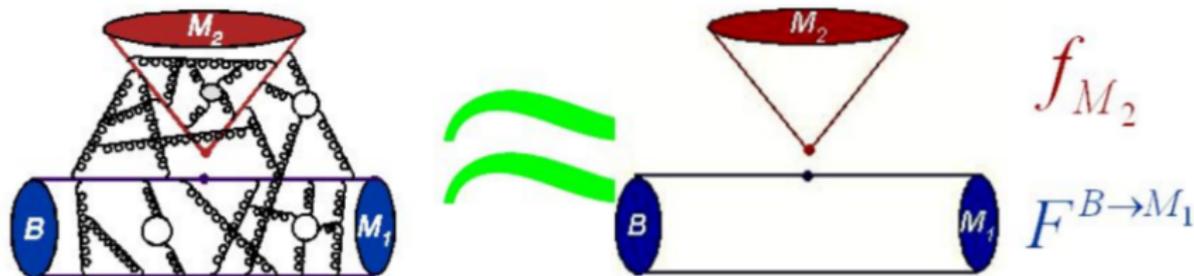


Поправка к факторизации в $B \rightarrow D^* \omega \pi$

Д. Матвиенко, Л. Кардапольцев, С. Эйдельман

4 октября 2019 г.

Приближение наивной факторизации



$$\langle M_1 M_2 | (\bar{q}_2 q_3)_{(V \pm A)} (\bar{b} q_1)_{(V \pm A)} | B \rangle \approx \langle M_2 | (\bar{q}_2 q_3)_{(V \pm A)} | 0 \rangle \langle M_1 | (\bar{b} q_1)_{(V \pm A)} | B \rangle$$

$$\downarrow$$

$$f_{M_2}$$

$$\downarrow$$

$$F^{B \rightarrow M_1}$$

Decay Amplitude: $A(\bar{B} \rightarrow M_1 M_2) \propto C_i(\mu) f_{M_2} F^{B \rightarrow M_1}$

Поправки : разложение $1/N_c$

$$H_{\text{eff}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} V_{ud}^* \left\{ \left(c_1(\mu) + \frac{c_2(\mu)}{N_c} \right) (\bar{d}u)_{V-A} (\bar{c}b)_{V-A} + \frac{c_2(\mu)}{2} (\bar{d}t_a u)_{V-A} (\bar{c}t_a b)_{V-A} \right\} + \dots$$

$$\varepsilon_1^{(BD,\pi)}(\mu) \equiv \frac{\langle \pi^- D^+ | (\bar{d}u)_{V-A} (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}{\langle \pi^- | (\bar{d}u)_{V-A} | 0 \rangle \langle D^+ | (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle} - 1,$$

$$\varepsilon_8^{(BD,\pi)}(\mu) \equiv \frac{\langle \pi^- D^+ | (\bar{d}t_a u)_{V-A} (\bar{c}t_a b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}{2 \langle \pi^- | (\bar{d}u)_{V-A} | 0 \rangle \langle D^+ | (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}.$$

$$a_1^{\text{eff}} = \left(c_1(\mu) + \frac{c_2(\mu)}{N_c} \right) \left[1 + \varepsilon_1^{(BD,\pi)}(\mu) \right] + c_2(\mu) \varepsilon_8^{(BD,\pi)}(\mu)$$

$$a_2^{\text{eff}} = \left(c_2(\mu) + \frac{c_1(\mu)}{N_c} \right) \left[1 + \varepsilon_1^{(B\pi,D)}(\mu) \right] + c_1(\mu) \varepsilon_8^{(B\pi,D)}(\mu)$$

$$\varepsilon_8 = O(1/N_c)$$

$$\varepsilon_1 = O(1/N_c^2)$$

Поправки : разложение $1/N_c$

$$H_{\text{eff}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} V_{ud}^* \left\{ \left(c_1(\mu) + \frac{c_2(\mu)}{N_c} \right) (\bar{d}u)_{V-A} (\bar{c}b)_{V-A} \right. \\ \left. + \frac{c_2(\mu)}{2} (\bar{d}t_a u)_{V-A} (\bar{c}t_a b)_{V-A} \right\} + \dots$$

$$\varepsilon_1^{(BD,\pi)}(\mu) \equiv \frac{\langle \pi^- D^+ | (\bar{d}u)_{V-A} (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}{\langle \pi^- | (\bar{d}u)_{V-A} | 0 \rangle \langle D^+ | (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle} - 1,$$

$$\varepsilon_8^{(BL,\pi)}(\mu) \equiv \frac{\langle \pi^- D^+ | (\bar{d}t_a u)_{V-A} (\bar{c}t_a b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}{2 \langle \pi^- | (\bar{d}u)_{V-A} | 0 \rangle \langle D^+ | (\bar{c}b)_{V-A} | \bar{B}^0 \rangle}.$$

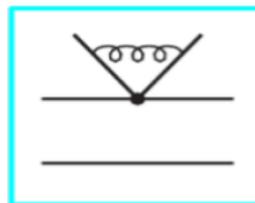
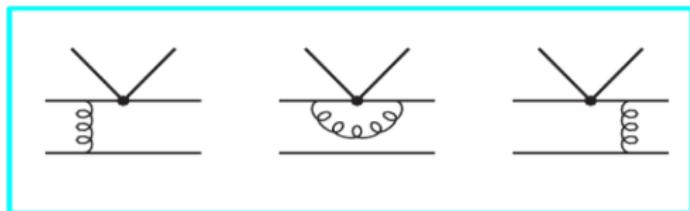
$$a_1^{\text{eff}} = \left(c_1(\mu) + \frac{c_2(\mu)}{N_c} \right) [1 + \varepsilon_1^{(BD,\pi)}(\mu)] + c_2(\mu) \varepsilon_8^{(BD,\pi)}(\mu)$$

$$a_2^{\text{eff}} = \left(c_1(\mu) + \frac{c_2(\mu)}{N_c} \right) [1 + \varepsilon_1^{(B\pi,D)}(\mu)] + c_1(\mu) \varepsilon_8^{(B\pi,D)}(\mu)$$

$$\varepsilon_8 = O(1/N_c)$$

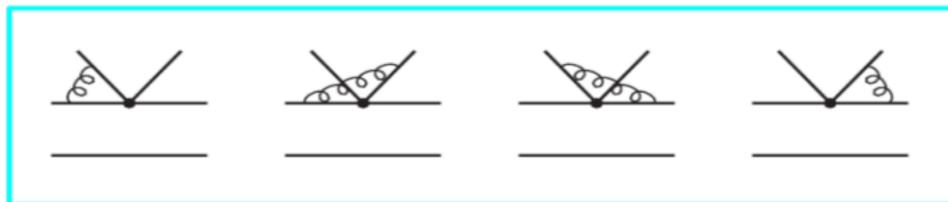
$$\varepsilon_1 = O(1/N_c^2)$$

Поправки : глюонные обмены



$F(B \rightarrow D)$

f_x



Поправки растут с ростом $M(x)/E(x)$

Тест факторизации

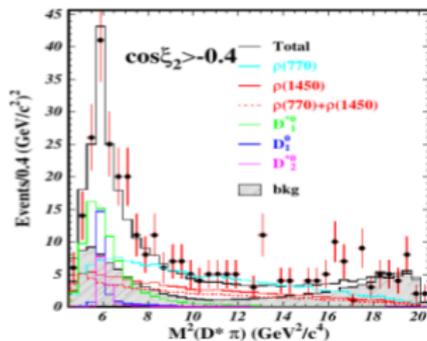
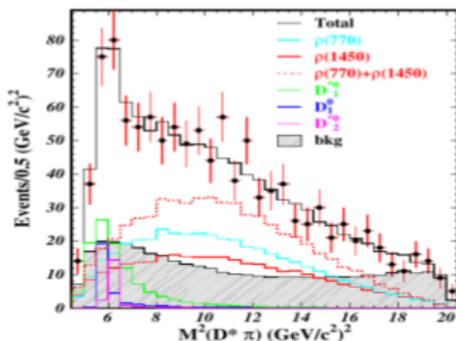
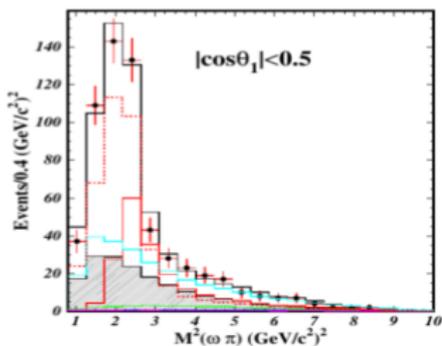
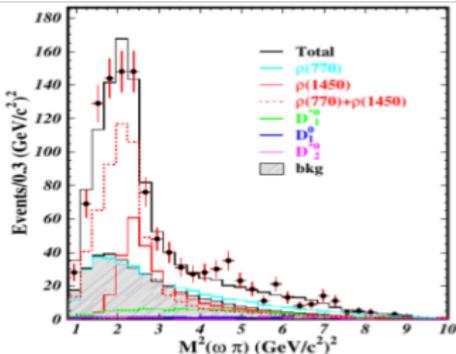
$$B \rightarrow D^{(*)} X, X = \pi\pi, \pi\pi\pi, \pi\pi\pi\pi$$

$$\frac{d\Gamma(B \rightarrow D^{(*)} X)/dm_X^2}{d\Gamma(B \rightarrow D^{(*)} \ell\bar{\nu})/dm_X^2} = 3\pi \left(c_1(m_b) + \frac{c_2(m_b)}{3} \right)^2 v_X(m_X^2) (1 + \delta_{NF})$$

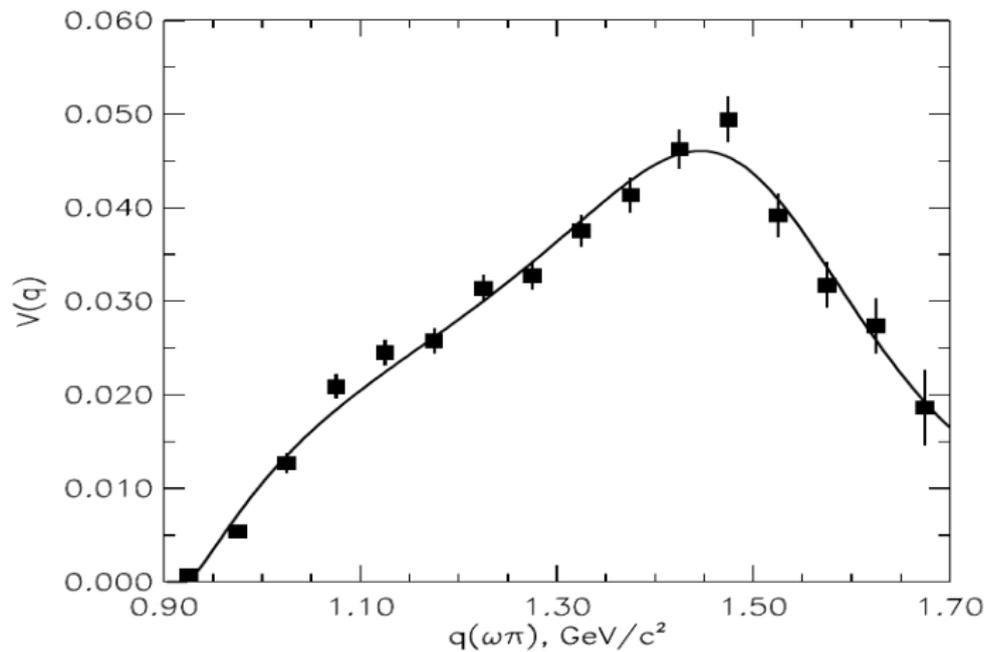
- Нормировка на полулептонный канал $B \rightarrow D^{(*)} l\nu_l$.
- Функцию $v_X(m_X^2)$ можно извлекать из данных $\tau \rightarrow X\nu_\tau$ и $e^+e^- \rightarrow X$
- $X = \pi\pi$. Насыщение ρ -мезоном. Быстро падающая функция в распределении m_X^2 .
- $X = \pi\pi\pi$. Вклад от $a_1(1260)$.
- $X = \pi\pi\pi\pi$. Нет выделенного резонанса. Фон от процессов, где один и более пионов излучаются током $\bar{c}b$. Ограничение $X = \omega\pi$. Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора в данных $B \rightarrow D^{*}\omega\pi$ и $\tau \rightarrow \omega\pi\nu_\tau$, $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0$

Данные $B \rightarrow D^* \omega \pi$

Belle (2015) : PRD 92, 012013 (2015)

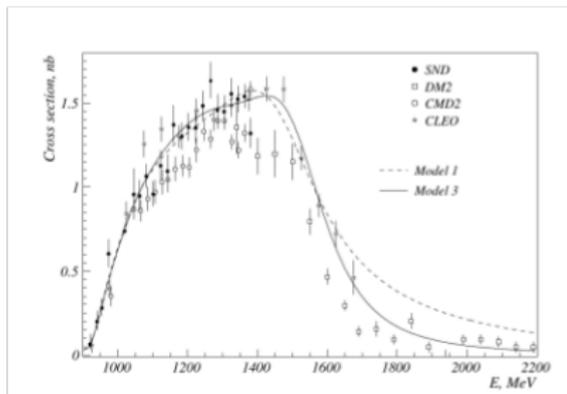


CLEO (2000) : PRD 6, 072003 (2000)

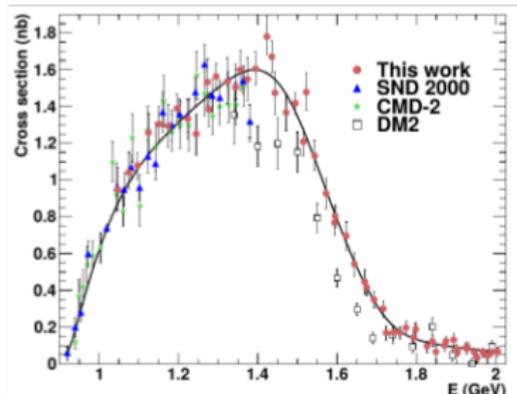


Данные $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$

SND (до 1.4 ГэВ):
Phys. Lett. B 486, 29 (2000)

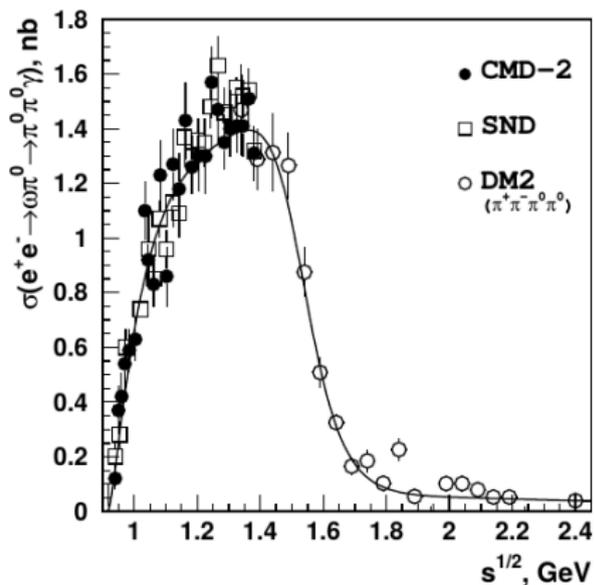
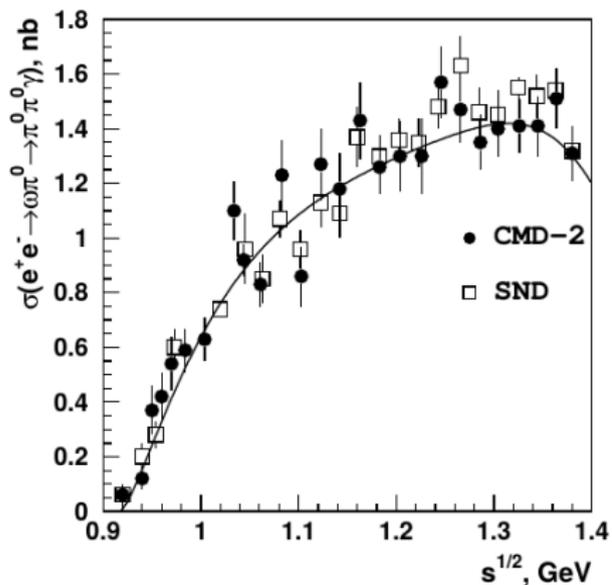


SND (от 1.05 ГэВ до 2.00 ГэВ):
PRD 94, 112001 (2016)



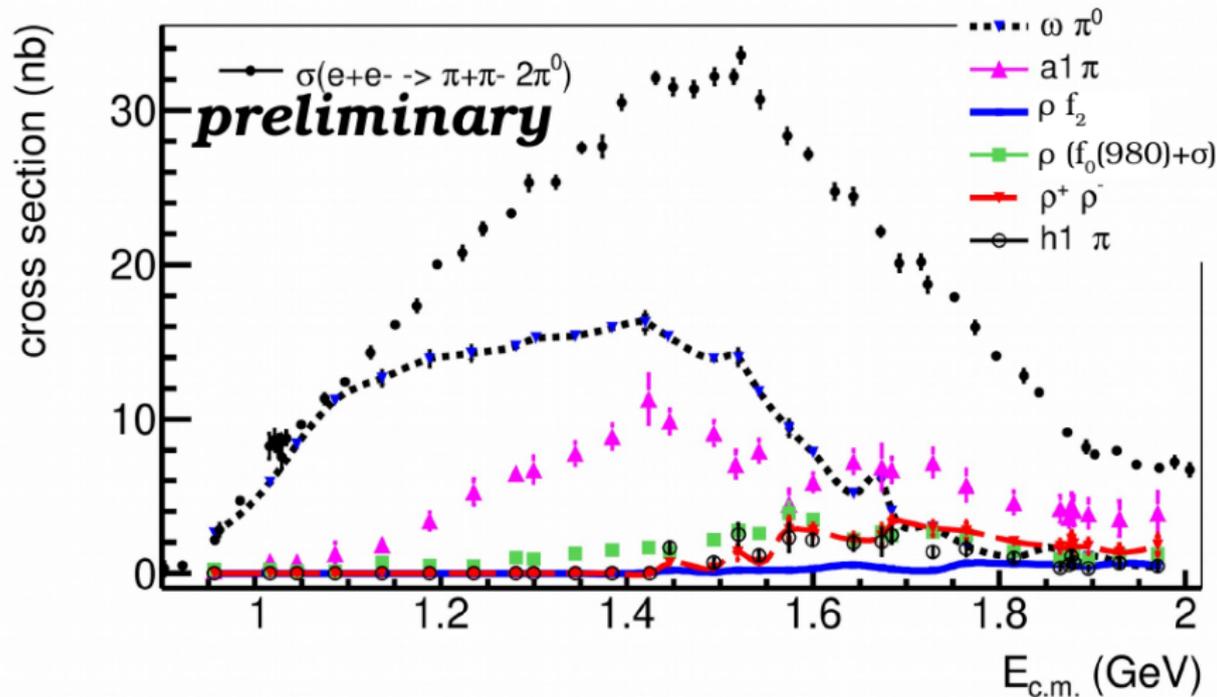
Данные $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$

CMD2 (до 1.38 ГэВ) : Phys. Lett. B 562, 173 (2003)



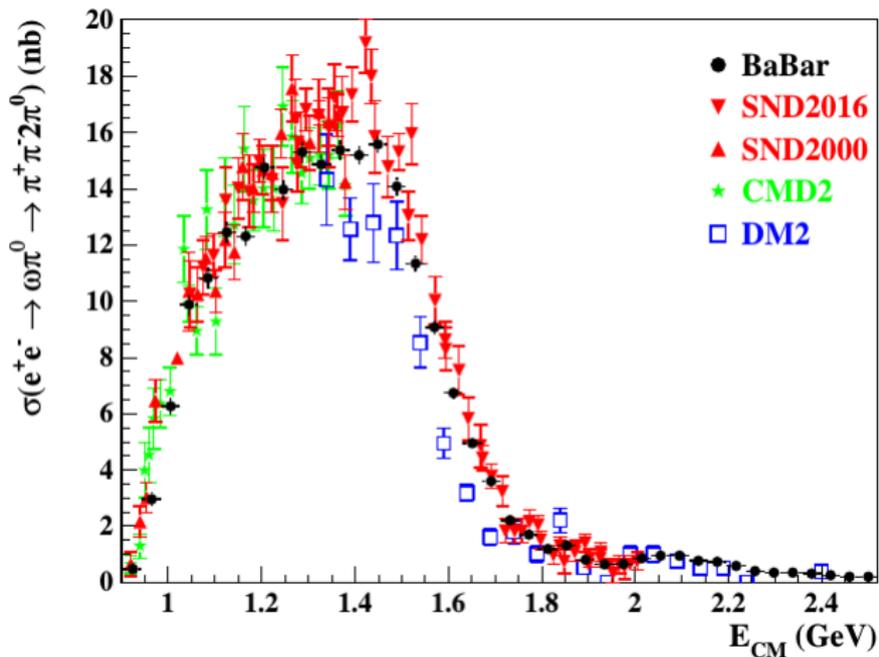
Данные $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$

CMD3 (до 2.00 ГэВ) : EPJ Web of Conf 212, 03008 (2019)



Данные $e^+e^- \rightarrow \omega\pi^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$

BaBar (до 2.50 ГэВ) : PRD 96, 092009 (2017)



$\omega\pi$ форм-фактор из В-распадов

$$M_{\text{sig}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{cb} V_{ud}^* a_1(m_b) F_{\omega\pi}^B(q^2) \epsilon^{\mu\nu\alpha\beta} J_\mu^{(B \rightarrow D^*)} v_\nu^* q_\alpha p_\beta$$

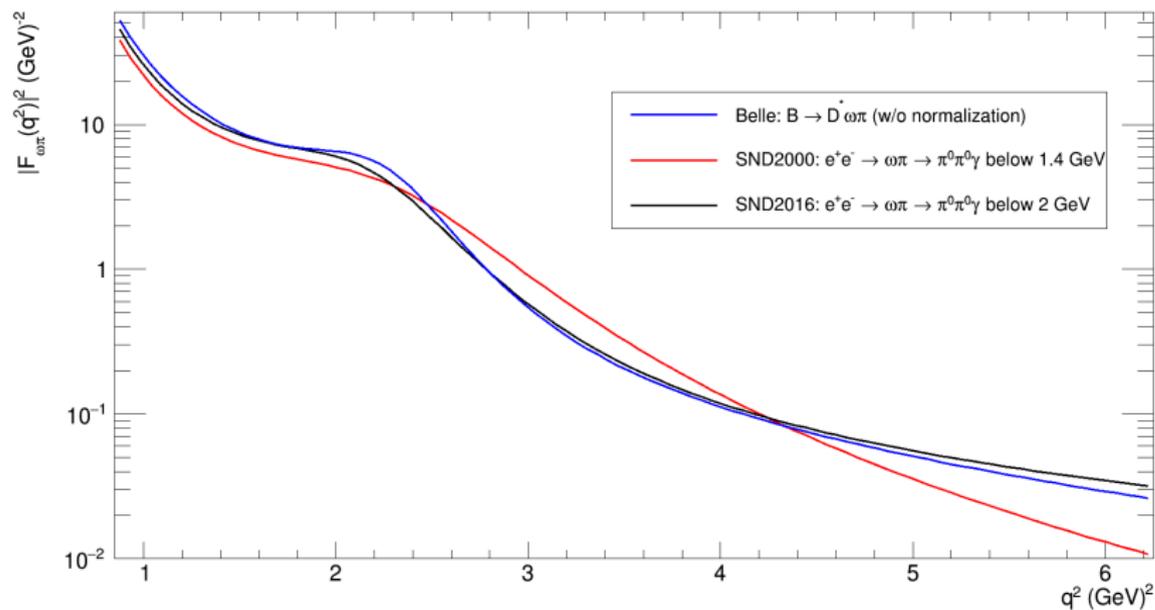
$$F_{\omega\pi}^B(q^2) = \tilde{g} f_{\omega\pi}(q^2)$$

$$f_{\omega\pi}(q^2) = \sqrt{q^2} \left(\frac{F_\rho(q^2)}{D_\rho(q^2)} + A_{\rho'} e^{i\phi_{\rho'}} \frac{F_{\rho'}(q^2)}{D_{\rho'}(q^2)} \right)$$

$$F_\rho(q^2) = \frac{1}{1 + (r p_\omega)^2}, \quad F_{\rho'}(q^2) = \sqrt{\frac{1 + (r p_{0,\omega})^2}{1 + (r p_\omega)^2}}$$

$$D_{\rho(\rho')}(q^2) = q^2 - m_{\rho(\rho')}^2 + i\sqrt{q^2} \Gamma_{\rho(\rho')}(q^2)$$

Функциональная зависимость $\omega\pi$ форм-фактора



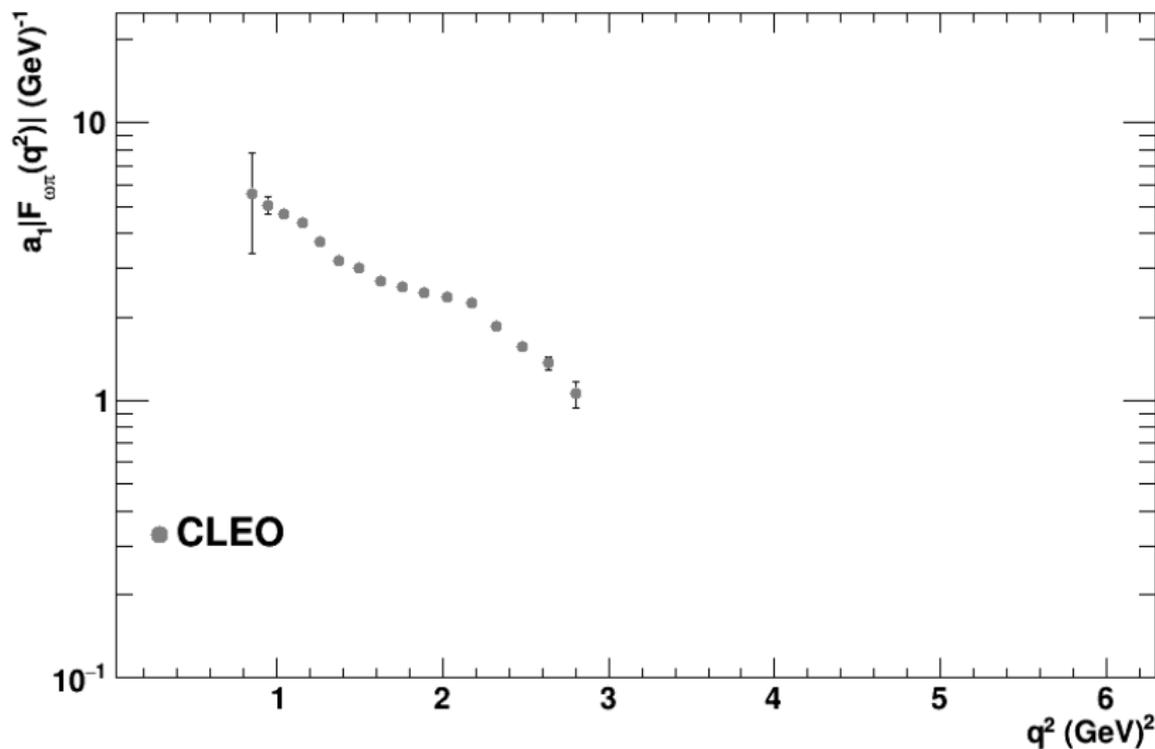
Нормировка $\omega\pi$ форм-фактора из B-распадов

$$a_1 \tilde{g} = \frac{8\pi\sqrt{3\pi}m_B}{G_F\mathcal{F}(1)|V_{cb}||V_{ud}|} \sqrt{\frac{f_{\rho+\rho'}\Gamma(B \rightarrow D^*\omega\pi)}{J}}$$

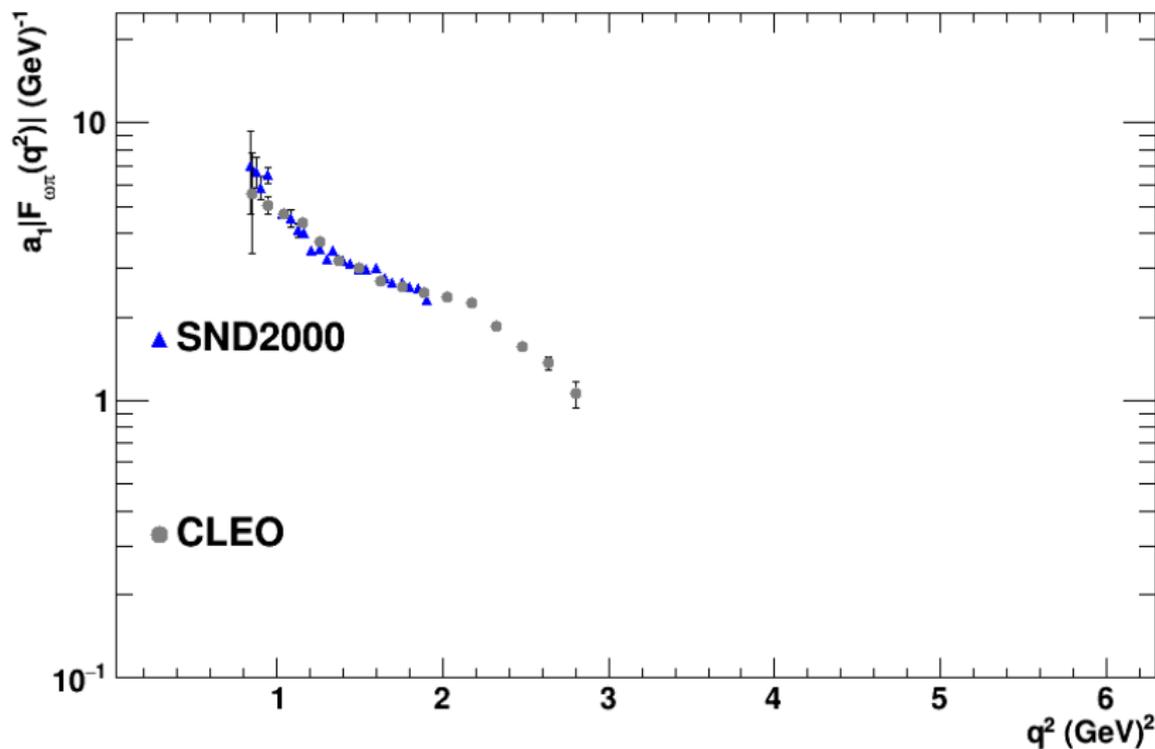
$$J = \int p_\omega^3 p_{D^*} \sqrt{q^2} |f_{\omega\pi}(q^2)|^2 (|f_S(q^2)|^2 + |f_P(q^2)|^2 + |f_D(q^2)|^2) dq^2$$

- Функции $f_S(q^2)$, $f_P(q^2)$ и $f_D(q^2)$, а также значение $\mathcal{F}(1) \times |V_{cb}|$ извлекаются из полулептонных распадов $B \rightarrow D^*\mu\nu$ в рамках CLN-параметризации. Belle (2019) : PRD 100, 052007 (2019).
- Подгонка данных $B \rightarrow D^*\omega\pi$ с новыми функциями $f_S(q^2)$, $f_P(q^2)$ и $f_D(q^2)$.
- Результат для нормировки $a_1 \tilde{g} = 2.66 \pm 0.28$. В приближении факторизации в NLO $a_1 = 1.02 \pm 0.02$. Следовательно, $\tilde{g} = 2.61 \pm 0.28$, $f_\rho = (0.220 \pm 0.001) \text{ ГэВ}$, $g_{\rho\omega\pi} = (11.9 \pm 1.3) \text{ ГэВ}^{-1}$.

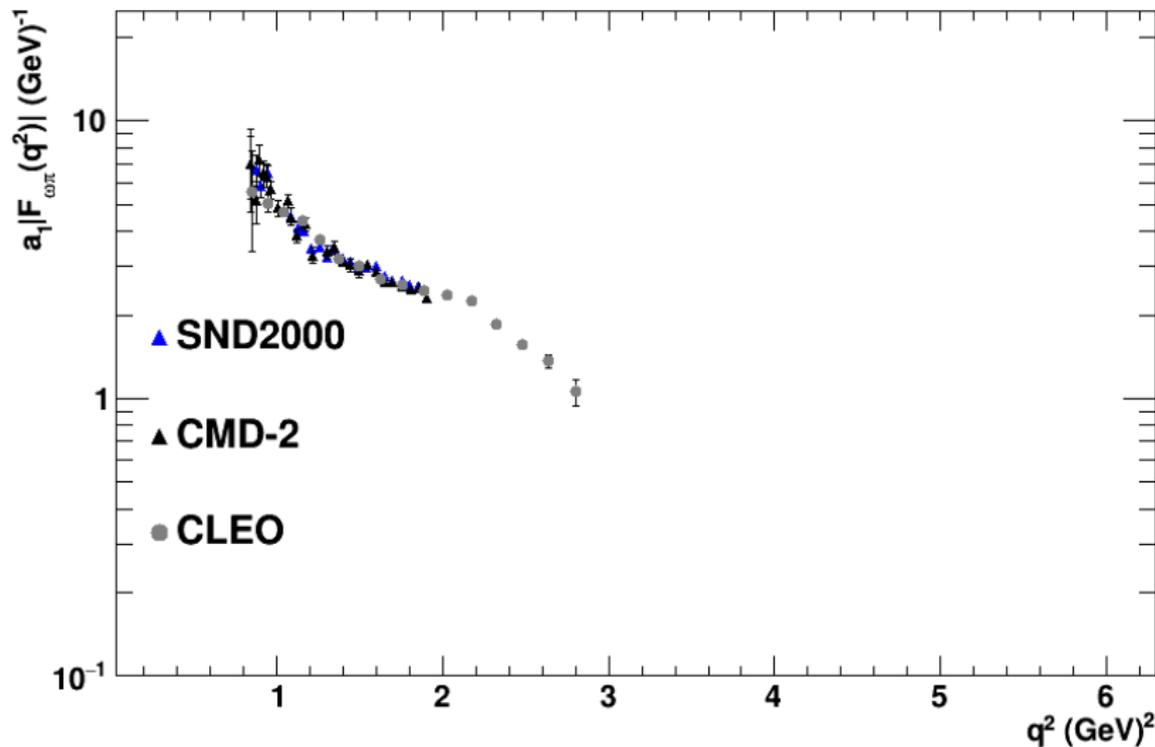
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



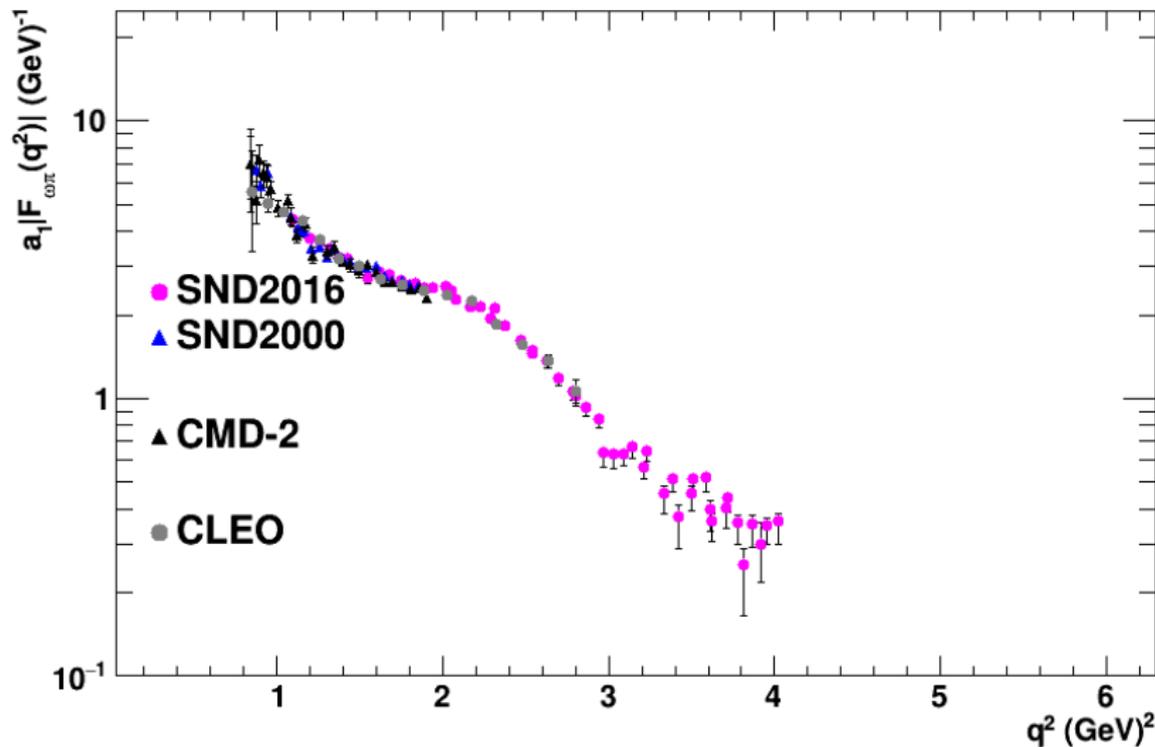
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



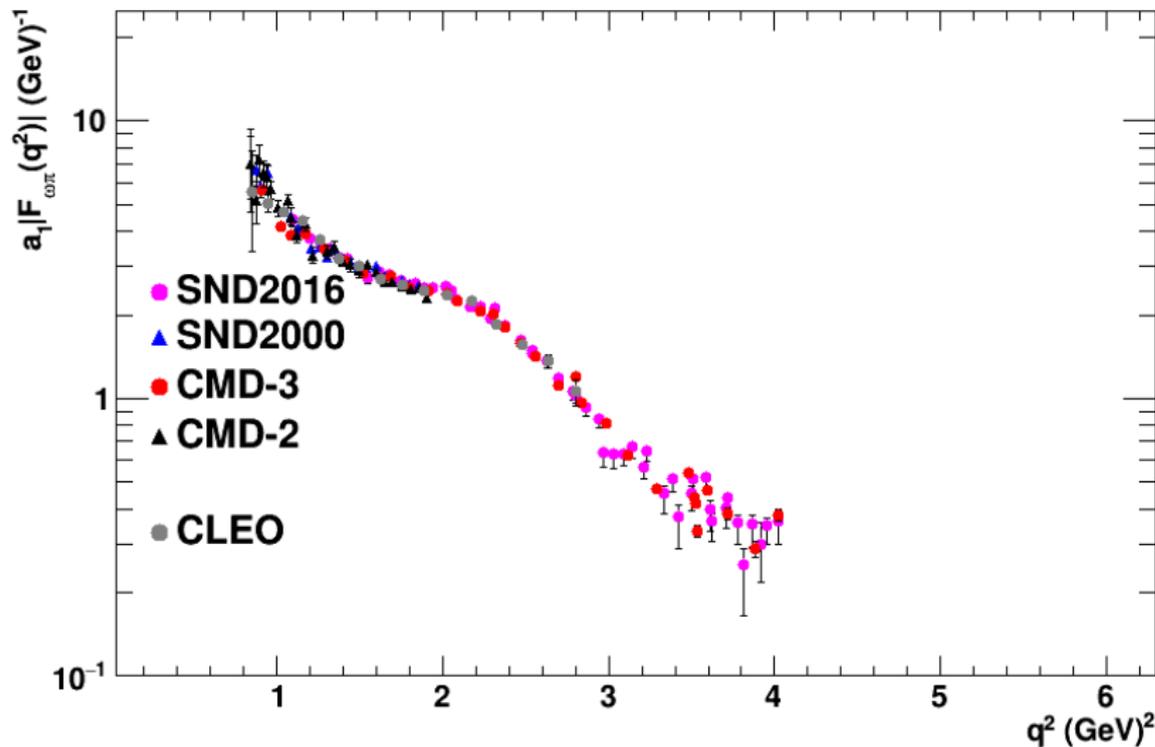
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



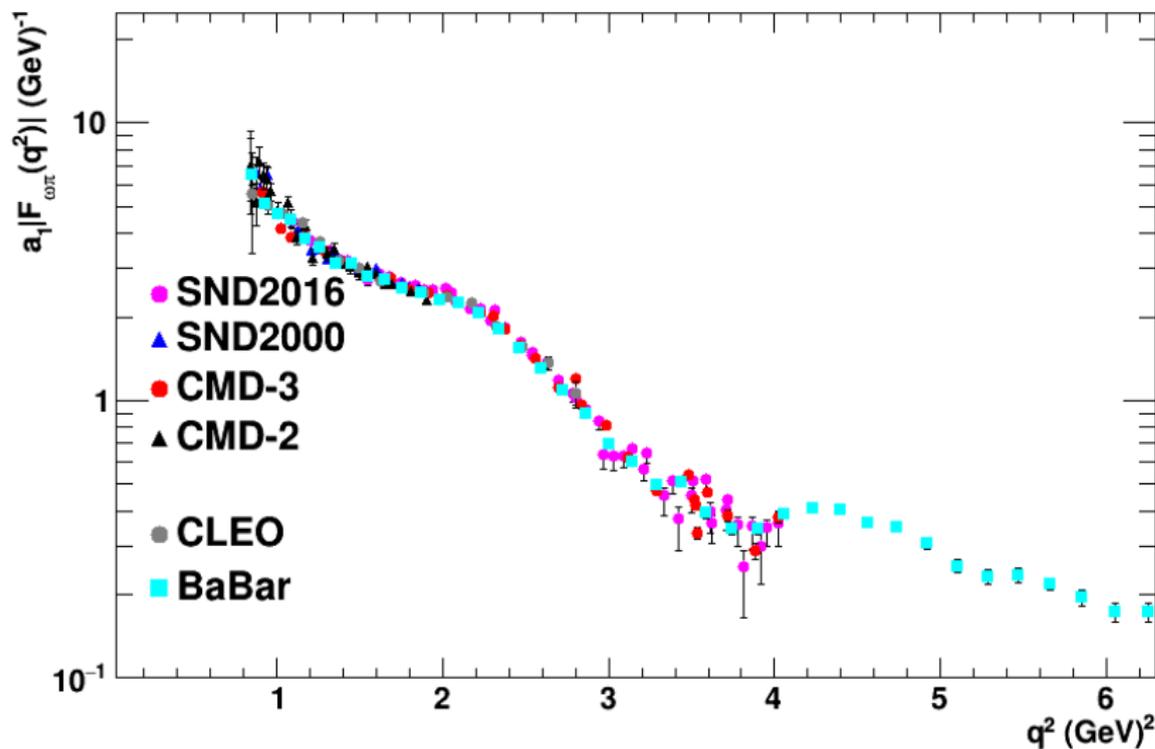
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



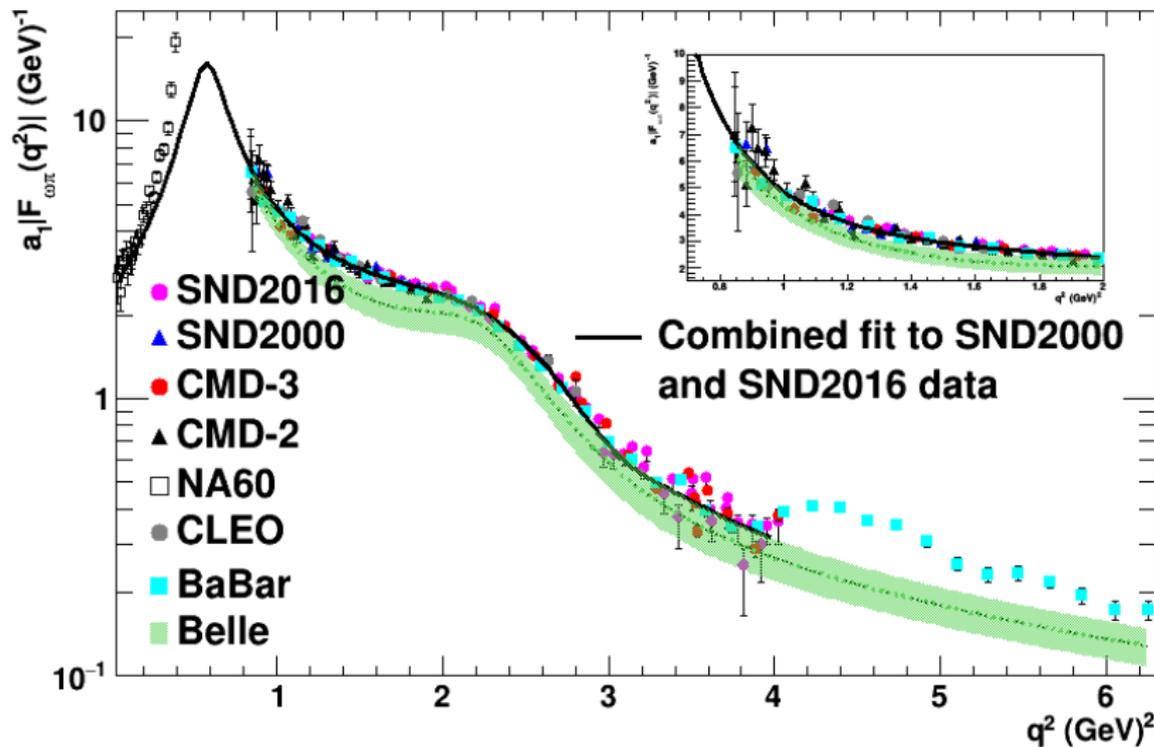
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



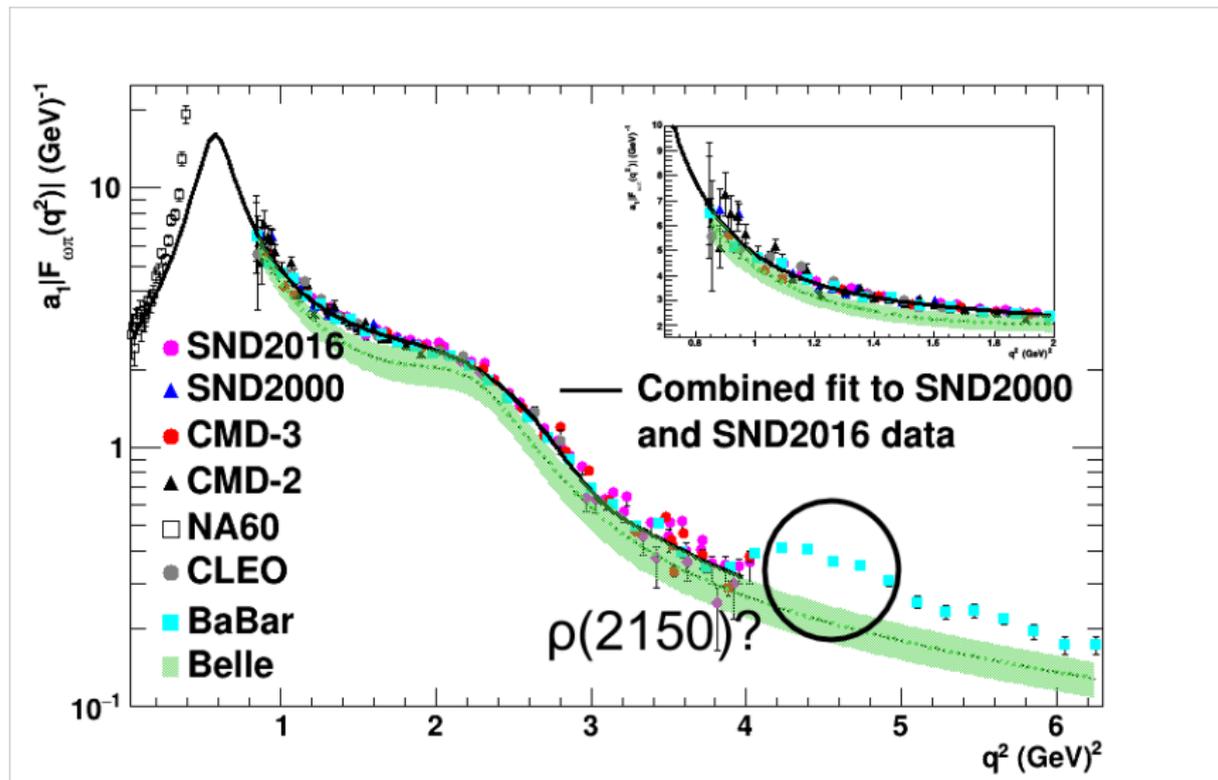
Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



Сравнение $\omega\pi$ форм-фактора



Заклучение

- Сравнение форм-фактора системы X из данных B -распадов и данных τ и e^+e^- (в рамках CVC) может пролить свет на механизмы нарушения приближения факторизации в нелептонных B -распадах.
- Интересно сделать сравнение для систем $X = \pi\pi$, $X = \omega\pi$ или $X = \pi\pi\pi$. Для прецизионного теста требуется большая статистика B -распадов, что возможно на LHCb и Belle II.
- Сделана попытка для $X = \omega\pi$ на основе данных с Belle. Большие неопределенности в извлечении $\omega\pi$ форм-фактора не позволяют наблюдать поправки к факторизации.
- Принимая во внимание, что $a_1\tilde{g} = 2.66 \pm 0.28$ и подгоняя SND-данные моделью, использовавшейся для данных Belle, можно получить, что $a_1^{\text{eff}} = 0.87 \pm 0.09$. Это меньше, чем в приближении факторизации $a_1 = 1.02 \pm 0.02$, но согласуется с ним в пределах ошибок.