

## БАРИОННЫЕ РАСПАДЫ $b$ -МЕЗОНОВ С $J/\psi$ В КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ

А. А. Нигамова<sup>1</sup>, Р. Н. Чистов<sup>1,2</sup>

*Данная работа посвящена экспериментальной ситуации в области барионных распадов  $b$ -мезонов. Обсуждены основные свойства данных распадов и теоретические модели, объясняющие данные свойства. Особенно отмечены барионные распады  $b$ -мезонов с  $J/\psi$  в конечном состоянии, позволяющие проводить поиски экзотических резонансных состояний в системе  $J/\psi + \text{барион}$ .*

**Ключевые слова:** распады  $b$ -мезонов, распады прелестных мезонов.

1. *Введение.* В Стандартной Модели барионы могут рождаться только парами барион–антибарион ( $B\bar{B}$ ). Таким образом, для многих мезонов кинематически невозможно распадаться в конечное состояние  $B\bar{B}$  из-за недостаточной массы. Однако из-за своей большой массы все  $b$ -мезоны могут распадаться в барионное конечное состояние. В процессе изучения данных распадов были обнаружены их уникальные свойства. Первые экспериментальные данные по барионным распадам  $b$ -мезонов были получены коллаборациями CLEO [1] и ARGUS [2]. Затем большую роль в уточнении результатов CLEO и ARGUS, а также получении новых сыграли коллаборации Belle и BaBar. В данной работе будут обсуждены основные свойства барионных распадов  $b$ -мезонов. Особое внимание будет уделено барионным распадам с  $J/\psi$  в конечном состоянии, так как эти распады интересны с точки зрения спектроскопии экзотических резонансов.

2. *Особые свойства барионных распадов и их объяснение.* В данном разделе будут перечислены и объяснены экспериментально обнаруженные свойства барионных распадов  $b$ -мезонов.

2.1 *Пороговое усиление.* Усиление в распределении по инвариантной массе пары барион–антибарион было обнаружено для барионных распадов с различной множественностью [5]. Это явление объясняется следующими механизмами. Для начала рассмотрим двухчастичные распады. Чтобы образовать пару  $B\bar{B}$  в конечном состоянии,

<sup>1</sup> НИЯУ МИФИ, 115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: aliya.nigamova@cern.ch.

<sup>2</sup> ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53.

нужно испустить два глюона, однако такой процесс подавлен как  $\frac{\alpha_s}{q^2}$ , откуда следует, что испускание энергичных глюонов подавлено. В случае трехчастичных распадов вида  $b$ -мезон  $\rightarrow B\bar{B} +$  мезон кварки испускаются в узком пучке и в обратном направлении относительно направления мезона, в этом случае глюоны, испускаемые кварками, не должны быть энергичными. Однако то, что глюоны испускаются в узком пучке, результируется в малых значениях инвариантной массы  $M(B\bar{B})$ . Поэтому события группируются в области малых инвариантных масс. Оказавшись на малом расстоянии, кварки сильно взаимодействуют. Именно этим объясняется форма порогового усиления [3].

2.2 *Иерархия вероятности распада в зависимости от его множественности.* Оказалось, что распады с большей множественностью происходят чаще, чем подобные распады с меньшей множественностью [5]. Данное явление было обнаружено, например, в следующих распадах:

$$\begin{aligned} V(B^- \rightarrow p\bar{p}\pi^-) &\gg V(B^0 \rightarrow p\bar{p}), \\ V(B^- \rightarrow \Lambda\bar{p}\pi^-) &\gg V(B^0 \rightarrow \Lambda\bar{p}), \\ V(\bar{B}^0 \rightarrow \Lambda_c^+\bar{p}\pi^-\pi^+) &\gg V(\bar{B}^0 \rightarrow \Lambda_c^+\bar{p}\pi^0) \gg V(\bar{B}^0 \rightarrow \Lambda_c^+\bar{p}). \end{aligned}$$

Явление иерархии является прямым следствием явления порогового усиления [5]. Так как в результате явления порогового усиления события стремятся группироваться в области малых инвариантных масс, область массы  $b$ -мезона остается обедненной в случае двухчастичного распада. Если же в конечном состоянии присутствует дополнительно мезон, то он уносит энергию, распад становится менее подавленным. Подобные рассуждения также справедливы для распадов с большей множественностью. Кроме этого, распады с большой множественностью насыщаются промежуточными резонансами.

3. *Особая роль барионных распадов с  $J/\psi$  мезоном в конечном состоянии.* Барионные распады с  $J/\psi$  мезоном в конечном состоянии позволяют изучать систему  $J/\psi +$  барион, внимание на которую обратила коллаборация LHCb, опубликовав в 2015 году статью об обнаружении двух кандидатов в пентакварки  $P_c^+(4380)$  и  $P_c^+(4450)$  в инвариантной массе  $J/\psi p$  в распаде  $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^-$  [4].

Первый барионный распад  $b$ -мезона с  $J/\psi$  в конечном состоянии  $B^- \rightarrow J/\psi \Lambda\bar{p}$  был обнаружен коллаборацией Belle в 2005 году [6]. Ожидалось, что данный распад сможет объяснить расхождения с теоретическими предсказаниями в спектре импульса  $J/\psi$  мезона в распадах  $B \rightarrow J/\psi + X$ . Был обнаружен избыток мягких  $J/\psi$ . Однако измеренная величина вероятности распада  $V(B^- \rightarrow J/\psi \Lambda\bar{p}) = 11.6 \pm 2.8(\text{stat.}) \pm_{-2.3}^{+1.8}(\text{syst.}) \times 10^{-6}$

оказывается недостаточной для объяснения данного явления. Изучение данного распада коллаборацией Belle проводилось в том числе с целью изучения промежуточных двухчастичных состояний  $J/\psi\Lambda$ ,  $J/\psi\bar{p}$  и  $\bar{p}\Lambda$  на предмет наличия в них промежуточных резонансов. Однако недостаточный уровень статистики в сигнале не позволил провести анализ промежуточных двухчастичных состояний.

В последние годы коллаборацией LHCb были опубликованы важные результаты по исследованиям и поиску барионных распадов. Например, были установлены верхние пределы вероятностей следующих распадов:

$$B(B^0 \rightarrow J/\psi p\bar{p}) < 5.2(6.0) \times 10^{-7} \text{ at } 90\%(95\%) \text{ CL},$$

$$B(B_s \rightarrow J/\psi p\bar{p}) < 4.8(5.3) \times 10^{-6} \text{ at } 90\%(95\%) \text{ CL},$$

$$B(B^+ \rightarrow J/\psi p\bar{p}\pi^+) < 5.0(6.1) \times 10^{-6} \text{ at } 90\%(95\%) \text{ CL [7].}$$

А также был обнаружен первый барионный распад  $B_c^+$  мезона в конечное состояние  $J/\psi p\bar{p}\pi^+$ , была измерена относительная вероятность данного распада  $\frac{B(B_c^+ \rightarrow J/\psi p\bar{p}\pi^+)}{B(B_c^+ \rightarrow J/\psi\pi^+)} = 0.143_{-0.034}^{+0.039}(\text{stat.}) \pm 0.013(\text{syst.})$  [8]. Однако анализ промежуточных состояний был невозможен из-за недостаточной статистики в сигнале.

С точки зрения поиска резонансов в системе  $J/\psi$  + барион также важно отметить распад  $\Xi_b^- \rightarrow J/\psi\Lambda K^-$ , который является аналогом распада  $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^-$  с учетом замены u-кварка на s-кварк в конечном состоянии. Данный распад был обнаружен коллаборацией LHCb [9] с небольшим уровнем статистики в сигнале. Измерена относительная вероятность распада. С увеличением статистики распад  $\Xi_b^- \rightarrow J/\psi\Lambda K^-$  позволит проводить поиск партнеров уже обнаруженных кандидатов в пентакварки  $P_c^+(4380)$  и  $P_c^+(4450)$  в инвариантной массе  $J/\psi\Lambda$ .

4. *Заключение.* Получение новых экспериментальных результатов в области барионных распадов  $b$ -мезонов и уточнение уже имеющихся является крайне важной задачей для совершенствования понимания КХД. Также барионные распады  $b$ -мезонов интересны с точки зрения поиска новых экзотических резонансов.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] G. Crawford et al. (CLEO Collaboration), Phys. Rev. D **45**, 752 (1992).

- [2] ARGUS Collaboration, AIP Conf. Proc. **196**, 136 (1989).
- [3] Vincenzo Laporta, Int. J. Mod. Phys. **A22**, 5401 (2007).
- [4] LHCb Collaboration, Phys. Rev. Lett. **115**, 072001 (2015).
- [5] A. J. Bevan et al., Eur. Phys. J. **C74**, 3026 (2014).
- [6] Belle Collaboration, Phys. Rev. **D72**, 051105 (2005).
- [7] LHCb Collaboration, JHEP **09**, 006 (2013).
- [8] LHCb Collaboration, Phys. Rev. Lett. **113**(15), 152003 (2014).
- [9] LHCb Collaboration, Phys. Lett. **B772**, 265 (2017).

Поступила в редакцию 15 августа 2018 г.

После доработки 5 марта 2019 г.

Принята к публикации 5 марта 2019 г.

*Публикуется по результатам VII межинститутской молодежной конференции “Физика элементарных частиц и космология 2018” (ФИАН, Москва).*