Эксклюзивное центральное рождение двух пионов

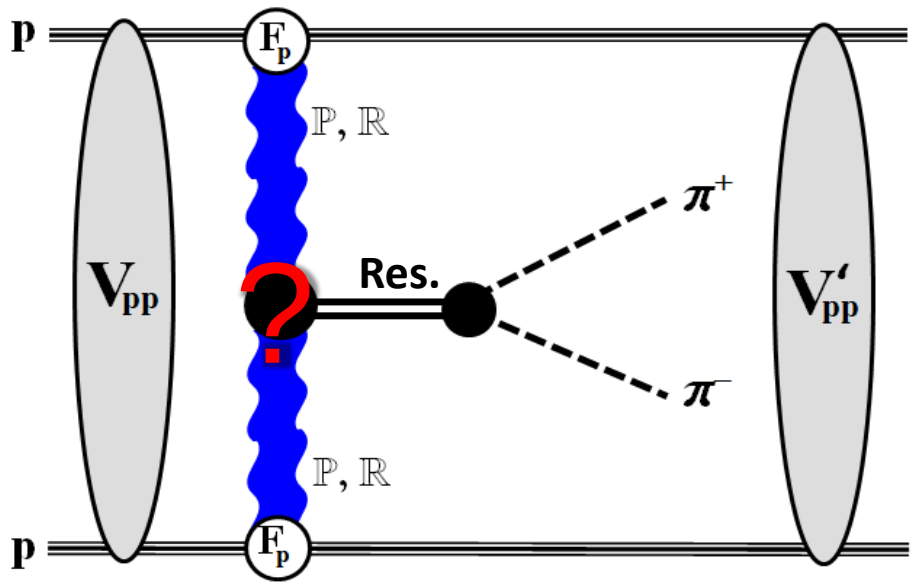
Р.А. Рютин

Семинар ОТФ, НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ, 28.01.2020

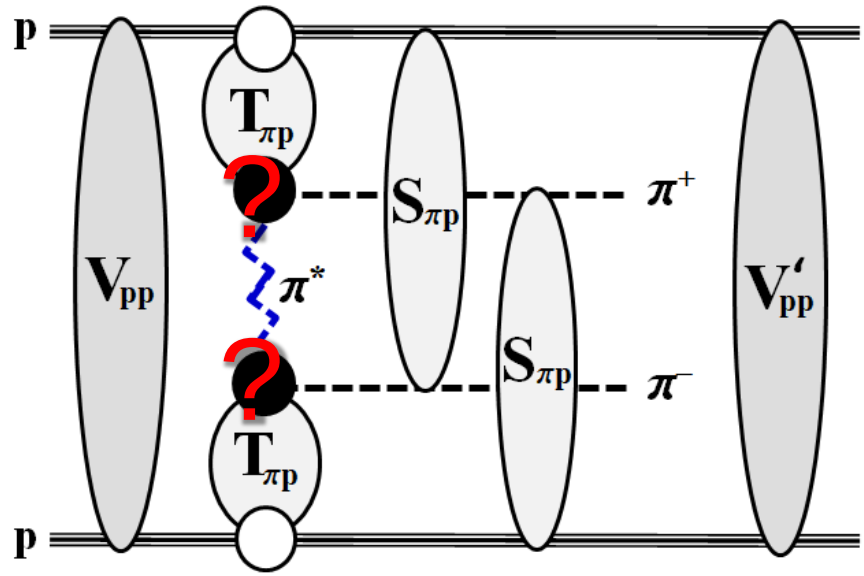
План

1. О процессе
2. Модель и нюансы вычислений
3. Результаты расчетов и данные
4. Померон-померонные сечения
5. Заключения

О процессе



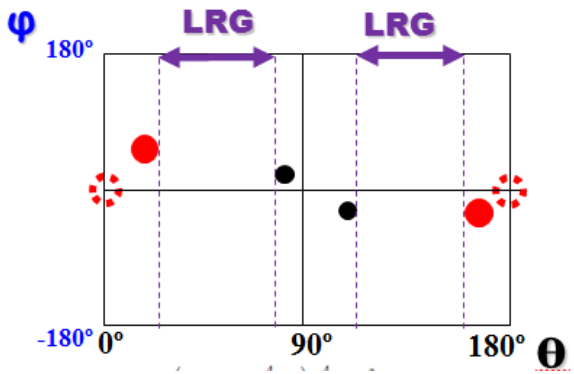
[A. Godizov, Phys.Lett. B 787 (2018) 188]

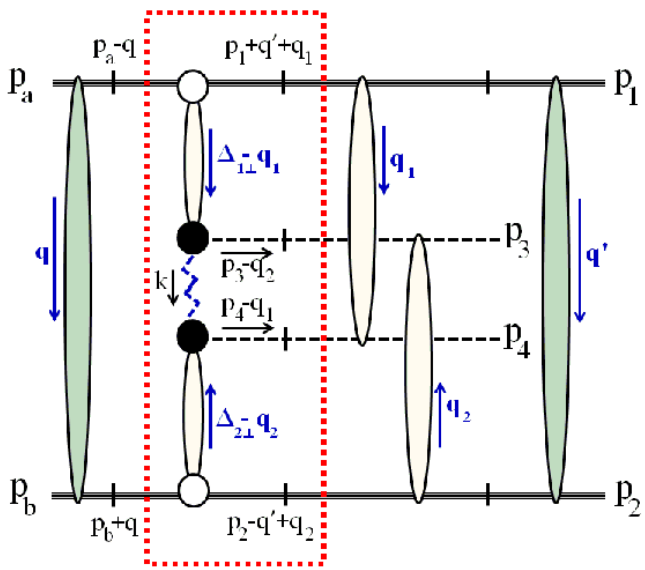


[R. Ryutin, Eur.Phys.J. C 79 (2019) 981]

О процессе

$$p + p \to p + \pi^+ + \pi^- + p$$





$$\mathrm{d}\Phi_{2\to 4} = (2\pi)^4\,\delta^4\left(p_a + p_b - \sum_{i=1}^{4} p_i\right)\prod_{i=1}^{4}\frac{d^3 p_i}{(2\pi)^3 2E_i}$$

$$= \frac{1}{2^4(2\pi)^8}\prod_{i=1}^{3} p_{i\perp}\mathrm{d}p_{i\perp}\mathrm{d}\phi_i \cdot \mathrm{d}y_3\mathrm{d}y_4 \cdot \mathcal{J};$$

$$\mathcal{J} = \frac{\mathrm{d}p_{1z}}{E_1}\frac{\mathrm{d}p_{2z}}{E_2}\delta\left(\sqrt{s} - \sum_{i=1}^{4} E_i\right)\delta\left(\sum_{i=1}^{4} p_{iz}\right)$$

$$= \frac{1}{\left|\tilde{E}_2\tilde{p}_{1z} - \tilde{E}_1\tilde{p}_{2z}\right|},$$

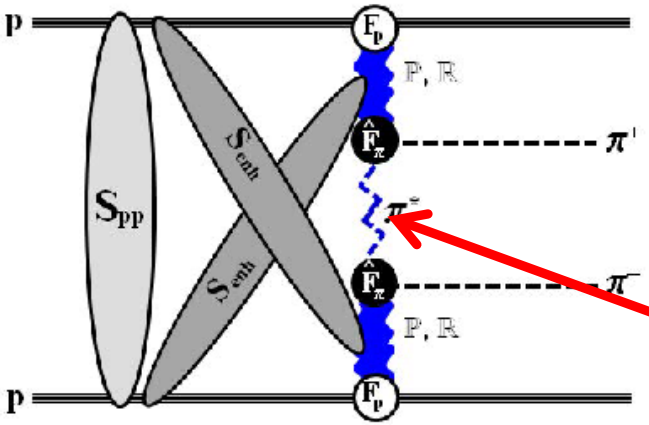
$$\frac{\mathrm{d}\sigma_{2\to 4}}{\prod_{i=1}^{3} dp_{i\perp}\mathrm{d}\phi_i \cdot \mathrm{d}y_3\mathrm{d}y_4} = \frac{\prod_{i=1}^{3} p_{i\perp}}{2^{12}\pi^8\beta s\lambda_0^{1/2}}\,|T|^2$$

$$\begin{cases} A = \sqrt{s} - E_3 - E_4 = \sqrt{m_{1\perp}^2 + p_{1z}^2} + \sqrt{m_{2\perp}^2 + p_{2z}^2}, \\ B = -p_{3z} - p_{4z} = p_{1z} + p_{2z}, \end{cases} \tag{21}$$

$$\tilde{p}_{1z} = \frac{B}{2} + \frac{1}{2(A^2 - B^2)}\left[B\left(m_{1\perp}^2 - m_{2\perp}^2\right) + A \cdot \lambda_0^{1/2}\right],$$

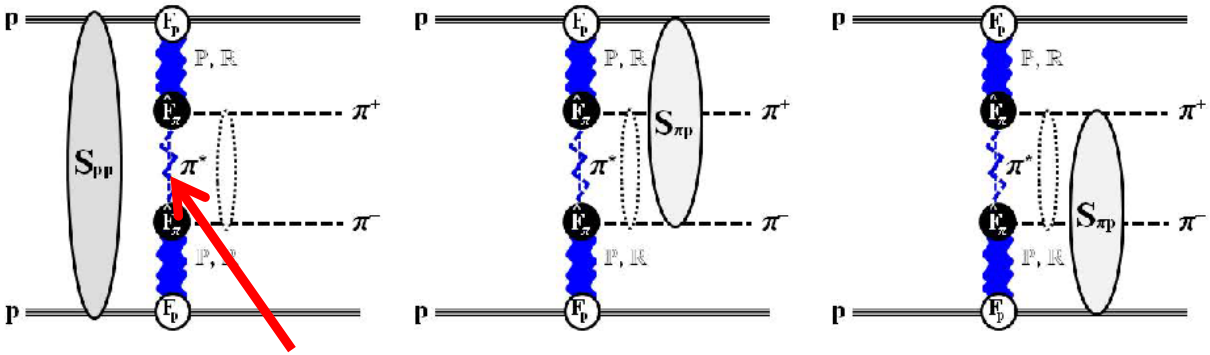
$$\lambda_0 = \lambda\left(A^2 - B^2, m_{1\perp}^2, m_{2\perp}^2\right). \tag{22}$$

Модель и нюансы вычислений



7. L.A. Harland-Lang, V.A. Khoze, M.G. Ryskin, Central exclusive production and the Durham model. Int. J. Mod. Phys. A **29**, 1446004 (2014)
8. L.A. Harland-Lang, V.A. Khoze, M.G. Ryskin, W.J. Stirling, Central exclusive production within the Durham model: A review. Int. J. Mod. Phys. A **29**, 1430031 (2014)
9. L.A. Harland-Lang, V.A. Khoze, M.G. Ryskin, Modeling exclusive meson pair production at hadron colliders. Eur. Phys. J. C **74**, 2848 (2014)

$$\frac{1}{\hat{t} - m_\pi^2} \to \frac{e^{\alpha_\pi(\hat{t})|\Delta Y|}}{\hat{t} - m_\pi^2}$$



$$\Delta Y = y_{\pi^+} - y_{\pi^-}$$

$$\frac{1}{\hat{t} - m_\pi^2} F(\Delta Y) + (1 - F(\Delta Y))\mathcal{P}_\pi(\hat{s}, \hat{t}) \qquad F(\Delta Y) = e^{-c_y \Delta Y}$$

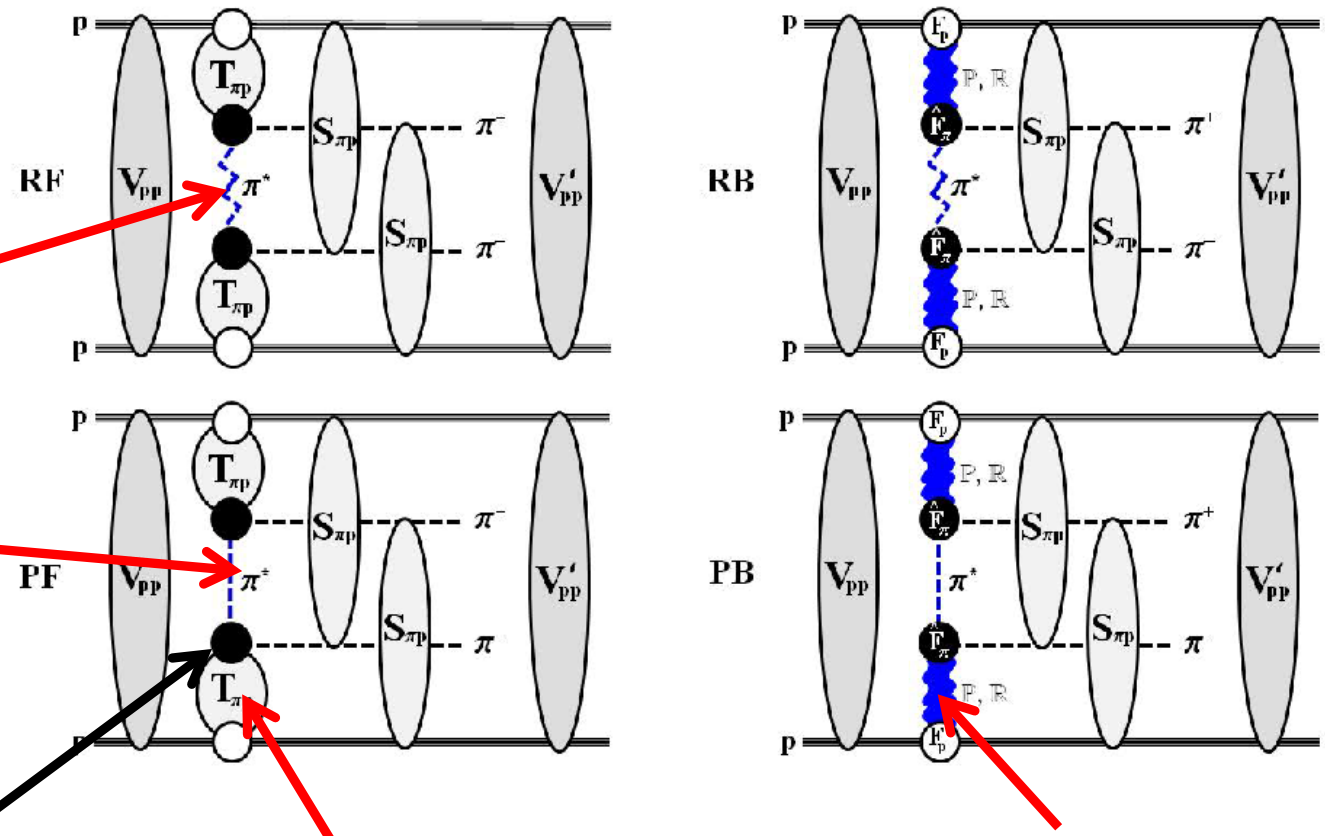
10. P. Lebiedowicz, O. Nachtmann, A. Szczurek, Tensor pomeron, vector odderon and diffractive production of meson and baryon pairs in proton–proton collisions. EPJ Web Conf. **206**, 06005 (2019)
11. P. Lebiedowicz, O. Nachtmann, A. Szczurek, Exclusive diffractive production of $\pi^+\pi^-$ continuum and resonances within tensor pomeron approach. EPJ Web Conf. **130**, 05011 (2016)
12. P. Lebiedowicz, O. Nachtmann, A. Szczurek, Central exclusive diffractive production of $K^+K^{K^+K}$ via the intermediate $\phi\phi$ state in proton–proton collisions. Phys. Rev. D **99**, 094034 (2019)
13. P. Lebiedowicz, A. Szczurek, Revised model of absorption corrections for the $pp \to p\pi^+\pi^-p$ process. Phys. Rev. D **92**, 054001 (2015)

Модель и нюансы вычислений

$$\mathcal{P}_\pi(\hat{s},\hat{t}) = \left(\mathrm{ctg}\frac{\pi\alpha_\pi(\hat{t})}{2} - \mathrm{i}\right)\cdot$$

$$\cdot\frac{\pi\alpha'_\pi}{2\Gamma(1+\alpha_\pi(\hat{t}))}\left(\frac{\hat{s}}{s_0}\right)^{\alpha_\pi(\hat{t})}$$

$$\frac{1}{\hat{t}-m_\pi^2}$$



$$\hat{F}_\pi = \mathrm{e}^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

Полная эйконализованная амплитуда π p

Борновская амплитуда π p

Модель и нюансы вычислений

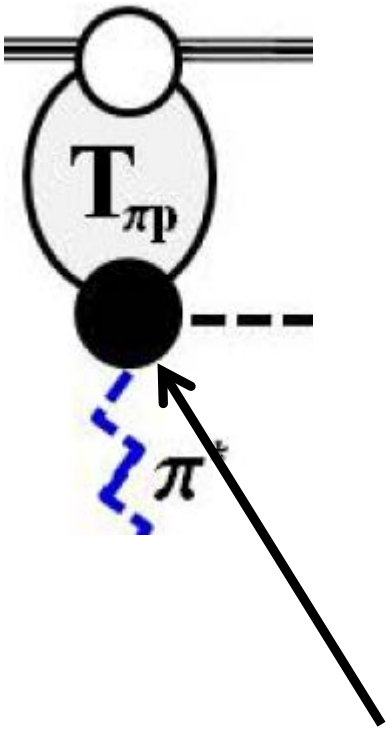
$$M^U(\{p\}) = \int\int \frac{d^2\mathbf{q}}{(2\pi)^2}\frac{d^2\mathbf{q}'}{(2\pi)^2}\frac{d^2\mathbf{q}_1}{(2\pi)^2}\frac{d^2\mathbf{q}_2}{(2\pi)^2} V_{pp}(s,q^2)V_{pp}(s',q'^2) \times \left[S_{\pi^-p}\left(\tilde{s}_{14},q_1^2\right) M_0(\{\tilde{p}\}) S_{\pi^+p}\left(\tilde{s}_{23},q_2^2\right) + (3 \leftrightarrow 4)\right]$$

$$M_0(\{p\}) = T^{el}_{\pi^+p}(s_{13},t_1)\mathcal{P}_\pi(\hat{s},\hat{t})\left[\hat{F}_\pi(\hat{t})\right]^2 T^{el}_{\pi^-p}(s_{24},t_2)$$

$$\{p\} \equiv \{p_a, p_b, p_1, p_2, p_3, p_4\},$$
$$\{\tilde{p}\} \equiv \{p_a - q, p_b + q; p_1 + q' + q_1, p_2 - q' + q_2, p_3 - q_2, p_4 - q_1\},$$

$$\tilde{s}_{14} = (p_1 + p_4 + q')^2, \quad \tilde{s}_{23} = (p_2 + p_3 - q')^2,$$
$$s_{ij} = (p_i + p_j)^2, \quad t_{1,2} = (p_{a,b} - p_{1,2})^2,$$
$$\hat{s} = (p_3 + p_4)^2, \quad \hat{t} = (p_a - p_1 - p_3)^2.$$

Модель и нюансы вычислений



$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

Одна из частиц вне массовой оболочки

27. V.A. Petrov, High-energy implications of extended unitarity, in *Frontiers in strong interactions. Proceedings, 7th Rencontres de Blois*, eds. by P. Chiappetta, M. Haguenauer, J. Tran Thanh Van. 7th Blois Workshop on Elastic and Diffractive Scattering, Blois, France, 20–24 June, 1995. https://lib-extopc.kek.jp/preprints/PDF/1996/9602/9602192.pdf

$$T^*(s,b) = \frac{\delta^*(s,b)}{\delta(s,b)} T(s,b) = \frac{\delta^*(s,b)}{\delta(s,b)} \frac{e^{2i\delta(s,b)} - 1}{2i}$$

$$\delta(s,b) = \delta_{\pi p}(s,b; m_\pi^2, m_\pi^2, m_p^2, m_p^2),$$

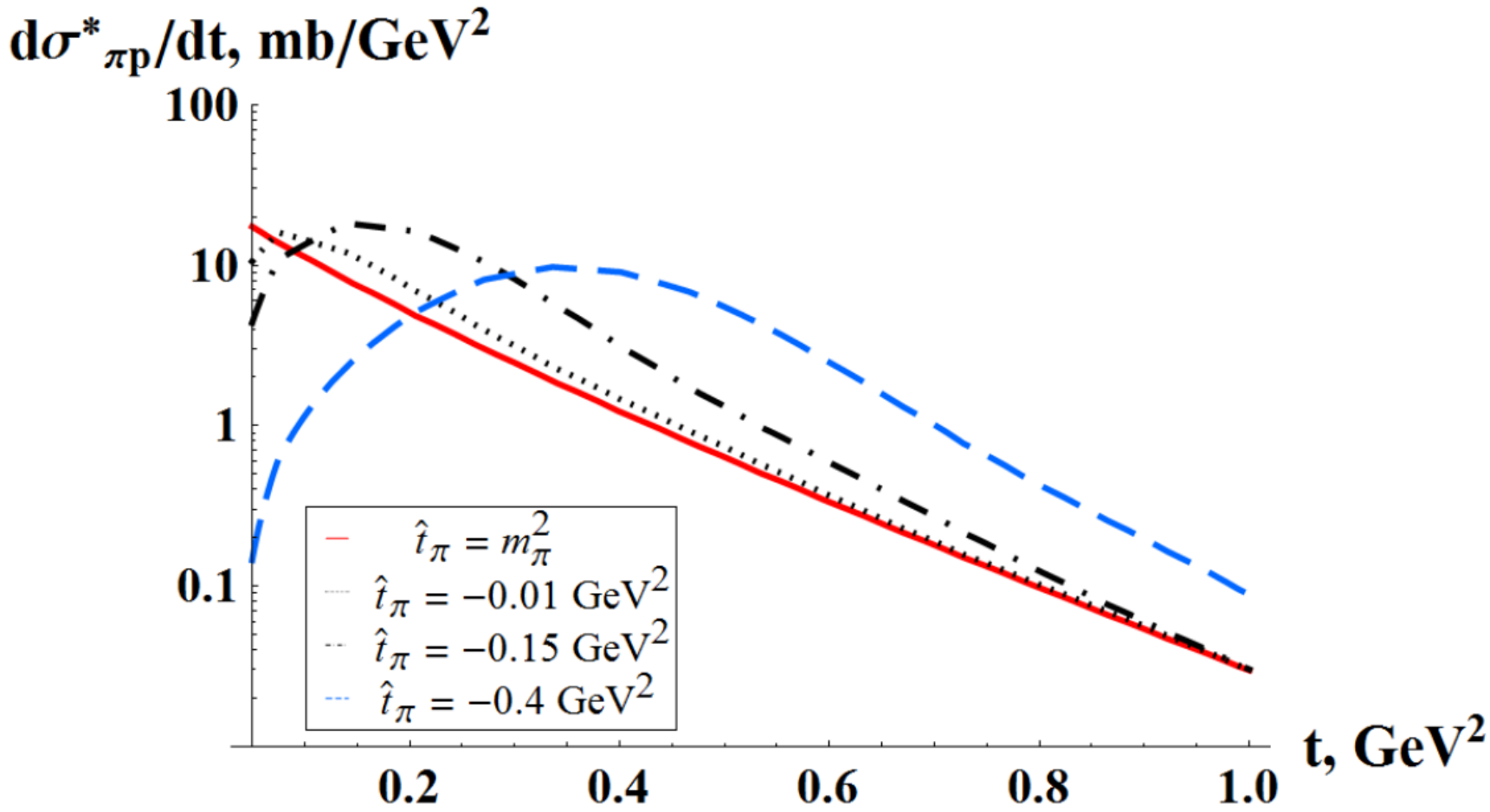
$$\delta^*(s,b) = \delta^*_{\pi p}(s,b; \hat{t}, m_\pi^2, m_p^2, m_p^2)$$

$$\delta_{\pi p} = \delta^*_{\pi p}\Big|_{\hat{t}\to m_\pi^2}.$$

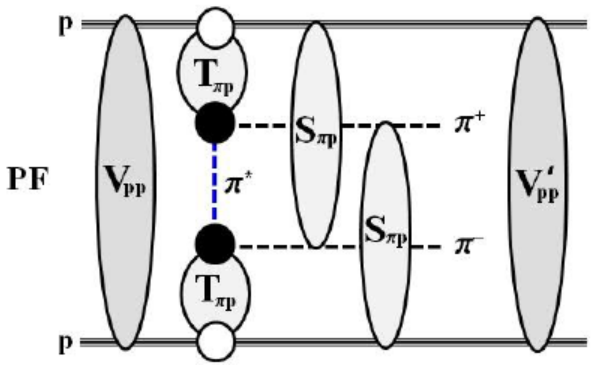
Ковариантная реджезация для неравных масс

$$\mathcal{M}(s,t) = T^{(J)}_{\{\mu\}}(p_a,\Delta) \otimes T^{(J)}_{\{\mu\}}(p_b,-\Delta)$$
$$= F_J^{(1)}(t) F_J^{(2)}(t) 2^J$$
$$\times \mathcal{P}_J\left(\frac{\left(s - m_a^2 - m_b^2 + \frac{(m_a^2-m_c^2+t)(m_b^2-m_d^2+t)}{2t}\right)(-2t)}{\lambda^{1/2}\left(m_b^2, m_d^2, t\right)\ \lambda^{1/2}\left(m_a^2, m_c^2, t\right)}\right)$$

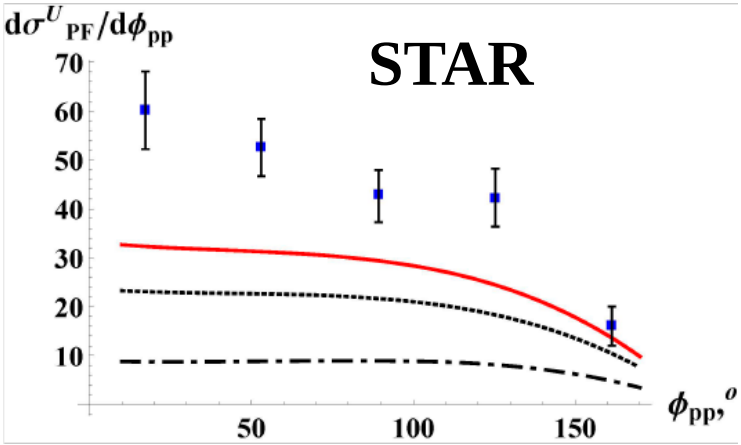
Модель и нюансы вычислений



Результаты расчетов и данные

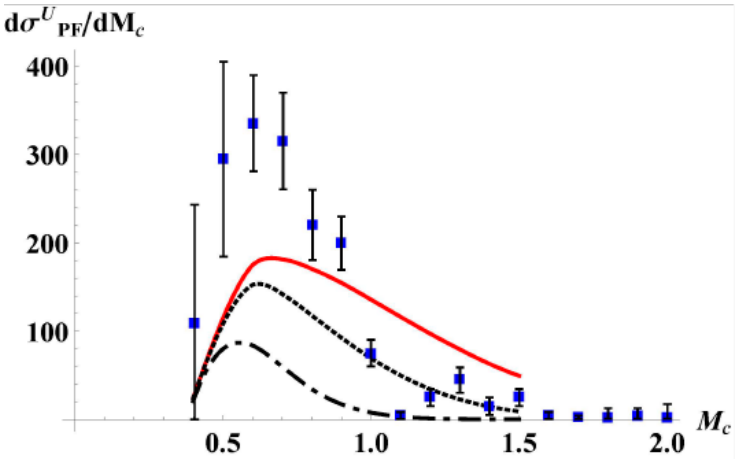


$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

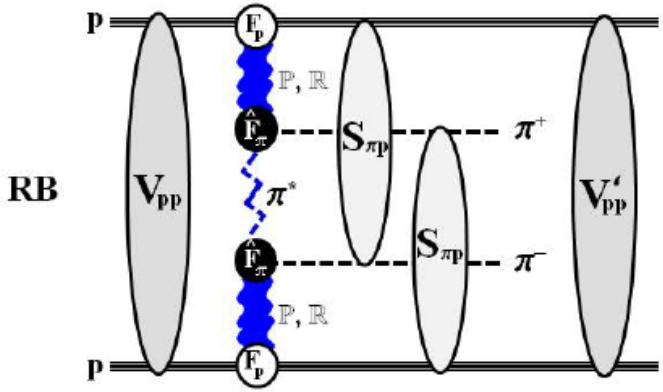


Λ_π, GeV

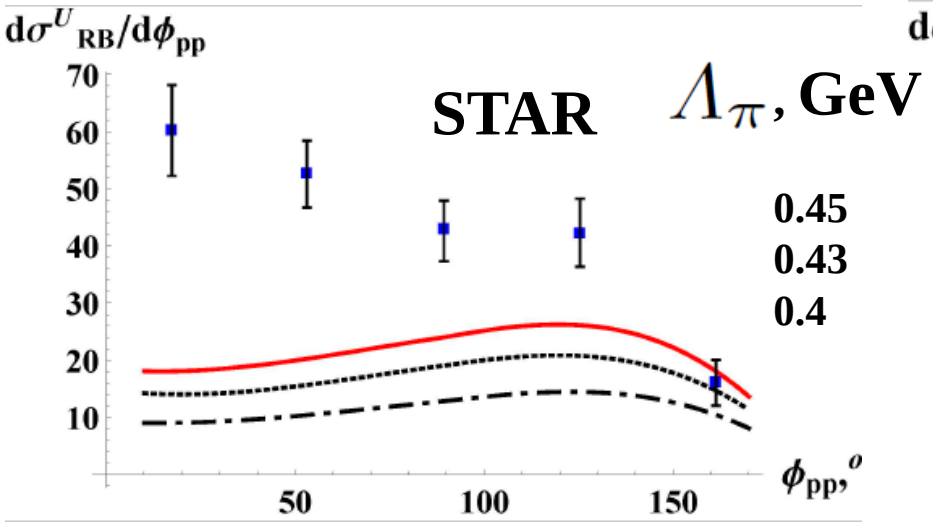
1.6
1.2
0.8

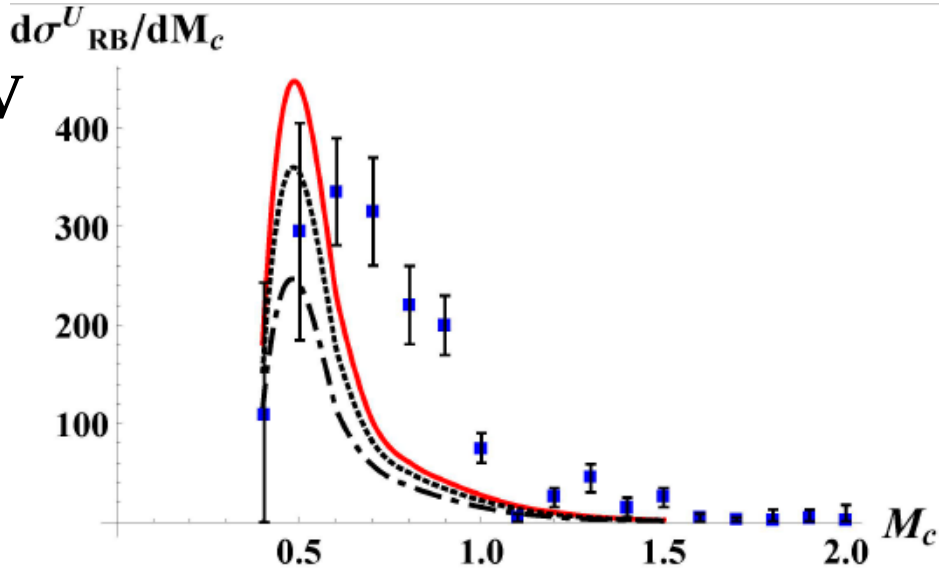


Результаты расчетов и данные

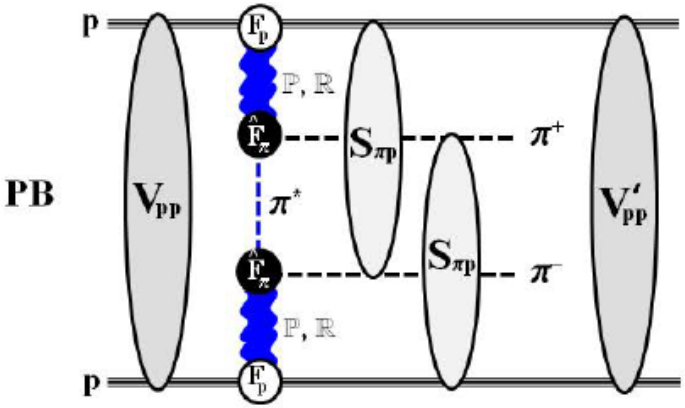


$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

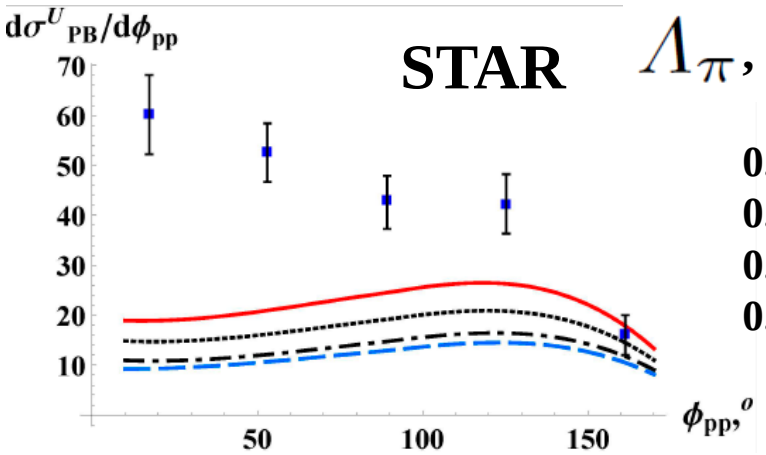




Результаты расчетов и данные

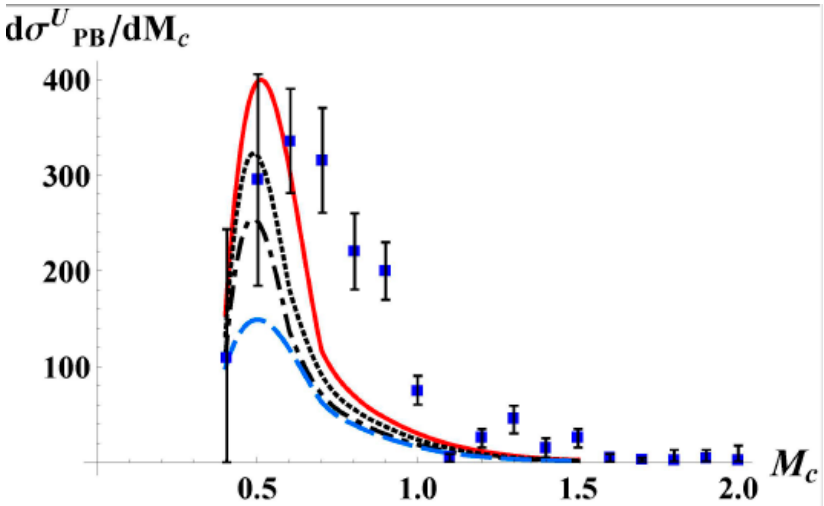


$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

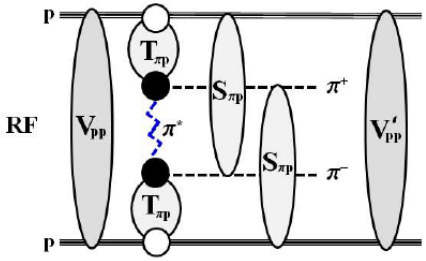


Λ_π, GeV

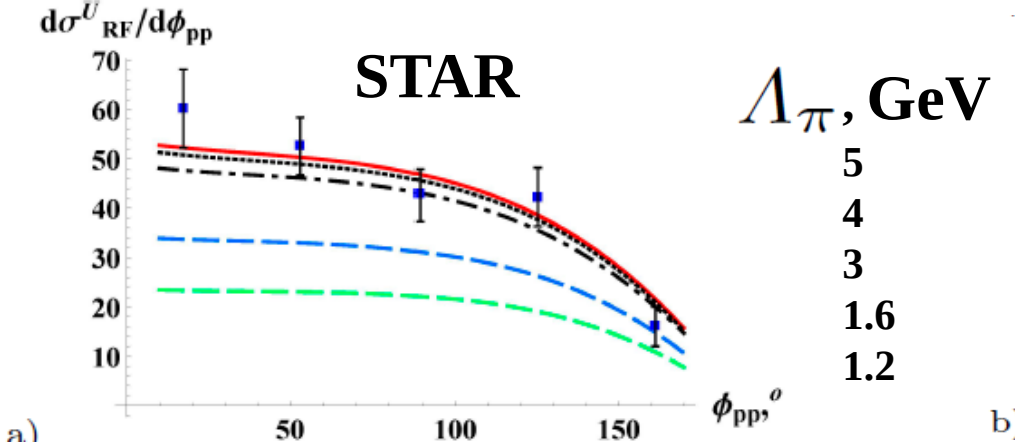
0.45
0.43
0.41
0.4

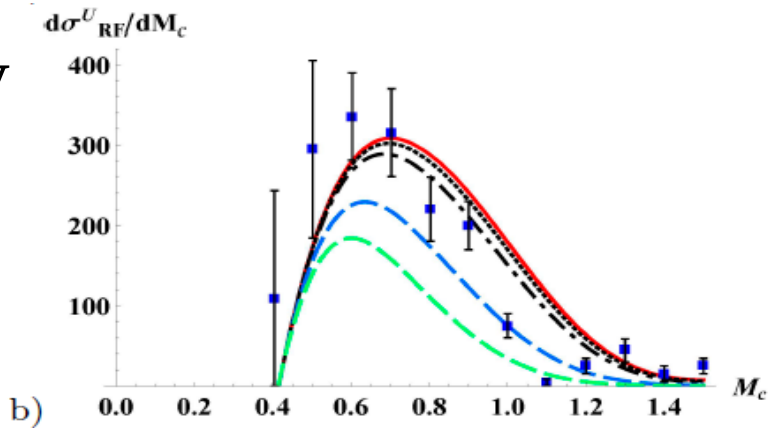


Результаты расчетов и данные



$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$





Λ_π, GeV

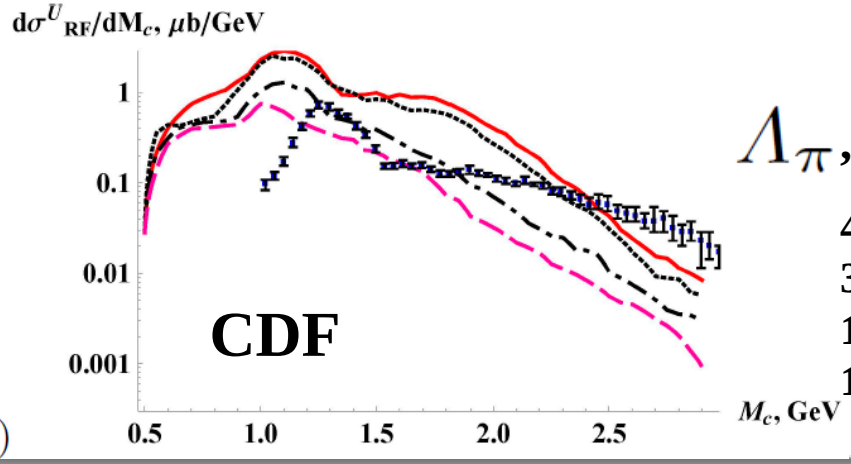
5

4

3

1.6

1.2



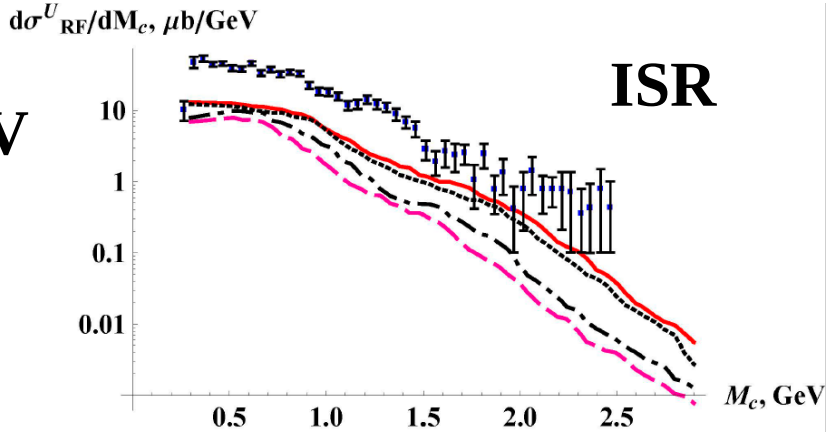
Λ_π, GeV

4

3

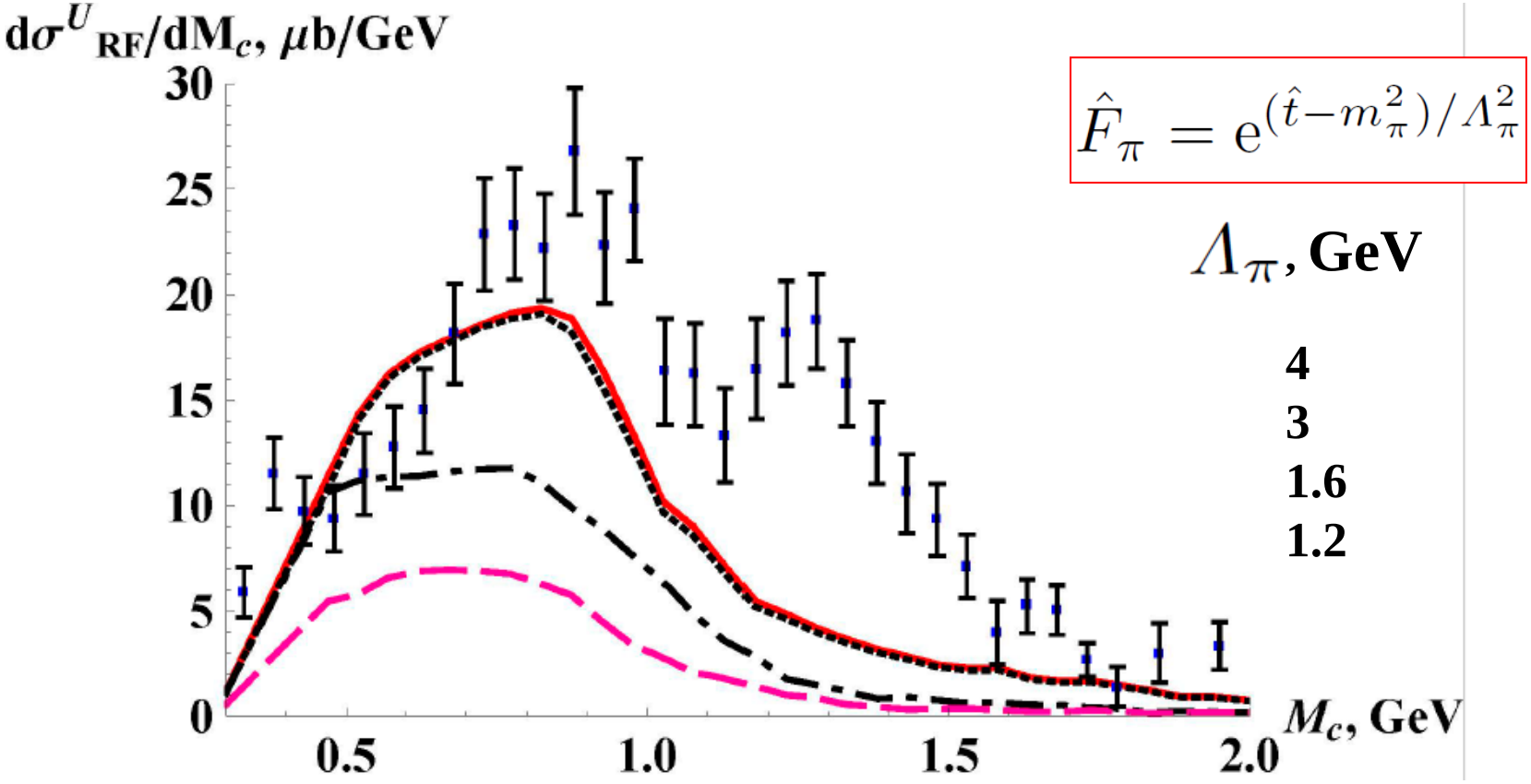
1.6

1.2

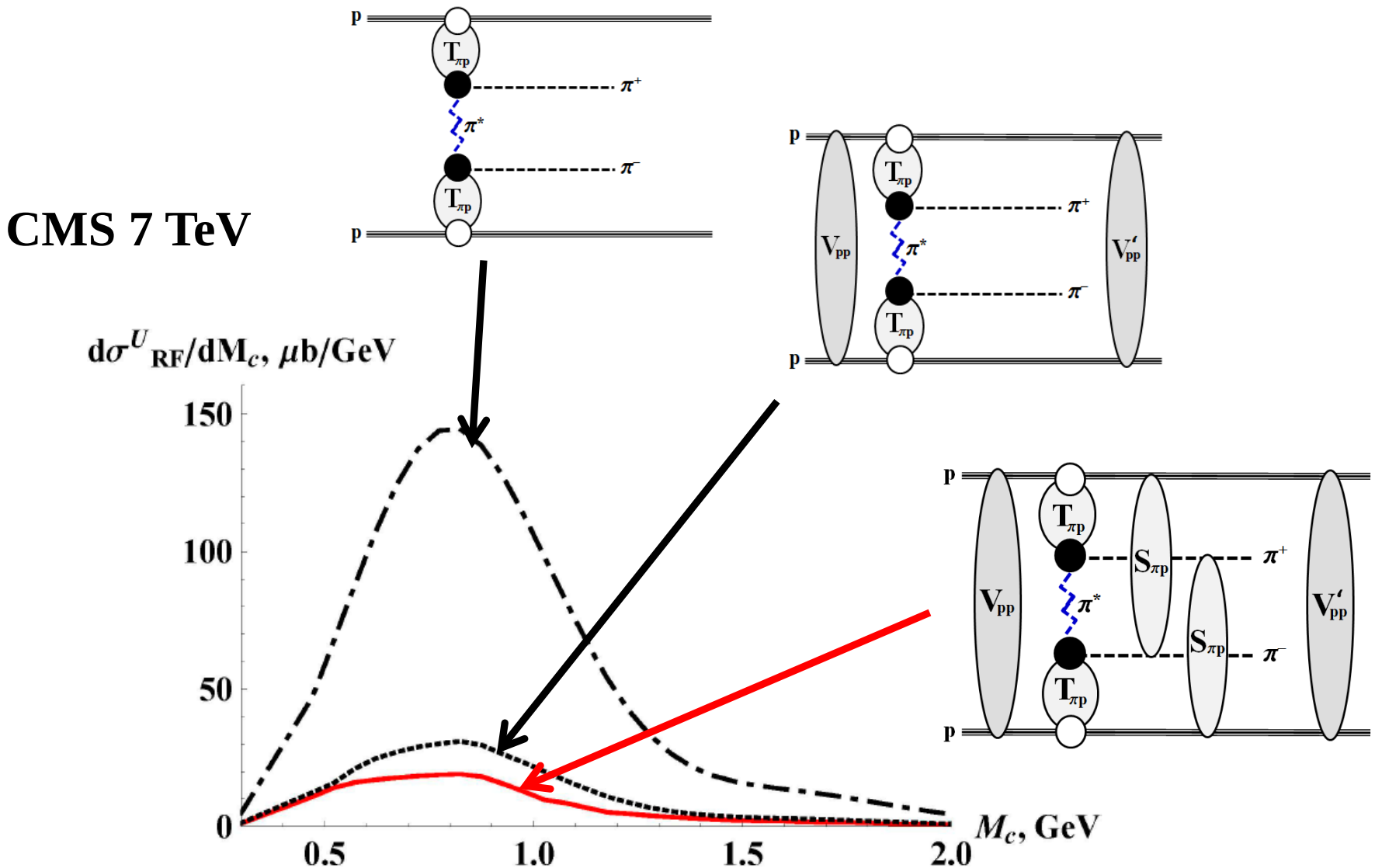


Результаты расчетов и данные

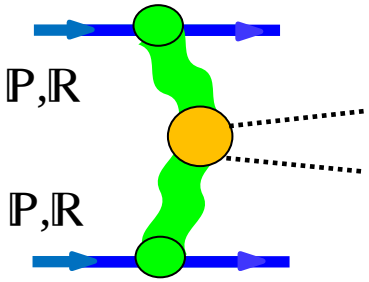
CMS 7 TeV

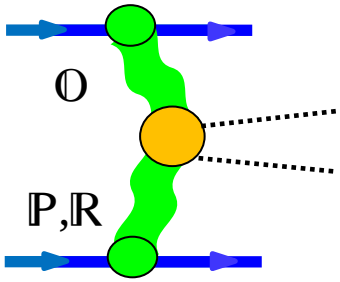


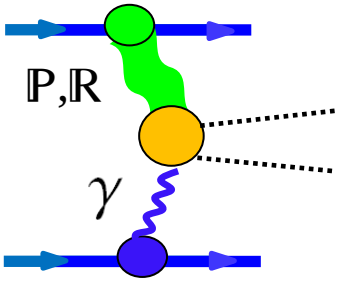
Унитаризация

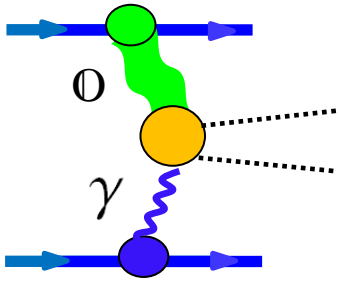


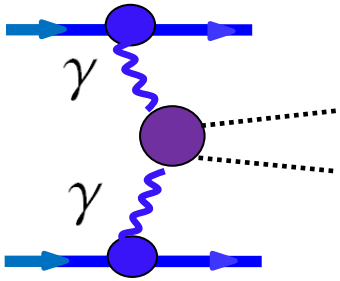
Интерференция процессов

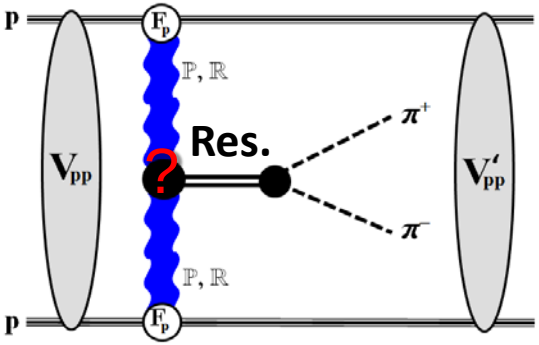




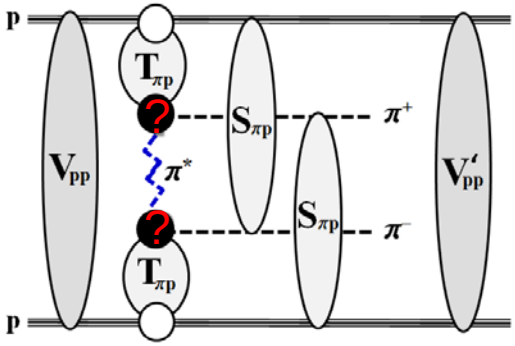




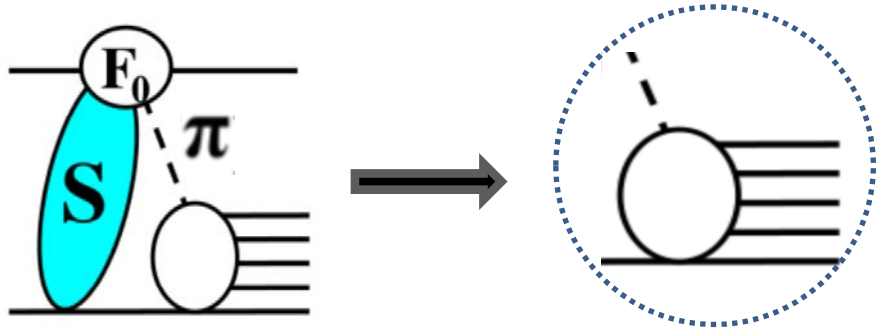




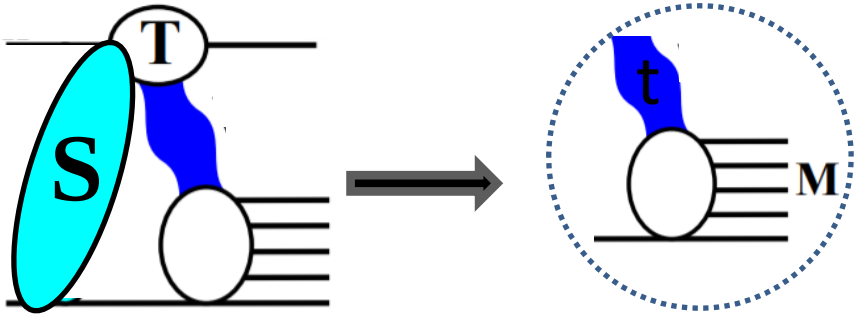
ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ!



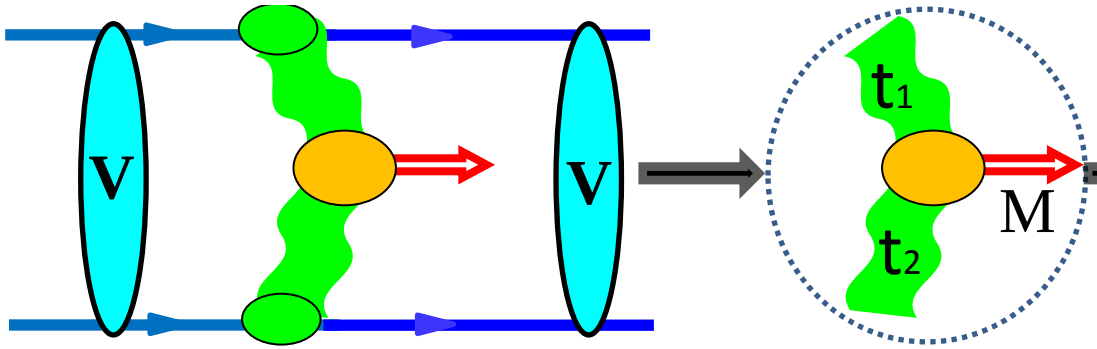
Померон-померонные сечения



$\sigma_{\pi p}$



$\sigma_{p\mathbb{P}}(M^2;t)$



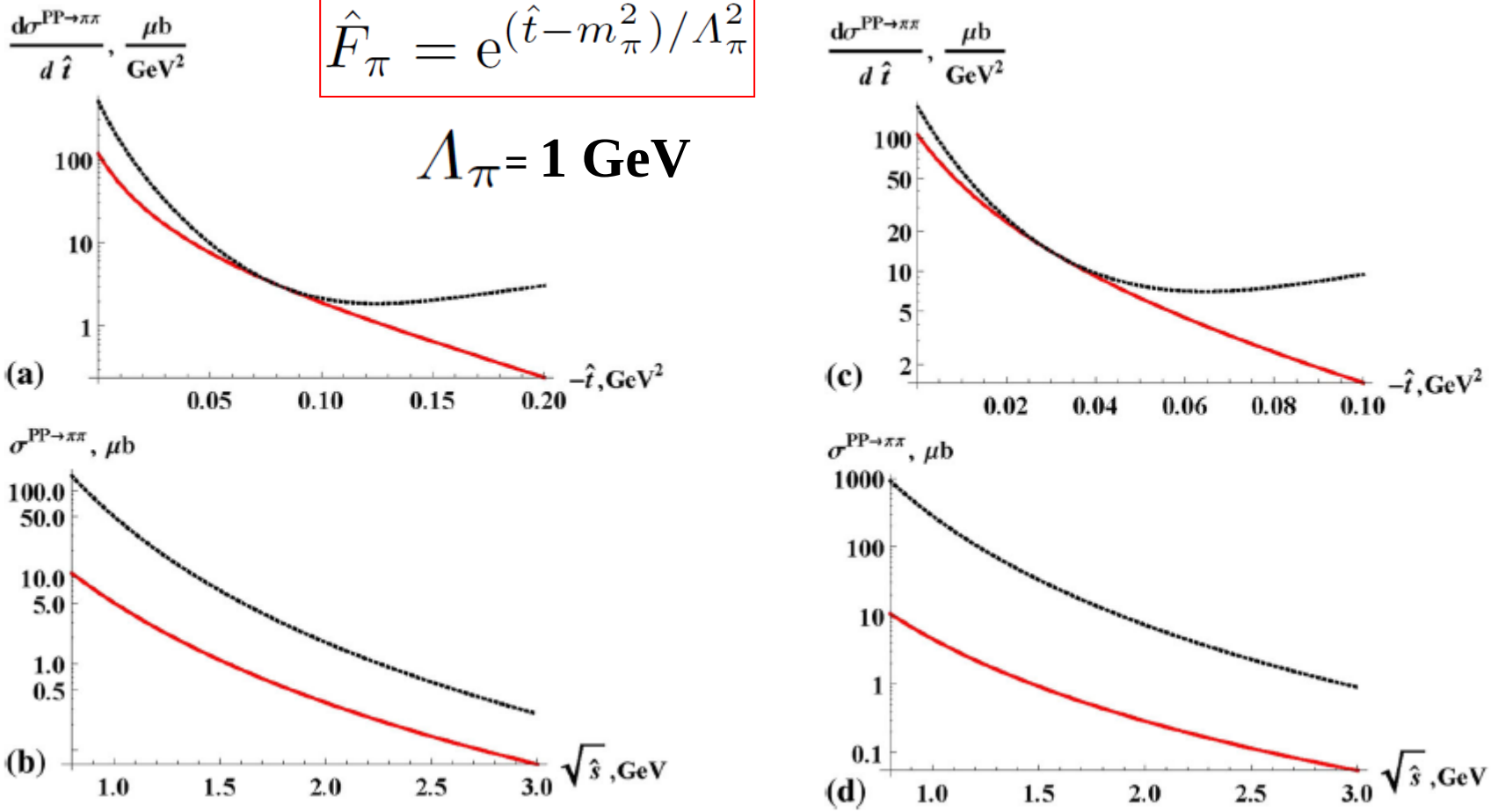
$\sigma_{\mathbb{P}\mathbb{P}}(M^2,t_1,t_2)$

$\sigma_{\mathbb{P}\mathbb{P}\to\pi\pi} \sim 0.1\div 5\ \mu b \ll \sigma^{tot}_{\mathbb{P}\mathbb{P}} \sim 100\ \mu b$, M=1-3 GeV , $t_{1,2}$=-0.1 GeV^2

Померон-померонные сечения

$$\hat{F}_\pi = e^{(\hat{t}-m_\pi^2)/\Lambda_\pi^2}$$

Λ_π = **1 GeV**



$t_{1,2} = -0.1$ GeV^2 $\qquad$ $t_{1,2} = -0.05$ GeV^2

Сохр. адр. ток ····· Несохр. адр. ток ——

Заключения

1. Рассмотрены несколько возможных случаев описания процесса ЭДЦР двух пионов. Случай реджезованного пионного пропагатора и полностью эйконализованных амплитуд лучше всего соответствует данным.

2. При попытке одновременного описания данных выяснилось, что, если описывать данные STAR, то кривые идут ниже данных ISR. Для данных CDF в области малых масс наблюдается переоценка. Это связано скорее всего с неучтенной деструктивной интерференцией с амплитудами резонансного рождения пионов, и нуждается в дальнейшей проверке. Также это может быть связано с неприменимостью модели для амплитуд пион-протонного рассеяния в области малых энергий (< 3 ГэВ) (особенно для данных ISR), эффектами, связанными с пионом вне массовой оболочки, а также другими возможными механизмами в процессе померон-померон в пион-пион.

3. Нужно одновременное описание данных с учетом интерференции всех возможных вкладов в процесс ЭДЦР двух пионов (континуум и резонансные вклады).

4. Сделаны оценки сечений померон-померон в пион-пион (0.1-5 микробарн), что гораздо меньше полных померон-померонных сеений (~ 100 микробарн).

The end