

Гипотеза о существовании внутреннего очарования в протоне и пентакварки со скрытым ароматом

А.С. ГЕРАСИМОВ
В КОЛЛАБОРАЦИИ С А.К. ЛИХОДЕДОМ

План

- ▶ Наблюдение резонансов в моде $J/\psi p$, связанных с пентакварковыми состояниями
- ▶ Проблема внутреннего чарма протона
- ▶ Смешивание протона с пентакварком
- ▶ Ограничение на присутствие s -кварка в протоне
- ▶ Заключение

Наблюдение резонансов в моде J/ψ p

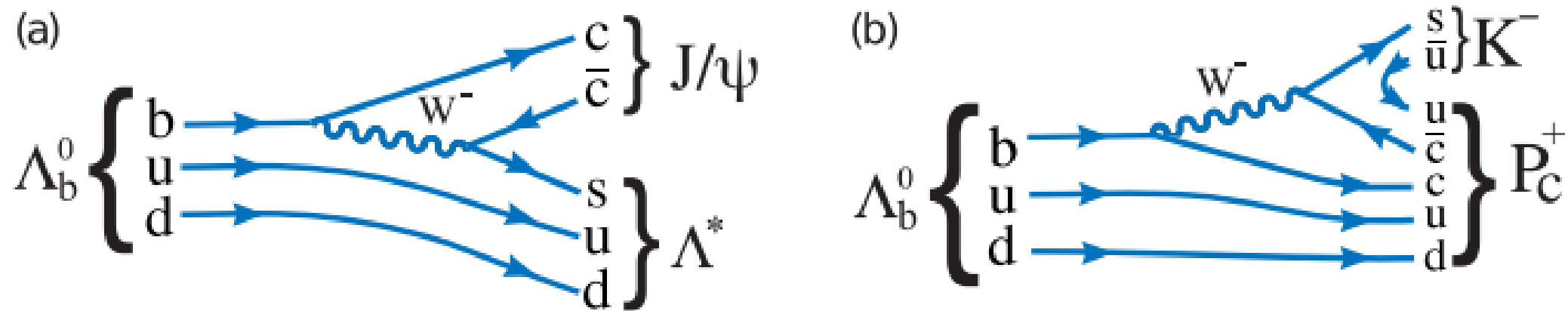


Figure 1: Feynman diagrams for (a) $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \Lambda^*$ and (b) $\Lambda_b^0 \rightarrow P_c^+ K^-$ decay.

Наблюдение резонансов в моде $J/\psi p$

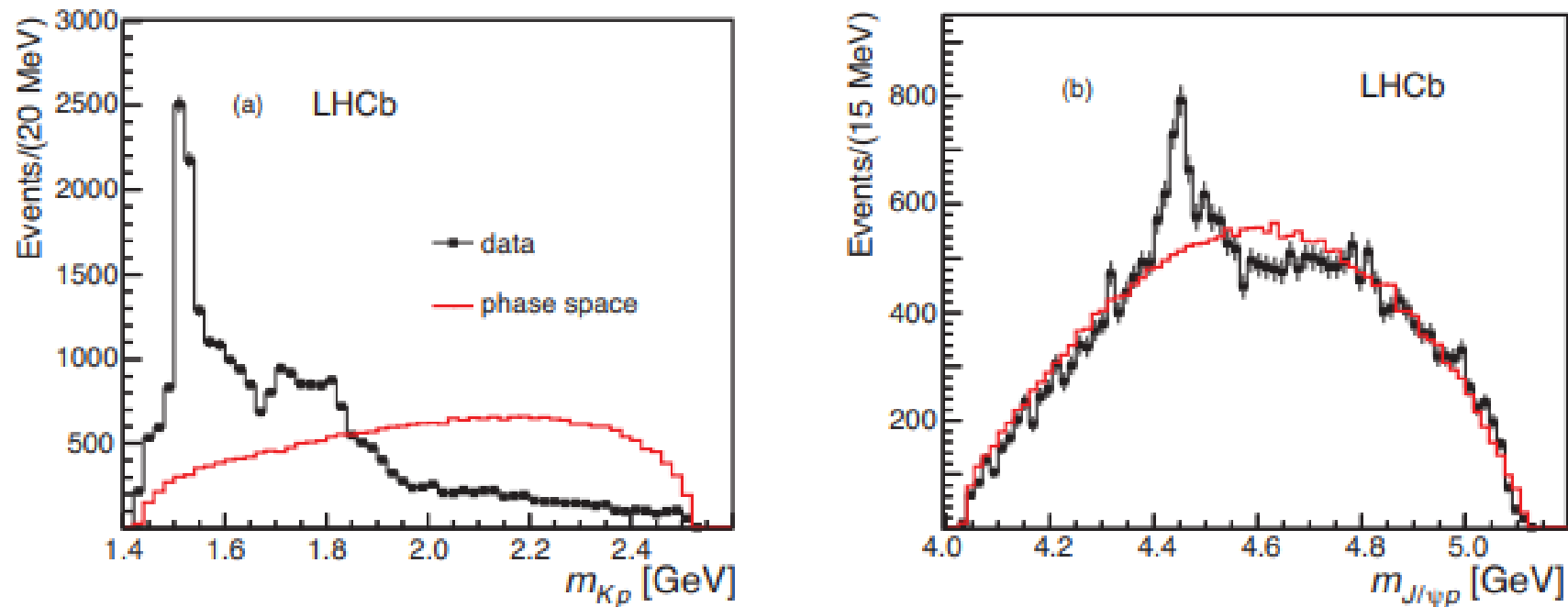
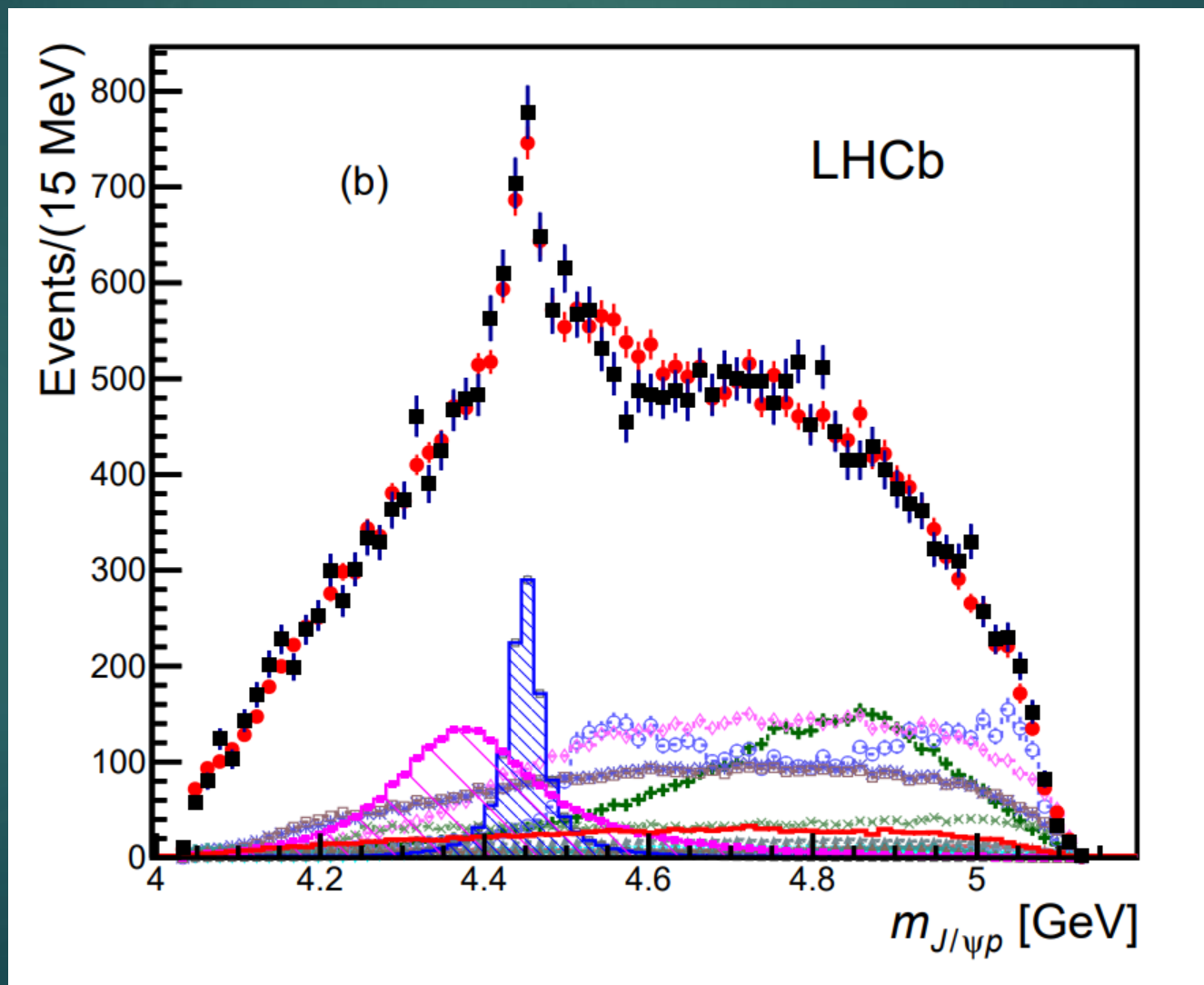


Figure 2: Invariant mass of (a) K^-p and (b) $J/\psi p$ combinations from $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p$ decays. The solid (red) curve is the expectation from phase space. The background has been subtracted.

Наблюдение резонансов в моде $J/\psi p$



Наблюдение резонансов в моде $J/\psi p$

$$P_c(4312)^+ (M = 4311.9 \pm 0.7_{-0.6}^{+6.8} \text{ MeV}, \Gamma = 9.8 \pm 2.7_{-4.5}^{+3.7} \text{ MeV}),$$

$$P_c(4440)^+ (M = 4440.3 \pm 1.3_{-4.7}^{+4.1} \text{ MeV}, \Gamma = 20.6 \pm 4.9_{-10.1}^{+8.7} \text{ MeV}),$$

$$P_c(4457)^+ (M = 4457.3 \pm 0.6_{-1.7}^{+4.1} \text{ MeV}, \Gamma = 6.4 \pm 2.0_{-1.9}^{+5.7} \text{ MeV}),$$

Резонансы: интерпретация

- ▶ Пентакварковое состояние
- ▶ Молекула
- ▶ Различные особенности
 - Cusp effect
 - Треугольные диаграммы

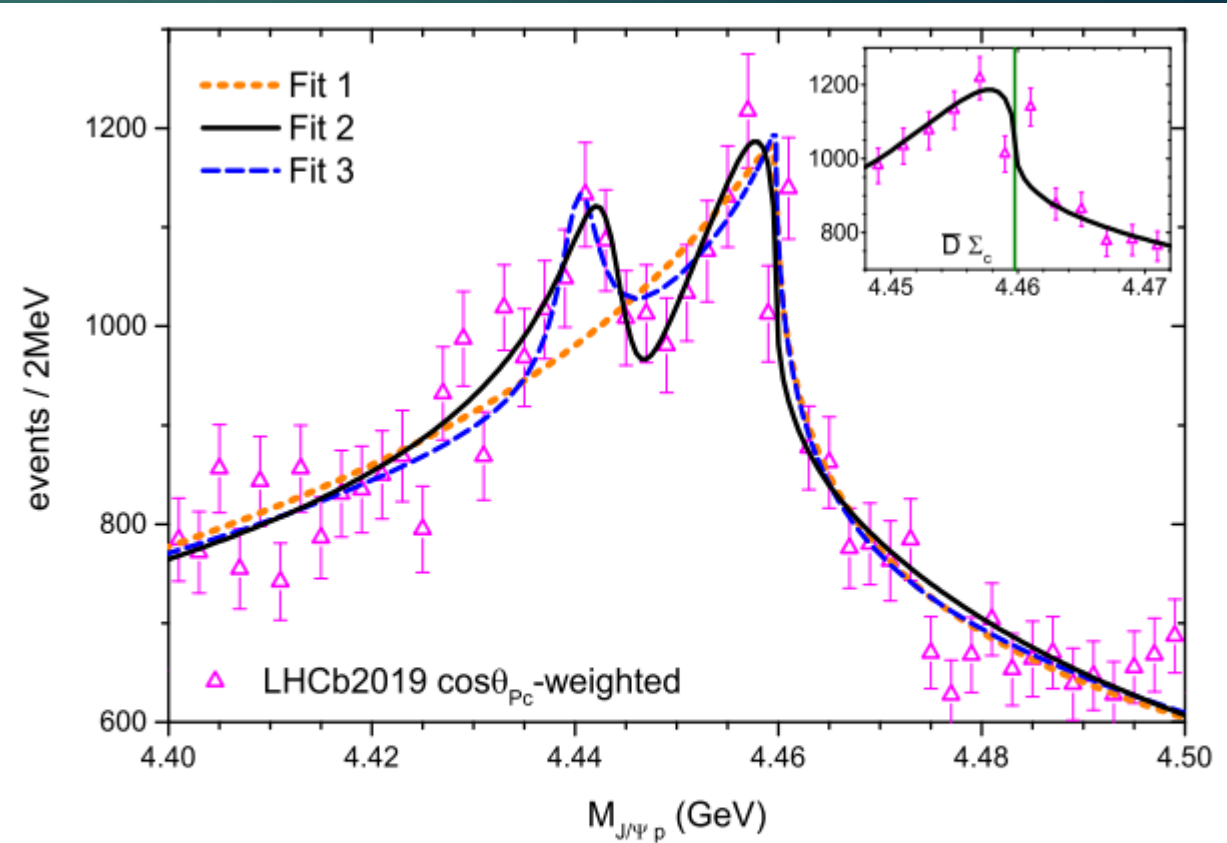


FIG. 2: Fit of the $J/\Psi p$ spectroscopy of $\Lambda_b \rightarrow J/\Psi p K^-$ for enlarged size around $P_c(4440)$ and $P_c(4457)$.

Intrinsic charm: модель Бродского

$|p\rangle = A_0|uud\rangle + A_1|uudc\bar{c}\rangle + \dots$, где $|A_1|^2$ — ненулевая вероятность существования внутренних $c\bar{c}$ -пар

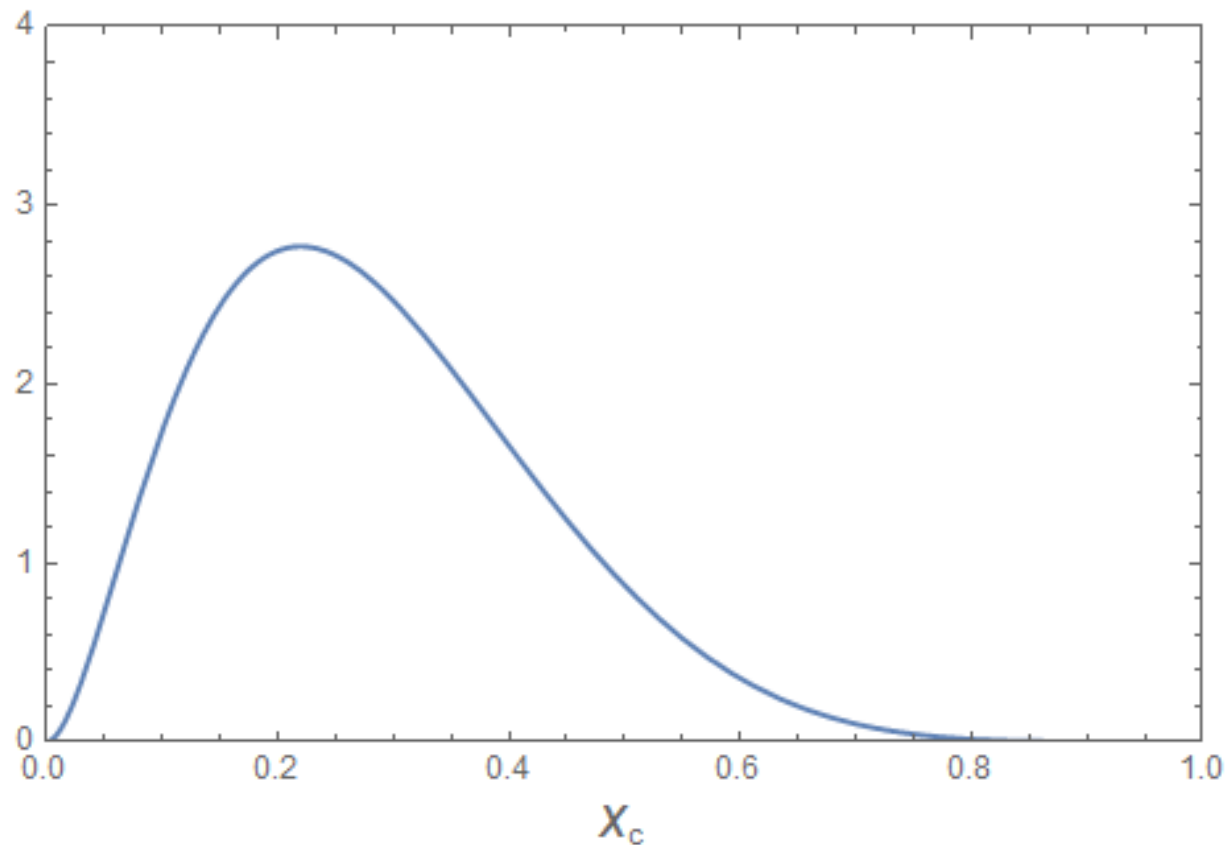
$$G(A \rightarrow B_1 \dots B_n) = \left| \frac{\langle B_1 \dots B_n | M | A \rangle}{E_A - E_{B_1} - \dots - E_{B_n}} \right|^2$$

$$E_i = p_i + \frac{m_i^2}{2p_i}$$

$$G(x_{u_1}, x_{u_2}, x_d, x_c, x_{\bar{c}}) \sim \left(M_p^2 - \sum_{i=u_1, u_2, d, c, \bar{c}} \frac{m_{\perp i}^2}{x_i} \right)^{-2}$$

Распределение с-кварков в протоне

$$G_c(x_c) \sim x_c^2 \left[(1 - x_c)(1 + 10x_c + x_c^2) - 6x_c(1 + x_c) \ln \frac{1}{x_c} \right]$$



Проблемы внутреннего чарма протона

- ▶ Теория носит чисто пертурбативный характер, кварки рождаются из глюонов
- ▶ Распределения для D^+ и D^- в эксперименте несимметричны
- ▶ Неизвестна абсолютная нормировка распределения кварков

Смешивание пентакварка с протоном

$$|p\rangle' = |p\rangle + \varepsilon|P_c\rangle:$$

$$\begin{pmatrix} M_p & V \\ V & M_{P_c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |X_1\rangle \\ |X_2\rangle \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} |X_1\rangle \\ |X_2\rangle \end{pmatrix}:$$

Модель Кути-Вайскопфа

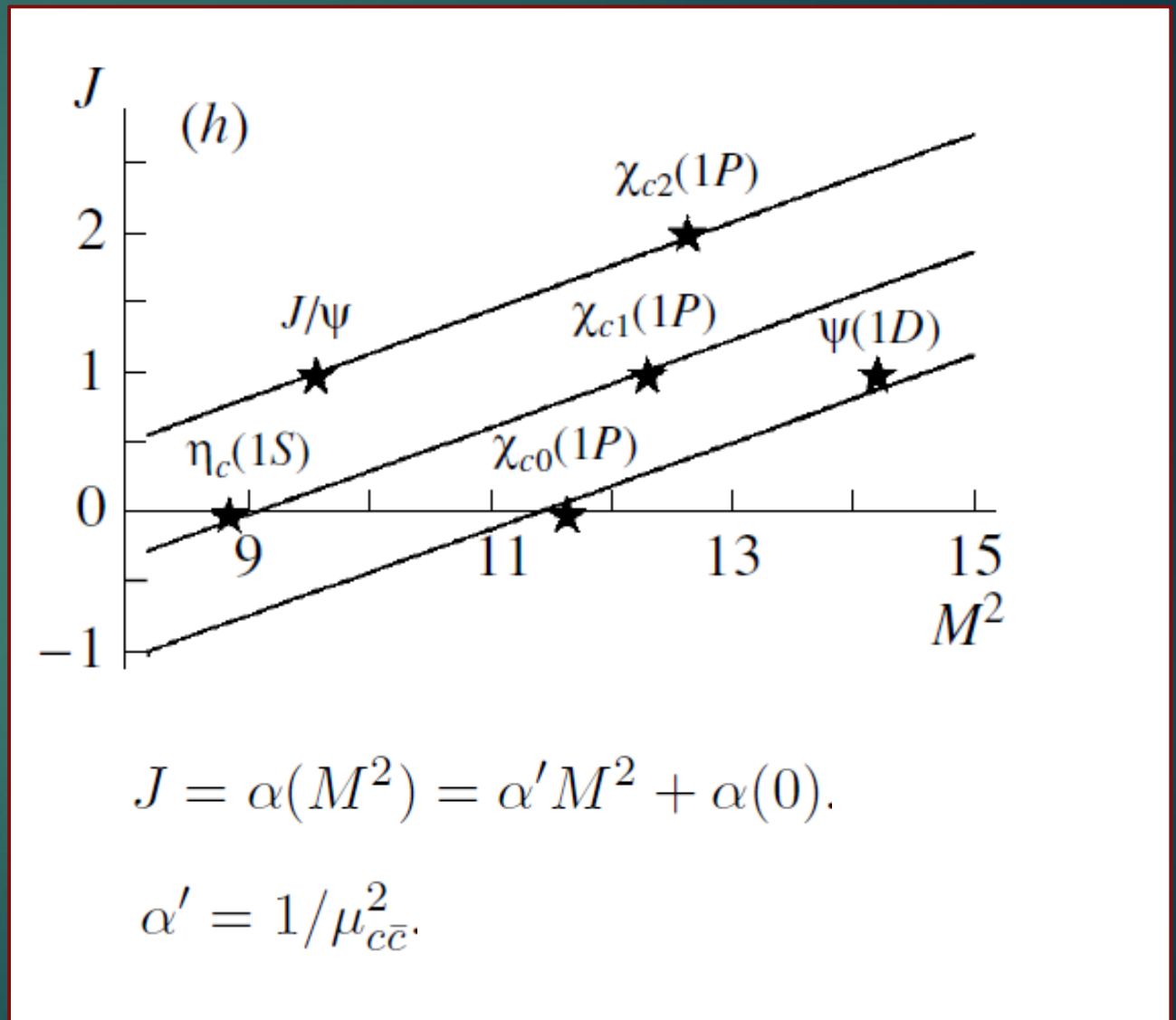
$$G(x_1, \dots, x_n) \sim \prod_{i=1}^m x_i^{1-\alpha_i} \prod_{i=1}^n \frac{dx_i}{x_i} \delta \left(1 - \sum_{i=1}^n x_i \right)$$

$$G_q^{P_c}(x_q) \sim x_q^{-\alpha_q} (1 - x_q)^{-1+\gamma+2(1-\alpha_q)+2(1-\alpha_c)}$$

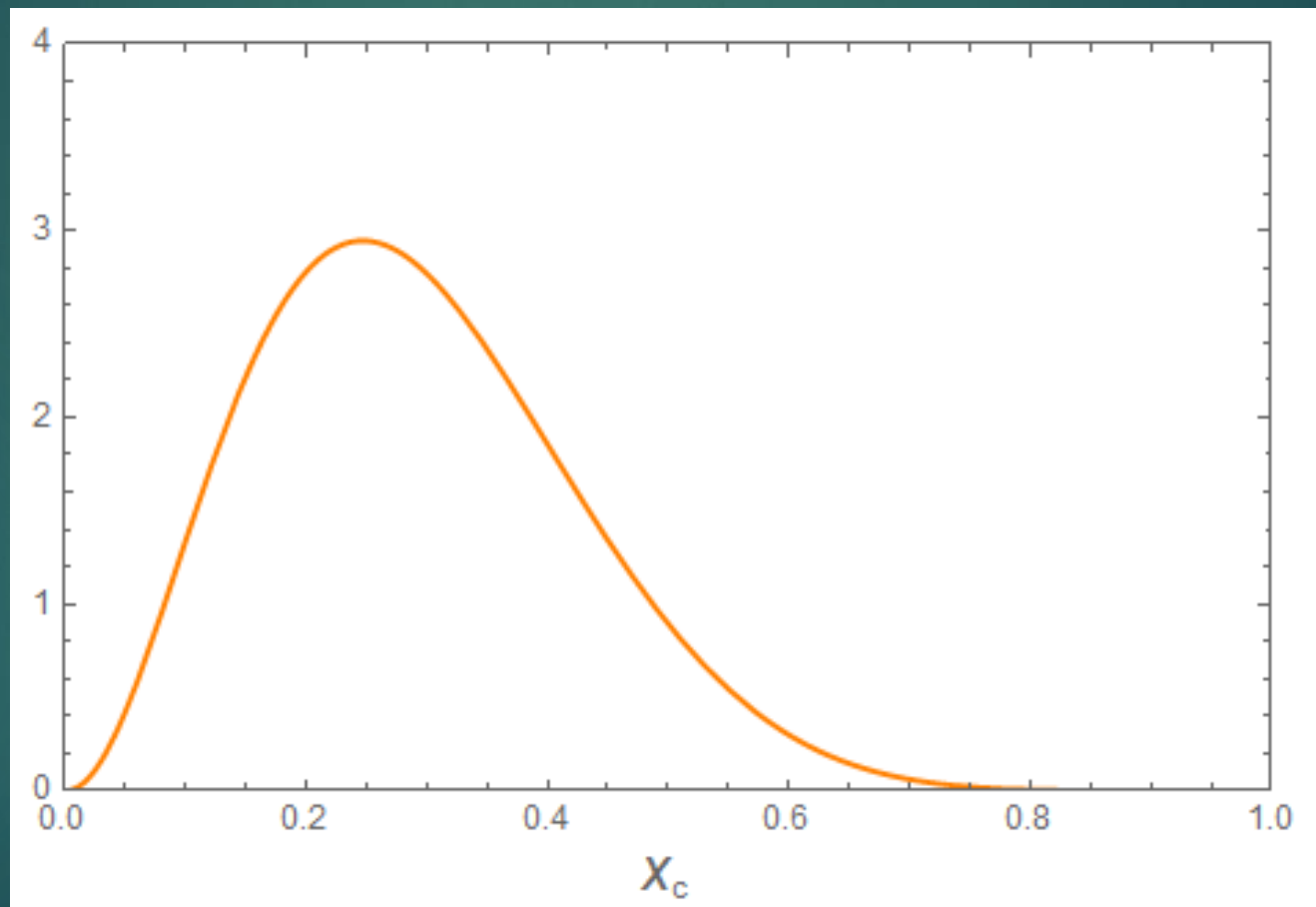
$$G_c^{P_e}(x_c) \sim x_c^{-\alpha_c} (1 - x_c)^{-1+\gamma+3(1-\alpha_q)+(1-\alpha_c)}$$

Пересечение Редже траекторий в нуле

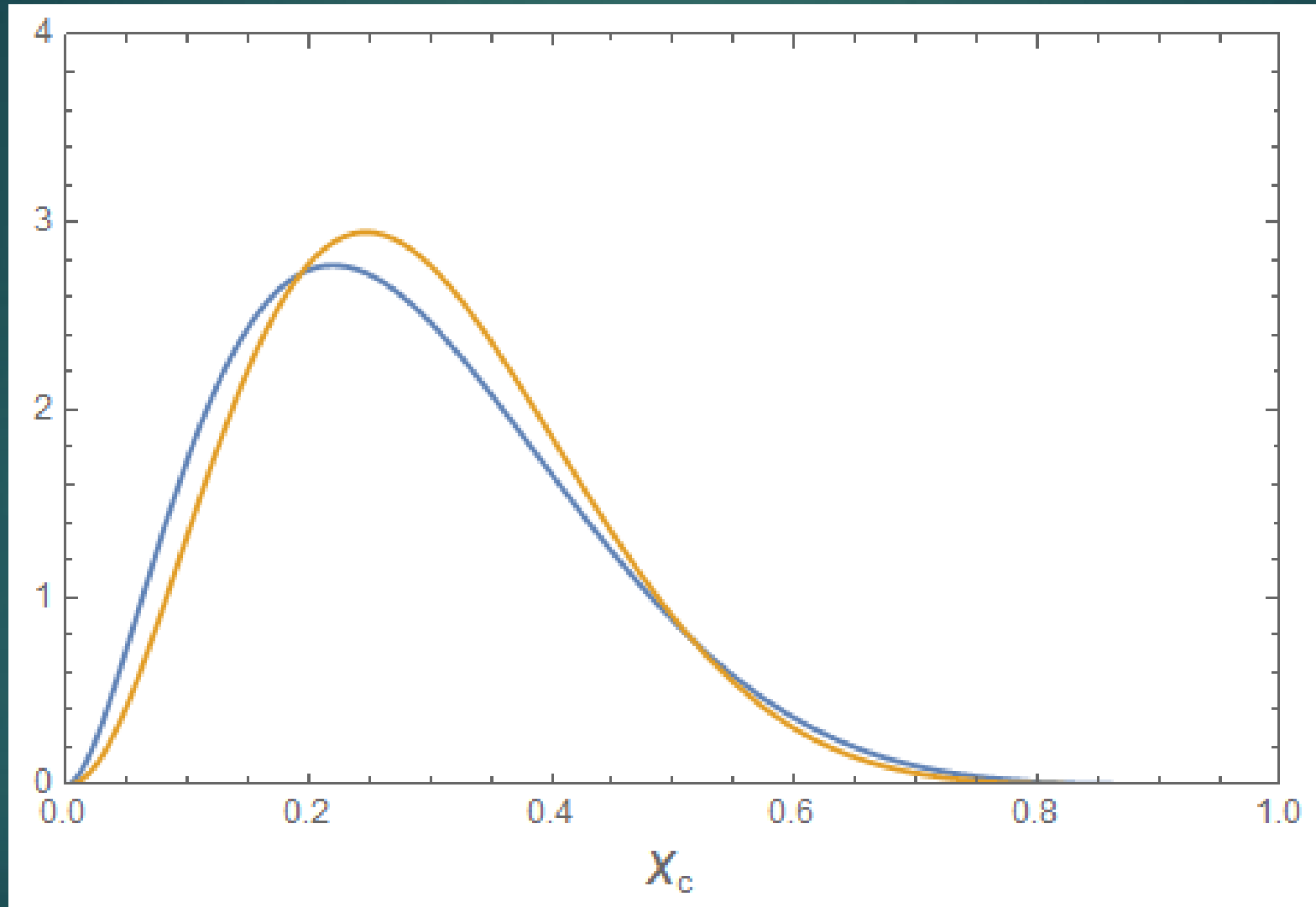
- ▶ $\alpha_c = -2.2$
- ▶ $\alpha_q = 0.5$
- ▶ $\alpha_s = 0$
- ▶ $\alpha_b = -8$



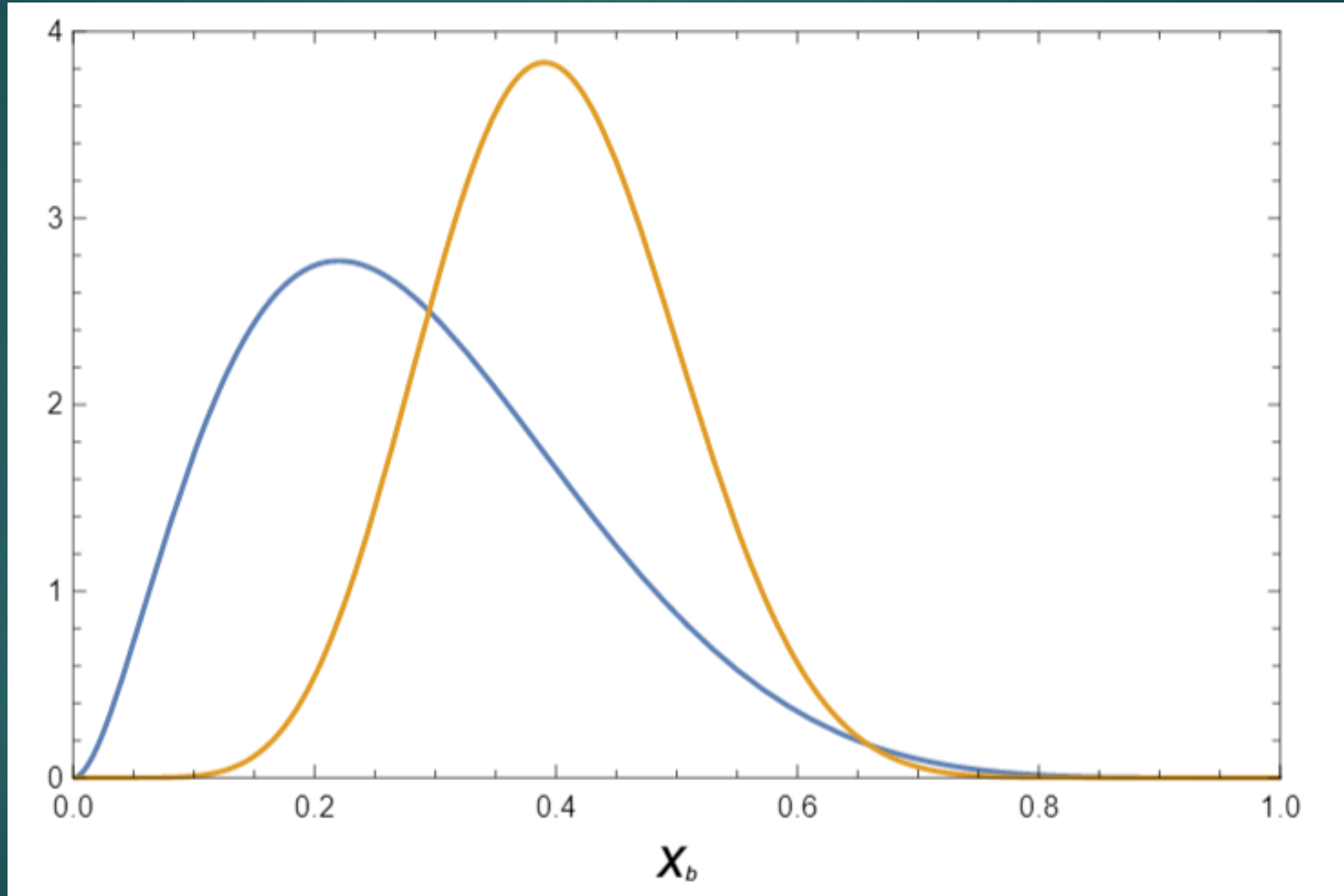
Распределение валентных с-кварков в пентакварке



Сравнение распределений с-кварков



Сравнение распределений b -кварков



Смешивание пентакварка с протоном

$$\begin{pmatrix} M_p & V \\ V & M_{P_c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |X_1\rangle \\ |X_2\rangle \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} |X_1\rangle \\ |X_2\rangle \end{pmatrix},$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{M_p + M_{P_c} \pm \sqrt{(M_p - M_{P_c})^2 + 4V^2}}{2}$$

$$\lambda_1 = M_p + \frac{V^2}{M_{P_c} - M_p},$$

$$\lambda_2 = M_{P_c} - \frac{V^2}{M_{P_c} - M_p};$$

Смешивание: ограничение на присутствие с-кварка в протоне

$$|p\rangle' = |p\rangle + \varepsilon|P_c\rangle:$$

$$\varepsilon = \frac{V}{M_{P_c} - M_p}$$

$$V \lesssim \Gamma_{P_c}$$

$$P_c(4312)^+ (M = 4311.9 \pm 0.7_{-0.6}^{+6.8} \text{ MeV}, \Gamma = 9.8 \pm 2.7_{-4.5}^{+3.7} \text{ MeV}),$$

$$P_c(4440)^+ (M = 4440.3 \pm 1.3_{-4.7}^{+4.1} \text{ MeV}, \Gamma = 20.6 \pm 4.9_{-10.1}^{+8.7} \text{ MeV}),$$

$$P_c(4457)^+ (M = 4457.3 \pm 0.6_{-1.7}^{+4.1} \text{ MeV}, \Gamma = 6.4 \pm 2.0_{-1.9}^{+5.7} \text{ MeV}),$$

Смешивание: ограничение на присутствие с-кварка в протоне

$$\varepsilon \lesssim \frac{\Gamma_{P_c}}{M_{P_c} - M_p}$$

$$\varepsilon \lesssim \frac{9.8 \text{ МэВ}}{4312 \text{ МэВ} - 938 \text{ МэВ}} \approx 3 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon^2 \lesssim 10^{-5}$$

Заключение

- ▶ Полученная модель непертурбативна
- ▶ Распределения валентных кварков строго нормированы
- ▶ Получено новое ограничение на присутствие с-кварка в протоне