронными состояниями в эксперименте LHCb

## Аннотация

Распады прелестных адронов в конечные состояния, содержащие  $c$  и анти- $c$  кварки, представляют собой уникальную лабораторию для изучения свойств чармониев и чармониеподобных состояний. В таких распадах было обнаружено большое количество новых состояний, в том числе частица  $\chi_{c1}(3872)$ , пентакварки и многочисленные кандидаты в тетракварки, а также обычные чармониевые состояния. Природа многих экзотических чармониеподобных кандидатов остается неясной. Сравнение парциальных ширин таких систем по сравнению с обычными состояниями чармония в распадах прелестных адронов может пролить свет на механизмы их образования.

Данная работа посвящена исследованию распадов  $B_s^0$  мезона в много-частичное конечное состояние  $J/\psi \pi^+ \pi^- K^+ K^-$  на данных эксперимента ЛНСб, набранных при энергии протон-протонных ( $pp$ ) столкновений в системе центра масс 7, 8 и 13 TeV и соответствующих интегральной светимости порядка  $9 \text{ fb}^{-1}$ . В ходе исследования были измерены отношения парциальных ширин нескольких новых каналов. Проведено измерение массы  $B_s^0$  мезона с рекордной точностью. Впервые обнаружен кандидат на новое состояние  $X(4740)$  в спектре инвариантной массы  $J/\psi \phi$  системы. Более подробно с результатами представленного анализа можно ознакомиться в работе [1].

Распады прелестных адронов являются уникальной системой для изучения очарованных мезонов и поиска новых экзотических мезонов. Особый интерес представляет узкое состояние  $\chi_{c1}(3872)$ , которое было открыто коллаборацией Belle в распадах  $B^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+$  через распад  $\chi_{c1}(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$ . Состояние  $\chi_{c1}(3872)$  также было экспериментально зарегистрировано в распадах прелестных мезонов, в прямых протон-протонных и протон-антипротонных столкновениях. Несмотря на значительный объем полученных экспериментальных данных, природа этого состояния по-прежнему остается загадочной и не ясной. Измерение новых распадов через это состояние может помочь в определении его природы.

Кроме того, в 2016 году эксперимент LHCb обнаружил четыре тетракварка  $\chi_{c1}(4140)$ ,  $\chi_{c1}(4274)$ ,  $\chi_{c0}(4500)$  и  $\chi_{c0}(4700)$  в распадах заряженных прелестных мезонов в конечное состояние  $B^+ \rightarrow J/\psi \phi K^+$ . Учитывая значительный теоретический интерес к возможным экзотическим адронным состояниям, распадающимся на  $J/\psi \phi$  систему, изучение массового распределения такой системы поможет прояснить довольно неоднозначную экспериментальную ситуацию связанную со структурами в спектре масс  $J/\psi \phi$  комбинации.

Данная работа посвящена исследованию распадов  $B_s^0$  мезона в многочастичное конечное состояние  $J/\psi \pi^+ \pi^- K^+ K^-$  на данных эксперимента LHCb, набранных при энергии протон-протонных (pp) столкновений в системе центра масс 7, 8 и 13 TeV и соответствующих интегральной светимости порядка  $9 \text{ fb}^{-1}$ . В ходе исследования были проведены следующие ключевые этапы:

- Впервые обнаружены распады  $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^{*0} \bar{K}^{*0}$  и  $B_s^0 \rightarrow \chi_{c1}(3872)(K^+ K^-)$ , где пара  $K^- K^+$  не происходит из распадов  $\phi$  мезонов;
- поиск экзотических состояний на массе  $J/\psi \phi$ ;
- измерены отношения парциальные ширины нескольких  $B_s^0$  распадов.
- измерение массы  $B_s^0$ ;

В результате перечисленных выше этапов, были измерены отношения парциальных ширин нескольких новых каналов:

$$\begin{aligned} \frac{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow \chi_{c1}(3872)\phi} \times \mathcal{B}_{\chi_{c1}(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-}}{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi} \times \mathcal{B}_{\psi(2S) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-}} &= (2.42 \pm 0.23 \pm 0.07) \times 10^{-2}, \\ \frac{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow J/\psi K^{*0} \bar{K}^{*0}} \times \mathcal{B}_{K^{*0} \rightarrow K^+ \pi^-}^2}{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi} \times \mathcal{B}_{\psi(2S) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-} \times \mathcal{B}_{\phi \rightarrow K^+ K^-}} &= 1.22 \pm 0.03 \pm 0.04, \\ \frac{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow \chi_{c1}(3872)(K^+ K^-)_{\text{non-}\phi}}}{\mathcal{B}_{B_s^0 \rightarrow \chi_{c1}(3872)\phi} \times \mathcal{B}_{\phi \rightarrow K^+ K^-}} &= 1.57 \pm 0.32 \pm 0.12, \end{aligned}$$

где первая ошибка статистическая, а вторая систематическая.

В распадах  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \phi$  был произведен поиск новых экзотических состояний в спектре масс  $J/\psi \phi$  комбинации и было обнаружено значительное превышение количества событий над фазовым объемом, в районе массы  $4.74 \text{ GeV}/c^2$  со статистической значимостью  $5.3 \sigma$ . В рамках проверок данного анализа наличие обнаруженного пика не может быть объяснено гипотезами об отражениях из известных каналов. Измеренные масса и ширина данного пика:

$$\begin{aligned} m_{X(4740)} &= 4741 \pm 6 \pm 6 \text{ GeV}/c^2, \\ \Gamma_{X(4740)} &= 53 \pm 15 \pm 11 \text{ MeV}. \end{aligned}$$

в пределах ошибок согласуется с параметрами обнаруженного в эксперименте LHCb тетракварка  $\chi_{c0}(4700)$ . Однако на данный момент параметры  $\chi_{c0}(4700)$  измерены с недостаточной точностью, чтобы можно было отождествить эти два состояния. Также ширина и масса структуры согласуется с теоретическим предсказанием  $2^{++}$  состояния  $c\bar{s}c\bar{s}$ . Для того, чтобы учесть все сложные эффекты интерференции и установить является ли данное состояние новым или уже известным  $\chi_{c0}(4700)$ , требуется проведение полного амплитудного анализа.

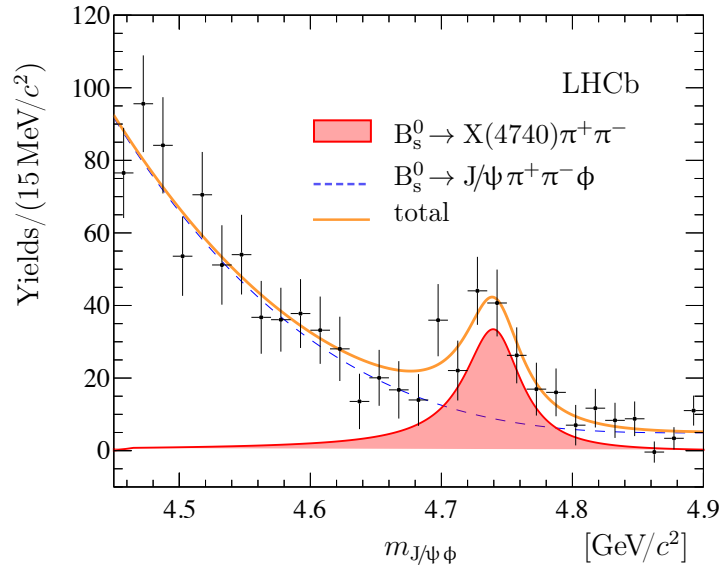


Рис. 1: Распределения по массе  $J/\psi \phi$  комбинации после вычитания фона отобранных  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- \phi$  кандидатов (точки с ошибками). Аппроксимация показана цветом [1].

Наконец было измерено значение массы  $B_s^0$  мезона с рекордной на текущий момент времени точностью с помощью распадов  $B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi$ :

$$m_{B_s^0} = 5366.98 \pm 0.07 \pm 0.13 \text{ MeV}/c^2,$$



где первая ошибка статистическая, вторая систематическая. Результаты данной работы опубликованы в журнале ЖНЕР [1].

От коллектива авторов  
И. Обединова

# Литература

- [1] R. Aaij, et al. Study of  $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- K^+ K^-$  decays. JHEP, **02 (2021)** 024.