

С.В. Донсков, В.Н. Колосов, А.А. Леднев,
Ю.В. Михайлов, В.А. Поляков, В.Д. Самойленко,
Г.В. Хаустов

Измерение угла смешивания
в псевдоскалярном секторе мезонов (η - η')
и глюонной компоненты в η'
на установке ГАМС-4л

Сессия ОЯФ РАН 2013, Протвино

Немного истории:

Хорошо известно, что наблюдаемые состояния η , η' из-за нарушения SU(3) симметрии являются смесью октета и синглета:

$$\begin{pmatrix} |\eta\rangle \\ |\eta'\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_P & -\sin \theta_P \\ \sin \theta_P & \cos \theta_P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |\eta_8\rangle \\ |\eta_0\rangle \end{pmatrix}$$

$$|\eta_0\rangle = (|u\bar{u} + d\bar{d} + s\bar{s}\rangle)/\sqrt{3},$$

$$|\eta_8\rangle = (|u\bar{u} + d\bar{d} - 2s\bar{s}\rangle)/\sqrt{6}.$$

В кварковом базисе

$$|\eta_q\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|u\bar{u} + d\bar{d}\rangle \text{ and } |\eta_s\rangle = |s\bar{s}\rangle:$$

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

$$\theta_P = \phi_P - \arctan \sqrt{2}.$$

Как измерить угол смешивания?

В работах (G.Alexander, H.J.Lipkin, F. Scheck, Phys.Rev.Lett. 17 (1966) 412; H.J.Lipkin, F.Scheck, Phys.Rev.Lett. 16 (1966) 71)

NEUTRAL-MESON PRODUCTION CROSS SECTIONS AND MIXING ANGLES IN A QUARK MODEL

G. Alexander, H. J. Lipkin, and F. Scheck*
The Weizmann Institute of Science, Rehovoth, Israel
(Received 29 March 1966)

предложено измерять по отношению сечений образования в реакции перезарядки:

$$R = \frac{d\sigma(\eta')}{dt} / \frac{d\sigma(\eta)}{dt} \Big|_{t=0} \quad \pi^- (K^-) p \rightarrow M^0 n(\Lambda)$$

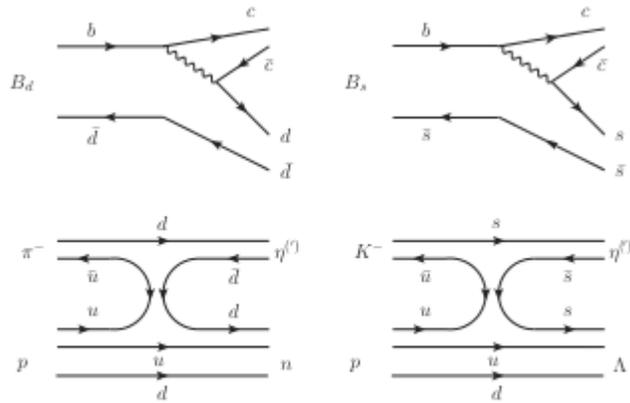


Fig. 1 The diagrams of the decay B_d, B_s mesons (top) and charge-exchange reaction in π^- and K^- beams (bottom).

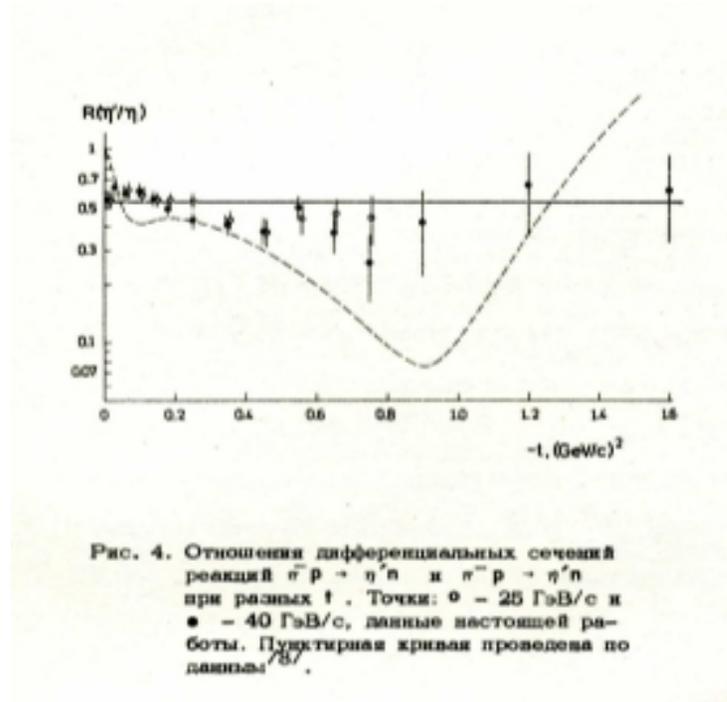
$$R_\pi = \frac{\sigma(\eta')}{\sigma(\eta)} = \tan^2 \phi_P$$

$$R_K = \frac{\sigma(\eta')}{\sigma(\eta)} = \cot^2 \phi_P.$$

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

Использование π и K пучков позволяет отдельно изучить $|S\rangle$ и $|NS\rangle$ части волновой функции

Эксперимент NICE – первые измерения угла смешивания (1979)



Препринт ИФВЭ 79-23

$R=0.55 \pm 0.06$, угол смешивания в октет-синглетном базисе $\theta = -18.5$

Дальнейшее развитие теории: появление глюонов.

Связь η, η' с глюонами.

V.A.Novikov, M.A.Shifman, A.I.Vainshtein, V.I.Zacharov Nucl.Phys. B165 55 (1980)
 $J/\psi \rightarrow \eta(\eta') \gamma$ decays.

$$r = \frac{\Gamma(\psi \rightarrow \eta' \gamma)}{\Gamma(\psi \rightarrow \eta \gamma)} = \frac{|\langle 0 | G_{\mu\nu}^a \tilde{G}_{\mu\nu}^a | \eta' \rangle|^2 (1 - m_{\eta'}^2/m_{\psi}^2)^3}{|\langle 0 | G_{\mu\nu}^a \tilde{G}_{\mu\nu}^a | \eta \rangle|^2 (1 - m_{\eta}^2/m_{\psi}^2)^3} = \frac{4.6}{(1.07)^3} \approx 3.7,$$

A.L.Kataev, N.V.Krasnikov, A.A.Pivovarov, Phys.Lett. 107B(1981)
Спектр возбуждений η' :

$$m_n^2 = m_{\eta'}^2 (2n + 1); \quad n = 1, 2, \dots$$

$$m_1 \approx 1.66 \text{ GeV}.$$

С.С.Герштейн, А.К.Лиходед, Ю.Д.Прокошкин, ЯФ 38 (1984)
Механизм глюонного обесцвечивания. Характерные признаки глюоболов.
 $G(1590) \rightarrow \eta\eta'$

Введение глюонного поля в структуру псевдоскаляров:

Например как в работе Н.-Y.Cheng et al. (arXiv:0811.2577):

$$\begin{pmatrix} |\eta\rangle \\ |\eta'\rangle \\ |G\rangle \end{pmatrix} = U_3(\theta)U_1(\phi_G) \begin{pmatrix} |\eta_8\rangle \\ |\eta_1\rangle \\ |g\rangle \end{pmatrix}$$

с матрицами смешивания

$$U_3(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad U_1(\phi_G) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi_G & \sin\phi_G \\ 0 & -\sin\phi_G & \cos\phi_G \end{pmatrix}$$

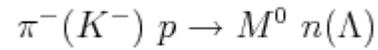
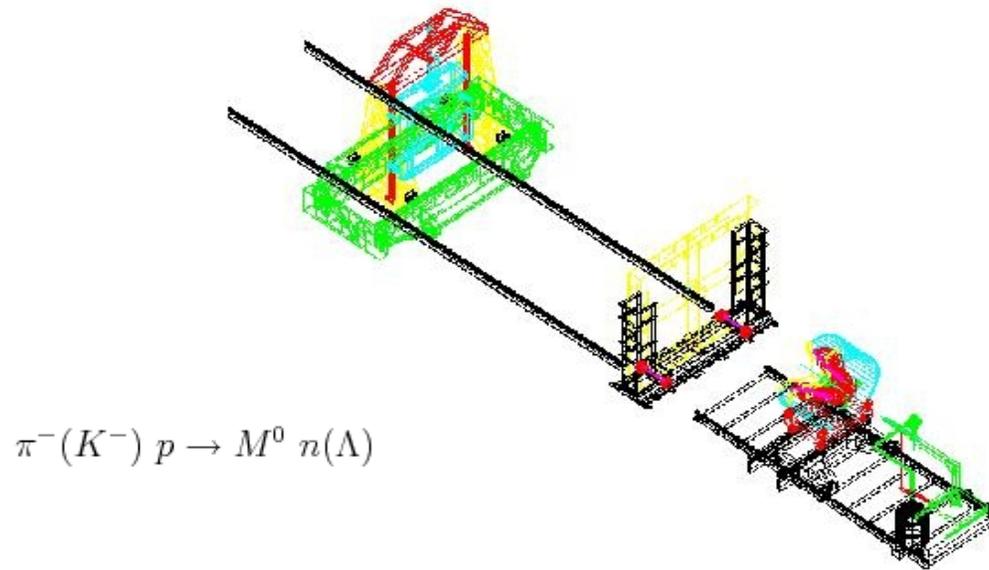
Параметризация KLOE: arxiv:0906.3819:

The η and η' states can be represented in the base $|N\rangle = (|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle)/\sqrt{2}$, $|S\rangle = |s\bar{s}\rangle$ and $|G\rangle = |\text{gluonium}\rangle$ as:

$$|\eta'\rangle = \cos\psi_G \sin\psi_P |N\rangle + \cos\psi_G \cos\psi_P |S\rangle + \sin\psi_G |G\rangle \quad (1.1)$$

$$|\eta\rangle = \cos\psi_P |N\rangle - \sin\psi_P |S\rangle \quad (1.2)$$

Экспериментальная установка ГАМС-4л (1991-2005)



Измерение реакций перезарядки в π и K пучках при импульсе 32 ГэВ/с. Выделение сорта пучковых частиц – два черенковских пороговых счетчика типа ПСС (препринт ИФВЭ 68-46). В анализе используется $0.5 \cdot 10^6$ событий $\eta \rightarrow 2\gamma$ и $1.5 \cdot 10^4$ $\eta' \rightarrow 2\gamma$ в π пучке. В K пучке $2.2 \cdot 10^3$ и $0.25 \cdot 10^3$ соответственно.

Использование одинаковой моды распада позволяет существенно уменьшить систематические ошибки при вычислении отношения сечений.

Экспериментальный спектр масс $\gamma\gamma$ событий.

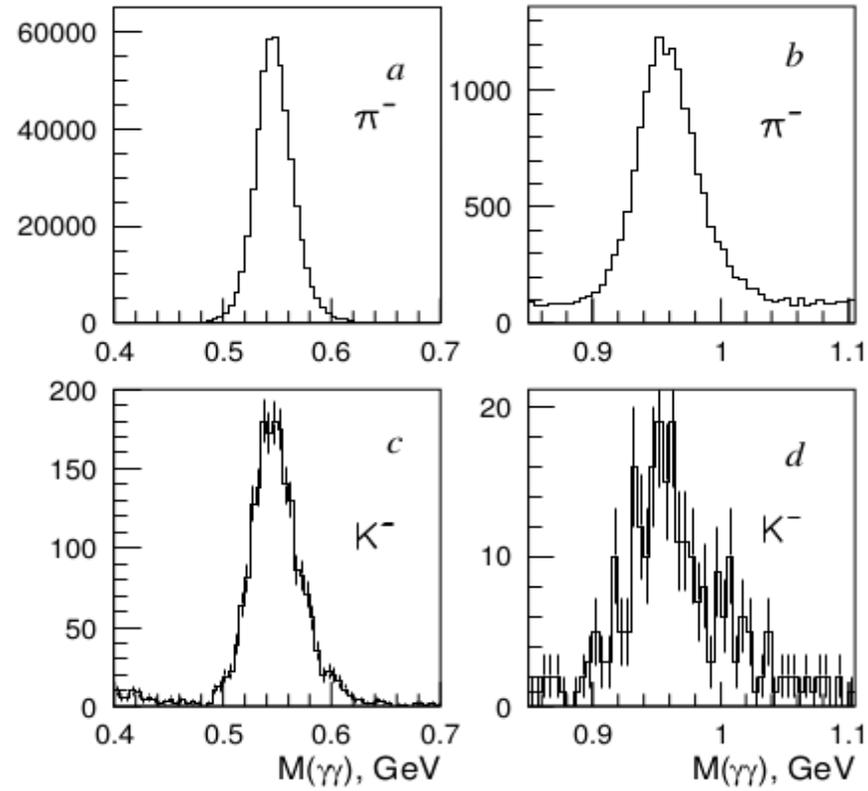


Fig. 2 Experimental mass spectrum of 2γ events in the η and η' regions for a π^- beam (histograms *a* and *b* respectively) and for a K^- beam (*c* and *d*).

Дифференциальное сечение образования η , η'

Феноменологическое описание:

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

W.D. Apel et al., Nucl. Phys. **B193** 269 (1981)

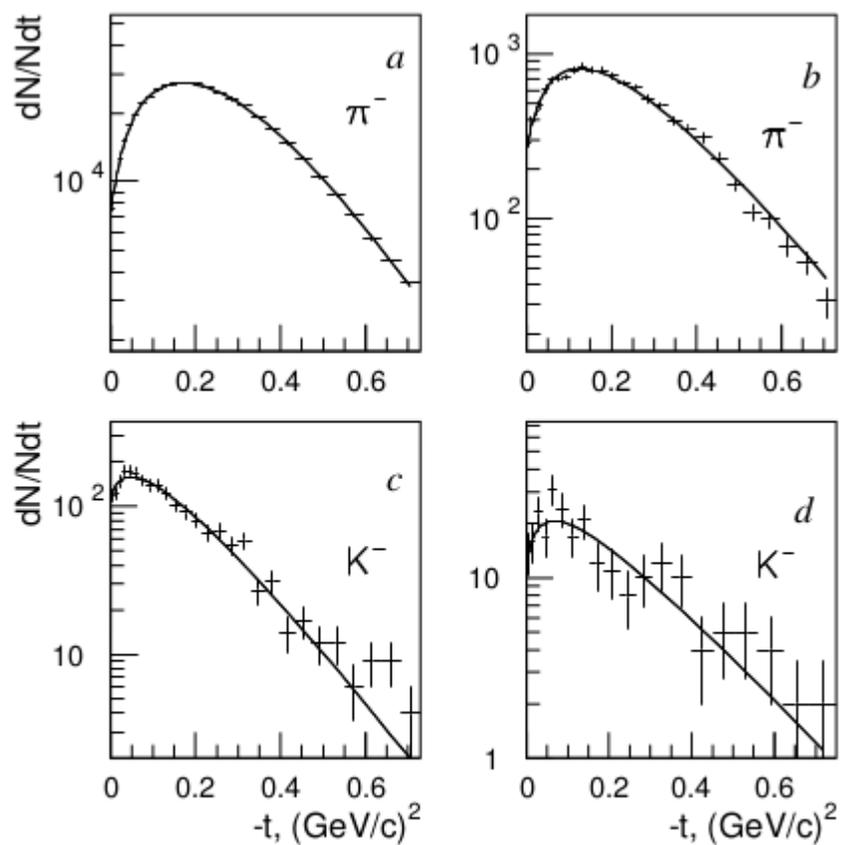


Fig. 5 Differential cross section η and η' mesons with fitted function (15) in the π^- beam (histograms *a* and *b*) and in the K^- beam (*c* and *d*).

Специально область малых t :

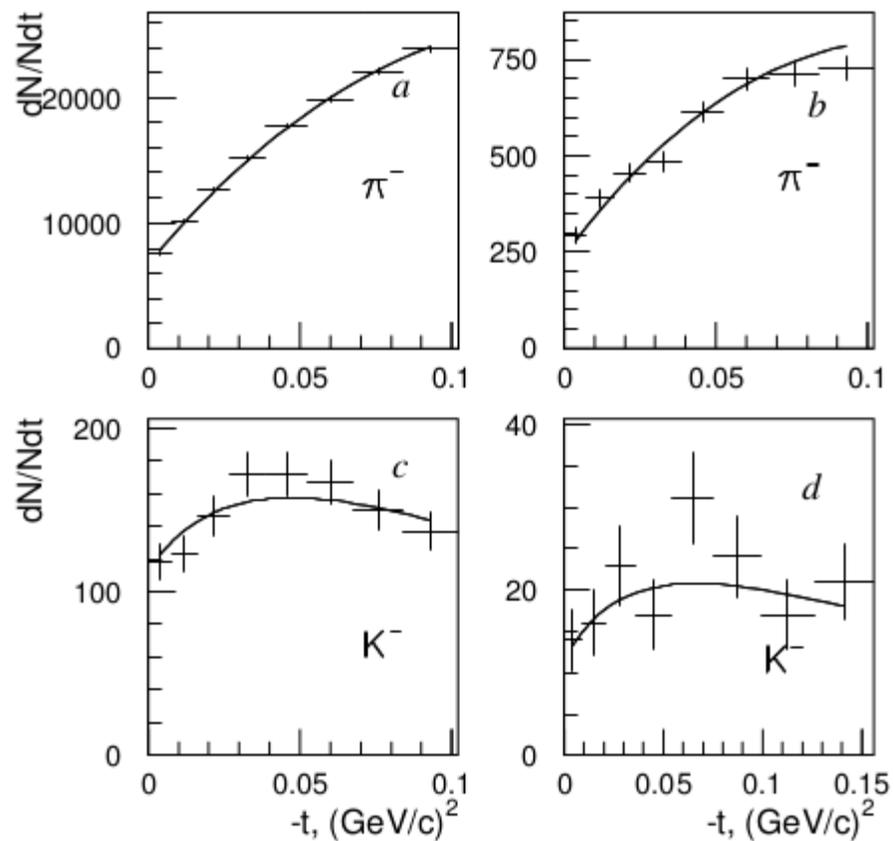


Fig. 6 Differential cross section η and η' mesons in low t region with fitted function 15 in the π^- beam (histogramms a and b) and in the K^- beam (c and d).

Результаты фита:

Table 1 The results of the experimental histogram fit (Fig. 5) by the function (15) for η and η' mesons in π^- and K^- beams ($a \equiv \frac{dN}{dt} |_{t=0}$).

η				
	a	$c, (GeV/c)^{-2}$	g	χ^2/NDF
π^-	$(2.21 \pm 0.02) \cdot 10^6$	7.8 ± 0.1	2.6 ± 0.1	18.3/18
K^-	$(2.98 \pm 0.13) \cdot 10^4$	8.9 ± 2.0	0.0 ± 0.60	15.8/15

η'				
	a	$c, (GeV/c)^{-2}$	g	χ^2/NDF
π^-	$(6.57 \pm 0.3) \cdot 10^4$	8.6 ± 0.2	2.2 ± 0.2	13.5/18
K^-	$(2.10 \pm 0.2) \cdot 10^3$	6.3 ± 1.3	0.0 ± 0.3	15.0/15

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{d\sigma}{dt} |_{t=0} (1 - gct)e^{ct} \quad g = \sigma_- / \sigma_+$$

η - η' Угол смешивания:

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

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

Вспомним, что в наивной кварковой модели:

$$R_\pi \cdot R_K = \tan^2 \phi_P \cdot \cot^2 \phi_P = 1$$

Наш результат:

$$R_\pi \cdot R_K = 0.69 \pm 0.09.$$

Расхождение можно объяснить, если предположить, что псевдоскаляр (η') содержит компоненту, которая не рассматривается в модели, в данном случае – глюонная часть. Следуя параметризации KLOE:

$$R_\pi = \cos^2 \psi_G \operatorname{tg}^2 \phi_P$$
$$R_K = \cos^2 \psi_G \operatorname{ctg}^2 \phi_P,$$

можно заметить, что

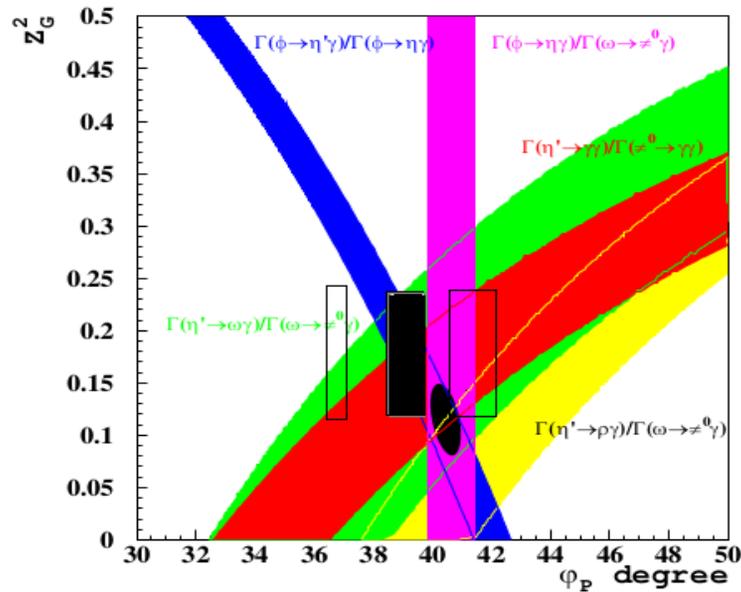
$$R_\pi \cdot R_K = \cos^4 \psi_G.$$

Содержание глюонной компоненты в η'

$$\sin^2 \phi_G = 0.17 \pm 0.07.$$

Результат KLOE, полученный в результате “глобального фита” при анализе радиационных распадов, равен 0.12 ± 0.04 (arXiv:0906.3819)

Сравнение с KLOE по итогам глобального фита



68% confidence level regions of the shown measurements in the Z_G^2, ψ_P plane.

Угол смешивания с учетом глюонной компоненты $(38.9 \pm 1.5)^\circ$

Заключение

В работе на основе измерения отношения диф. сечений образования η, η' мезонов в π и K пучках измерен угол смешивания

$$\underline{\psi = (38.9 \pm 1.5)^\circ}$$

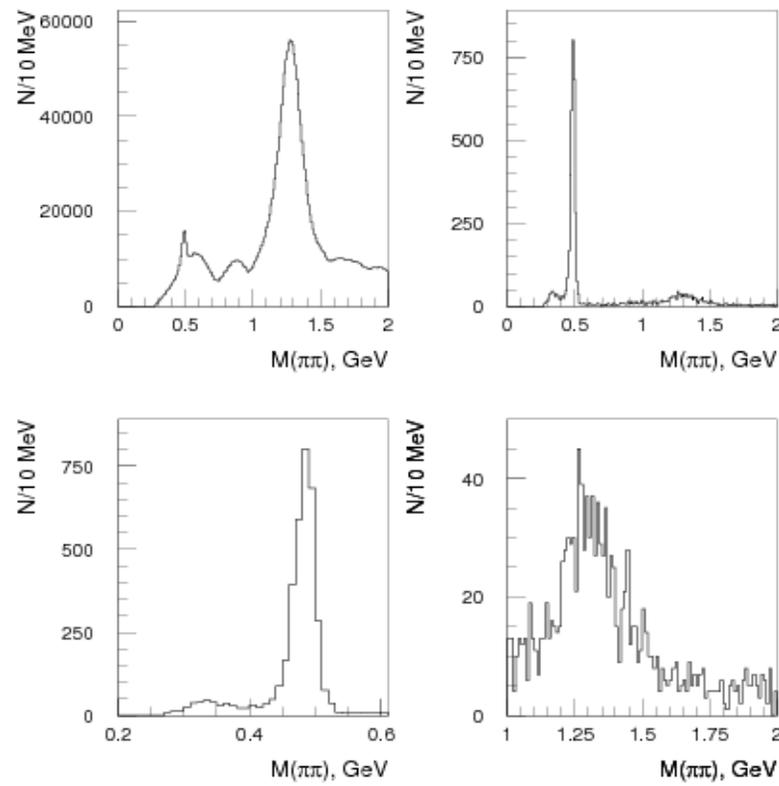
и определено содержание глюонной компоненты в η'

$$\sin^2 \phi_G = 0.17 \pm 0.07.$$

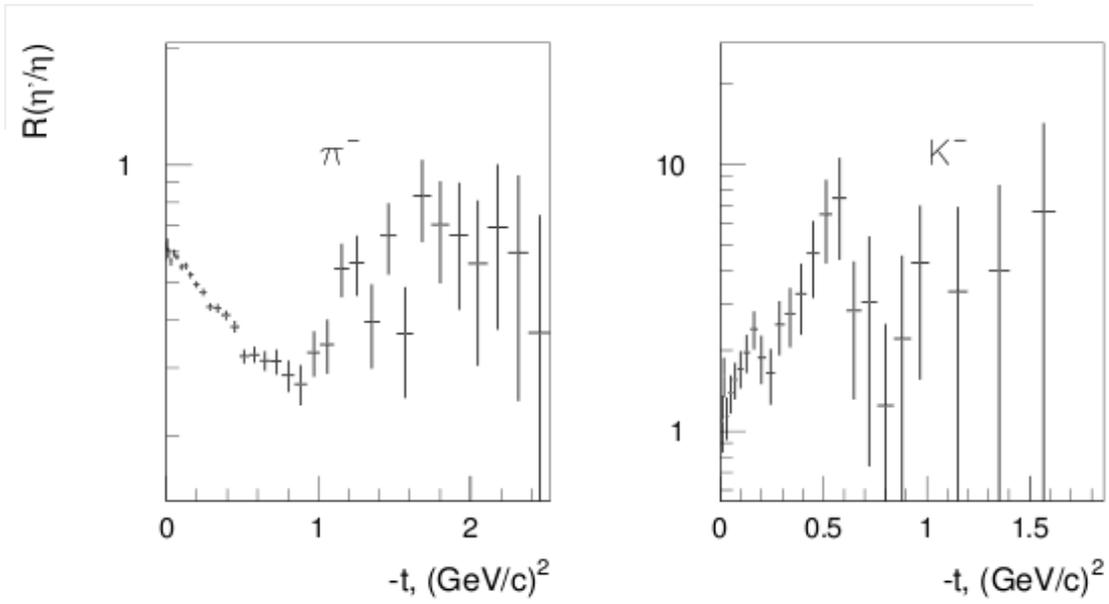
Авторы благодарны профессору А.К.Лиходеду и А.В.Лучинскому за многочисленные полезные обсуждения.

PS. Измерены параметры реакции перезарядки η, η' мезонов в K пучке.

Качество выделения К пучка



$R(t)$:



Заключение

В работе на основе измерения сечений легких псевдоскалярных мезонов η, η' в π^- - и K^- -пучках определен угол смешивания.

Отношение дифференциальных сечений при переданном импульсе $t' = 0$ (ГэВ/с)² в π^- -пучке $R_\pi(\eta'/\eta) = 0.56 \pm 0.04$ приводит к значению угла смешивания в кварковом базисе $\phi_P = (36.8 \pm 1.0)^\circ$, или $\theta_P = -(17.9 \pm 1.0)^\circ$ в октет-синглетном представлении. Отношение сечений, полученное в K^- -пучке, $R_K(\eta'/\eta) = 1.30 \pm 0.16$ соответствует углу $\phi_P = (41.3 \pm 1.8)^\circ$ и не согласуется с результатом в π^- -пучке. Мы полагаем, что причиной является глюонная часть η' -мезона, которая не учитывается в простой кварковой модели. Введение в базис волновой функции η' -мезона дополнительной глюонной компоненты $|G\rangle$ и угла смешивания ψ_G , как это было сделано в эксперименте KLOE, приводит к содержанию глюонной компоненты $\sin^2 \psi_G = 0.15 \pm 0.06$ в η' -мезоне.

Авторы благодарны профессору А.К. Лиходеду и А.В. Лучинскому за многочисленные полезные обсуждения.