

Процессы перезарядки  $\pi^- p$ ,  $K^- p$   
и  $\eta - \eta'$  смешивание

*М.Л.Некрасов*

- Введение, краткий обзор
- Результаты GAMS-4π
- Модель исследования
- Численные результаты
- Заключение

$$\pi^- p \rightarrow (\pi^0, \eta, \eta') n$$

ИФВЭ (НИЦЕ, GAMS-4 $\pi$ ), CERN, FERMILAB ...

как часть программы исследований нейтральных мезонов, поиска глюболлов и др. экзотич. состояний.

Изучались распределение по  $t$ , зависимость от  $s$  ...

$$K^- p \rightarrow (\eta, \eta') \Lambda$$

ИФВЭ (GAMS-4 $\pi$ )

$\eta - \eta'$  смешивание

$$\eta, \eta' \rightarrow \gamma\gamma, \eta' \rightarrow V\gamma,$$

$$V \rightarrow P\gamma, T \rightarrow PP,$$

$$B \rightarrow J/\psi P, J/\psi \rightarrow P\gamma, J/\psi \rightarrow PV, D \rightarrow P l\nu,$$

$$\pi^- p \rightarrow (\eta, \eta') n, K^- p \rightarrow (\eta, \eta') \Lambda$$

Нет удовлетворительной совместимости результатов  
примесь глюбола ?

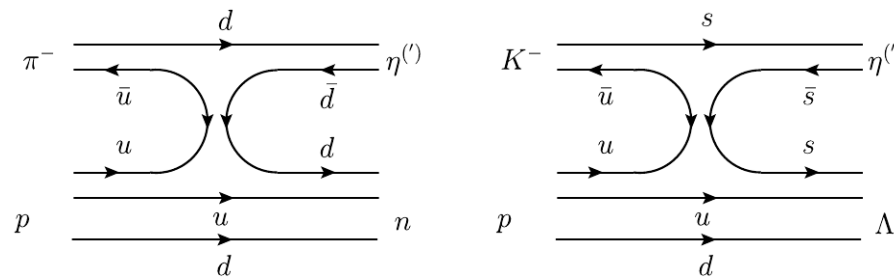
KLOE (DAFNE), PLB 648 (2007) 267, JHEP 0907:105,2009:  $Z_{\eta'}^2 = 0.12 \pm 0.04$

R.Escribano, J.Nadal, JHEP05(2007)006 :  $Z_{\eta}^2 = 0.00 \pm 0.12, Z_{\eta'}^2 = 0.04 \pm 0.09$



$P_\pi, P_K = 32.5 \text{ GeV}/c^2$ ;  $\sqrt{s} \approx 8 \text{ GeV}/c$

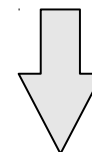
$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_P & -\sin \phi_P \\ \sin \phi_P & \cos \phi_P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \eta_q \\ \eta_s \end{pmatrix}$$



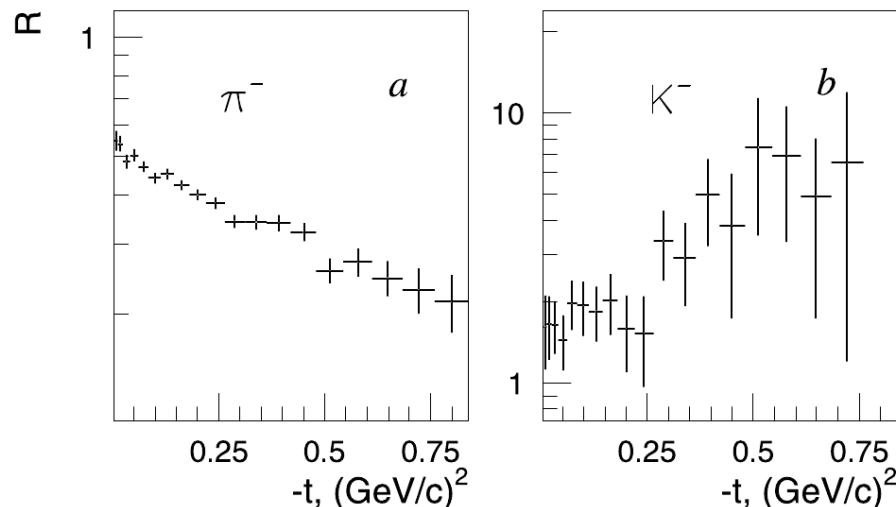
$R_\pi = \frac{d\sigma(\eta')}{dt} / \frac{d\sigma(\eta)}{dt} \Big|_{t=0} = 0.54 \pm 0.04 = \tan^2 \phi_P \Rightarrow \phi_P = (36.3 \pm 1.0)^\circ$

$R_K = \frac{d\sigma(\eta')}{dt} / \frac{d\sigma(\eta)}{dt} \Big|_{t=0} = 1.27 \pm 0.15 = \cot^2 \phi_P \Rightarrow \phi_P = (41.6 \pm 1.8)^\circ$

Несовместимость  
 $\approx 2.5\sigma$



примесь глюбола в  $\eta'$ :  
 $\sin^2 \phi_G = 0.17 \pm 0.07$

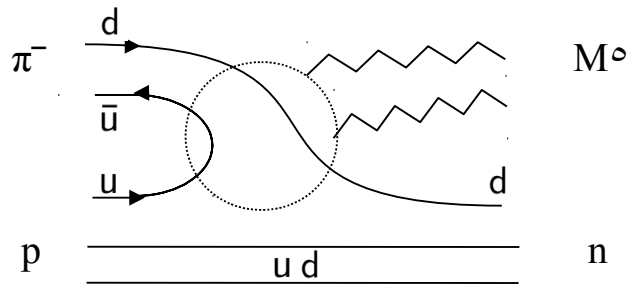
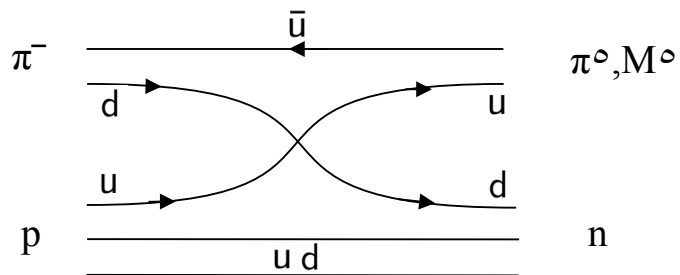
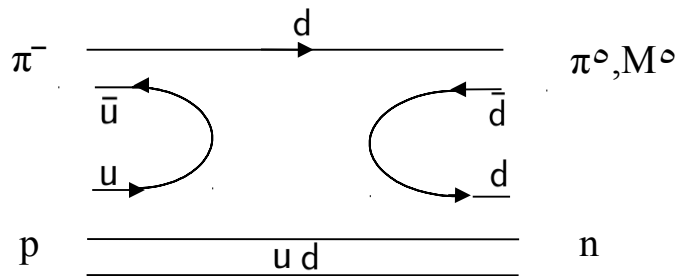


$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} \Big|_{t=0} (1 - gct)e^{ct}$$

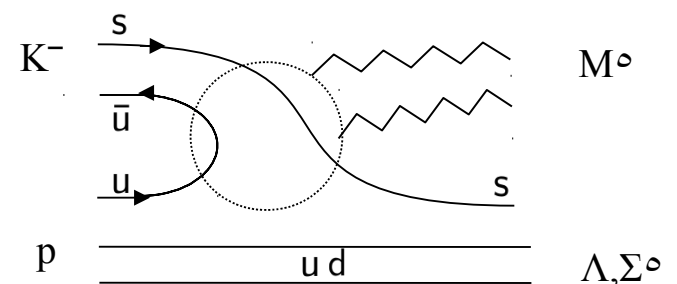
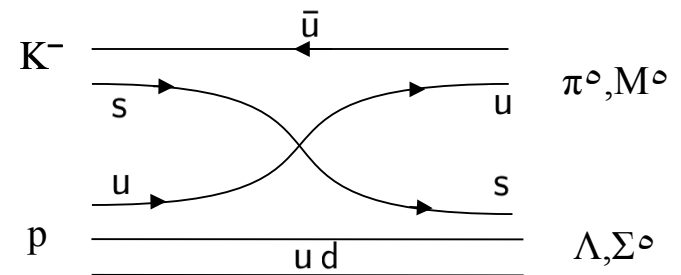
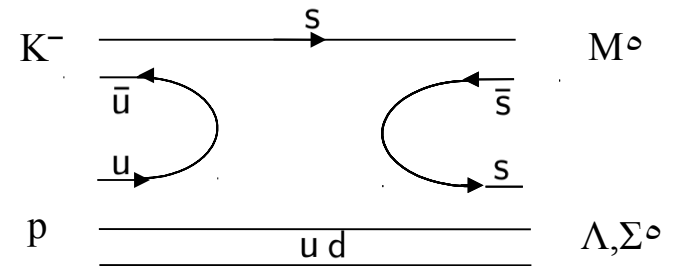
Fig. 7 The differential cross section ratio  $R(\eta'/\eta)$  in the  $\pi^-$  (a) and in the  $K^-$  (b) beams as a transfer momentum function

# “Наивная” кварковая модель:

$$\pi^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) n$$



$$K^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) (\Lambda, \Sigma^0)$$



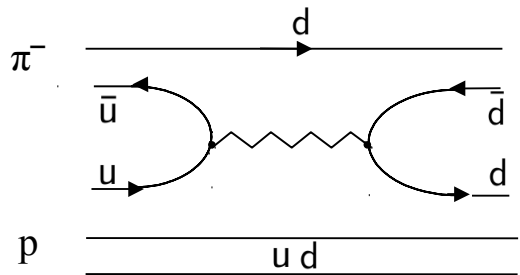
При высоких энергиях подпроцессы - жёсткие

# “Модифицированная” кварковая модель (“валентное приближение”):

$\pi^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) n$

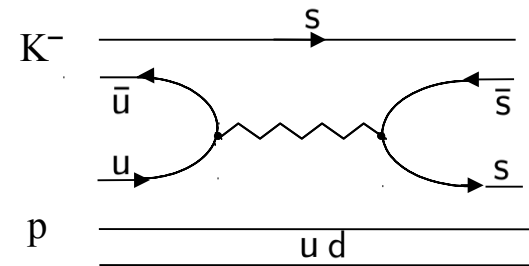
жёсткие подпроцессы

$K^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) (\Lambda, \Sigma^0)$



$\pi^0, M^0$

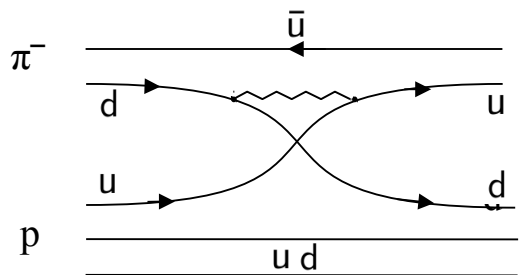
n



$M^0$

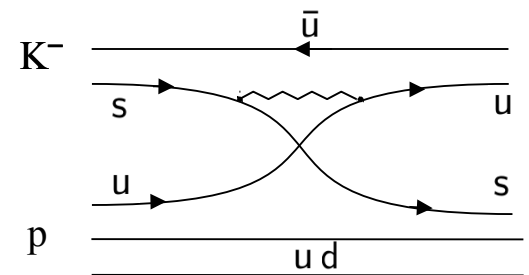
$\Lambda, \Sigma^0$

главный порядок по  $\alpha_s$



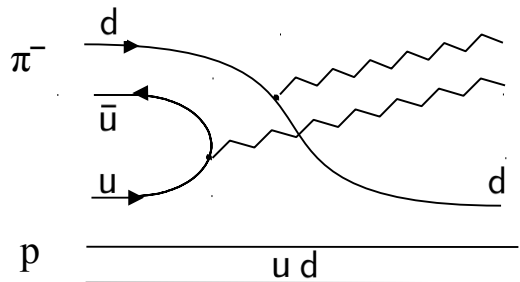
$\pi^0, M^0$

n



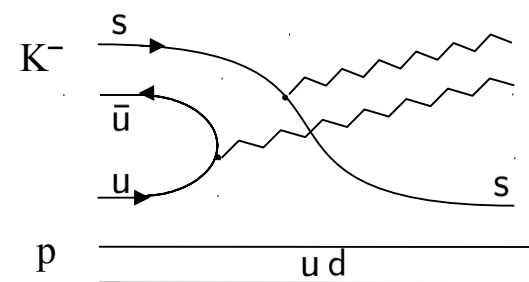
$\pi^0, M^0$

$\Lambda, \Sigma^0$



$M^0$

n



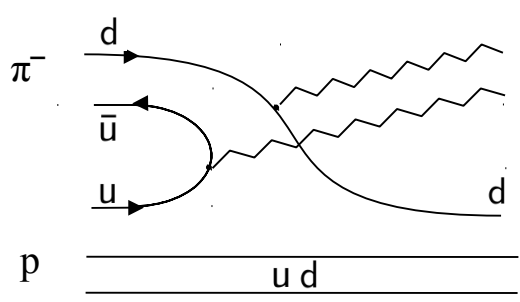
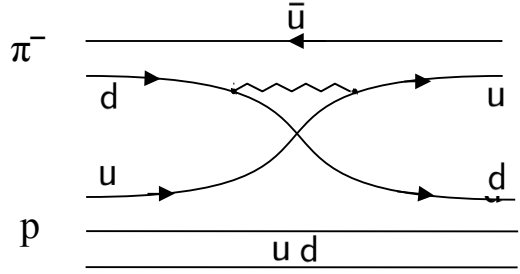
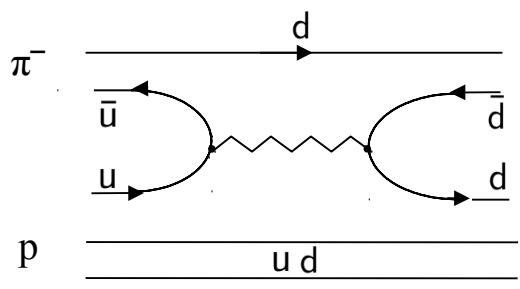
$M^0$

$\Lambda, \Sigma^0$

Все процессы имеют одинаковый порядок по  $1/N_c$

# “Модифицированная” кварковая модель (“валентное приближение”):

$\pi^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) n$



жёсткие подпроцессы

$\pi^0, M^0$

n

$\pi^0, M^0$

n

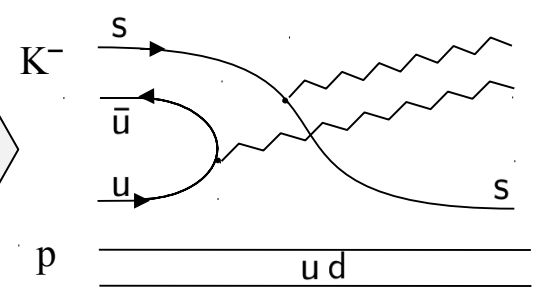
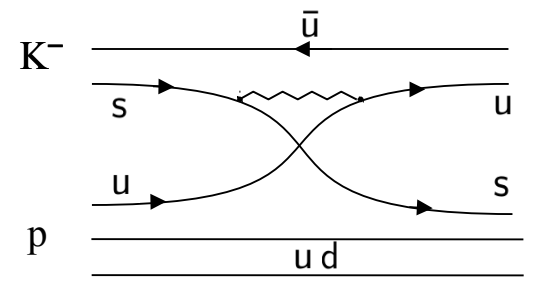
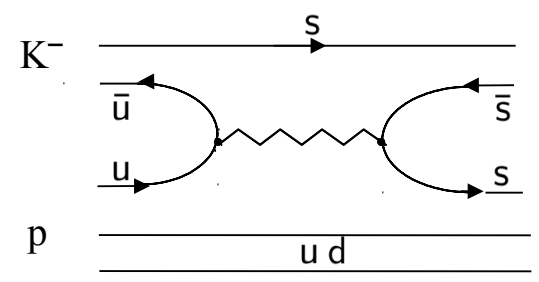
$M^0$

n

главный порядок по  $\alpha_s$

по два подпроцесса вклады подавлены

$K^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) (\Lambda, \Sigma^0)$



$M^0$

$\Lambda, \Sigma^0$

$\pi^0, M^0$

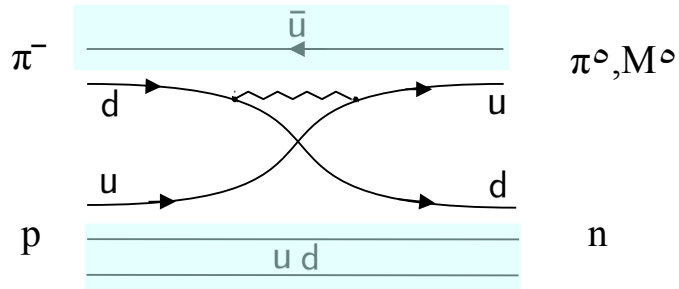
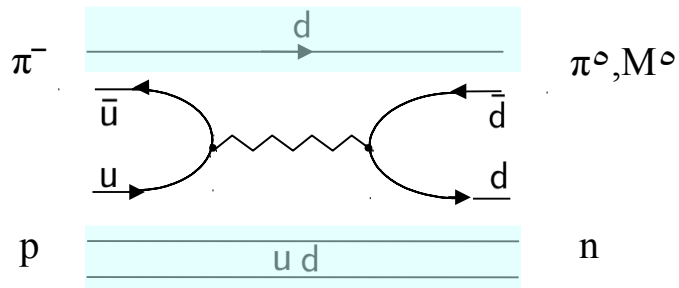
$\Lambda, \Sigma^0$

$M^0$

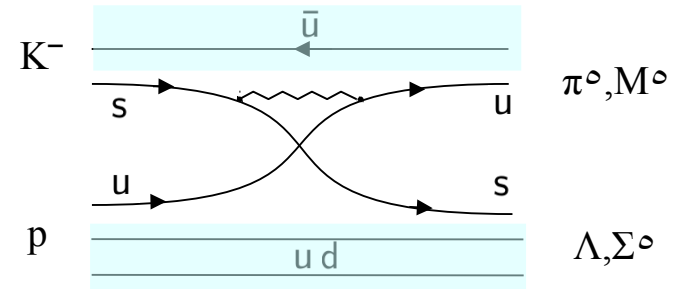
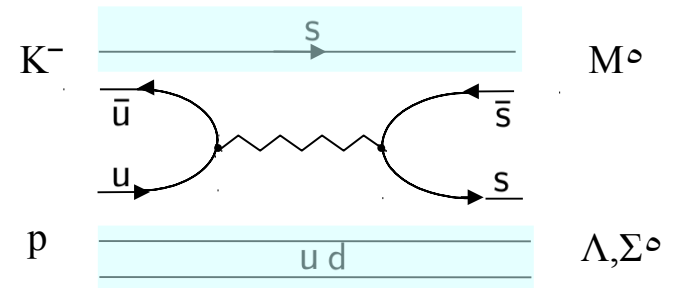
$\Lambda, \Sigma^0$

Все процессы имеют одинаковый порядок по  $1/N_c$

$$\pi^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) n$$



$$K^- p \rightarrow (\pi^0, M^0) (\Lambda, \Sigma^0)$$

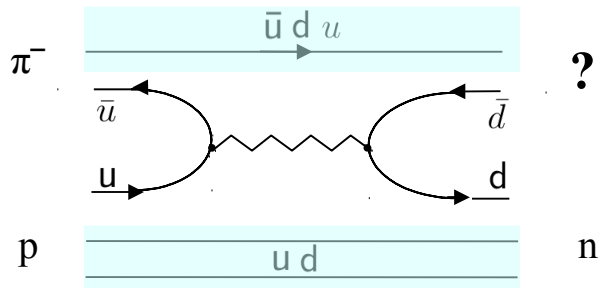


☛ В фазовом пространстве кварки в конечном состоянии занимают в точности места кварков в начальном состоянии.

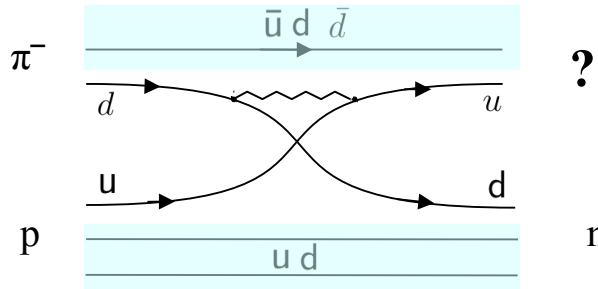


“Волновая функция” набора партонов в результате жёсткого подпроцесса не претерпевает изменений (с точностью до замены ароматов валентных кварков)

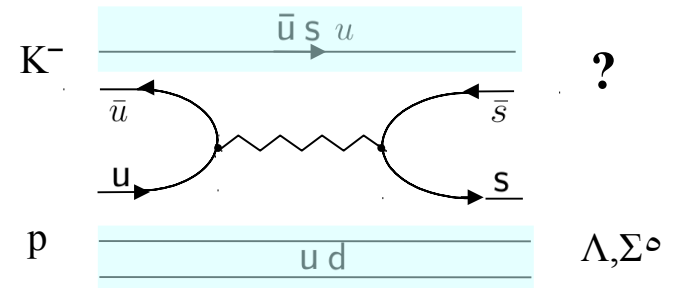




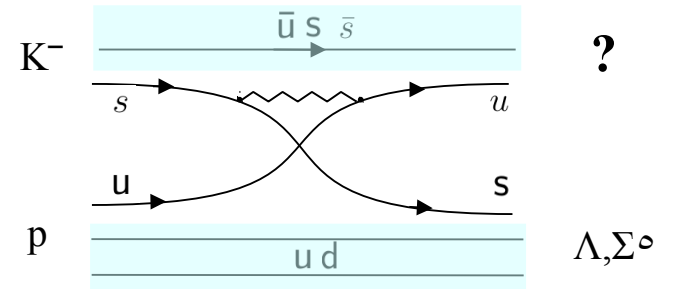
?



?



?



?

☛ В фазовом пространстве кварки в конечном состоянии занимают в точности места кварков в начальном состоянии.



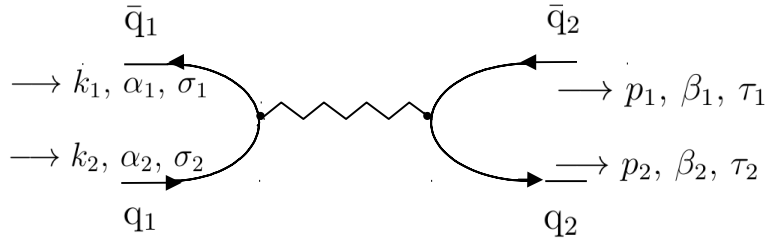
“Волновая функция” набора партонов в конечном состоянии жёсткого подпроцесса радикально меняется!

вклады процессов с морскими кварками в подпроцессах подавлены



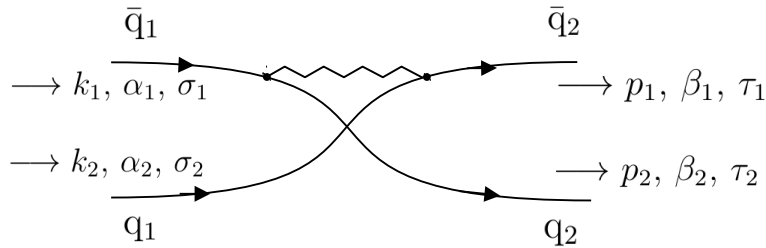
“граничные” условия

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{цветовые индексы: } \alpha_1 = \beta_1, \alpha_2 = \beta_2 \\ \text{спиновые индексы: } \sigma_1 = \tau_1 \Rightarrow \sigma_2 = \tau_2 \end{array} \right.$$



цветовой фактор:

$$\lambda_{\alpha_1 \alpha_2}^a \lambda_{\beta_2 \beta_1}^a \delta_{\alpha_1 \beta_1} \delta_{\alpha_2 \beta_2} = \lambda_{\alpha_1 \alpha_2}^a \lambda_{\alpha_2 \alpha_1}^a = \text{tr} \lambda^a \lambda^a = 2\delta^{aa}$$



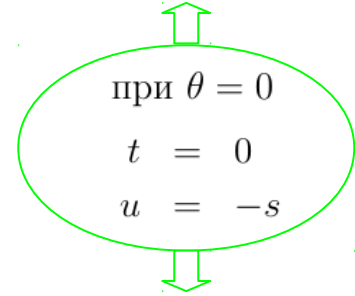
цветовой фактор:

$$\lambda_{\beta_2 \alpha_1}^a \lambda_{\beta_1 \alpha_2}^a \delta_{\alpha_1 \beta_1} \delta_{\alpha_2 \beta_2} = \lambda_{\alpha_1 \alpha_2}^a \lambda_{\alpha_2 \alpha_1}^a = \text{tr} \lambda^a \lambda^a = 2\delta^{aa}$$

$$|M|^2 = \text{const} \times \frac{u^2}{s^2} = \text{const} \times \frac{(1 + \cos \theta)^2}{4} \rightarrow \text{const}$$



$$|M|^2 = \text{const} \times \frac{s^2}{u^2} = \text{const} \times \frac{4}{(1 + \cos \theta)^2} \rightarrow \text{const}$$



КИНЕМАТИКА в системе центра масс:

$$k_1 = (k, \vec{k})$$

$$p_1 = (k, \vec{p})$$

$$s = (k_1 + k_2)^2 = 4k^2$$

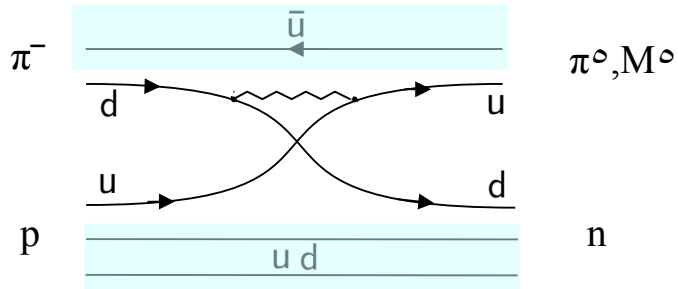
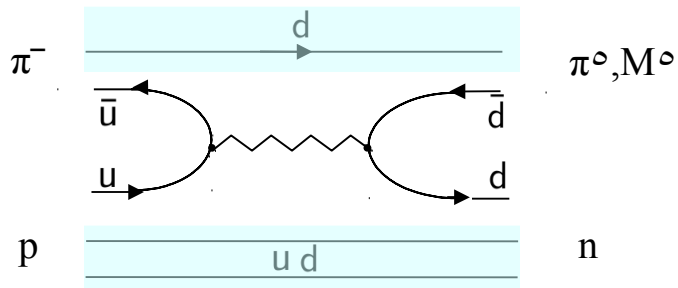
$$k_2 = (k, -\vec{k})$$

$$p_2 = (k, -\vec{p})$$

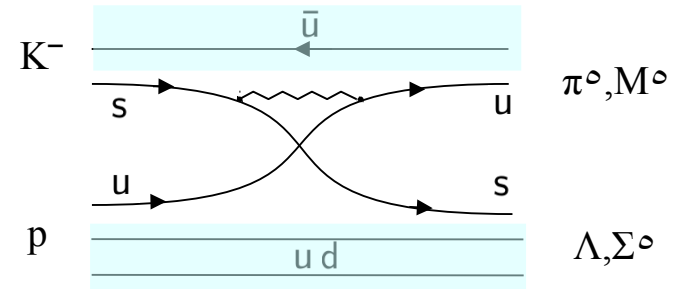
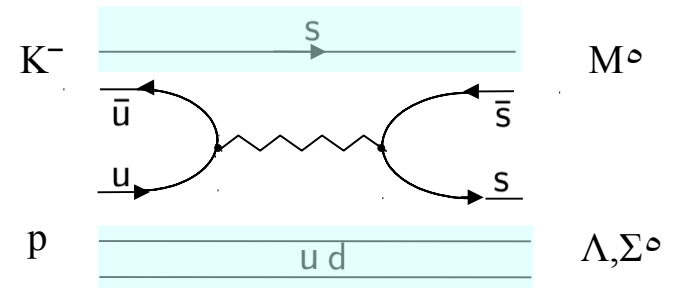
$$t = (k_1 - p_1)^2 = -(\vec{k}_1 - \vec{p}_1)^2 = -\frac{s}{2}(1 - \cos \theta)$$

$$|\vec{k}| = |\vec{p}| \quad (\vec{k}, \vec{p}) = k^2 \cos \theta$$

$$u = (k_1 - p_2)^2 = -(\vec{k}_1 - \vec{p}_2)^2 = -\frac{s}{2}(1 + \cos \theta)$$



$t = 0$



$\sigma(\pi^- p \rightarrow N n) = \sigma_\pi, \quad \sigma(\pi^- p \rightarrow S n) = 0$

$\sigma(K^- p \rightarrow S \Lambda) = \sigma(K^- p \rightarrow N \Lambda) = \sigma_K$

$|N_+\rangle \equiv |N\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |u\bar{u} + d\bar{d}\rangle, \quad |S\rangle = |s\bar{s}\rangle$

$|u\bar{u}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |N_+ + N_-\rangle$

$|N_-\rangle \equiv |\pi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |u\bar{u} - d\bar{d}\rangle$

$|d\bar{d}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |N_+ - N_-\rangle$

$|N\rangle = O_N^\eta |\eta\rangle + O_N^{\eta'} |\eta'\rangle + \dots \quad |S\rangle = O_S^\eta |\eta\rangle + O_S^{\eta'} |\eta'\rangle + \dots$

$$\begin{pmatrix} \eta \\ \eta' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_P & -\sin \phi_P \\ \sin \phi_P & \cos \phi_P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N \\ S \end{pmatrix} \quad \theta_P = \phi_P - \arctg \sqrt{2}$$



$$\sigma(\pi^- p \rightarrow \eta' n) = \sigma_\pi \sin^2 \phi_P$$

$$\sigma(\pi^- p \rightarrow \eta n) = \sigma_\pi \cos^2 \phi_P$$



$$\sigma(K^- p \rightarrow \eta' \Lambda) = \sigma_K \left( \frac{1}{2} \sin^2 \phi_P + \cos^2 \phi_P \right)$$

$$\sigma(K^- p \rightarrow \eta \Lambda) = \sigma_K \left( \frac{1}{2} \cos^2 \phi_P + \sin^2 \phi_P \right)$$

$$R_\pi^{\eta'/\eta} = \operatorname{tg}^2 \phi_P = 0.54 \pm 0.04$$



$$\phi_P = (36.3 \pm 1.0)^\circ$$

$$\theta_P = -18.4^\circ$$



$$R_K^{\eta'/\eta} = \frac{\frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \phi_P + 1}{\frac{1}{2} + \operatorname{tg}^2 \phi_P} = 1.27 \pm 0.15$$



$$\phi_P = (34.6 \pm 5.6)^\circ$$

$$\theta_P = -20.2^\circ$$

среднее значение

$$\operatorname{tg} \phi_P = 0.73 \pm 0.03$$

$$\phi_P = (36.1 \pm 0.9)^\circ$$

$$\theta_P = -18.7^\circ$$

НИЦЕ (1979):

$$\phi_P = (36.5 \pm 1.4)^\circ$$

$$\theta_P = -18.2^\circ$$

- Предложен подход описания процессов перезарядки при высоких энергиях и нулевой передаче, основанный на представлениях партонной модели.  
*Специфика:* рассеянные партоны присоединяются к зрителю.
- Вклад диаграмм с обменом кварками *существенен*, особенно в случае  $K^-$ .
- На основании данных GAMS-4 $\pi$  показывается, что описание  $\eta$ – $\eta'$  смешивания не требует введения дополнительных состояний, не укладывающихся в схему базисных кварковых состояний  $|\eta_N\rangle$  и  $|\eta_S\rangle$ . Значение угла смешивания составляет  $\varphi_p = (36.1 \pm 0.9)^\circ$ ,  $\theta_p = -18.7^\circ$ .