

Пentakварки

Алексей ДЗЮБА¹

¹ ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ

Научная сессия ОФВЭ / 24 декабря 2015 г.

Пентакварки

Volume 8, number 3 PHYSICS LETTERS 1 February 1964

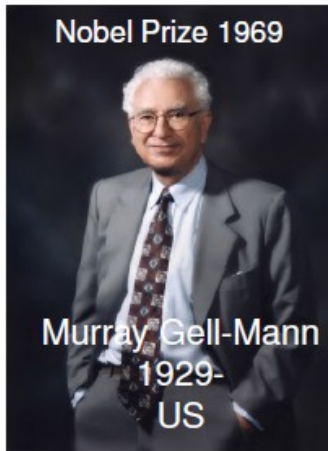
A SCHEMATIC MODEL OF BARYONS AND MESONS *

M. GELL-MANN

California Institute of Technology, Pasadena, California

Received 4 January 1964

A simpler and more elegant scheme can be constructed if we allow non-integral values for the charges. We can dispense entirely with the basic baryon Λ if we assign to the triplet t the following properties: spin $\frac{1}{2}$, $z = -\frac{1}{3}$, and baryon number $\frac{1}{3}$. We then refer to the members $u^{\frac{2}{3}}$, $d^{-\frac{1}{3}}$, and $s^{-\frac{1}{3}}$ of the triplet as "quarks" q and the members of the anti-triplet as anti-quarks \bar{q} . Baryons can now be constructed from quarks by using the combinations (qqq) , $(qqq\bar{q})$, etc., while mesons are made out of $(q\bar{q})$, $(q\bar{q}\bar{q})$, etc. It is assumed that the lowest baryon configuration (qqq) gives just the representations **1**, **8**, and **10** that have been observed, while



Пентакварки – система из четырех кварков и одного антикварка.

Предложены на заре формирования кварковой модели [Гелл-Манн, Цвейг 1964].

Название предложено Липкиным

Предсказания свойств в различных КХД моделях: [Джаффе 76, Хёгассен & Сорба 78, Строттман 79, Липкин 87, Прасчалович 87]

1997 : Дьяконов, Петров, Поляков – модель кирального солитона [ZPA 359, 305]

Зачем “нужны” пентакварки?



Дмитрий Игоревич Дьяконов

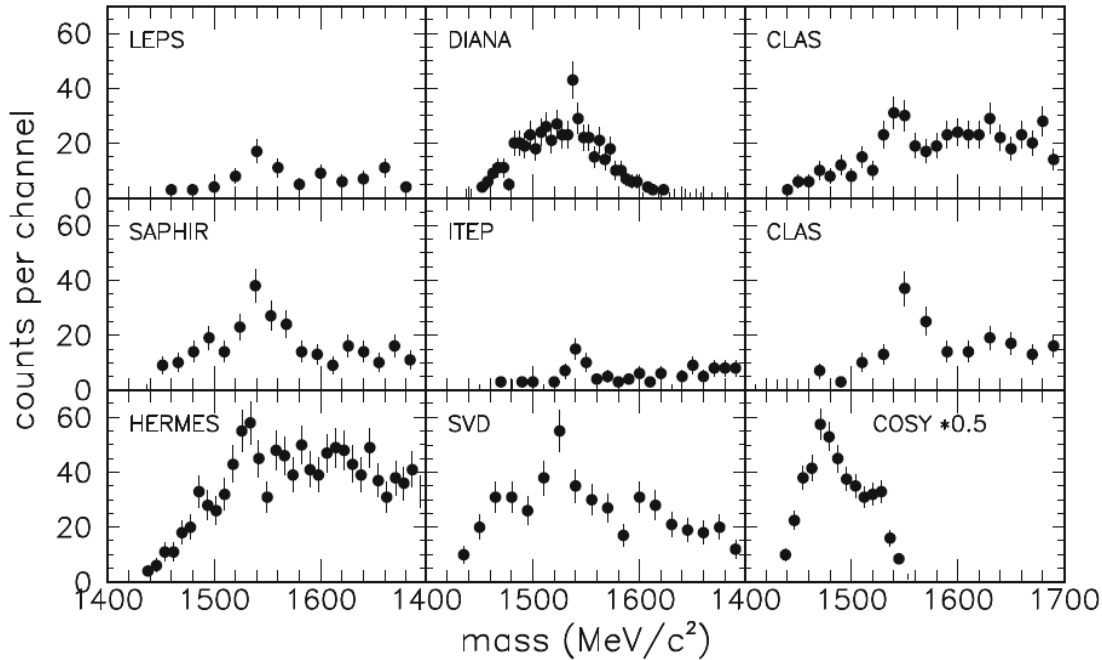
«Мы отлично знаем, что КХД является правильной теорией сильных взаимодействий. Тут нет ни малейших сомнений. Однако подавляющее число явлений соответствует режиму сильной связи, где количественные методы до сих пор не на высоте. Причина важнейших явлений -- конфайнмента кварков и спонтанного нарушения киральной симметрии -- до сих пор непонятна, хотя существует много моделей. В частности, непонятно, какие силы ответственны за связывание кварков в барионы. Даже качественно. Многие известные теоретики (например, Липкин) до сих пор считают, что некие мистические "силы конфайнмента" (которые не выведены), плюс глюонное спин-спиновое взаимодействие. Другие (как я, но не только) считают, что мезонные силы, действующие внутри барионов, намного важнее....»

Если будет обнаружена β_s , то её масса очень сильно ограничит "свободу творчества". Это не очередной барионный резонанс, а совершенно новый тип состояния, и большинство существующих моделей сильных взаимодействий просто не справятся с объяснением. Выживет одно, ну, два "понимания", как связываются кварки в барионы, и параметры соответствующих моделей будут очень сильно "зажаты", может быть, даже точно определены...»

(Д.И.Дьяконов)

Статус $\Theta^+(1540)$

J. Pochodzalla, *Pentaquarks – Facts and Mysteries or Sisyphus at Work (2004)*,
arxiv.org/abs/hep-ex/0406077



2004 : 12 экспериментальных работ с указанием на существование $\Theta(1540)$

К 2007 : 9 из 12 “отозвали” свои результаты

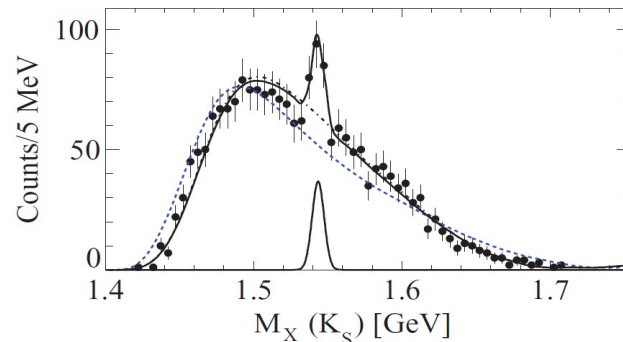
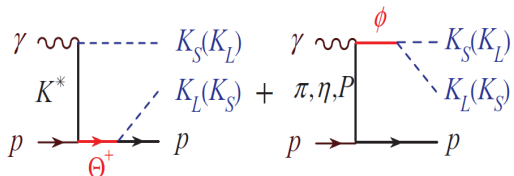
Высокостатистические эксперименты WA89, CLAS, BaBar, JPARC не видят указаний на $\Theta(1540)$

Все еще держатся: LEPS2, CLAS (pφ), SVD2, DIANA

см. EPJH 37 (2012) 1

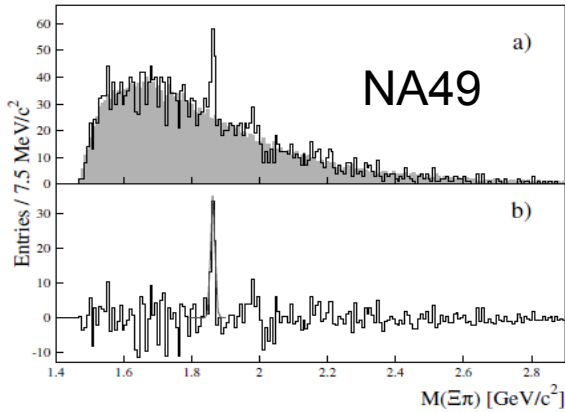
Очень “токсичная” тема

PHYSICAL REVIEW C 85, 035209 (2012)



Другие кандидаты

PRL 92 (2004) 042003

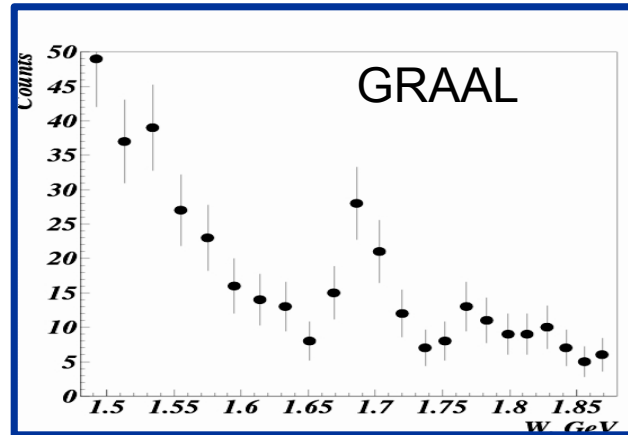


Ξ^{--} ; $M = 1.86$ ГэВ

HERA-B на большей статистике не наблюдает это состояние

PRL 93 (2004) 212003

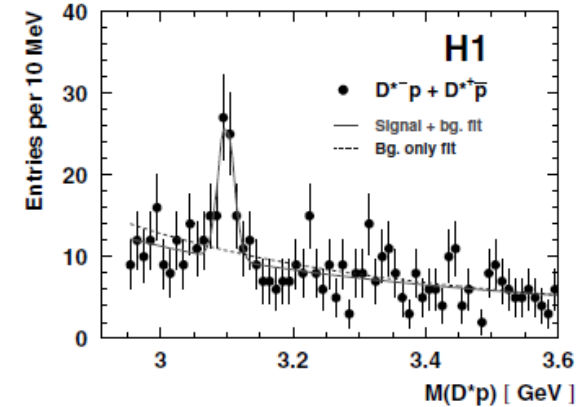
Нейтронная аномалия



См. доклады В.Кузнецова и А.Гриднева

- Много подозрительных “всплесков”
- Пентакварковое объяснение ?

EPJC 38 (2004) 29

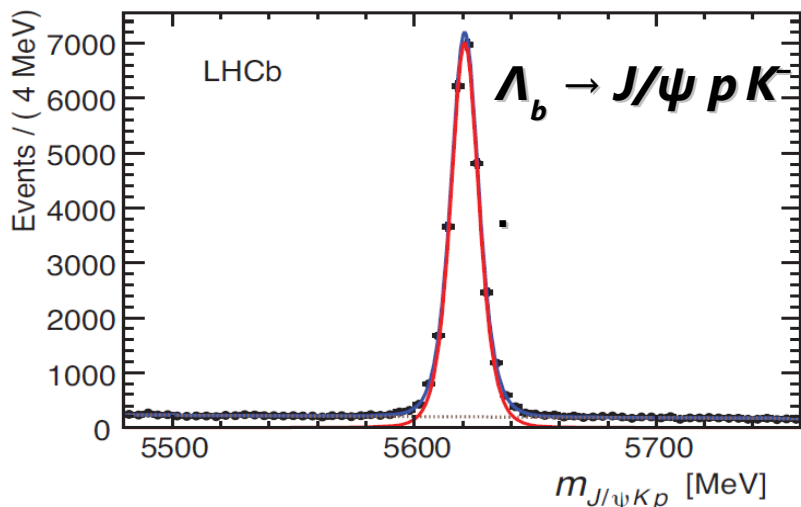


Θ_c ; $M = 3.1$ ГэВ

ZEUS на сопоставимой статистике не наблюдает это состояние

PLB 591 (2004) 7

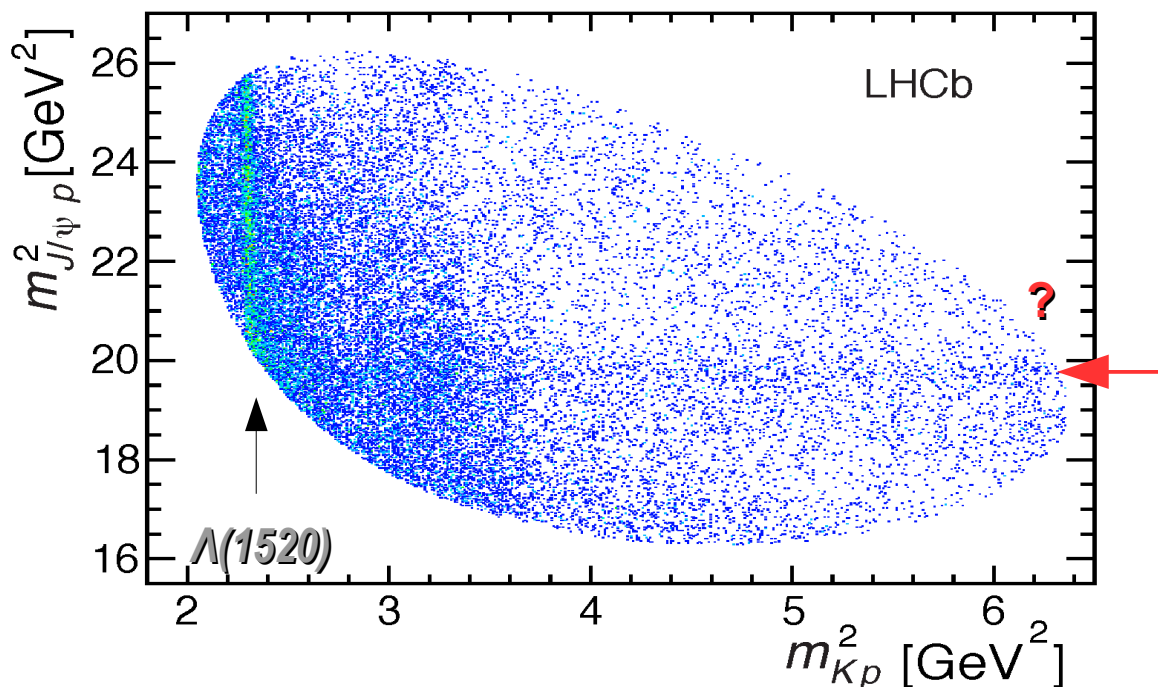
Открытие пентакварков на LHCb



– Изначально как фон для $\Lambda_b \rightarrow J/\psi K^+ K^-$

– Измерение времени жизни Λ_b

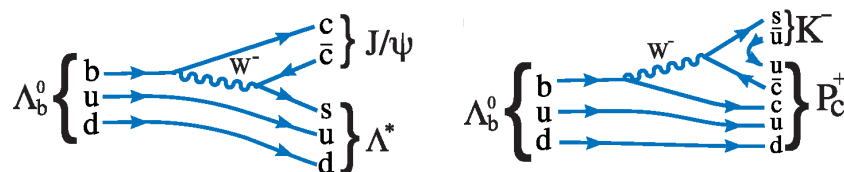
– Boosting Decision Tree для выделения сигнала. Диаграмма Далица



– “Клоны”. “Отражения”, ...

– Полный амплитудный анализ для выяснения, может ли данная структура быть результатом интерференции в Λ -каналах.

– Два метода “фитирования”



Открытие пентакварков на LHCb

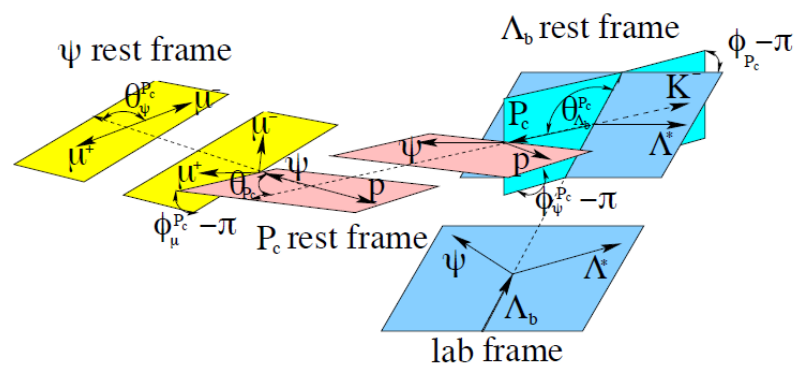
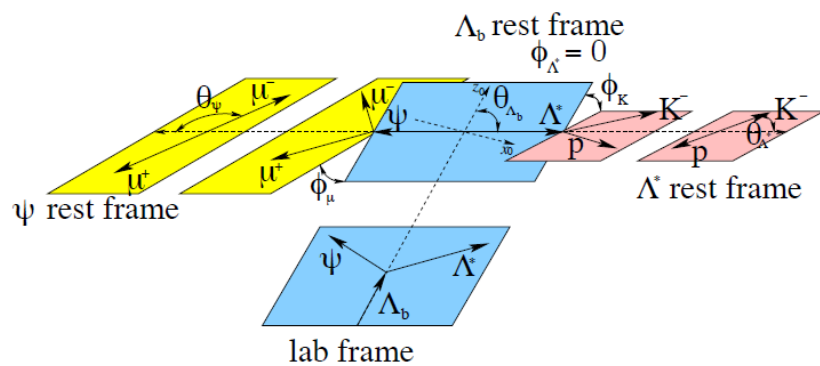
State	J^P	M_0 (MeV)	Γ_0 (MeV)	# Reduced	# Extended
$\Lambda(1405)$	$1/2^-$	$1405.1^{+1.3}_{-1.0}$	50.5 ± 2.0	3	4
$\Lambda(1520)$	$3/2^-$	1519.5 ± 1.0	15.6 ± 1.0	5	6
$\Lambda(1600)$	$1/2^+$	1600	150	3	4
$\Lambda(1670)$	$1/2^-$	1670	35	3	4
$\Lambda(1690)$	$3/2^-$	1690	60	5	6
$\Lambda(1800)$	$1/2^-$	1800	300	4	4
$\Lambda(1810)$	$1/2^+$	1810	150	3	4
$\Lambda(1820)$	$5/2^+$	1820	80	1	6
$\Lambda(1830)$	$5/2^-$	1830	95	1	6
$\Lambda(1890)$	$3/2^+$	1890	100	3	6
$\Lambda(2100)$	$7/2^-$	2100	200	1	6
$\Lambda(2110)$	$5/2^+$	2110	200	1	6
$\Lambda(2350)$	$9/2^+$	2350	150	0	6
$\Lambda(2585)$?	≈ 2585	200	0	6

– Flatte для $\Lambda(1405)$, релятивистский BW для остальных. (+форм-фактор Блатта-Вайскопфа)

– Две модели для Λ -канала

– Добавление дополнительных Λ^* (с плавающей массой и шириной)

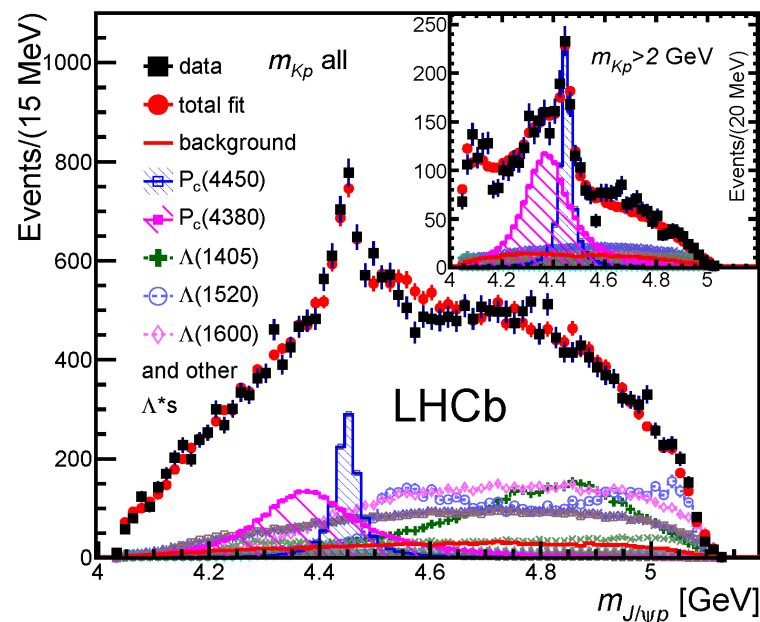
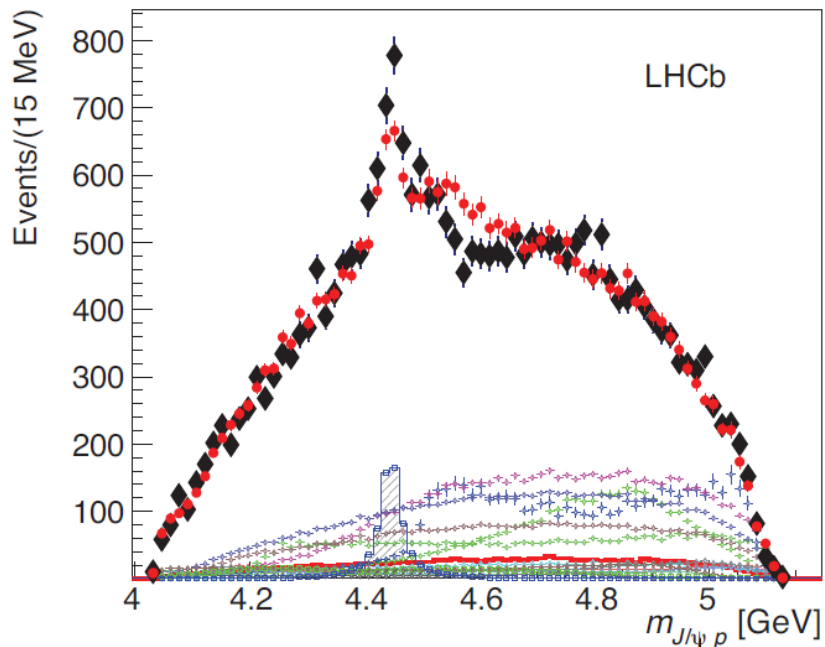
– Включение в фит до четырех вкладов от нерезонансного канала распада с J^P до $3/2^\pm$



Открытие пентакварков на LHCb

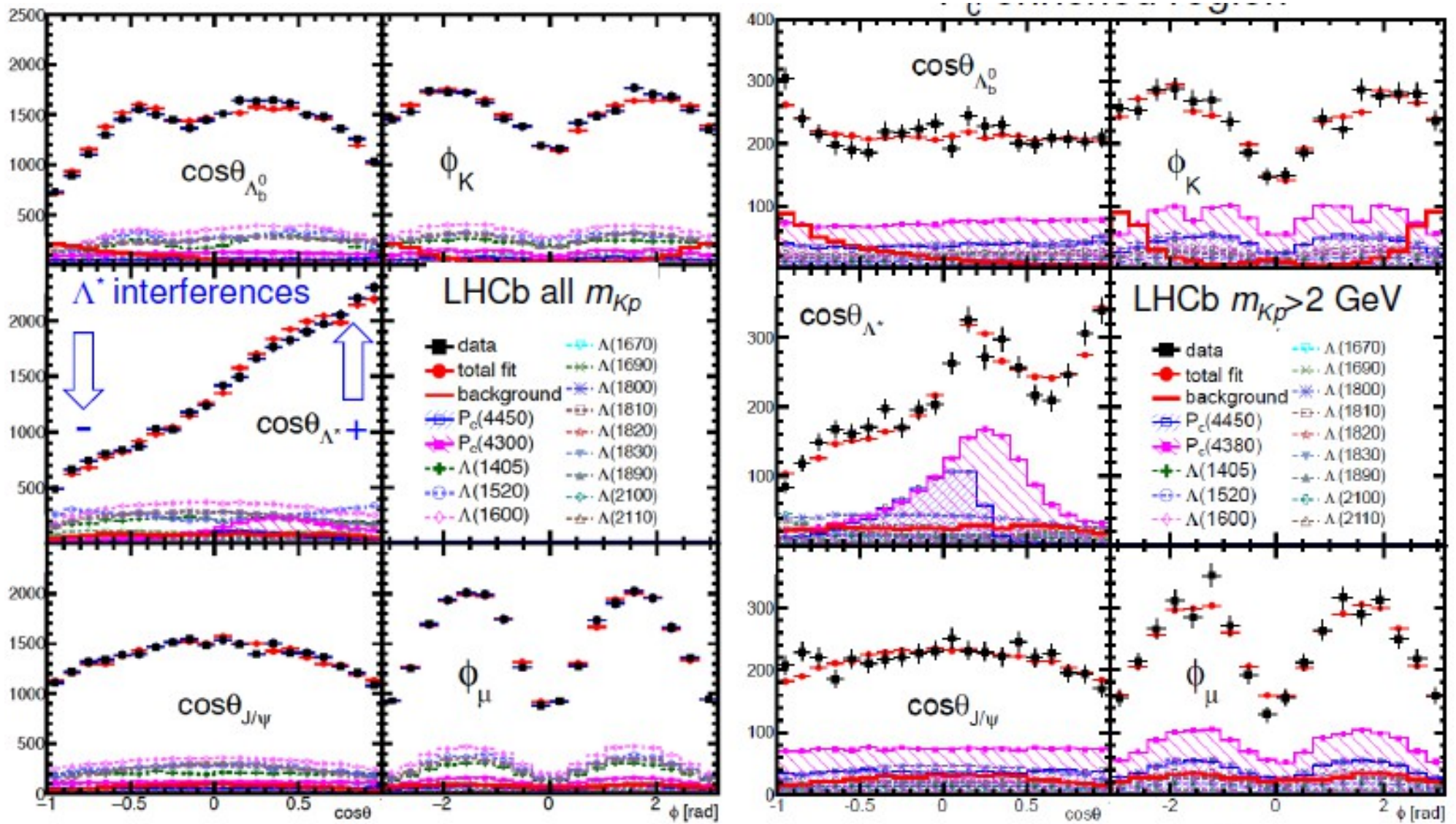
Добавление одного пентакваркового резонанса (лучший фит $J^P=5/2^+$) не дает удовлетворительного описания

Необходимо ввести второй резонанс!

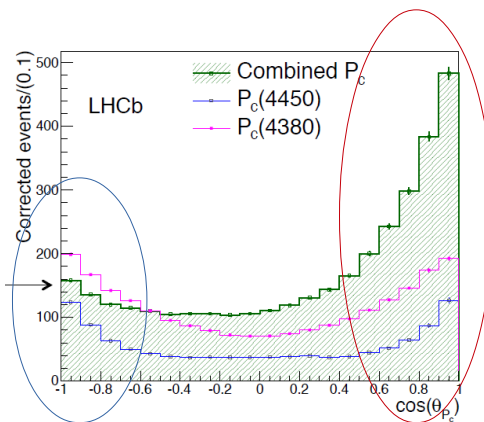
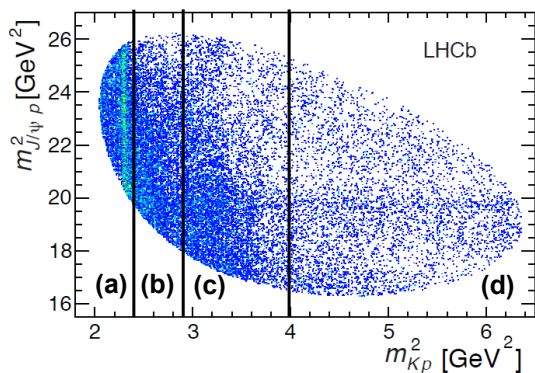


State	Mass (MeV)	Width (MeV)	Fit fraction (%)	Significance
$P_c(4380)^+$	$4380 \pm 8 \pm 29$	$205 \pm 18 \pm 86$	$8.4 \pm 0.7 \pm 4.2$	9σ
$P_c(4450)^+$	$4449.8 \pm 1.7 \pm 2.5$	$39 \pm 5 \pm 19$	$4.1 \pm 0.5 \pm 1.1$	12σ

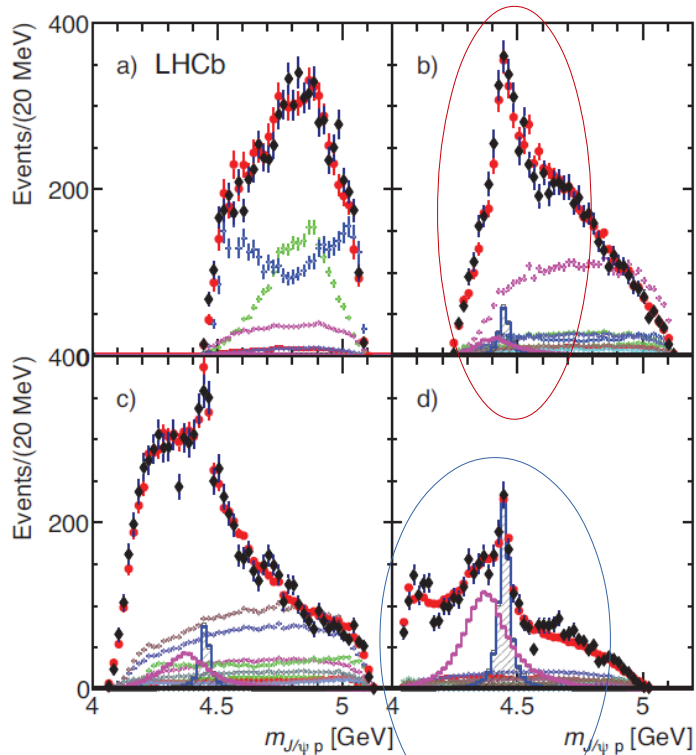
Открытие пентакварков на LHCb



Открытие пентакварков на LHCb



Два состояния должны иметь противоположную четность, чтобы обеспечить **конструктивную интерференцию** в области малых масс Kp и **деструктивную** в области больших масс.



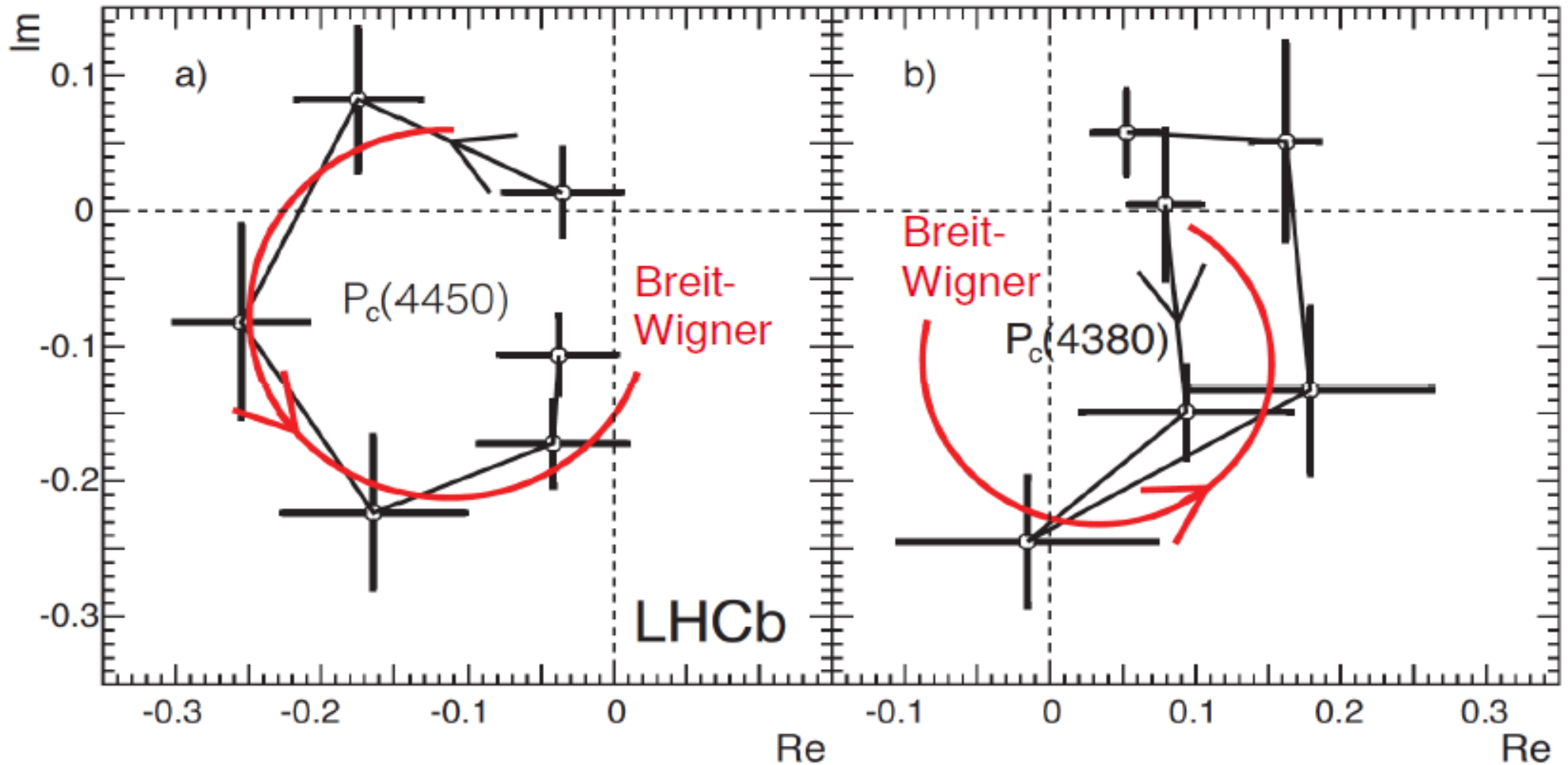
Fit	$\Delta(-2 \ln \mathcal{L})$
- , +	0
+ , -	0.9 ²
+ , +	2.3 ²
- , -	5.9 ²
- , +	5.9 ²
+ , -	6.3 ²
+ , +	6.3 ²
- , -	6.4 ²
- , +	6.8 ²
+ , -	6.8 ²
+ , +	7.2 ²
- , -	7.3 ²
- , +	7.4 ²
+ , -	7.6 ²
+ , +	7.7 ²
- , -	8.0 ²

Тестировались различные комбинации спин-четности для двух резонансных состояний.

При определении статистической значимости сигналов учитывалась разница между референсной и расширенной моделями для L -канала.

Измерение вещественной и мнимой частей амплитуды (следующий слайд)

Открытие пентакварков на LHCb



Открытие пентакварков на LHCb

Систематические погрешности измерения

Source	M_0 (MeV)		Γ_0 (MeV)		Fit fractions (%)			
	low	high	low	high	low	high	$\Lambda(1405)$	$\Lambda(1520)$
Extended vs. reduced	21	0.2	54	10	3.14	0.32	1.37	0.15
Λ^* masses & widths	7	0.7	20	4	0.58	0.37	2.49	2.45
Proton ID	2	0.3	1	2	0.27	0.14	0.20	0.05
$10 < p_p < 100$ GeV	0	1.2	1	1	0.09	0.03	0.31	0.01
Nonresonant	3	0.3	34	2	2.35	0.13	3.28	0.39
Separate sidebands	0	0	5	0	0.24	0.14	0.02	0.03
J^P ($3/2^+$, $5/2^-$) or ($5/2^+$, $3/2^-$)	10	1.2	34	10	0.76	0.44		
$d = 1.5 - 4.5$ GeV $^{-1}$	9	0.6	19	3	0.29	0.42	0.36	1.91
$L_{\Lambda_b^0}^{P_c} \Lambda_b^0 \rightarrow P_c^+ (low/high) K^-$	6	0.7	4	8	0.37	0.16		
$L_{P_c} \Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p$	4	0.4	31	7	0.63	0.37		
$L_{\Lambda_b^0}^{\Lambda^*} \Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \Lambda^*$	11	0.3	20	2	0.81	0.53	3.34	2.31
Efficiencies	1	0.4	4	0	0.13	0.02	0.26	0.23
Change $\Lambda(1405)$ coupling	0	0	0	0	0	0	1.90	0
Overall	29	2.5	86	19	4.21	1.05	5.82	3.89
sFit/cFit cross check	5	1.0	11	3	0.46	0.01	0.45	0.13

Проверки:

Разные группы
отбирающие
сигнальные
события

Согласие:

2011 / 2012

MagUp / Down

$\Lambda_b^- / \overline{\Lambda_b^-}$

Две техники
“фитирования”

Что говорит теория про P_c ?

- Слабосвязанное состояние очарованного бариона и мезона [[PRL 115, 132002](#); [PRL 115, 172001](#); [PRD 92, 094003](#); [arxiv1507.05200](#)]
- Связанное состояние легкого и тяжелого дикварков и с-кварка [[PLB 749, 289](#); [arxiv:1507.07652](#); [PLB 749, 454](#); [arxiv:1507.08252](#)]
- Связанное состояние с открытым цветом [[JETPL 103, 271](#)]
- Связанное состояние $\psi(2S)$ и нуклона [[arxiv:1512.00426](#)]
- Пороговые эффекты (“каспы”) [[PLB 751, 59](#); [arxiv1507.06552](#); [PRD 92, 071502](#)]

Возможности экспериментов LHC

- Необходимо проверочное измерение (CMS ?)
- Проверка в Кабиббо подавленном канале: $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p \pi$
- Проверка в канале: $\Lambda_b \rightarrow J/\psi p K^*$
- Поиск других каналов распада $\Lambda D\text{-bar}$, $\Sigma D\text{-bar}$
- Прямое рождение (?) vs. Распад b -адронов (?)

Что еще было бы интересно?