



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Институт физики высоких энергий имени А.А. Логанова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

**Измерение выстроенности $K^*(892)$ -мезонов
на ядрах на ускорительном комплексе У-70**

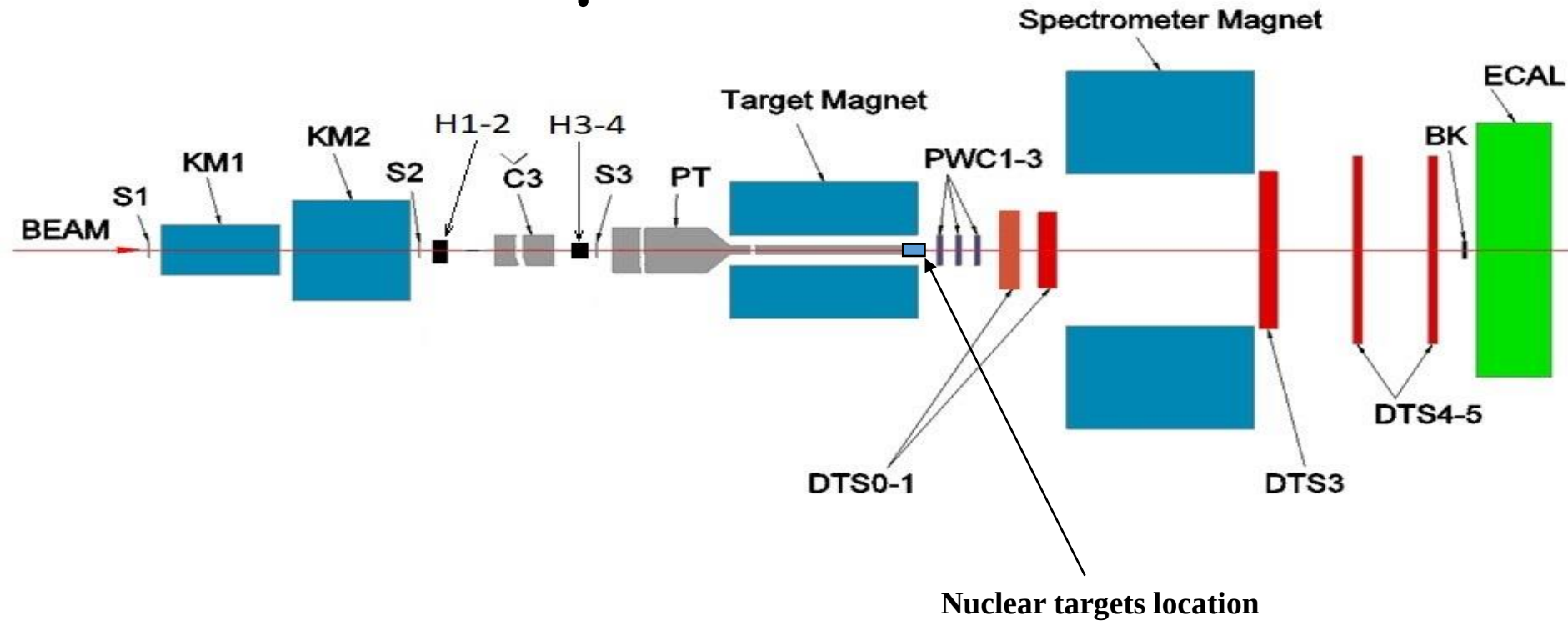
Никита Калугин, НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

Введение

Информация о спиновых свойствах частиц, рождающихся в адрон-адронных взаимодействиях, может быть важна для понимания механизма рождения этих же частиц. Экспериментальные данные по поляризации гиперонов в основном занимают эту нишу (37 экспериментальных статей, согласно статистике INSPIREHEP за 2023-2024 год). Данных про спиновые свойства векторных мезонов меньше (9 статей за тот же период). Спиновые свойства векторных мезонов описываются в терминах матрицы спиновой плотности (эрмитова матрица 3×3). Диагональные элементы этой матрицы ρ_{00} , ρ_{11} , ρ_{1-1} представляют собой относительные вероятности мезону иметь 0,+1,-1 проекции спина на ось квантования.

Исходя из примитивной модели рождения мезонов, никакое из направлений проекции спина не обособлено, подразумевается, что все проекции спина равновероятны, ($\rho_{00} = \rho_{11} = \rho_{1-1} = 1/3$), т.е. для вектора спина нет выделенного направления в пространстве (изотропность). В неизотропном случае говорят о наличии выстроенности вдоль оси квантования (spin alignment). Исследование подобных свойств векторных мезонов является не менее важным, чем поляризация гиперонов, и эта область нуждается в различных экспериментальных данных для множества теоретических моделей в области физики элементарных частиц.

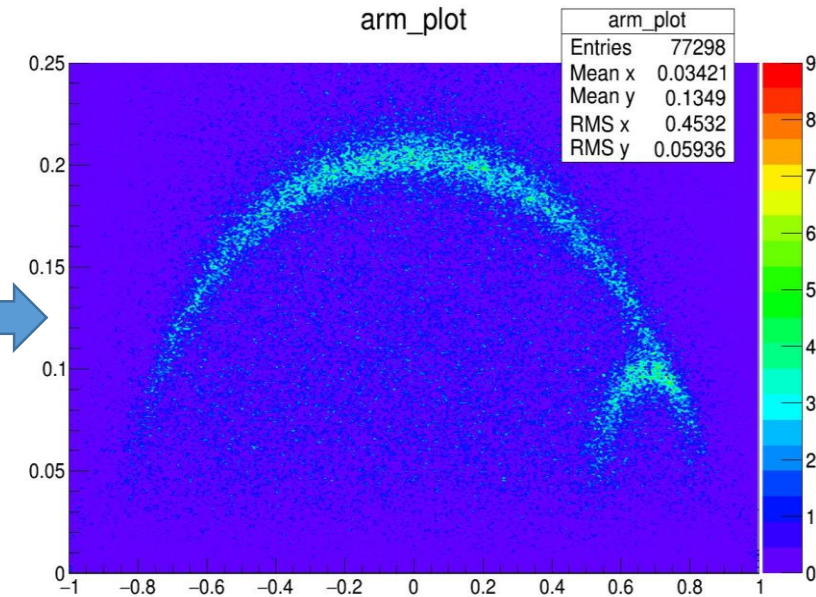
Эксперимент СПАСЧАРМ



Проведен анализ данных, набранных в сеансе **2021** и 2022 гг. на ядерных мишенях

Отбор Событий

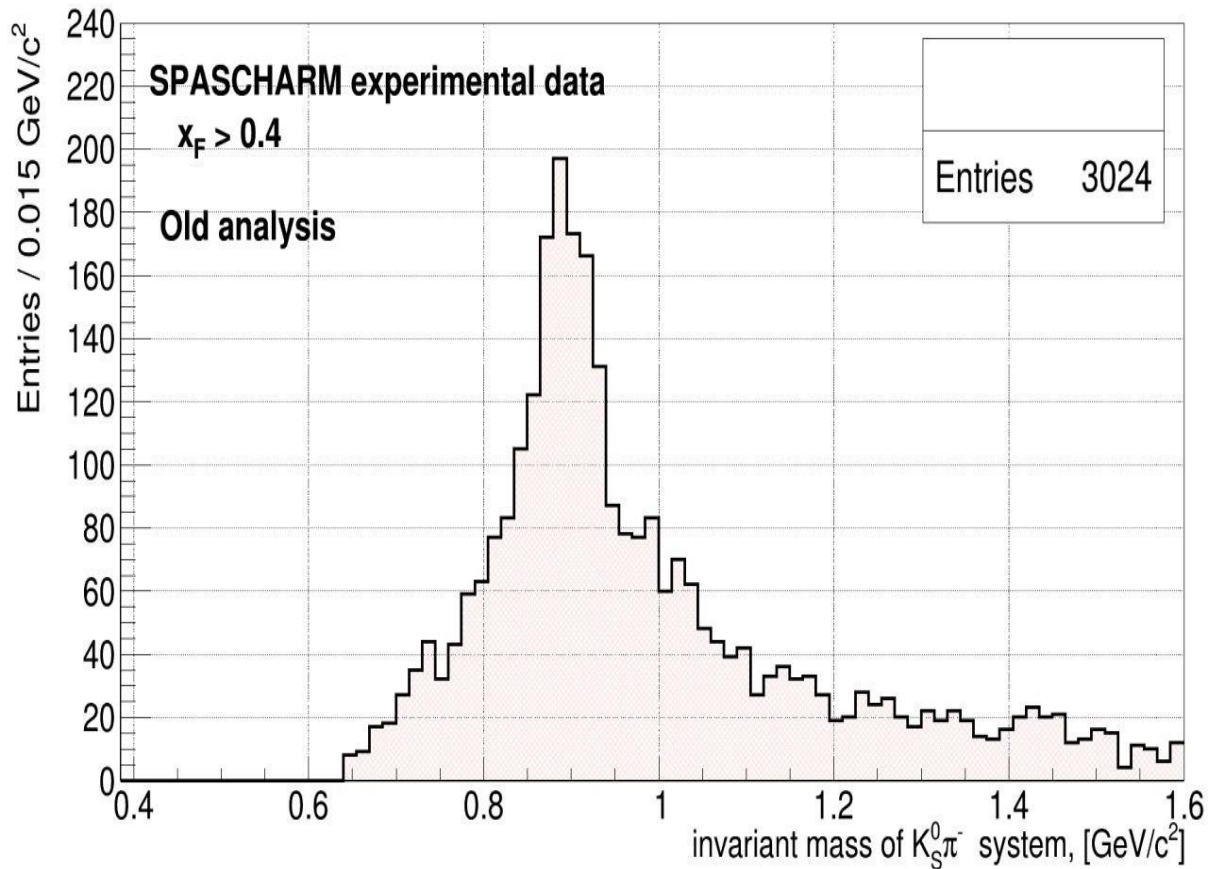
1. Множественность пучковых треков равна строго единице
2. Идентифицированный K^- пучковый трек черенковскими счетчиками $\check{C}_1, \check{C}_2, \check{C}_3$
3. По крайней мере реконструирован один положительно заряженный трек и по крайней мере два отрицательно заряженных трека
4. Вторичная вершина, сформированная вилкой (V^0), лежит в диапазоне $Z_{\text{decay}} \approx 31$ см от $Z_{\text{decay}} \approx 77$ см
5. Расстояние между треками в вилке не больше ~ 0.6 см
- ~~6. Удаление кинематических областей с помощью критерия Армента-Тодольянского отвечающих за $A^0 \rightarrow \rho\pi$ и $\gamma \rightarrow e^+e^-$~~
7. Z-координата первичной вершины находится в пределах $\pm 3\sigma$ ($\sigma \approx 2.5$ см) от Z-координаты центра мишени (~ 23 см)
8. Косинус угла между направлением вектора 3-импульса V^0 и вектора, проведенного из первичной вершины во вторичную, должен быть больше 0.98.
9. 1C-ФИТ V^0 на массу K_S^0 мезона.
10. $x_F > 0.4$ для $K_S^0 h^-$



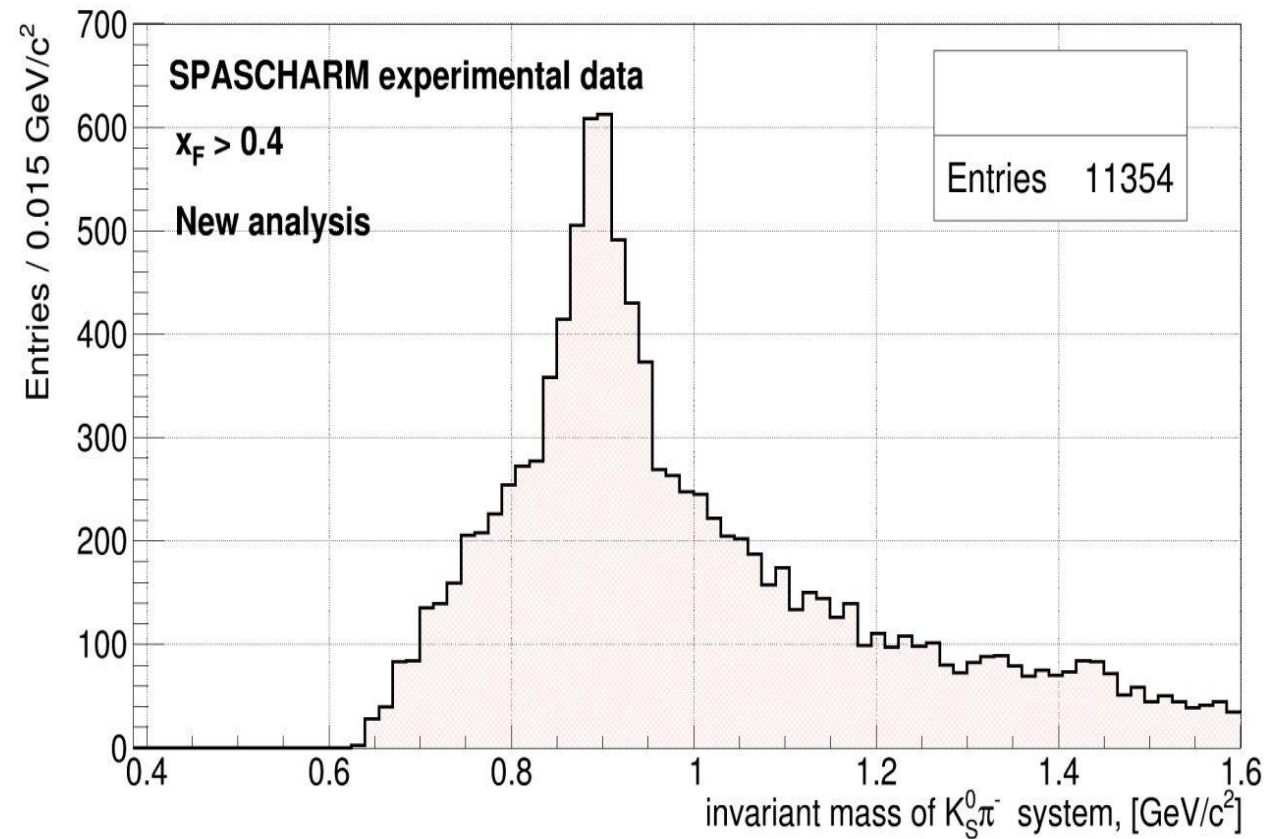
Теперь отбирается все

K_S^0 meson production in π -A interactions at Accelerator complex U-70, N.K.Kalugin et. al., Phys.Atom.Nucl 87 (2024),3,200-207

Сравнение статистики



Результат обработки сеанса 2022 года с применением критерия Арментероса-Подольянского



Результат обработки сеанса 2022 и **2021** года без применения критерия Арментероса-Подольянского

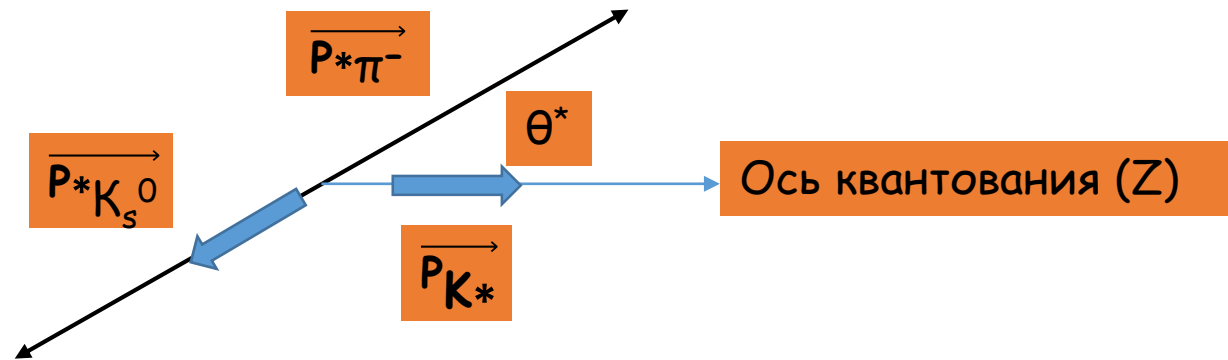
Прирост статистики ($K_S^0 h^-$ -пар) в ~3.75 раз

Калугин Н.(ИФВЭ), ЯДРО-2025, Санкт-Петербург

(4)

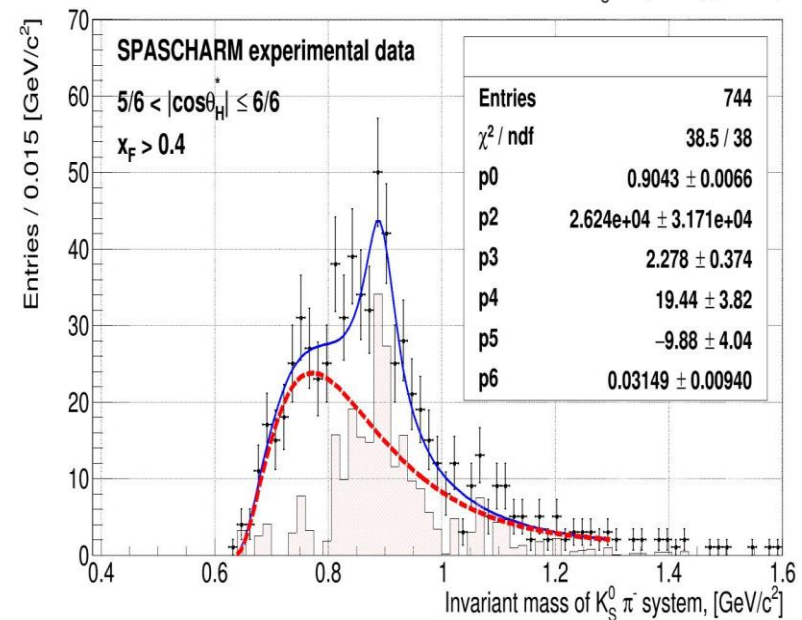
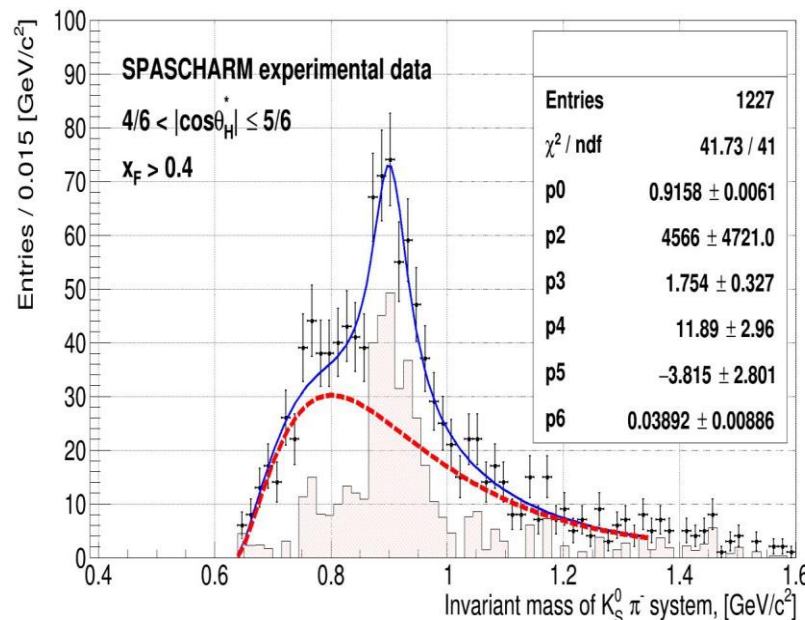
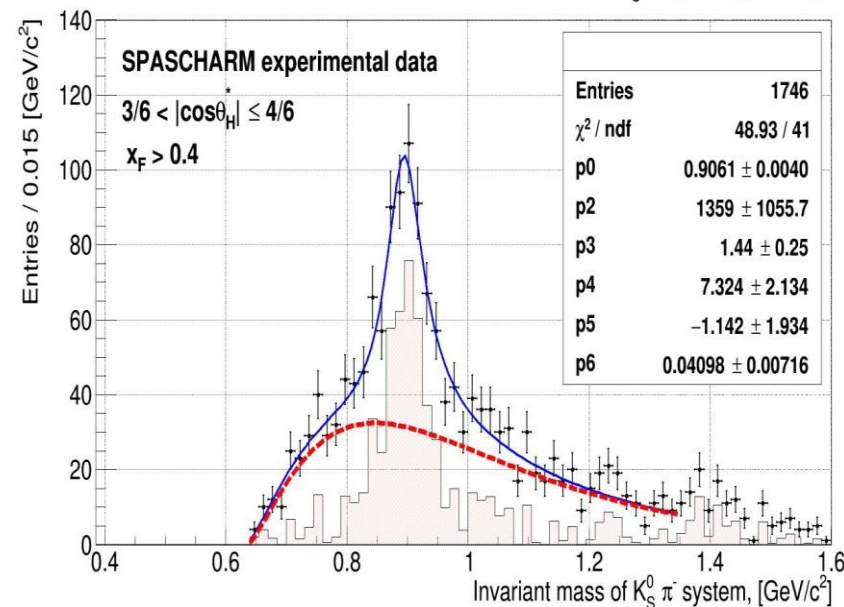
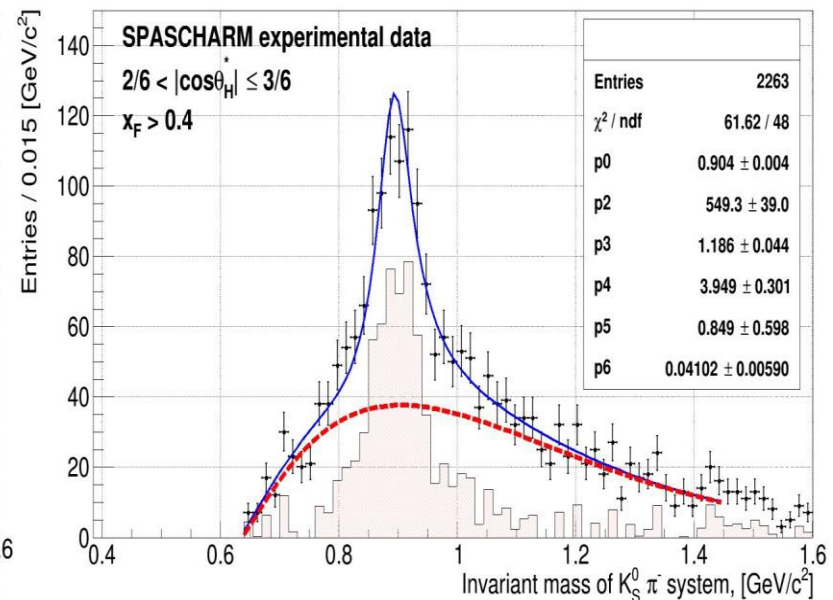
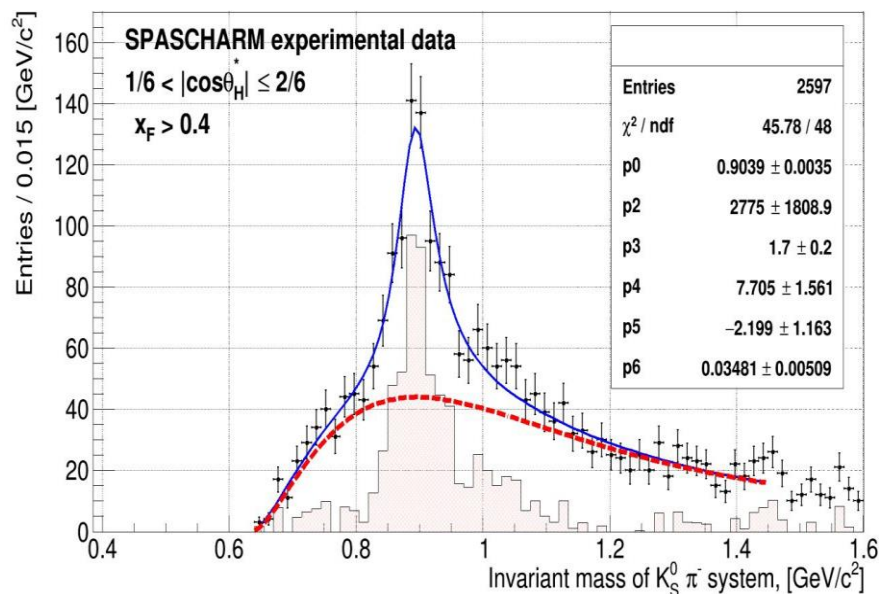
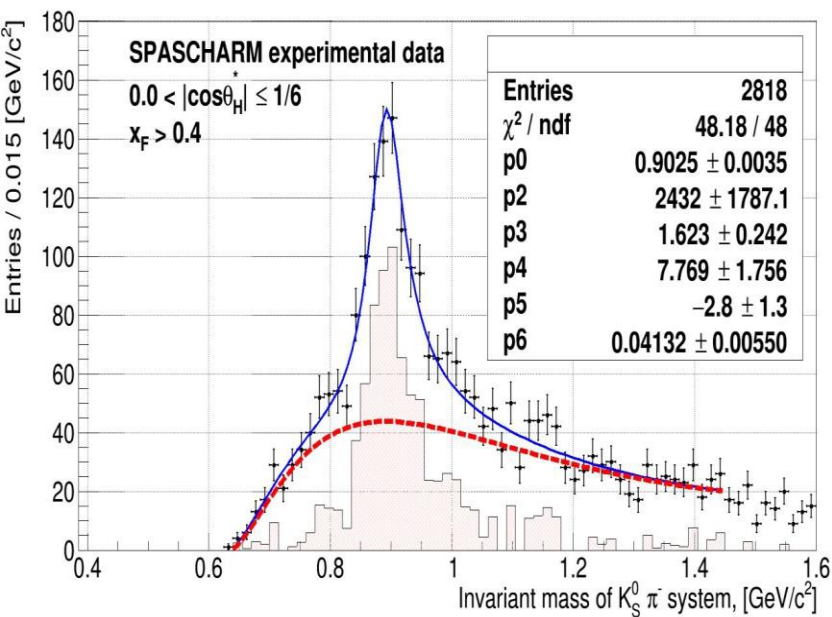
Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности

Спиральная система (helicity frame)



$$\frac{dN}{d \cos \theta^*} \sim [1 - \rho_{00} + (3\rho_{00} - 1)(\cos \theta^*)^2]$$

Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности



Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности

Invariant mass distributions have been fitted by the well-known formula:

$$\frac{dN}{dM} = BW \cdot PS + BG \approx BG(1 + \alpha 1BW)$$

Assuming $PS \approx BG$

$$BW(M) = \frac{M}{p^*} \cdot \frac{\Gamma(M)}{(M^2 - M_0^2)^2 + M_0^2 \Gamma^2(M)}$$

$BW(M)$ - relativistic p-wave Breit-Wigner function with dynamical width:

$$\Gamma(M) = \Gamma_0 \cdot \left(\frac{p^*(M)}{p^*(M_0)} \right)^{2l+1} \frac{\rho(M)}{\rho(M_0)}$$

$$\rho(M) \approx \frac{1}{M}$$

$p^*(M)$ - the momentum of the decay product in the rest frame of the resonance

$l=1$ orbital momentum.

Any details see in J.D.Jackson, Nuovo Cimento 34 (1964) 76

$$BG(M) = \alpha 2 \cdot (M - M_{tres})^{\alpha 3} \cdot e^{-\alpha 4(M - M_{tres}) - \alpha 5 \cdot (M - M_{tres})^2}$$

Background is described by a two terms, involving at most 4 free parameters, which take into account possible threshold effects and quasi-exponential background far from threshold mass M_{tres} .

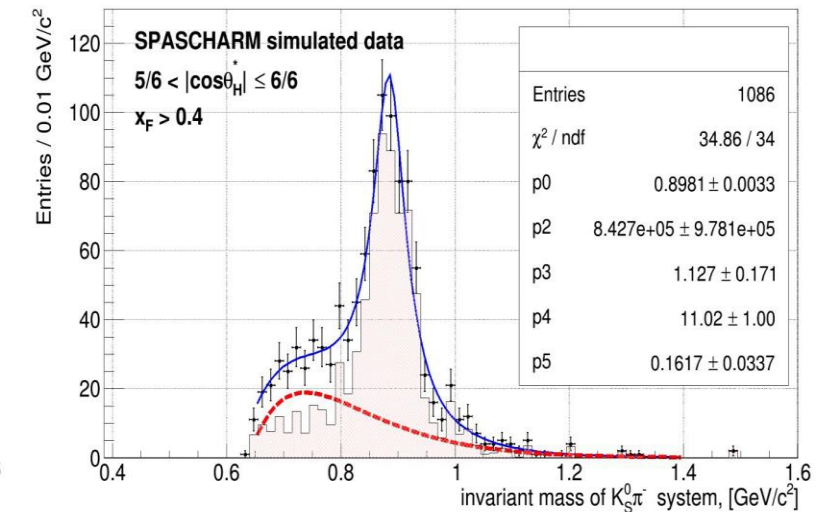
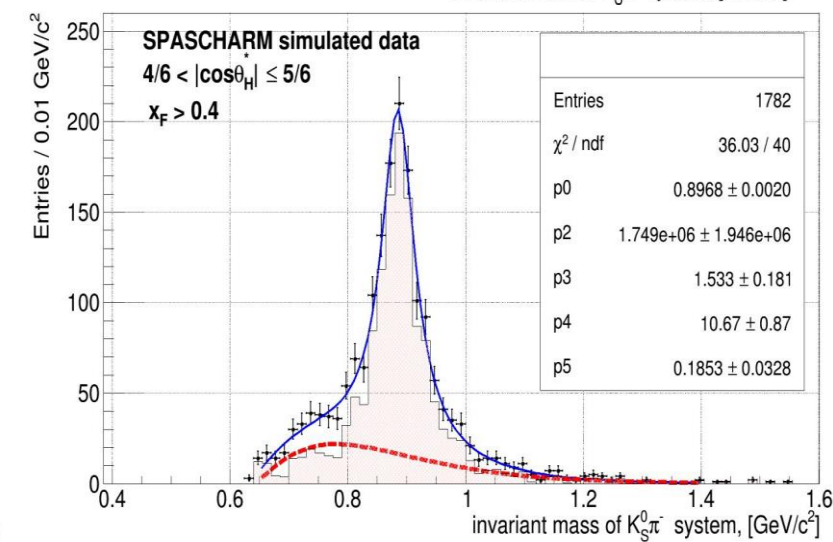
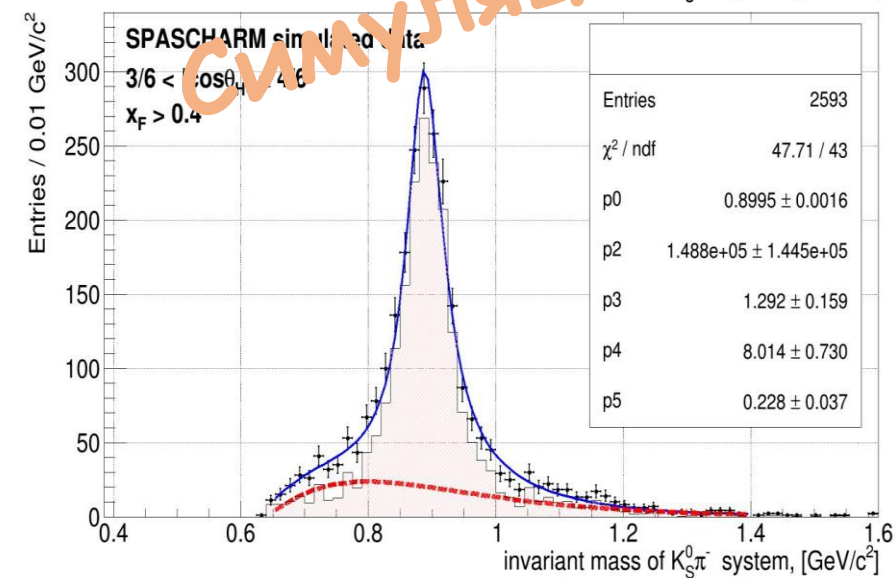
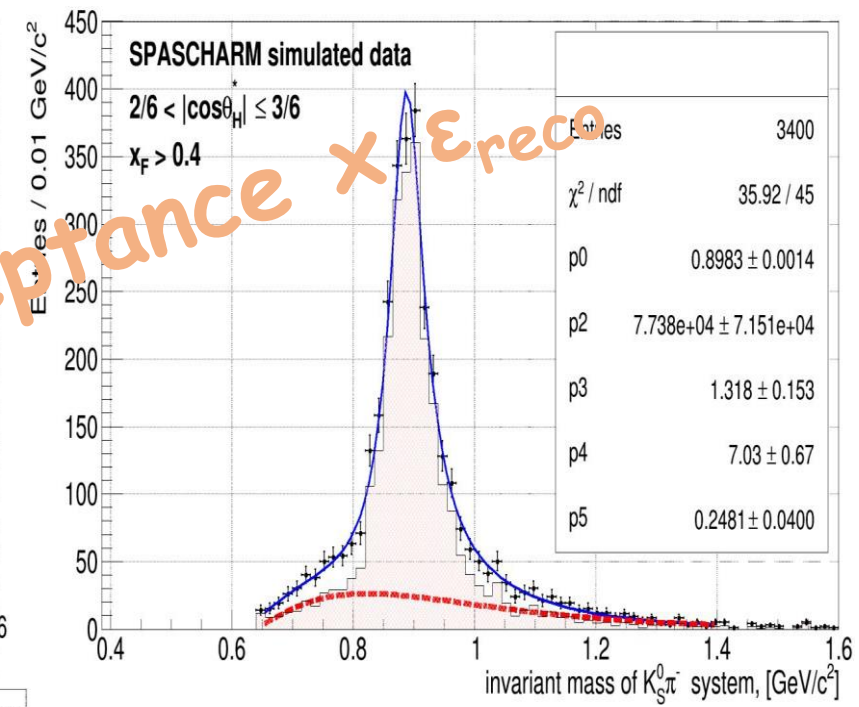
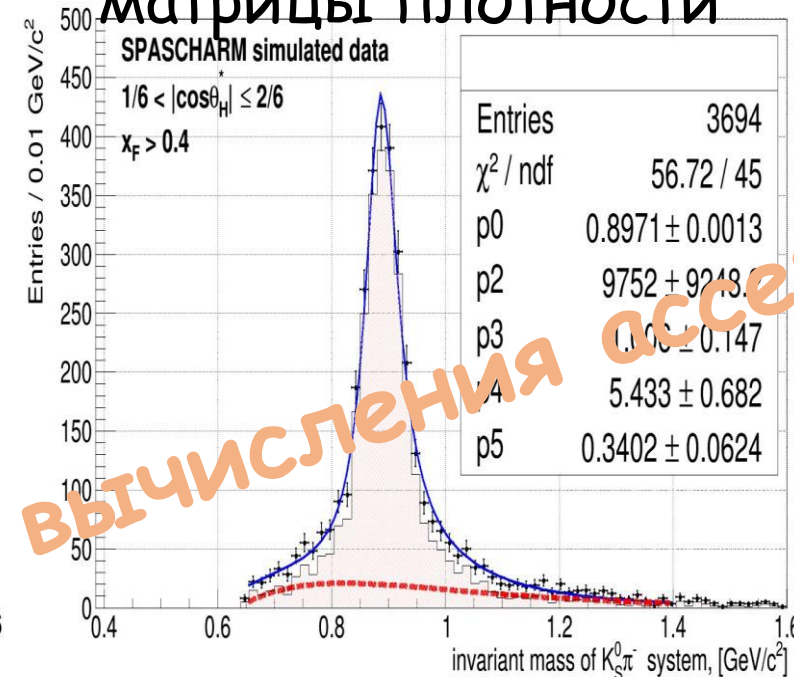
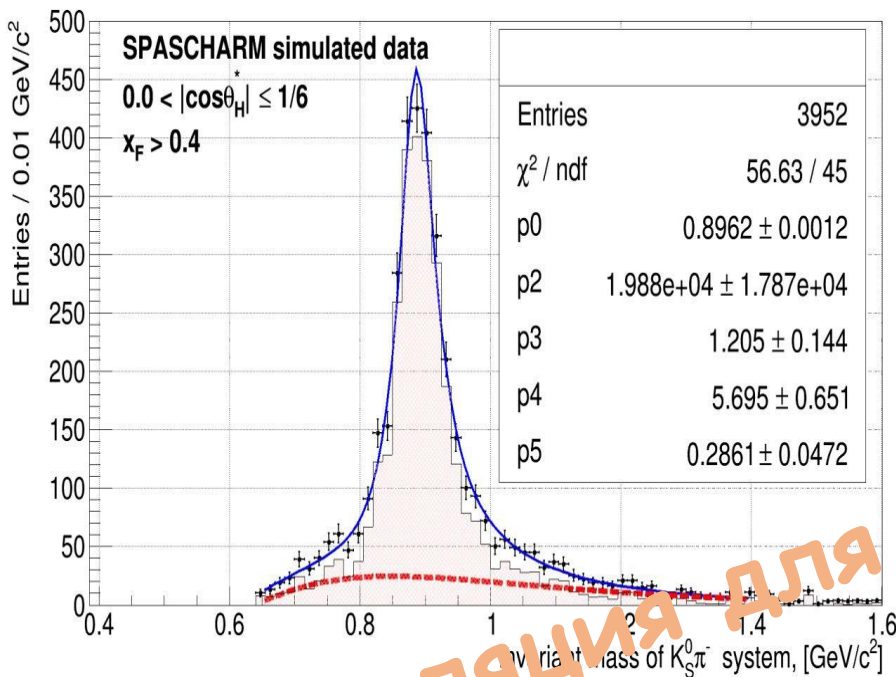
	"Сырые" выходы (raw yields) K^{*-} (892)
$0.0 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 1/6$	815 ∓ 39
$1/6 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 2/6$	670 ∓ 26
$2/6 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 3/6$	694 ∓ 27
$3/6 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 4/6$	572 ∓ 24
$4/6 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 5/6$	394 ∓ 20
$5/6 < \cos\theta^*_{\text{H}} \leq 1.0$	236 ∓ 16

Also taken into account experimental resolution in the invariant mass:

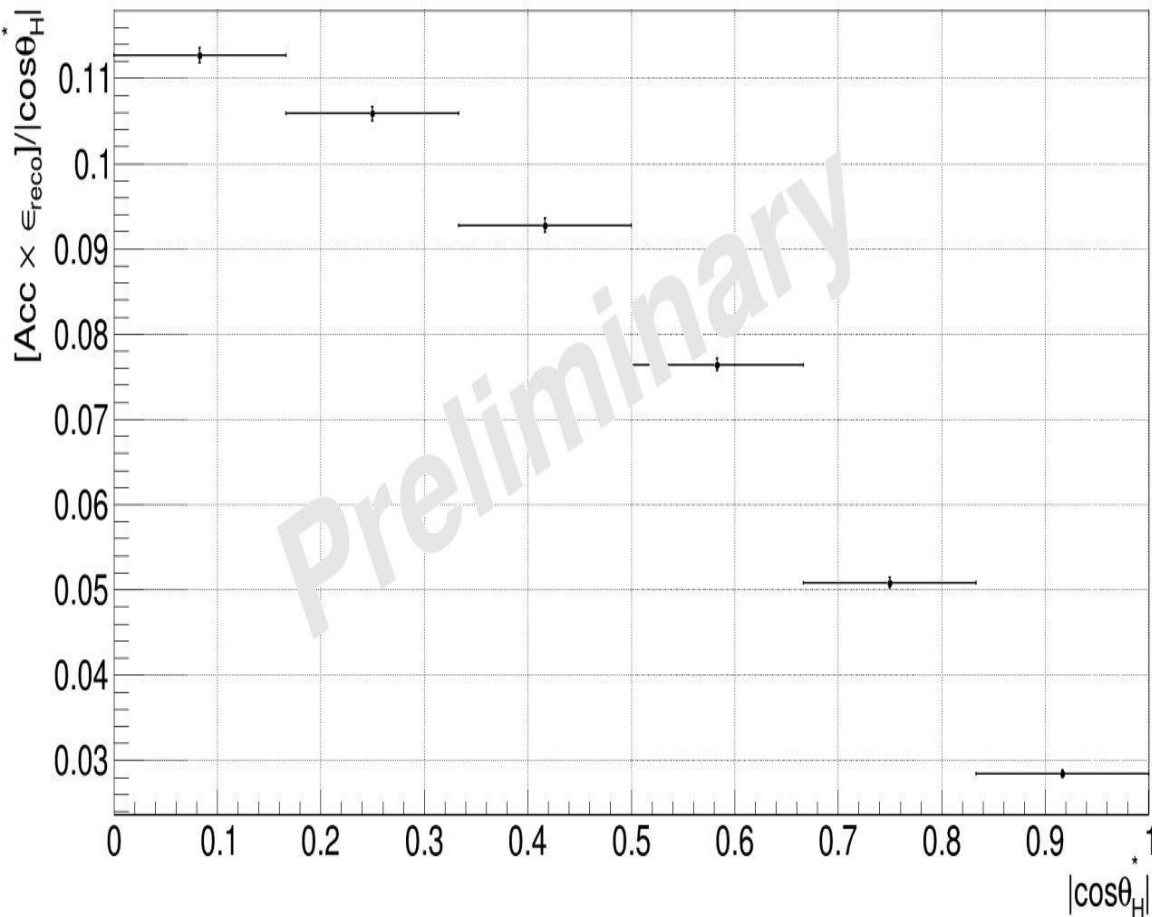
$$\Gamma(M) = \Gamma_0 \cdot \left(\frac{p^*(M)}{p^*(M_0)} \right)^{2l+1} \frac{\rho(M)}{\rho(M_0)} + 2\sqrt{2} \cdot \sigma(K_s^0 \pi^-)$$

Калугин Н.(ИФВЭ), ЯДРО-2025, Санкт-Петербург

Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности



Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности



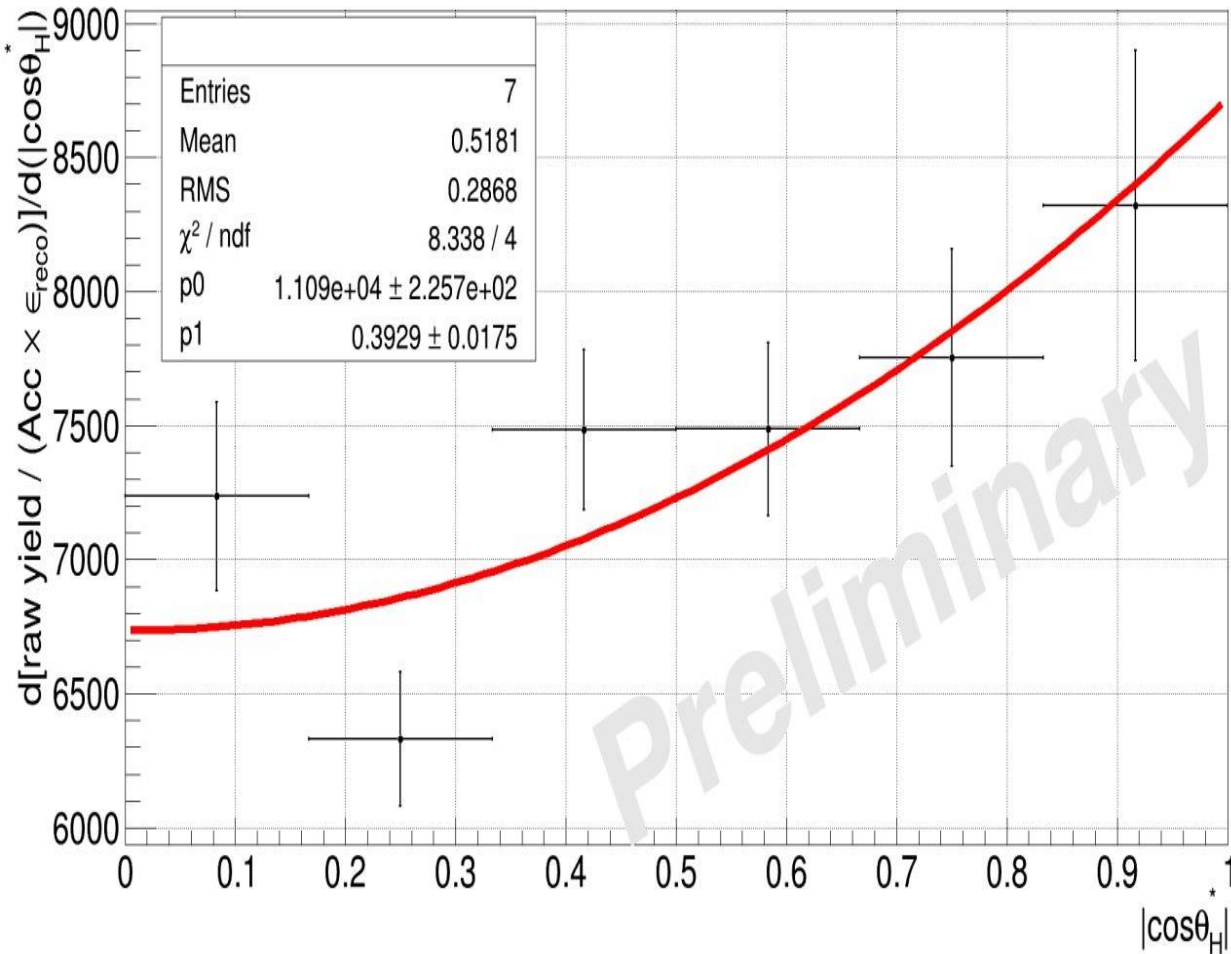
	acceptance $\times \epsilon_{\text{reco}}$
$0.0 < \cos\theta_H^* \leq 1/6$	0.1126 ± 0.0008
$1/6 < \cos\theta_H^* \leq 2/6$	0.1058 ± 0.0008
$2/6 < \cos\theta_H^* \leq 3/6$	0.0927 ± 0.0008
$3/6 < \cos\theta_H^* \leq 4/6$	0.0763 ± 0.0007
$4/6 < \cos\theta_H^* \leq 5/6$	0.0508 ± 0.0006
$5/6 < \cos\theta_H^* \leq 1.0$	0.0283 ± 0.0004

$$\text{acceptance} \times \epsilon_{\text{reco}}(|\cos\theta_H^*|) = \frac{\text{Yield}}{N_{\text{generated}}}(|\cos\theta_H^*|)$$

$$\sigma_{\text{acceptance} \times \epsilon_{\text{reco}}(|\cos\theta_H^*|)} = \sqrt{\frac{(\text{Yield} + 1)(N_{\text{generated}} - \text{Yield} + 1)}{(N_{\text{generated}} + 2)^2 (N_{\text{generated}} + 3)}}(|\cos\theta_H^*|)$$

Измерение элемента ρ_{00} спиновой матрицы плотности

$$\frac{dN}{d \cos \theta^*} \sim [1 - \rho_{00} + (3\rho_{00} - 1)(\cos \theta^*)^2]$$



	Corrected Yield
$0.0 < \cos \theta_H^* \leq 1/6$	7236 ∓ 350
$1/6 < \cos \theta_H^* \leq 2/6$	6330 ∓ 250
$2/6 < \cos \theta_H^* \leq 3/6$	7483 ∓ 298
$3/6 < \cos \theta_H^* \leq 4/6$	7487 ∓ 322
$4/6 < \cos \theta_H^* \leq 5/6$	7752 ∓ 404
$5/6 < \cos \theta_H^* \leq 1.0$	8320 ∓ 579

Калугин Н.(ИФВЭ), ЯДРО-2025, Санкт-Петербург

$$\text{Corrected Yield}(|\cos \theta_H^*|) = \frac{\text{Raw Yield}}{\text{acceptance} \times \varepsilon_{\text{reco}}}(|\cos \theta_H^*|)$$

$$\sigma_{\text{Corrected Yield}(|\cos \theta_H^*|)} = \frac{\text{Raw Yield}}{\text{acceptance} \times \varepsilon_{\text{reco}}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{Raw Yield}}}{\text{Raw Yield}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\text{acceptance} \times \varepsilon_{\text{reco}}}(|\cos \theta_H^*|)}{\text{acceptance} \times \varepsilon_{\text{reco}}}\right)^2}(|\cos \theta_H^*|) \quad (10)$$

Измерен элемент ρ_{00} спиновой матрицы плотности векторного $K^{*-}(892)$ -мезона, образованного инклюзивно в K^- – ядерных взаимодействиях при импульсе пучка ~ 26.5 ГэВ/с в кинематической области $x_F > 0.4$ в системе спиральности на установке СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70 НИЦ ИФВЭ Курчатовский институт. Величина ρ_{00} составляет 0.39 ± 0.02 , что является указанием на выстроенность спина $K^{*-}(892)$ -мезона.

В ранее проведенных экспериментах величина ρ_{00} $K^{*-}(892)$ -мезона составляет:

1. в $n\bar{p}$ взаимодействиях: 0.393 ± 0.025 в поперечной системе (ЭКСЧАРМ)
2. в $\nu_\mu d$ взаимодействиях: 0.28 ± 0.07 в поперечной системе (NOMAD)
3. в K^-p взаимодействиях: варьируется от 0.01 ± 0.05 до 0.58 ± 0.13 для $0.0 \text{ GeV}^2 < |t| \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ в системе Готфрида-Джексона, варьируется от 0.06 ± 0.06 до 0.66 ± 0.12 для $0.0 \text{ GeV}^2 < |t| \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ в системе спиральности (2м водородная пузырьковая камера, импульс пучка 14.3 ГэВ/с, CERN)
4. в K^-p взаимодействиях: варьируется от 0.12 ± 0.06 до 0.57 ± 0.18 для $0.0 \text{ GeV}^2 < |t| \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ в системе Готфрида-Джексона, варьируется от 0.06 ± 0.18 до 0.50 ± 0.19 для $0.0 \text{ GeV}^2 < |t| \leq 1.2 \text{ GeV}^2$ в системе спиральности (пузырьковая камера Мирабель, импульс пучка 70 ГэВ/с, ИФВЭ)
5. Антипротон-протонных взаимодействиях: 0.28 ± 0.06 в спиральной системе, 0.25 ± 0.06 в системе Готфрида-Джексона, 0.23 ± 0.07 в системе Эдэйра, 0.48 ± 0.07 в поперечной системе (пузырьковая камера Мирабель, импульс пучка 32 ГэВ/с, ИФВЭ)

Заключение

Следующим этапом анализа будет исследование систематических ошибок, а так же подготовка результатов измерения ρ_{00} в системах Готфрида-Джексона (GJ) и поперечной системе (transversity), измерение ρ_{00} $K^{*}(892)$ -мезона (инклюзивно образованного) во взаимодействиях $K^{-} C$, $K^{-} Cu$, $K^{-} Pb$ (данные сеанса 2024г на установке СПАСЧАРМ)