

Введение

Распады B -адронов с $\psi(2S)$ в конечном состоянии являются чувствительным инструментом поиска заряженных и нейтральных экзотических адронов со скрытым очарованием. Современные амплитудные анализы объединяют отдельные наблюдения в развивающуюся спектроскопию экзотических адронов.

- Экзотические адроны выходят за рамки простой $q\bar{q}$ -картины мезонов.
- Каналы с $\psi(2S)$ чувствительны к структурам со скрытым очарованием.
- CMS добавляет возможность исследования экзотики в новом канале.
- ЛHCб расширяет результаты XYZ-спектроскопии новыми амплитудными анализами.

Контекст: от первых XYZ-сигналов к $\psi(2S)$

- 2003** Belle: $X(3872)$, старт современной XYZ-спектроскопии [1].
- 2008** Belle: $Z(4430)^+$ в $\psi(2S)\pi^+$, значимость $> 6.5\sigma$ [2].
- 2009** BaBar: без убедительного подтверждения, но результат Belle не исключён [3].
- 2014** ЛHCб: резонансная природа $Z(4430)^-$, $J^P = 1^+$ [4].
- 2022** CMS: новые B -распады с $\psi(2S)$, расширение базы для дальнейших анализов [5].
- 2025** ЛHCб: полный анализ $B^+ \rightarrow \psi(2S)K^+\pi^+\pi^-$, 11 экзотических вкладов [7].
- 2026** ЛHCб: $B^+ \rightarrow \psi(2S)K_S^0\pi^+$, структура $T_{cc1}(4430)^+$ [8].

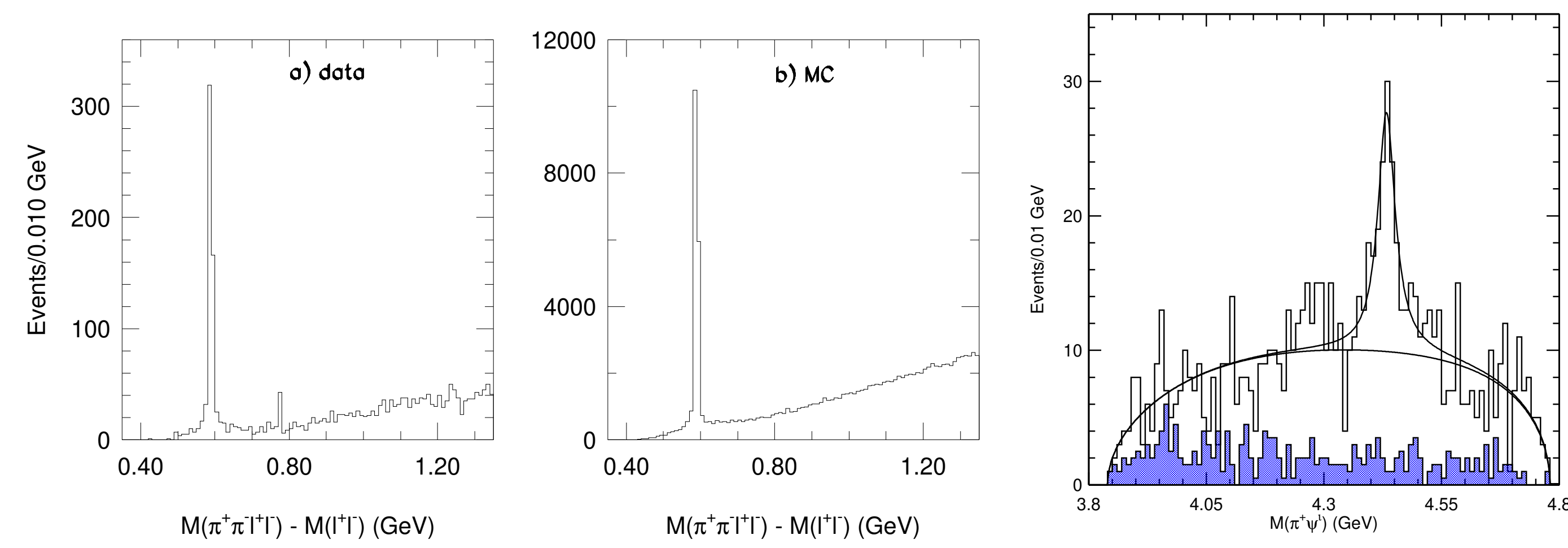


Рис. 1. Контекст: $X(3872)$ [1] и первое наблюдение $Z(4430)^+$ в $\psi(2S)\pi^+$ [2].

Независимое подтверждение $Z(4430)$

- $Z(4430)^+/T_{cc1}(4430)^+$ наблюдается в системе $\psi(2S)\pi$.
- Электрический заряд исключает интерпретацию как обычного чармония.
- Амплитудные анализы ЛHCб поддерживают резонансную интерпретацию.
- $J^P = 1^+$; историческая Z -нотация связана с современной тетракварковой нотацией T_{cc} .

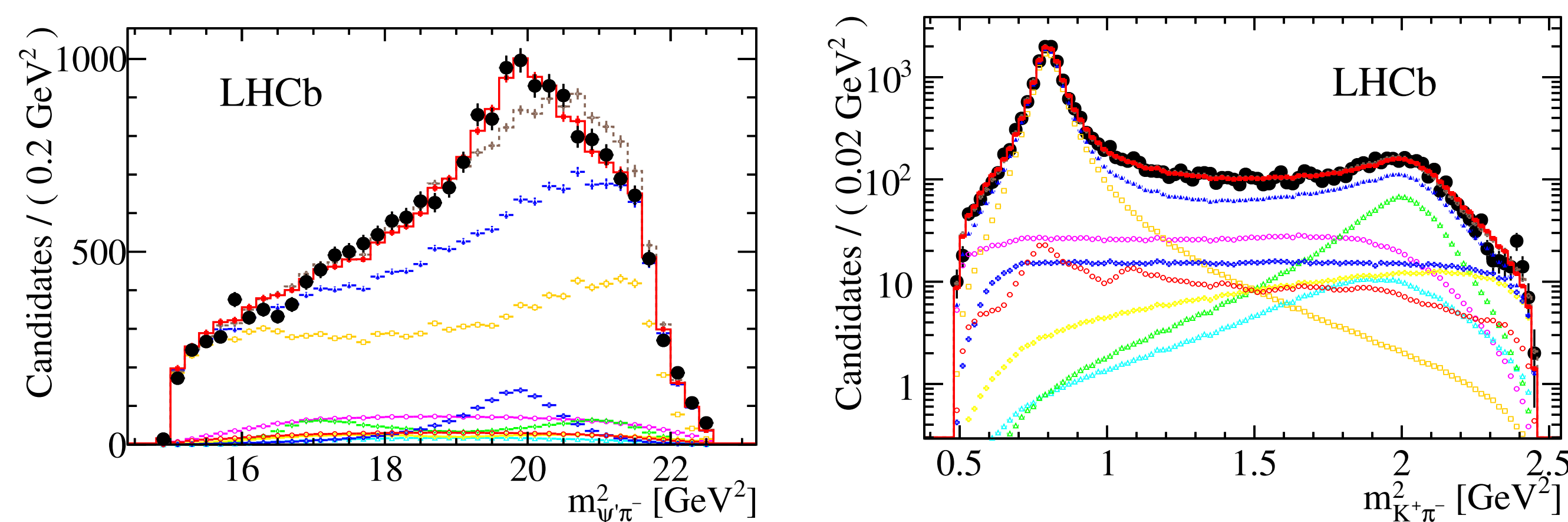


Рис. 2. ЛHCб 2014: $B^0 \rightarrow \psi(2S)K^+\pi^-$; вклад $Z(4430)^-$ показан синими точками [4].

2025: амплитудный анализ $B^+ \rightarrow \psi(2S)K^+\pi^+\pi^-$

- Полный амплитудный анализ $B^+ \rightarrow \psi(2S)K^+\pi^+\pi^-$ [7].
- Данные нельзя описать только "стандартными" странностями и чармониевыми резонансами.
- Номинальная модель: 53 компоненты.
- 11 экзотических вкладов со скрытым очарованием.

Вклад	J^P	M , МэВ	Γ , МэВ	σ	PDG	M_{PDG} , МэВ	Γ_{PDG} , МэВ
$T_{cc0}^*(4475)^0$	0^+	$4475 \pm 7 \pm 12$	$231 \pm 19 \pm 32$	> 20 (19)	$\chi_{c0}(4500)$	4474 ± 4	77^{+12}_{-10}
$T_{cc1}(4650)^0$	1^+	$4653 \pm 14 \pm 27$	$227 \pm 26 \pm 22$	15 (13)	$\chi_{c1}(4685)$	4684^{+15}_{-17}	126 ± 40
$T_{cc0}^*(4710)^0$	0^+	$4710 \pm 4 \pm 5$	$64 \pm 9 \pm 10$	14 (10)	$\chi_{c0}(4700)$	4694^{+16}_{-5}	87^{+18}_{-10}
$T_{cc1}^*(4800)^0$	1^-	$4785 \pm 37 \pm 119$	$457 \pm 93 \pm 157$	17 (12)	$X(4630)$	4626^{+24}_{-110}	174^{+140}_{-80}
$T_{cc1}^*(4055)^+$	1^-	4054 фикс.	45 фикс.	8 (7)	$Z(4055)^+$	4054 ± 3.2	45 ± 13
$T_{cc1}(4200)^+$	1^+	$4257 \pm 11 \pm 17$	$308 \pm 20 \pm 32$	> 20 (> 20)	$Z(4200)^+$	4196^{+35}_{-32}	370^{+100}_{-150}
$T_{cc1}(4430)^+$	1^+	$4468 \pm 21 \pm 80$	$251 \pm 42 \pm 82$	15 (8)	$Z(4430)^+$	4478^{+15}_{-18}	181 ± 31
$T_{ccs1}(4600)^0$	1^+	$4578 \pm 10 \pm 18$	$133 \pm 28 \pm 69$	15 (12)	—	—	—
$T_{ccs1}(4900)^0$	1^+	$4925 \pm 22 \pm 47$	$255 \pm 55 \pm 127$	12 (8)	—	—	—
$T_{ccs1}^*(5200)^0$	1^-	$5225 \pm 86 \pm 181$	$226 \pm 76 \pm 374$	10 (8)	—	—	—
$T_{ccs1}(4000)^+$	1^+	4003 фикс.	131 фикс.	> 20 (14)	$T_{ccs1}(4000)^+$	4003^{+7}_{-15}	131 ± 30

Таблица 1. ЛHCб 2025: экзотические вклады в $B^+ \rightarrow \psi(2S)K^+\pi^+\pi^-$ [7].

Значимости в скобках соответствуют альтернативным модельным предположениям; состояния с фиксированными параметрами не следует переинтерпретировать.

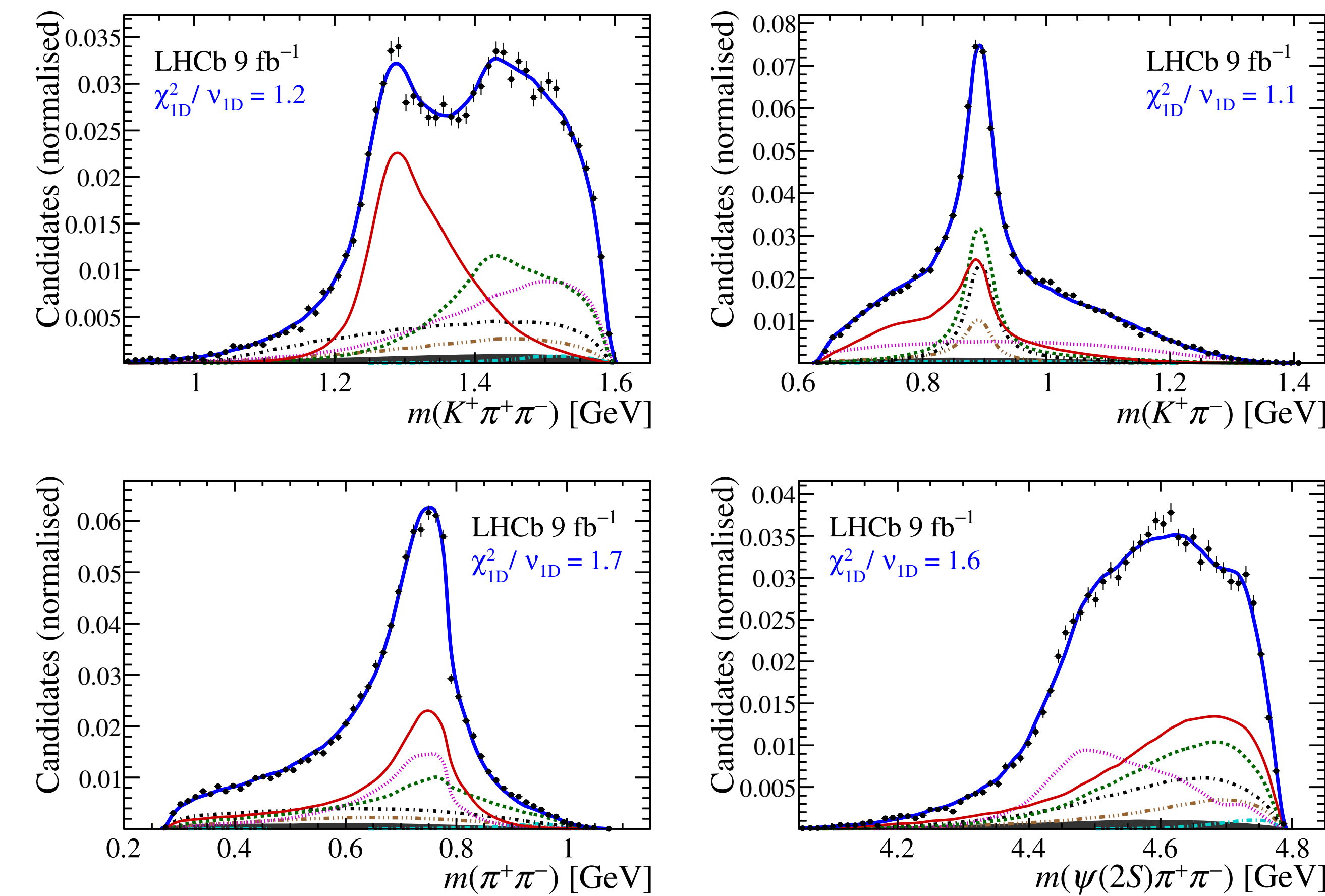


Рис. 3. ЛHCб 2025: выбранные проекции фазового пространства и базовая модель [7].

Литература

- [1] Belle, Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 262001.
- [2] Belle, Phys. Rev. Lett. **100** (2008) 142001.
- [3] BaBar, Phys. Rev. D **79** (2009) 112001.
- [4] ЛHCб, Phys. Rev. Lett. **112** (2014) 222002.
- [5] CMS, Eur. Phys. J. C **82** (2022) 499.
- [6] ЛHCб naming, arXiv:2206.15233.
- [7] ЛHCб, JHEP **01** (2025) 054.
- [8] ЛHCб, Phys. Rev. D **113** (2026) L071101.

2026: $T_{cc1}(4430)^+$ в $B^+ \rightarrow \psi(2S)K_S^0\pi^+$

- $B^+ \rightarrow \psi(2S)K_S^0\pi^+$; четырёхмерный амплитудный анализ [8].
- Структура в системе $\psi(2S)\pi^+$.
- Предпочтительная интерпретация: $T_{cc1}(4430)^+$.
- $J^P = 1^+$.
- $M = 4.452 \pm 0.016^{+0.055}_{-0.033}$ ГэВ.
- $\Gamma = 0.174 \pm 0.019^{+0.083}_{-0.020}$ ГэВ.

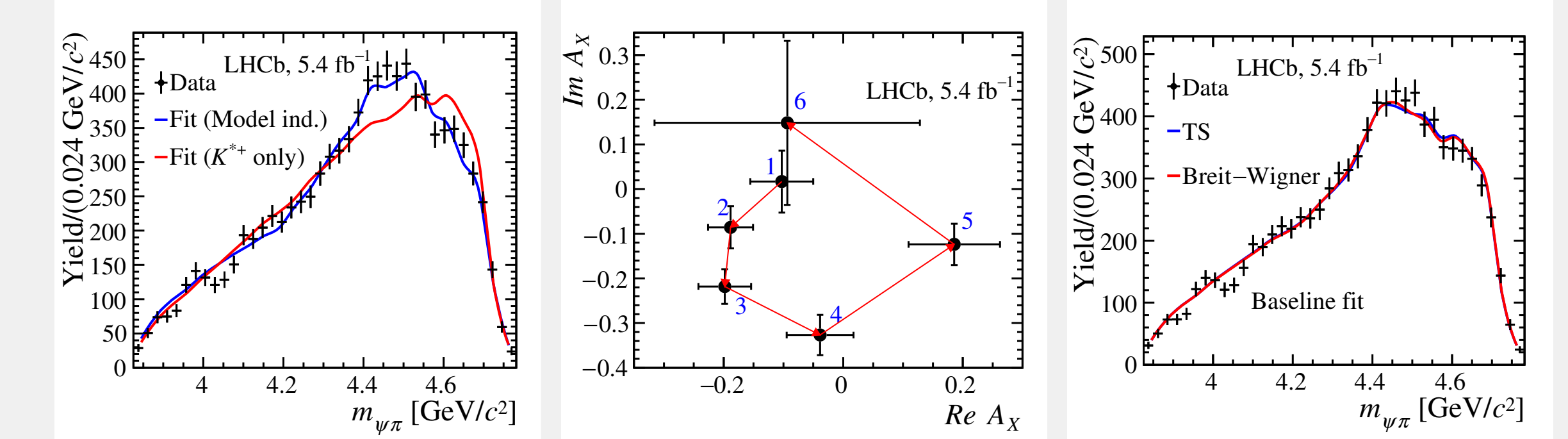


Рис. 4. ЛHCб 2026: $m(\psi(2S)\pi^+)$, диаграмма Арганда и сравнение параметризаций [8].

2022: новые B -распады с $\psi(2S)$

- CMS: наблюдение $B^0 \rightarrow \psi(2S)K_S^0\pi^+\pi^-$ и $B_s^0 \rightarrow \psi(2S)K_S^0$ [5].
- Обычные резонансные вклады видны в $K\pi$ и легких мезонных подсистемах.
- $m(\psi(2S)\pi)$: локальный, статистически незначимый избыток; CMS не заявляет резонанс [5].

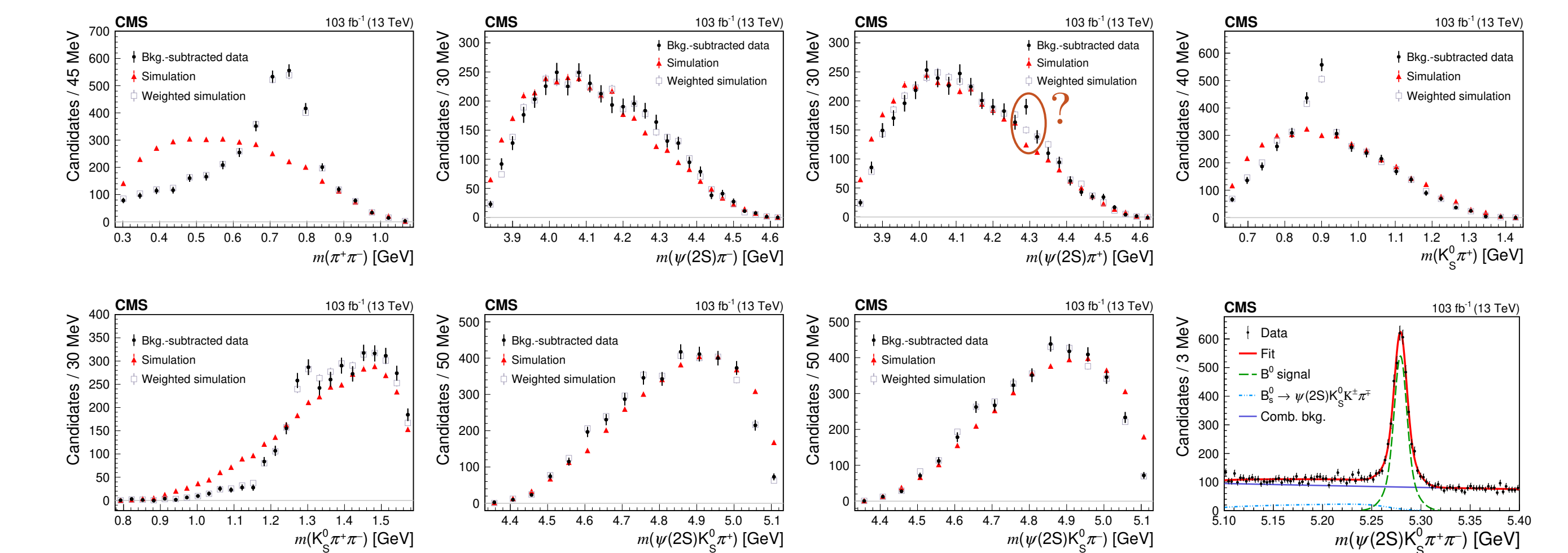


Рис. 5. CMS 2022: сигнал B -распада и промежуточные инвариантные массы; область интереса в $\psi(2S)\pi$ выделена оранжевым [5].

Заключение

- Каналы с $\psi(2S)$ стали одним из ключевых инструментов спектроскопии заряженных экзотических адронов со скрытым очарованием.
- Полные амплитудные анализы позволяют выделить экзотические вклады на фоне обычных мезонных и чармониевых резонансов [7, 8].
- Природа состояний открыта: тетракварк, молекула, адро-кварконий или динамика связанных каналов.