Эксклюзивные распады боттомониев на пару чармониев

В.В. Брагута, А.К Лиходед, А.В. Лучинский
Институт физики высоких энергий
Протвино, Россия

Содержание

- Тяжелые кварконии
- Разложение на световом конусе
- Правила отбора
- Результаты
- Заключение

Боттомонии

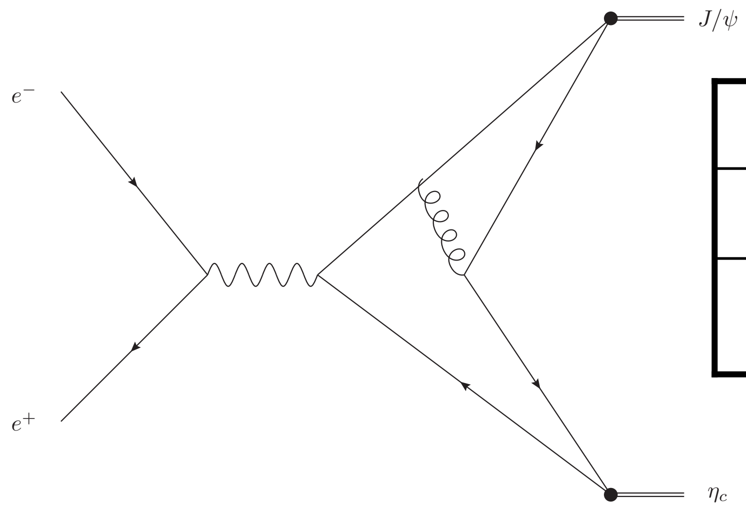
$b\bar{b}$	J^{PC}	L	S	M, GeV
$\Upsilon(1S)$	1^{--}	0	1	9.46
η_b	0^{-+}	0	0	9.300
χ_{b0}	0^{++}	1	1	9.86
χ_{b1}	1^{++}	1	1	9.89
χ_{b2}	2^{++}	1	1	9.91
h_b	1^{+-}	1	0	

Известны только массы

Чармонии

$c\overline{c}$	J^{PC}	L	S	M, GeV
$J/\psi(1S)$	1^{--}	0	1	3.097
η_c	0^{-+}	0	0	2.98
χ_{c0}	0^{++}	1	1	3.415
χ_{c1}	1^{++}	1	1	3.511
χ_{c2}	2^{++}	1	1	3.556
h_c	1^{+-}	1	0	3.526

$e^+e^- \to V_{cc}\, P_{cc}$



	σ_{exp}	σ_{δ}	σ_{LC}
$J/\psi(1S)\eta_c(1S)$	~18÷26	2.3	26
$J/\psi(2S)\eta_c(2S)$	16	0.4	14.5

Необходимо учитывать относительное движение кварков!

Light Cone Formalism

$$T \sim T_0 r^n + T_1 r^{n+1} + T_2 r^{n+2} + \cdots$$

$$r \sim \frac{m_c}{m_b}$$

$$T = \hat{T} \otimes \phi_1 \otimes \phi_2$$

Зависит от процесса

Работает теория возмущений

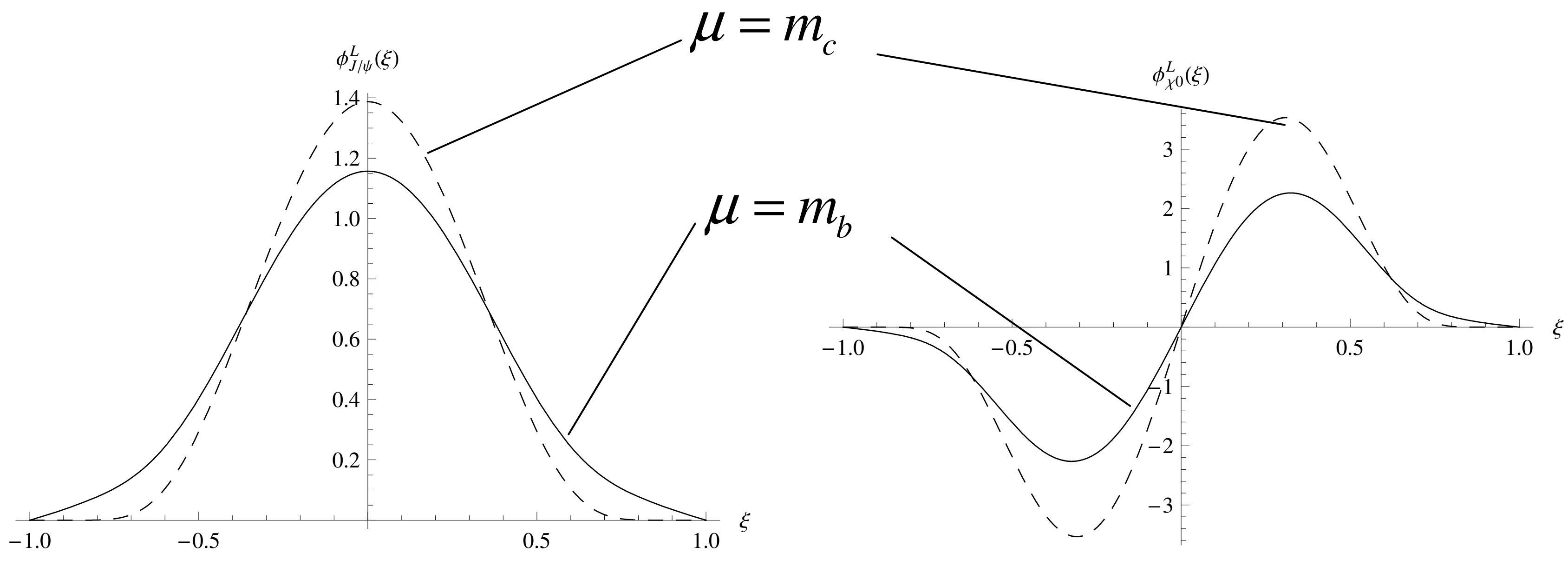
Универсальны

Т.В. не работает

Функции распределения

$$\int_0^1 \phi(x;\mu)\,dx = 1 \qquad \int_0^1 \left(x-\frac{1}{2}\right)\phi(x;\mu)\,dx = 1$$

$$\xi = 2x - 1$$



Правила отбора – спиральность

- $\lambda = \sum_q \lambda_q$
- Спиральность сохраняется в вершине
  $\Rightarrow \lambda_1 + \lambda_2 = 0$
- Сохранение углового момента
  $\Rightarrow |\lambda_1 - \lambda_2| \le J_{in}$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0 \qquad \text{для } J = 0,1,2$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \pm 1 \qquad \text{для } J = 2$$

Правила отбора - натуральность

$$\sigma = \left(-1\right)^{J} P$$

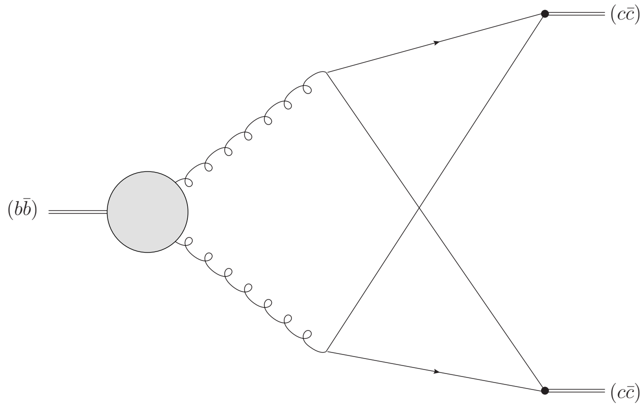
σ = -1 => абсолютно антисимметричный тензор в вершине QQ -> X_{QQ}

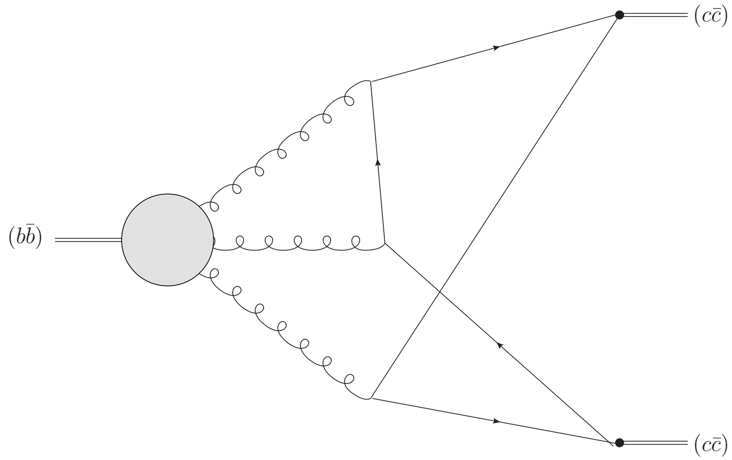
$$\sigma_{in} \neq \left(\sigma_1 \sigma_2\right)_{fin} \quad \Rightarrow \quad T \sim e_{\alpha\beta\mu\nu} p_1^{\alpha} p_2^{\beta} \varepsilon_1^{\mu} \varepsilon_2^{\nu}$$

Для продольно поляризованных мезонов ε(λ=0) → p, амплитуда зануляется

Поперечно поляризованные могут

Правила отбора - C





$$C_{in} = (C_1 C_2)_{fin} = +1$$

Разрешенные распады

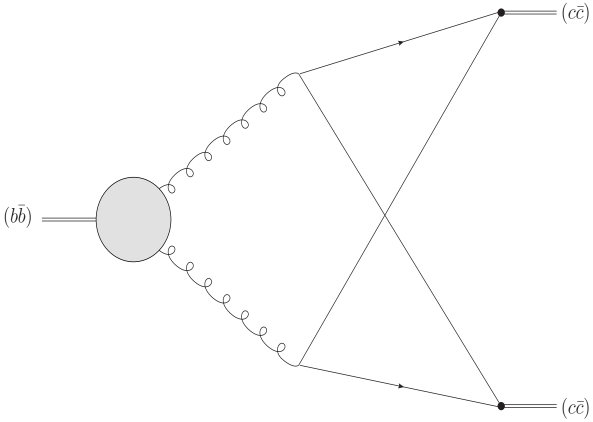
$$\eta_b, \chi_{b1} \to h_c J/\psi,\ \eta_c \chi_{c0,2},\ \chi_{c1}\chi_{c0,2}$$

$$\chi_{b0,2} \to \eta_c \chi_{c2}, \chi_{c0}\chi_{c2},\ \eta_c\eta_c, h_c h_c, J/\psi J/\psi, \chi_{cJ}\chi_{cJ}$$

$$\chi_{b2} \to h_c J/\psi, \chi_{c1}\chi_{c2}$$

Остальные распады подавлены киральным фактором и не могут идти в ведущем твисте

$\eta_b \to (c\bar{c})(c\bar{c})$



$$M\left[\eta_b \to (c\bar{c})_1 (c\bar{c})_2\right] =$$

$$= f_1 f_2 \int_{-1}^{1} d\xi_1 d\xi_2 A_{\alpha\beta}^{(\eta)}(\xi_1, \xi_2) \frac{1}{q_1^2 q_2^2} Sp\left\{\gamma^\alpha \hat{p}_1 \gamma^\beta \hat{p}_2\right\} \phi_1(\xi_1) \phi_2(\xi_2)$$

$$= \frac{128\pi^2 \alpha_s^2}{27} \sqrt{\frac{\langle O_1 \rangle_\eta}{m_b}} \frac{f_1 f_2}{m_b^2} I^{(\eta_b)}$$

$$I^{(\eta_b)} = \int_{-1}^{1} d\xi_1 d\xi_2 \frac{\xi_1 + \xi_1}{\left(1-\xi_1^2\right)\left(1-\xi_2^2\right)\left(1+\xi_1 \xi_2\right)} \phi_1(\xi_1) \phi_2(\xi_2)$$

Константы и функции распределения зависят от мезона

Переход к δ-приближению: $\varphi(\xi) \to \delta(\xi)$ или $-\delta'(\xi)$

$$M\left[\chi_{b0}\to\left(c\bar{c}\right)_L\left(c\bar{c}\right)_L\right]=\frac{512\pi^2\alpha_s^2}{27\sqrt{3}}\sqrt{\frac{\langle O_1\rangle_\chi}{m_b^3}}\frac{f_1^L f_2^L}{m_b^2}\int_{-1}^{1}d\xi_1 d\xi_2\frac{4+\xi_1^2+6\xi_1\xi_2+\xi_2^2}{4\left(1-\xi_1^2\right)\left(1-\xi_2^2\right)\left(1+\xi_1\xi_2\right)^2}\phi_1^L\left(\xi_1\right)\phi_2^L\left(\xi_2\right)$$

$$M\left[\chi_{b1}\to\left(c\bar{c}\right)_L\left(c\bar{c}\right)_L\right]=\frac{128\sqrt{2}\pi^2\alpha_s^2}{27}\sqrt{\frac{\langle O_1\rangle_\chi}{m_b^3}}\frac{f_1^L f_2^L}{m_b^2}\int_{-1}^{1}d\xi_1 d\xi_2\frac{\xi_1-\xi_2}{\left(1-\xi_1^2\right)\left(1-\xi_2^2\right)\left(1+\xi_1\xi_2\right)}\phi_1^L\left(\xi_1\right)\phi_2^L\left(\xi_2\right)$$

$$M\left[\chi_{b2}\to\left(c\bar{c}\right)_L\left(c\bar{c}\right)_L\right]=\frac{256\sqrt{2}\pi^2\alpha_s^2}{27\sqrt{3}}\sqrt{\frac{\langle O_1\rangle_\chi}{m_b^3}}\frac{f_1^L f_2^L}{m_b^2}\int_{-1}^{1}d\xi_1 d\xi_2\frac{2-\xi_1^2-\xi_2^2}{2\left(1-\xi_1^2\right)\left(1-\xi_2^2\right)\left(1+\xi_1\xi_2\right)_2}\phi_1^L\left(\xi_1\right)\phi_2^L\left(\xi_2\right)$$

$$M\left[\chi_{b2}\to\left(c\bar{c}\right)_T\left(c\bar{c}\right)_T\right]=\frac{512\pi^2\alpha_s^2}{27}\sqrt{\frac{\langle O_1\rangle_\chi}{m_b^3}}\frac{f_1^T f_2^T}{m_b^2}\int_{-1}^{1}d\xi_1 d\xi_2\frac{1}{\left(1-\xi_1^2\right)\left(1-\xi_2^2\right)\left(1+\xi_1\xi_2\right)}\phi_1^T\left(\xi_1\right)\phi_2^T\left(\xi_2\right)$$

$$m_c = 1.2 \pm 0.2\,\text{ГэВ}$$

$$\begin{aligned}
f^L_{\eta_c} &= 0.373 \pm 0.064\,\mathrm{GeV}, & & \\
f^L_{J/\psi} &= 0.416 \pm 0.005\,\mathrm{GeV}, & f^T_{J/\psi}(M_{J/\Psi}) &= 0.379 \pm 0.021\,\mathrm{GeV} \\
f^L_{\eta_c(2S)} &= 0.261 \pm 0.077\,\mathrm{GeV}, & & \\
f^L_{\psi(2S)} &= 0.303 \pm 0.003\,\mathrm{GeV}, & f^T_{\psi(2S)}(M_{J/\Psi}) &= 0.261 \pm 0.042\,\mathrm{GeV}, \\
f^L_{\chi_{c0}}(M_{J/\Psi}) &= 0.093 \pm 0.017\,\mathrm{GeV}, & & \\
f^L_{h_c}(M_{J/\Psi}) &= 0.160 \pm 0.015\,\mathrm{GeV}, & f^T_{h_c}(M_{J/\Psi}) &= 0.179 \pm 0.032\,\mathrm{GeV} \\
f^L_{\chi_{c1}} &= 0.272 \pm 0.048\,\mathrm{GeV}, & f^T_{\chi_{c1}}(M_{J/\Psi}) &= 0.111 \pm 0.020\,\mathrm{GeV}, \\
f^L_{\chi_{c2}}(M_{J/\Psi}) &= 0.131 \pm 0.023\,\mathrm{GeV}, & f^T_{\chi_{c2}}(M_{J/\Psi}) &= 0.157 \pm 0.028\,\mathrm{GeV}.
\end{aligned}$$

$$\left\langle O_1^{b\bar{b}} \right\rangle_S = \frac{3}{2\pi}|R_S(0)|^2, \qquad \left\langle O_1^{b\bar{b}} \right\rangle_P = \frac{9}{2\pi}|R_P(0)|^2.$$

$$\left\langle O_1^{b\bar{b}} \right\rangle_S = 3.1\,\mathrm{GeV}^3, \qquad \left\langle O_1^{b\bar{b}} \right\rangle_P = 2.0\,\mathrm{GeV}^5.$$

$M_1 M_2$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{NRQCD}}$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}(\psi\psi)$,
$\eta_b \to h_c J/\psi$	$(7.5 \div 9.5) \times 10^{-6}$	$(4.7 \pm 0.54) \times 10^{-5}$	???
$\eta_b \to h_c \psi(2S)$	$(4. \div 5.) \times 10^{-6}$	$(2.7 \pm 0.3) \times 10^{-5}$	???
$\eta_b \to \eta_c \chi_{c0}$	$(5.1 \div 8.3) \times 10^{-6}$	$(4.5 \pm 2.2) \times 10^{-6}$	—
$\eta_b \to \eta_c(2S) \chi_{c0}$	$(2.7 \div 4.4) \times 10^{-6}$	$(2.3 \pm 1.6) \times 10^{-6}$	???
$\eta_b \to \eta_c \chi_{c2}$	$(1.2 \div 2.3) \times 10^{-6}$	$(8.8 \pm 4.3) \times 10^{-6}$	—
$\eta_b \to \eta_c(2S) \chi_{c2}$	$6.4 \times 10^{-7} \div 1.2 \times 10^{-6}$	$(4.6 \pm 3.2) \times 10^{-6}$	???
$\eta_b \to \chi_{c0} \chi_{c1}$	$(1.1 \div 1.4) \times 10^{-6}$	$(2.4 \pm 1.2) \times 10^{-6}$	$(1.1 \pm 0.56) \times 10^{-8}$
$\eta_b \to \chi_{c1} \chi_{c2}$	$(3.8 \div 6.1) \times 10^{-7}$	$(4.7 \pm 2.3) \times 10^{-6}$	$(3.4 \pm 1.7) \times 10^{-7}$
$\chi_{b0} \to \eta_c \chi_{c1}$	$(1. \div 1.3) \times 10^{-5}$	$(6.4 \pm 3.2) \times 10^{-5}$	—
$\chi_{b0} \to \eta_c(2S) \chi_{c1}$	$(5.4 \div 7.1) \times 10^{-6}$	$(4.9 \pm 3.4) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b0} \to \chi_{c0} \chi_{c2}$	$5.8 \times 10^{-11} \div 5.8 \times 10^{-9}$	$(9.8 \pm 5.) \times 10^{-7}$	$(2.6 \pm 1.3) \times 10^{-9}$
$\chi_{b0} \to \eta_c \eta_c$	$(4.4 \div 5.2) \times 10^{-5}$	$(6.2 \pm 3.) \times 10^{-5}$	—
$\chi_{b0} \to \eta_c \eta_c(2S)$	$(2.3 \div 2.7) \times 10^{-5}$	$(9.5 \pm 6.5) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b0} \to \eta_c(2S) \eta_c(2S)$	$(1.2 \div 1.5) \times 10^{-5}$	$(3.8 \pm 3.2) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b0} \to J/\psi J/\psi$	$(2.5 \div 2.9) \times 10^{-5}$	$(9.6 \pm 0.33) \times 10^{-5}$	$(9.6 \pm 0.33) \times 10^{-5}$
$\chi_{b0} \to J/\psi \psi(2S)$	$(1.3 \div 1.5) \times 10^{-5}$	$(1.6 \pm 0.049) \times 10^{-4}$	$(9.1 \pm 0.28) \times 10^{-5}$
$\chi_{b0} \to \psi(2S) \psi(2S)$	$(7.1 \div 8.) \times 10^{-6}$	$(6.9 \pm 0.19) \times 10^{-5}$	$(2.3 \pm 0.064) \times 10^{-5}$
$\chi_{b0} \to h_c h_c$	$7.3 \times 10^{-8} \div 1.1 \times 10^{-7}$	$(1.8 \pm 0.28) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b0} \to \chi_{c0} \chi_{c0}$	$(1.3 \div 9.1) \times 10^{-8}$	$(2.5 \pm 1.3) \times 10^{-7}$	$(4.2 \pm 2.2) \times 10^{-11}$
$\chi_{b0} \to \chi_{c1} \chi_{c1}$	$(4.2 \div 8.5) \times 10^{-7}$	$(1.7 \pm 0.83) \times 10^{-5}$	$(2.1 \pm 1.1) \times 10^{-6}$
$\chi_{b0} \to \chi_{c2} \chi_{c2}$	$(1.4 \div 4.9) \times 10^{-8}$	$(9.8 \pm 4.8) \times 10^{-7}$	$(4. \pm 2.) \times 10^{-8}$

$M_1 M_2$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{NRQCD}}$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}(\psi\psi)$,
$\chi_{b1} \to h_c J/\psi$	$(5.8 \div 6.1) \times 10^{-6}$	$(8.8 \pm 0.99) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b1} \to h_c \psi(2S)$	$(3.1 \div 3.2) \times 10^{-7}$	$(9.4 \pm 1.1) \times 10^{-6}$	???
$\chi_{b1} \to \eta_c \chi_{c0}$	$(1.1 \div 1.4) \times 10^{-7}$	$(8.3 \pm 4.1) \times 10^{-7}$	—
$\chi_{b1} \to \eta_c(2S) \chi_{c0}$	$(5.6 \div 7.3) \times 10^{-8}$	$(8.2 \pm 5.7) \times 10^{-7}$	???
$\chi_{b1} \to \eta_c \chi_{c2}$	$(3.4 \div 3.7) \times 10^{-7}$	$(1.6 \pm 0.81) \times 10^{-6}$	—
$\chi_{b1} \to \eta_c(2S) \chi_{c2}$	$(1.8 \div 2.) \times 10^{-7}$	$(1.6 \pm 1.1) \times 10^{-6}$	???
$\chi_{b1} \to \chi_{c0} \chi_{c1}$	$(2.1 \div 3.5) \times 10^{-7}$	$(4.2 \pm 2.2) \times 10^{-7}$	$(2. \pm 1.) \times 10^{-9}$
$\chi_{b1} \to \chi_{c1} \chi_{c2}$	$(6.1 \div 6.9) \times 10^{-8}$	$(8.4 \pm 4.2) \times 10^{-7}$	$(6.1 \pm 3.) \times 10^{-8}$
$\chi_{b2} \to \eta_c \chi_{c1}$	$(5.4 \div 5.9) \times 10^{-6}$	$(6.9 \pm 3.4) \times 10^{-5}$	—
$\chi_{b2} \to \eta_c(2S) \chi_{c1}$	$(2.8 \div 3.1) \times 10^{-6}$	$(4.7 \pm 3.2) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b2} \to \chi_{c0} \chi_{c2}$	$(1.3 \div 2.2) \times 10^{-6}$	$(5.8 \pm 2.9) \times 10^{-6}$	$(1.5 \pm 0.77) \times 10^{-8}$
$\chi_{b2} \to \eta_c \eta_c$	$(3.9 \div 6.7) \times 10^{-6}$	$(6.6 \pm 3.2) \times 10^{-5}$	—
$\chi_{b2} \to \eta_c(2S) \eta_c$	$(2.1 \div 3.6) \times 10^{-6}$	$(9. \pm 6.1) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b2} \to \eta_c(2S) \eta_c(2S)$	$(1.1 \div 1.9) \times 10^{-6}$	$(3.4 \pm 2.9) \times 10^{-5}$	???
$\chi_{b2} \to J/\psi J/\psi$	$(1.9 \div 2.2) \times 10^{-4}$	$(0.11 \pm 0.017)\ \%$	$(0.11 \pm 0.017)\ \%$
$\chi_{b2} \to \psi(2S) J/\psi$	$10. \times 10^{-5} \div 1.2 \times 10^{-4}$	$(0.16 \pm 0.05)\ \%$	$(9.2 \pm 2.9) \times 10^{-4}$
$\chi_{b2} \to \psi(2S) \psi(2S)$	$(5.3 \div 6.2) \times 10^{-5}$	$(6.2 \pm 2.5) \times 10^{-4}$	$(2.1 \pm 0.84) \times 10^{-4}$
$\chi_{b2} \to h_c h_c$	$(1.1 \div 1.7) \times 10^{-6}$	$(1.5 \pm 0.33) \times 10^{-4}$	???
$\chi_{b2} \to \chi_{c0} \chi_{c0}$	$(3.9 \div 5.7) \times 10^{-8}$	$(1.5 \pm 0.76) \times 10^{-6}$	$(2.5 \pm 1.3) \times 10^{-10}$
$\chi_{b2} \to \chi_{c1} \chi_{c1}$	$(4.4 \div 7.7) \times 10^{-7}$	$(3.3 \pm 1.9) \times 10^{-5}$	$(4.2 \pm 2.5) \times 10^{-6}$
$\chi_{b2} \to \chi_{c2} \chi_{c2}$	$(5.3 \div 7.4) \times 10^{-7}$	$(4. \pm 3.1) \times 10^{-5}$	$(1.6 \pm 1.3) \times 10^{-6}$
$\chi_{b2} \to h_c J/\psi$	$(2.2 \div 2.8) \times 10^{-5}$	$(4.2 \pm 1.7) \times 10^{-4}$	???
$\chi_{b2} \to h_c \psi(2S)$	$(1.2 \div 1.5) \times 10^{-5}$	$(3. \pm 1.5) \times 10^{-4}$	???
$\chi_{b2} \to \chi_{c1} \chi_{c2}$	$9.8 \times 10^{-7} \div 1. \times 10^{-6}$	$(4.5 \pm 3.9) \times 10^{-5}$	$(3.2 \pm 2.8) \times 10^{-6}$

Краткие результаты

$(b\bar{b})$	Br_{δ}	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}$	$\mathrm{Br}_{\mathrm{LC}}(\psi\psi + X)$
η_b	$4\times10^{-7} \div 8\times10^{-6}$	$2\times10^{-6} \div 5\times10^{-5}$	$\sim 10^{-7}$
χ_{b0}	$10^{-8} \div 10^{-5}$	$10^{-7} \div 10^{-4}$	$\sim 10^{-4}$
χ_{b1}	$10^{-8} \div 10^{-7}$	$10^{-7} \div 10^{-6}$	$\sim 10^{-8}$
χ_{b2}	$10^{-8} \div 10^{-5}$	$10^{-7} \div 10^{-3}$	$\sim 10^{-3}$

Заключение

1. Учет относительного движения кварков заметно меняет вероятности эксклюзивных процессов
2. Для его учета удобно использовать разложение на световом конусе
3. Правила отбора
4. В результате повышение на порядок

Backup slides

NRQCD results

$$\Gamma(\eta_b \to M_1 M_2) \;=\; \frac{512\pi^3\alpha_s^4}{729}\frac{\langle O_S^{b\bar{b}}\rangle}{m_b^2}\left[\frac{f_1^{\rm NRQCD} f_2^{\rm NRQCD}}{m_b^2}\right]^2 F(\eta_b \to M_1 M_2),$$

$$\begin{aligned}
F[\eta_b \to h_c\psi] &= 1 + 32r^2, \\
F[\eta_b \to \eta_c\chi_{c0}] &= \frac{1}{3} + \frac{16r}{3} + \frac{64r^2}{3}, \\
F[\eta_b \to \eta_c\chi_{c2}] &= \frac{2}{3} - \frac{16r}{3} + \frac{32r^2}{3}, \\
F[\eta_b \to \chi_{c0}\chi_{c1}] &= \frac{2}{3} + \frac{32r}{3} + \frac{40r^2}{3} - \frac{800r^3}{3}, \\
F[\eta_b \to \chi_{c2}\chi_{c1}] &= \frac{4}{3} - \frac{32r}{3} + \frac{104r^2}{3} - \frac{160r^3}{3}
\end{aligned}$$

$$\Gamma(\chi_{b0} \to M_1 M_2) \;=\; \frac{4096\pi^3\alpha_s^4}{2187}\frac{\langle O_P^{bb}\rangle}{m_b^4}\left[\frac{f_1^{\rm NRQCD} f_2^{\rm NRQCD}}{m_b^2}\right]^2 F(\chi_{b0} \to M_1 M_2),$$

$$\begin{aligned}
F[\chi_{b0} \to \eta_c \chi_{c1}] &= 4 - 16r, \\
F[\chi_{b0} \to \chi_{c0} \chi_{c2}] &= \frac{1}{9} - \frac{28r}{9} + \frac{92r^2}{3} - \frac{1120r^3}{9} + \frac{1600r^4}{9}, \\
F[\chi_{b0} \to \eta_c \eta_c] &= 1 + 4r + 4r^2, \\
F[\chi_{b0} \to \psi\psi] &= 1 - 4r + 12r^2, \\
F[\chi_{b0} \to h_c h_c] &= \frac{1}{4} - 10r^2 - 32r^3 + 272r^4, \\
F[\chi_{b0} \to \chi_{c0} \chi_{c0}] &= \frac{1}{36} - \frac{16r}{9} + 28r^2 + \frac{128r^3}{9} + \frac{16r^4}{9}, \\
F[\chi_{b0} \to \chi_{c1} \chi_{c1}] &= 4 - 56r + \frac{537r^2}{2} - 260r^3 + 72r^4, \\
F[\chi_{b0} \to \chi_{c2} \chi_{c2}] &= \frac{1}{9} - \frac{28r}{9} + \frac{179r^2}{6} - \frac{340r^3}{9} + \frac{1480r^4}{9}
\end{aligned}$$

$$\Gamma(\chi_{b1} \to M_1 M_2) \;=\; \frac{1024\pi^3\alpha_s^4}{2187}\frac{\langle O_P^{bb}\rangle}{m_b^4}\left[\frac{f_1^{\mathrm{NRQCD}} f_2^{\mathrm{NRQCD}}}{m_b^2}\right]^2 F(\chi_{b1} \to M_1 M_2),$$

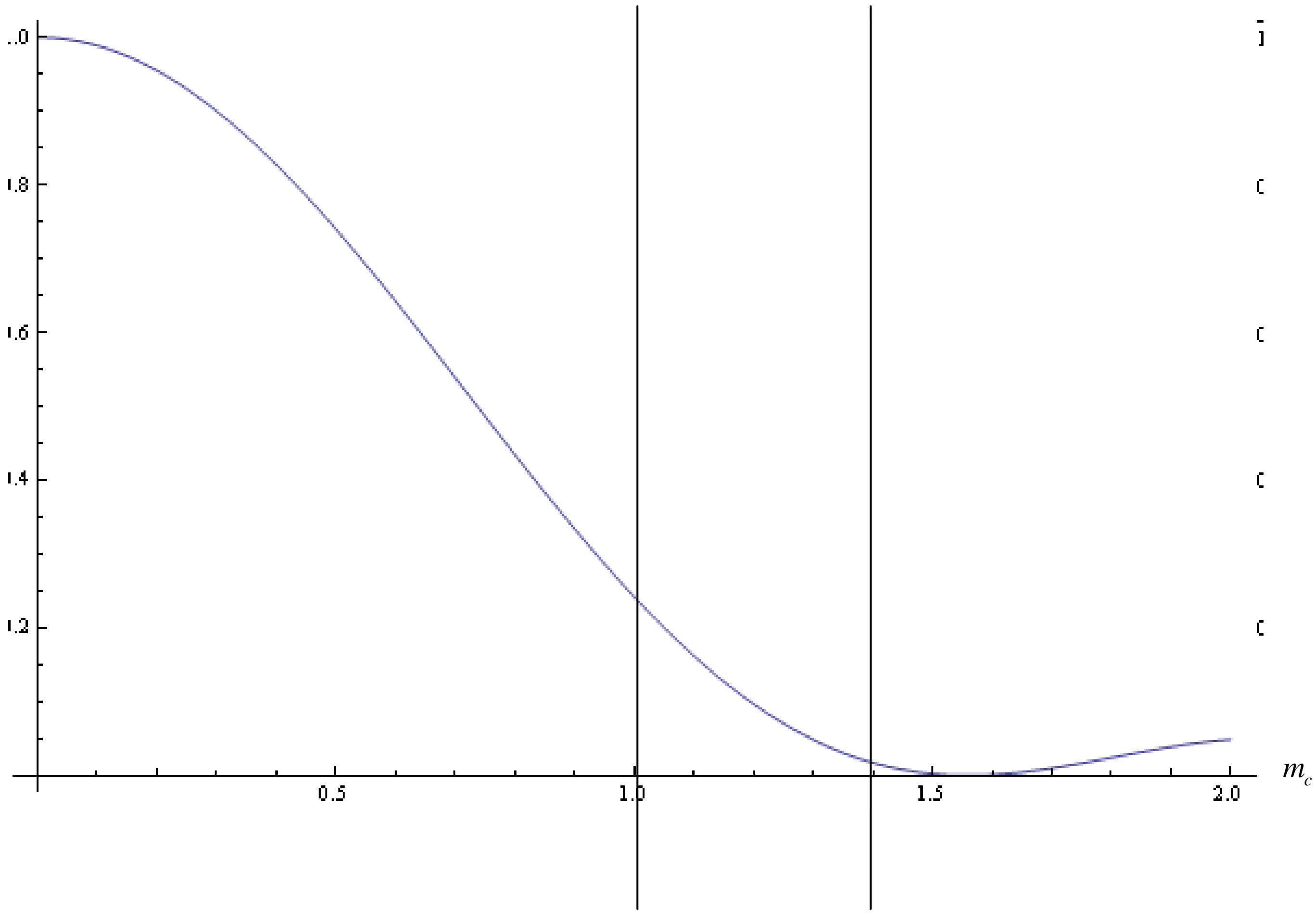
$$\begin{aligned}
F[\chi_{b1} \to h_c\psi] &= 1 + 4r - 32r^2, \\
F[\chi_{b1} \to \eta_c\chi_{c0}] &= \frac{1}{3} - \frac{4r}{3}, \\
F[\chi_{b1} \to \eta_c\chi_{c2}] &= \frac{2}{3} + \frac{4r}{3} - 16r^2, \\
F[\chi_{b1} \to \chi_{c0}\chi_{c1}] &= \frac{2}{3} + \frac{124r}{3} + 24r^2, \\
F[\chi_{b1} \to \chi_{c2}\chi_{c1}] &= \frac{4}{3} - \frac{16r}{3} - 8r^2 + 192r^3
\end{aligned}$$

$$\Gamma(\chi_{bw} \to M_1 M_2) \; = \; \frac{2048\pi^3\alpha_s^4}{10935} \frac{\langle O_P^{bb} \rangle}{m_b^4} \left[\frac{f_1^{\rm NRQCD} f_2^{\rm NRQCD}}{m_b^2} \right]^2 F(\chi_{b1} \to M_1 M_2)$$

where

$$\begin{aligned}
F[\chi_{b2} \to \eta_c \chi_{c1}] &= 4 + 8r - 96r^2, \\
F[\chi_{b2} \to \chi_{c0}\chi_{c2}] &= \frac{16}{9} + \frac{872r}{9} + \frac{208r^2}{3} - \frac{544r^3}{9} + \frac{4288r^4}{9}, \\
F[\chi_{b2} \to \eta_c \eta_c] &= 1 - 8r + 16r^2, \\
F[\chi_{b2} \to \psi\psi] &= 13 + 56r + 48r^2, \\
F[\chi_{b2} \to h_c h_c] &= 16 - 132r + 488r^2 - 944r^3 + 800r^4, \\
F[\chi_{b2} \to \chi_{c0}\chi_{c0}] &= \frac{4}{9} - \frac{16r}{9} - \frac{16r^2}{3} + \frac{128r^3}{9} + \frac{256r^4}{9}, \\
F[\chi_{b2} \to \chi_{c1}\chi_{c1}] &= 7 - 44r - 30r^2 + 340r^3 + 264r^4, \\
F[\chi_{b2} \to \chi_{c2}\chi_{c2}] &= \frac{43}{9} + \frac{44r}{9} - 286r^2 + \frac{6212r^3}{9} + \frac{5032r^4}{9}, \\
F[\chi_{b2} \to h_c \psi] &= 24 - 72r - 96r^2, \\
F[\chi_{b2} \to \chi_{c1}\chi_{c2}] &= 6 + 4r^2 - 488r^3 + 1072r^4
\end{aligned}$$

$$\chi_{b0} \to \chi_{c0}\chi_{c2}$$



Функции распределения

for the pseudoscalar mesons $P = \eta_c, \eta_c'$:

$$\left\langle P(p) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\gamma_5)_{\beta\alpha} \frac{f_P}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi_P(\xi;\mu),$$

for the vector mesons $V = J/\Psi, \psi'$:

$$\left\langle V(p,\epsilon_{\lambda=0}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p})_{\beta\alpha} \frac{f_V^L}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi_V^L(\xi;\mu)$$

$$\left\langle V(p,\epsilon_{\lambda=\pm1}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\hat{\epsilon})_{\beta\alpha} \frac{f_V^T}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi_V^T(\xi;\mu)$$

for χ_{c0}-meson:

$$\left\langle \chi_{c0}(p) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p})_{\beta\alpha} \frac{f_{\chi 0}^L}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \underline{\phi_{\chi 0}^L}(\xi;\mu)$$

for χ_{c1}-meson:

$$\left\langle \chi_{c1}(p,\epsilon_{\lambda=0}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\gamma_5)_{\beta\alpha} \frac{f^L_{\chi 1}}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^L_{\chi 1}(\xi;\mu),$$

$$\left\langle \chi_{c1}(p,\epsilon_{\lambda=\pm 1}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\hat{\epsilon}\gamma_5)_{\beta\alpha} \frac{f^T_{\chi 1}}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^T_{\chi 1}(\xi;\mu)$$

for h_c-meson:

$$\left\langle h_c(p,\epsilon_{\lambda=0}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\gamma_5)_{\beta\alpha} \frac{f^L_h}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^L_h(\xi;\mu),$$

$$\left\langle h_c(p,\epsilon_{\lambda=\pm 1}) \left| \bar{Q}(z)\sigma_{\mu\nu}[z,-z]Q(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p}\hat{\rho}\gamma_5)_{\beta\alpha} \frac{f^T_h}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^T_h(\xi;\mu)$$

for χ_{c2}-meson:

$$\left\langle \chi_{c2}(p,\epsilon_{\lambda=0}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = (\hat{p})_{\beta\alpha} \frac{f^L_{\chi 2}}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^L_{\chi 2}(\xi;\mu),$$

$$\left\langle \chi_{c2}(p,\epsilon_{\lambda=\pm 1}) \left| \bar{Q}^i_\alpha(z)[z,-z]Q^j_\beta(-z) \right| 0 \right\rangle = M_\chi(\hat{\rho}\hat{p})_{\beta\alpha} \frac{f^T_{\chi 2}}{4} \frac{\delta_{ij}}{3} \int\limits_{-1}^{1} d\xi e^{i\xi(pz)} \phi^T_{\chi 2}(\xi;\mu). \quad \text{(A1)}$$

Эволюция

$$\phi(\xi;\mu) = (1-\xi^2)\sum_n a_n(\mu) G_n^{3/2}(\xi) \qquad a_n(\mu) = \left(\frac{\alpha_s(\mu)}{\alpha_s(\mu_0)}\right)^{\gamma_n} a_n(\mu_0)$$

Численные параметры