

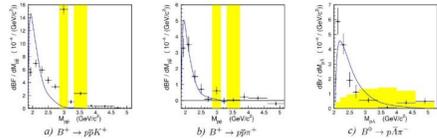
Изучение распадов $B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$ и $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$ с детекторами Belle и Belle II

К. С. Гудкова, А. С. Кузьмин и коллаборация Belle II

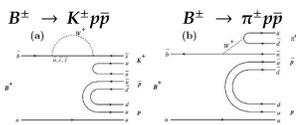
Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Введение

Особенностью многих трёхчастичных распадов В-мезонов, а также распадов чармониев с барионами в конечном состоянии является широкий пик в спектре инвариантных масс пары барион-антибарион вблизи порога.



Существует ряд гипотез о механизме возникновения усиления (глюонный резонанс, связанное состояние барионов, влияние сильного взаимодействия барионов в конечном состоянии).



Цель работы:

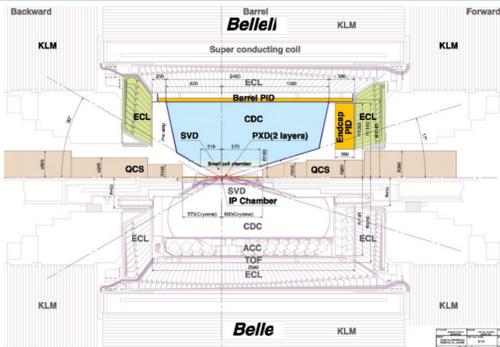
- Измерить бранчинг распадов $B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$ и $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$ как функцию инвариантной массы $p\bar{p}$ с использованием статистики экспериментов Belle $((772 \pm 11) \cdot 10^6 B \bar{B}$ пар) и Belle II $((387 \pm 11) \cdot 10^6 B \bar{B}$ пар)
- Сравнить результат с предсказанием теоретической модели (В. Ф. Дмитриев, А. И. Мильштейн, С. Г. Сальников, Phys. Lett., B760, 2016 г.)

Стратегия анализа

“Слепой анализ”: экспериментальные данные из сигнальной области закрыты до одобрения коллаборации.

- Оптимизация критериев отбора: сигнальное моделирование Монте-Карло (10^7 для Belle, 6.6×10^6 для Belle II) как источник сигнала; экспериментальные данные из внесигнальной области как источник фона.
- Эффективность восстановления сигнала: сигнальное Монте-Карло.
- Проверка процедуры реконструкции: дженерик моделирование Монте-Карло $e^+e^- \rightarrow hadrons$ (в 6 раз больше экспериментальной статистики для Belle, в 4 - для Belle II).

Детекторы Belle и Belle II



Схемы детектора Belle II (верхняя половина) и Belle (нижняя половина). PXD - пиксельный вершинный детектор, SVD - полосковый вершинный детектор, CDC - дрейфовая камера, TOF - времяпролетная система, ACC - аэрогелевые пороговые черенковские счётчики, ECL - электромагнитный калориметр, KLM - мюонная система

Отбор сигнальных событий

	Belle	Belle II
трек	$ p_\perp > 100$ МэВ/с, $\Delta r < 0.3$ см, $ \Delta z < 2.0$ см	$ p_\perp > 100$ МэВ/с, $\Delta r < 0.15$ см, $ \Delta z < 0.2$ см
каон	$L(K:\pi) > 0.6$	$PID_{NN}(K) > 0.5$
пион	$L(\pi:K) > 0.3$	$PID_{NN}(\pi) > 0.2$
протон	$L(p:K) > 0.7$ и $L(p:\pi) > 0.7$	$PID_{NN}(p) > 0.6$
подавление континуума	$B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$: $P_{NN} > 0.79$ $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$: $P_{NN} > 0.95$	$B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$: $P_{NN} > 0.65$ $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$: $P_{NN} > 0.92$

$$L(K:\pi) = \frac{L_K}{L_K + L_\pi}, \quad PID_{NN}(K) = \frac{L_K}{L_K + L_{\pi^+} + L_{p^+} + L_{e^+} + L_{\mu^+} + L_d}$$

(L_i - функция правдоподобия i-й частицы)

Подавление фона континуума - классификатор на основе многослойного перцептрона (переменные, описывающие топологию события) P_{NN}

Широкая область подгонки:

$$|\Delta E| < 0.1 \text{ ГэВ} (\Delta E = \sum E_i - E_{beam})$$

$$5.26 \text{ ГэВ}/c^2 < M_{bc} < 5.29 \text{ ГэВ}/c^2 (M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - |\sum \vec{P}_i|^2})$$

Сигнальная область:

$$|\Delta E| < 0.05 \text{ ГэВ}$$

$$5.27 \text{ ГэВ}/c^2 < M_{bc} < 5.29 \text{ ГэВ}/c^2$$

Внесигнальная область:

$$0.05 \text{ ГэВ} < \Delta E < 0.1 \text{ ГэВ} \cup -0.1 \text{ ГэВ} < \Delta E < -0.05 \text{ ГэВ} (0.05 \text{ ГэВ} < \Delta E < 0.15 \text{ ГэВ} \text{ для } B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p})$$

$$5.27 \text{ ГэВ}/c^2 < M_{bc} < 5.29 \text{ ГэВ}/c^2$$

Процедура подгонки

Двумерная небинированная подгонка распределения $M_{bc} - \Delta E$ в широкой области в каждом из 11 интервалов по инвариантной массе $p\bar{p}$.

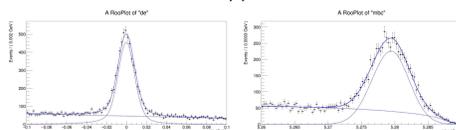
Функция подгонки по ΔE :

- Сигнал - функция Crystal Ball с симметричным ядром + функция Гаусса с общим средним
- Кросс-фид (события $B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$, идентифицированные как $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$) - функция Crystal Ball с симметричным ядром + функция Гаусса
- Фон - полином первой степени

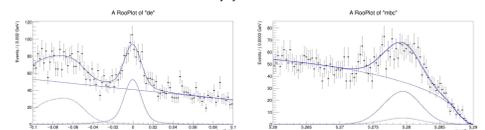
Функция подгонки по M_{bc} :

- Сигнал - асимметричная функция Гаусса
- Кросс-фид - асимметричная функция Гаусса
- Фон - взвешенная сумма 20 функций ARGUS с общей кривизной (учёт разброса энергии пучков в с.ц.м.)

$B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$, Belle II



$B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$, Belle II



Предварительные результаты на дженерик Монте-Карло

$B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$, Belle

$m_{p\bar{p}}$ (GeV/c ²)	Signal yield	Number of truth matched events
1.876 - 2	-3 ± 10	0
2 - 2.2	13 ± 16	0
2.2 - 2.4	4 ± 17	0
2.4 - 2.6	-9 ± 16	0
2.6 - 2.85	-6 ± 15	9
2.85 - 3.128	4670 ± 73	4754
3.128 - 3.315	18 ± 13	43
3.315 - 3.735	937 ± 37	972
3.735 - 4	15 ± 11	10
4 - 4.3	-1 ± 9	0
4.3 - 4.8	-8 ± 7	0
Total	5634 ± 95	5788
Charm veto	21 ± 39	62

$B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$, Belle II

$m_{p\bar{p}}$ (GeV/c ²)	Signal yield	Number of truth matched events
1.876 - 2	31 ± 7	29
2 - 2.2	101 ± 14	107
2.2 - 2.4	161 ± 17	176
2.4 - 2.6	219 ± 19	222
2.6 - 2.85	305 ± 21	340
2.85 - 3.128	2341 ± 52	2366
3.128 - 3.315	246 ± 18	267
3.315 - 3.735	1124 ± 37	1158
3.735 - 4	386 ± 22	385
4 - 4.3	294 ± 19	299
4.3 - 4.8	195 ± 16	200
Total	5376 ± 83	5549
Charm veto	1918 ± 53	2025

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$, Belle

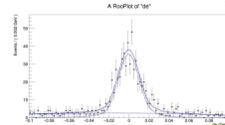
$m_{p\bar{p}}$ (GeV/c ²)	Signal yield	Number of truth matched events
1.876 - 2	-9 ± 7	0
2 - 2.2	-1 ± 13	0
2.2 - 2.4	-4 ± 15	0
2.4 - 2.6	-6 ± 15	0
2.6 - 2.85	28 ± 16	0
2.85 - 3.128	145 ± 20	143
3.128 - 3.315	-15 ± 9	0
3.315 - 3.735	-2 ± 13	1
3.735 - 4	7 ± 9	0
4 - 4.3	-13 ± 6	0
4.3 - 5.15	3 ± 7	0
Total	134 ± 42	144
Charm veto	-10 ± 34	0

$B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$, Belle II

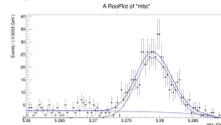
$m_{p\bar{p}}$ (GeV/c ²)	Signal yield	Number of truth matched events
1.876 - 2	0 ± 4	5
2 - 2.2	13 ± 9	22
2.2 - 2.4	15 ± 10	23
2.4 - 2.6	57 ± 13	40
2.6 - 2.85	77 ± 15	87
2.85 - 3.128	126 ± 16	147
3.128 - 3.315	78 ± 12	69
3.315 - 3.735	146 ± 15	139
3.735 - 4	63 ± 10	72
4 - 4.3	43 ± 9	54
4.3 - 5.15	46 ± 9	53
Total	660 ± 38	711
Charm veto	391 ± 31	425

Контрольный канал $B^\pm \rightarrow K^\pm J/\psi \rightarrow K^\pm p\bar{p}$

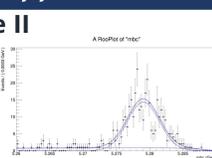
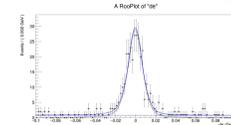
Belle



Belle II



Belle II



Эксперимент	Эффективность (%)	Число сигнальных событий	Бранчинг (10^{-6})	Бранчинг, среднеемировое значение (10^{-6})
Belle	31.1	517 ± 24	2.13 ± 0.10	
Belle II	27.9	287 ± 18	2.33 ± 0.15	2.16 ± 0.05

Результаты согласуются со среднемировым значением в пределах 1σ .

Систематические погрешности

- Статистическая погрешность числа $B \bar{B}$ пар (1.4% для Belle, 1.45% для Belle II).
- Погрешность бранчинга $\Upsilon(4S) \rightarrow B^+ B^-$ (1.2% для Belle, 2.1% для Belle II).
- Статистическая погрешность эффективности регистрации ($\sim 0.1\%$).
- Погрешность реконструкции треков (0.35% на трек для Belle, 0.27% на трек для Belle II).
- Погрешность реконструкции каонов (1.4% для Belle, 0.7% для Belle II) и пионов (1% для Belle, 0.4% для Belle II).
- Погрешность реконструкции протонов (5% на частицу для Belle, 1.4% на частицу для Belle II).
- Погрешность описания фона и сигнала.
- Погрешность условия отбора на выход нейронной сети P_{NN} .
- Погрешность выбора наилучшего кандидата.

Выводы

Была разработана процедура отбора событий процессов $B^\pm \rightarrow K^\pm p\bar{p}$ и $B^\pm \rightarrow \pi^\pm p\bar{p}$ и определения бранчинга. Процедура была проверена на статистике Монте-Карло моделирования и контрольном канале $B^\pm \rightarrow K^\pm J/\psi \rightarrow K^\pm p\bar{p}$. Также была определена эффективность регистрации в зависимости от инвариантной массы $p\bar{p}$. После внутреннего рецензирования процедура будет применена к данным экспериментов Belle и Belle II.