

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И ИНСТРУМЕНТОВ РАСЧЕТА НАБЛЮДАЕМЫХ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ОДИНОЧНОГО ПИОНА НА ПРОТОНЕ ИЗ ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА CLAS

Докладчик:
студент 213М группы
Насртдинов Алмаз Газинурович

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., с.н.с.
Исупов Евгений Леонидович

ВВЕДЕНИЕ: ЗАЧЕМ ЭТО НУЖНО?

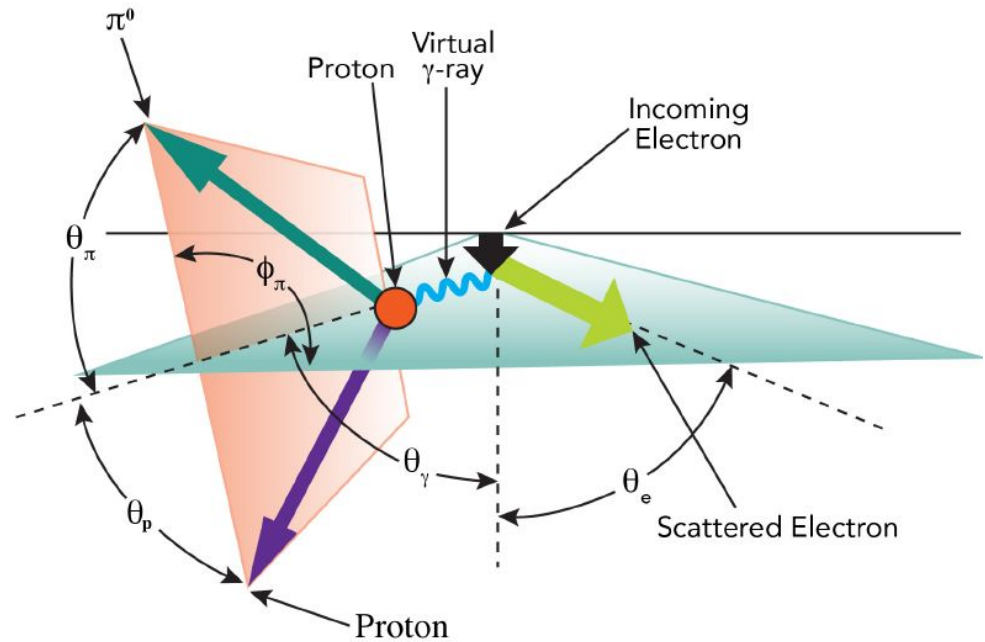
Рассмотрение резонансной области

Дифференциальные сечения

Структурные функции

Амплитуды электровозбуждения

Динамика сильного взаимодействия



Эксперименты по изучению основного и возбужденных состояний нуклона открывают доступ к исследованию эволюции динамической массы и структуры одетых кварков и глюонов с расстоянием

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Рассматриваемые
реакции

$$ep \rightarrow e'\pi^0p$$

$$ep \rightarrow e'\pi^+n$$

Рассматриваемый
кинематический
диапазон

$$Q^2 < 6 \text{ ГэВ}^2$$

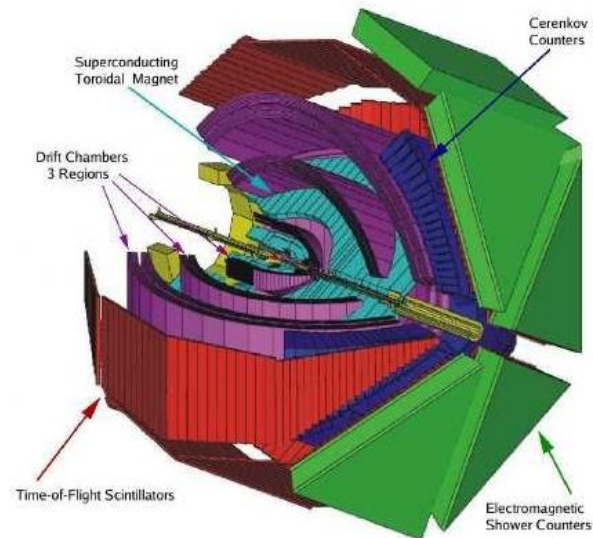
$$W < 1.8 \text{ ГэВ}$$

База данных: clas.sinp.msu.ru

CLAS Physics Database

[JLab](#) | [Search](#) | [Overview](#) | [Login](#) | [Edit](#) | [Register](#)

Search form for the data related to the CLAS physics



Детектор CLAS
(JLAB Experimental Hall B)

СЕЧЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ФОТОНА

$$ep \rightarrow e'\pi N \longrightarrow \gamma_v p \rightarrow \pi N \quad (1)$$

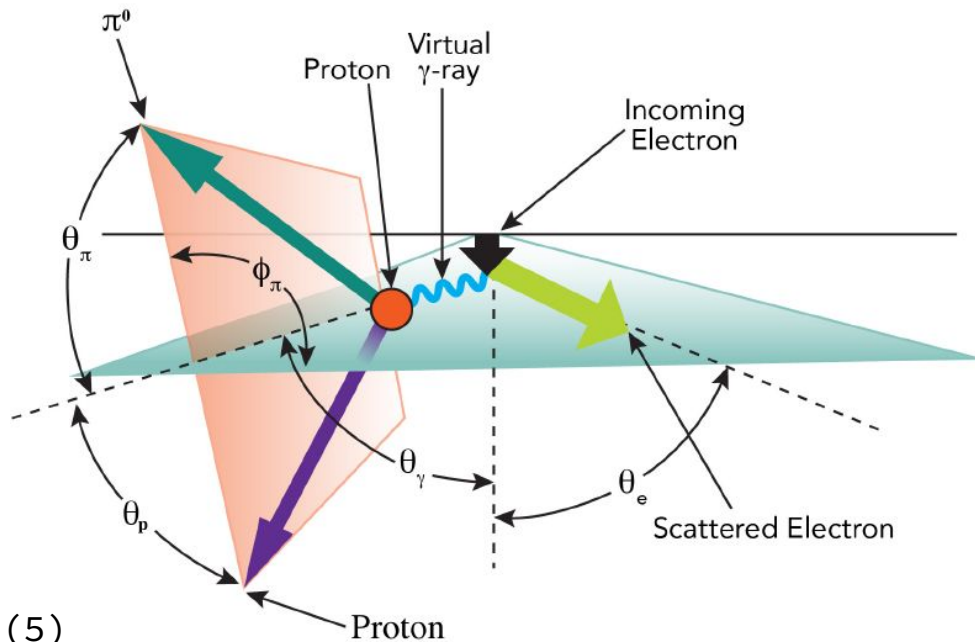
$$\frac{d^4\sigma_e}{dWdQ^2d\Omega} = \Gamma_\gamma \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega} \quad (2)$$

$$\Gamma_\gamma(W, Q^2) = \frac{\alpha}{4\pi} \cdot \frac{1}{E_{beam}^2 m_p^2} \cdot \frac{W(W^2 - m_p^2)}{(1 - \varepsilon)Q^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_T = \left(1 + 2 \left(1 + \frac{\nu^2}{Q^2} \right) \tan^2 \frac{\theta_e}{2} \right)^{-1} \quad (4)$$

$$\varepsilon_L = \frac{Q^2}{\nu^2} \varepsilon_T \quad (5)$$

$$Q^2 = -q^2 = -(P_{e'} - P_e)^2 \quad W = \sqrt{(P_p + q)^2} \quad (5)$$



Сечение рождения пиона при рассеянии фотона на протоне

$$\frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \cdot \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1 + \varepsilon)} \cdot \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_t}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \cdot \frac{d\sigma_l}{d\Omega_{\pi}}$$

Fit φ dependence:

$A + B \cdot \cos(2\varphi) + C \cdot \cos(\varphi)$

$$\chi^2 = 0.7652$$

	Value	Uncert
A	4.2652	0.23116
B	-0.21331	0.3168
C	-1.5553	0.33412

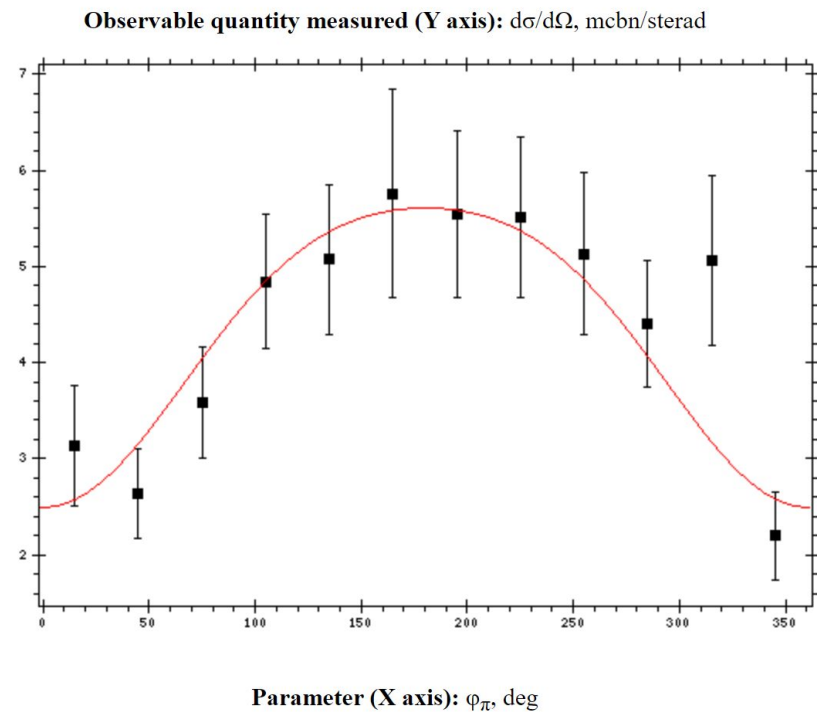
$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}}$ - неполяризованная структурная функция

$\frac{d\sigma_t}{d\Omega_{\pi}}$ - поперечная структурная функция

$\frac{d\sigma_l}{d\Omega_{\pi}}$ - продольная структурная функция

$\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}}$ - продольно-поперечная структурная функция

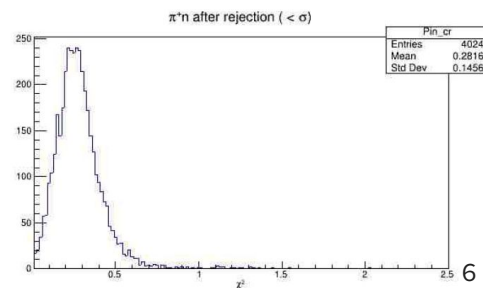
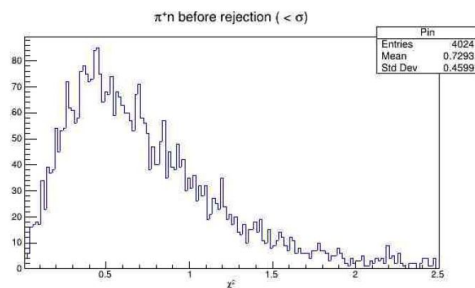
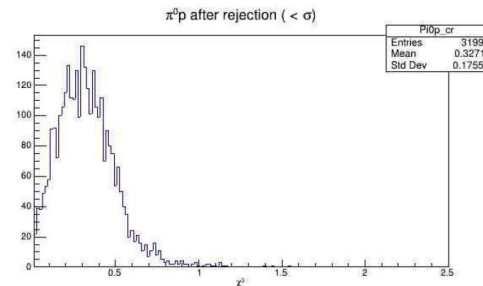
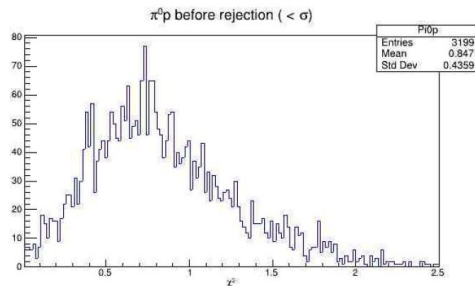
$\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}}$ - поперечно-поперечная структурная функция



КРИТЕРИИ ОТБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТОЧЕК

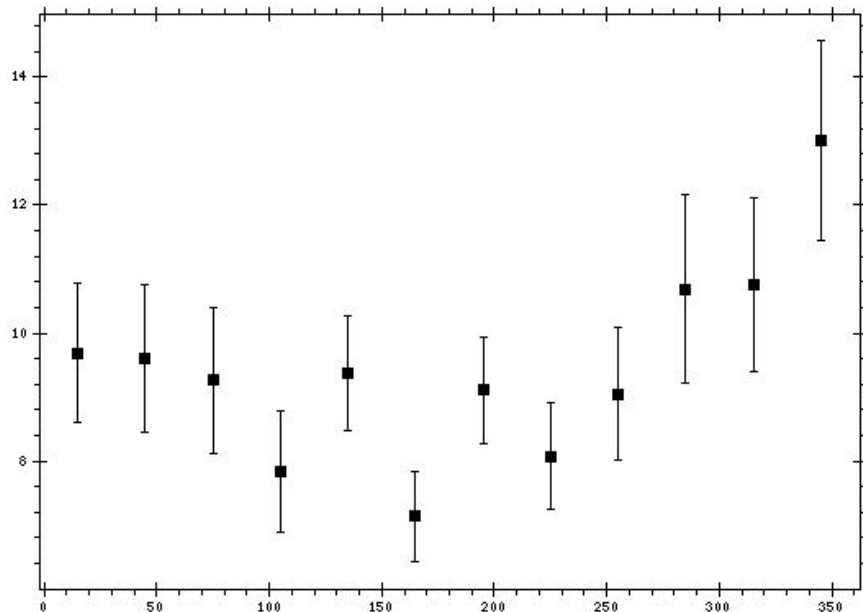
- 1) Были исключены точки с относительной погрешностью более 0.7.
- 2) Был выполнен фит измеренных дифференциальных сечений в каждом интервале по (W, Q^2, θ) в зависимости от угла согласно (5).
Строились хи-квадрат распределения отклонений от фитированных значений.
- 3) Данные в интервалах по (W, Q^2, θ) , в которых содержится менее 4 точек по φ были исключены.

$$\frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi$$



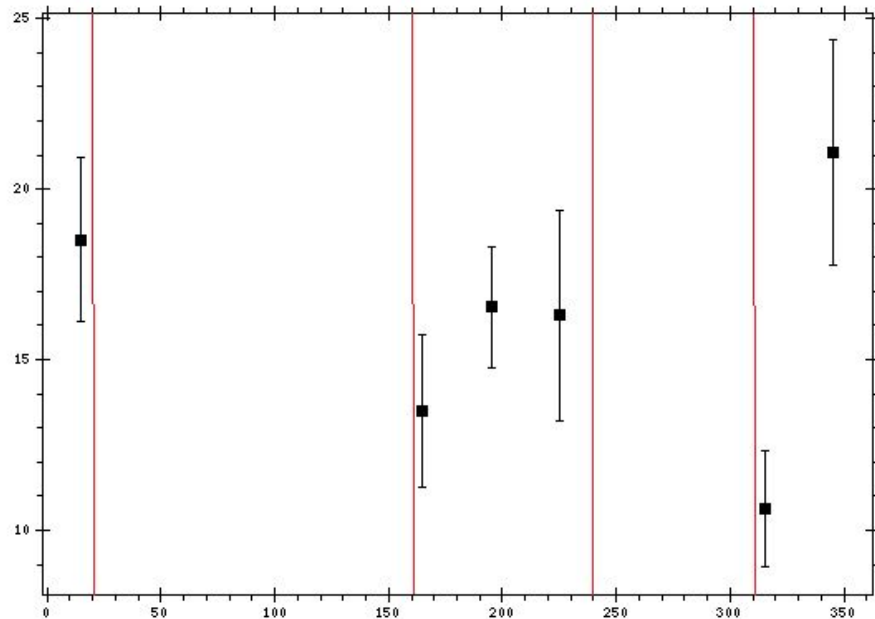
МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ

Observable quantity measured (Y axis): $d\sigma/d\Omega$, mcbn/sterad



Parameter (X axis): φ_L , deg

Observable quantity measured (Y axis): $d\sigma/d\Omega$, mcbn/sterad



Parameter (X axis): φ_L , deg

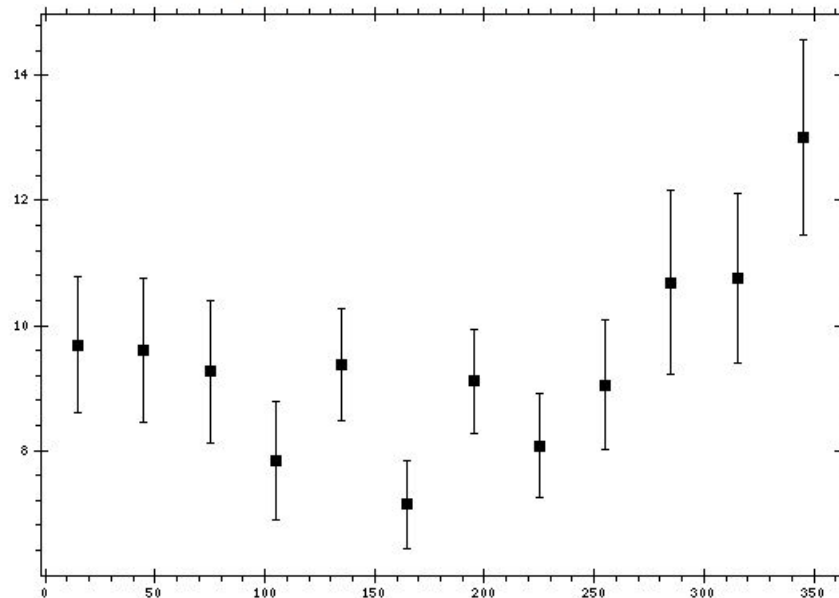
Отсутствие экспериментальных данных в областях из за наличия мертвых зон детектора

МЕТОД 0

данные покрывают полный диапазон по углу $\varphi : [0, 2\pi]$

$$\frac{d\sigma_{\gamma\nu}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi$$

Observable quantity measured (Y axis): $d\sigma/d\Omega$, mcbn/sterad



Parameter (X axis): φ_{π} , deg

МЕТОДЫ 1 И 2

$$\frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

частичное покрытие диапазона по углу φ : $[\varphi_{min}, \varphi_{max}]$

Method 1: интегрирование выражения (5) в интервале $[\varphi_{min}, \varphi_{max}]$ без экстраполяции

$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi} \text{ method 1}} = \frac{1}{\varphi_{max} - \varphi_{min}} \times \quad (8)$$

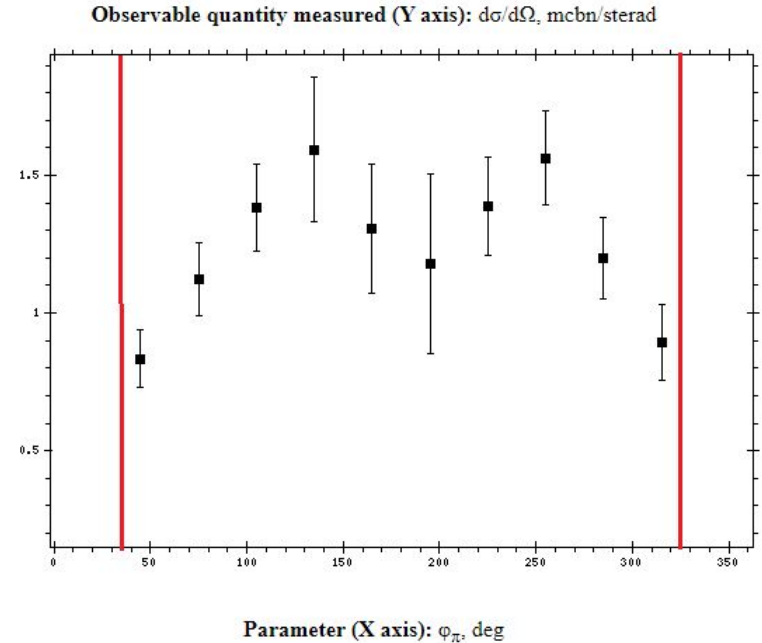
$$\times \left[\int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi_{exp}}} d\varphi - \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi_0}} \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \cos 2\varphi d\varphi - \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi_0}} \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \cos \varphi d\varphi \right]$$

Method 2: интегрирование выражения (5) с экстраполяцией по φ : $[0, 2\pi]$

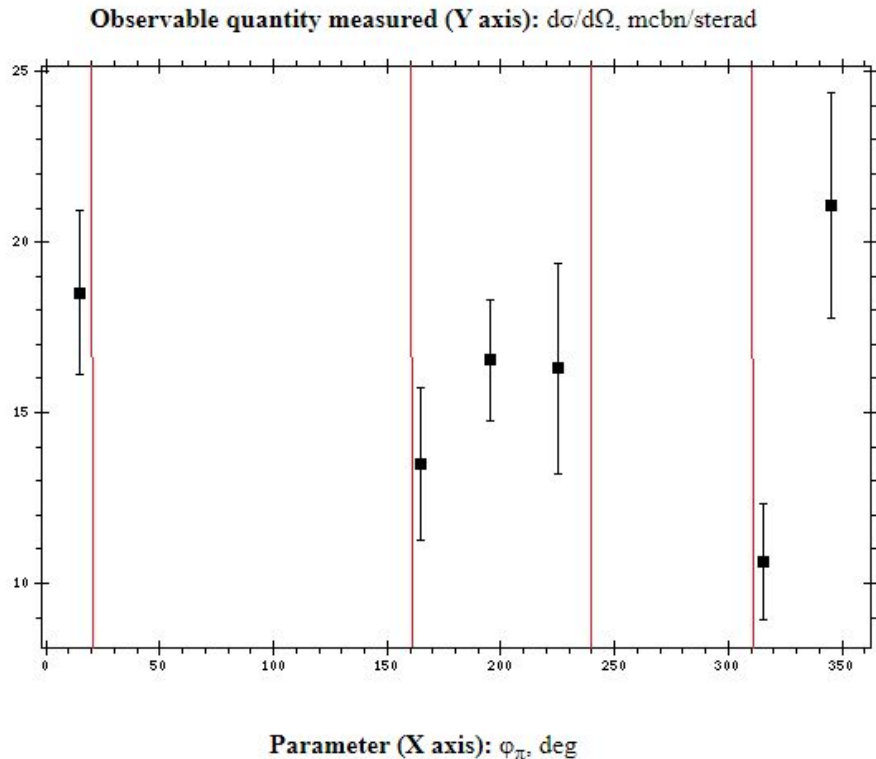
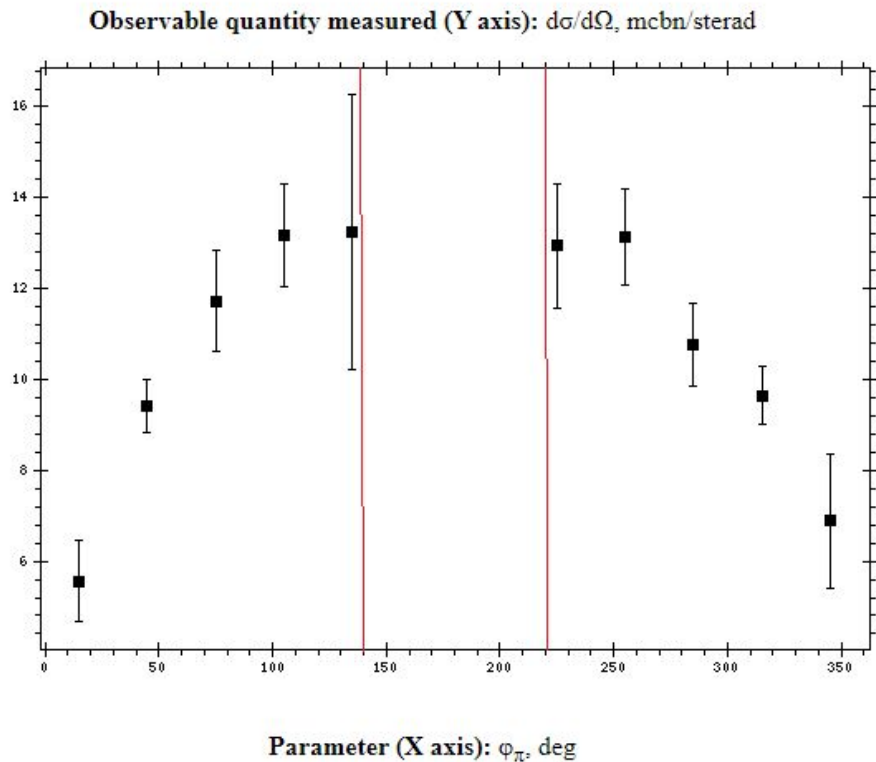
$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi} \text{ method 2}} = \quad (9)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi_{exp}}} d\varphi + \int_0^{\varphi_{min}} \left[\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi_0}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi_0}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi_0}} \cdot \cos \varphi \right] d\varphi + \right.$$

$$\left. + \int_{\varphi_{max}}^{2\pi} \left[\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi_0}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi_0}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi_0}} \cdot \cos \varphi \right] d\varphi \right]$$



МЕТОДЫ 3 И 4



Метод 3: одна область без данных

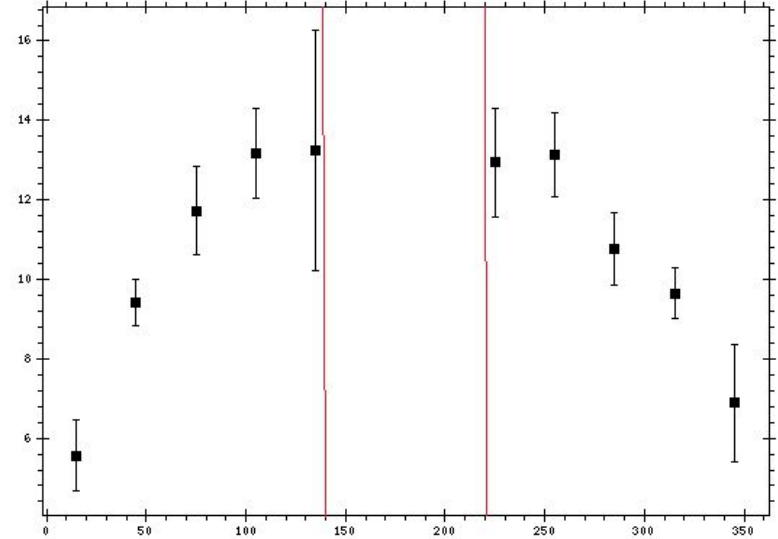
Метод 4: две области без данных

МЕТОДЫ 3 И 4

$$\frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

Интегрирование по углу φ без экстраполяции
в области без экспериментальных данных

Observable quantity measured (Y axis): $d\sigma/d\Omega$, mcbn/sterad



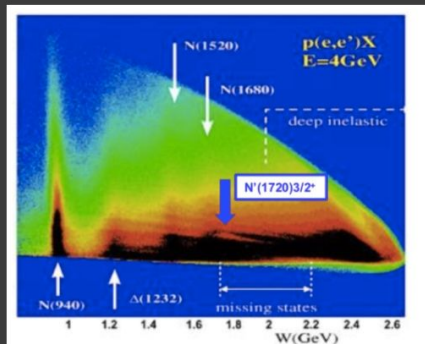
$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{method\ 3}} = \frac{\left[\int_{\varphi_{1min}}^{\varphi_{1max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi_{exp}}} d\varphi + \int_{\varphi_{2min}}^{\varphi_{2max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi_{exp}}} d\varphi \right]}{\left[[(\varphi_{1max} - \varphi_{1min}) + (\varphi_{2max} - \varphi_{2min})] + r_{tt} \cdot \left[\int_{\varphi_{1min}}^{\varphi_{1max}} \cos 2\varphi d\varphi + \int_{\varphi_{2min}}^{\varphi_{2max}} \cos 2\varphi d\varphi \right] + r_{lt} \cdot \left[\int_{\varphi_{1min}}^{\varphi_{1max}} \cos \varphi d\varphi + \int_{\varphi_{2min}}^{\varphi_{2max}} \cos \varphi d\varphi \right] \right]} \quad (10)$$

Evaluation methods

Definition of the
exclusive structure
functions

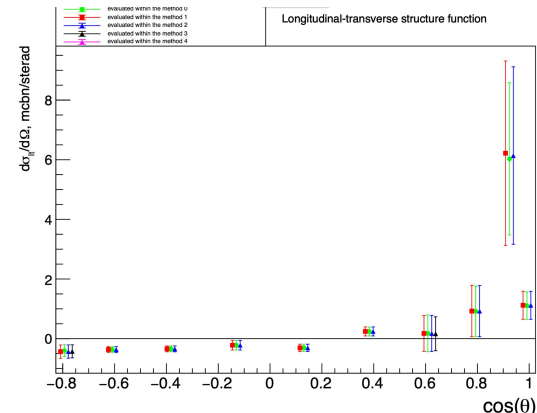
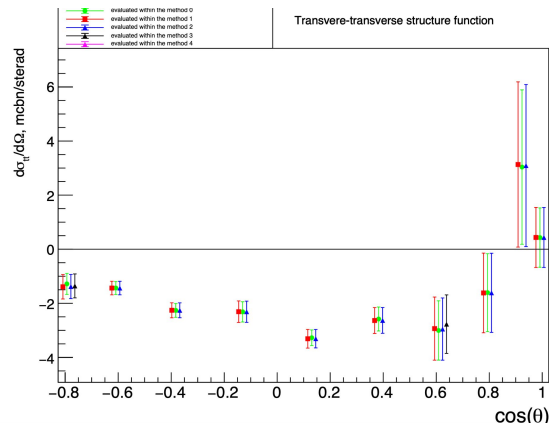
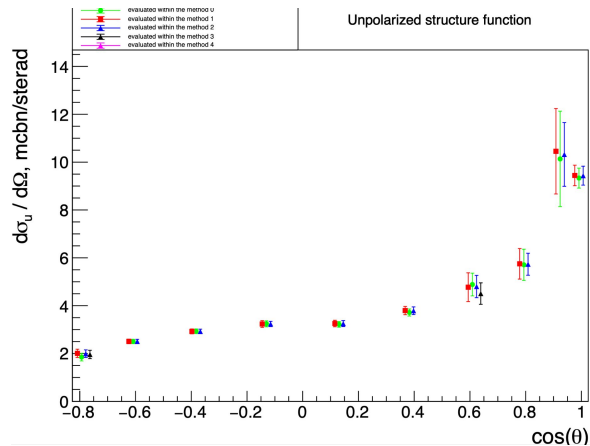
Evaluated exclusive
structure functions

Evaluated exclusive
cross sections



Evaluation of the
exclusive $\pi^0 p$ and $\pi^+ n$
electroproduction cross section
from the CLAS Data

gvp---> Π^+n , $W=1.51$ GeV, $Q^2 = 0.4$ GeV², $E_{\text{beam}} = 1.515$ GeV



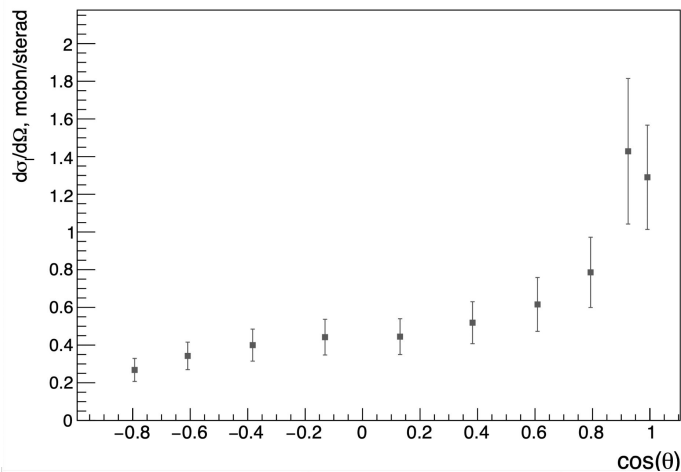
$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (fit)	$\Delta \frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (fit)	$\frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (method 1)	$\Delta \frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (method 1)	$\frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (method 2)	$\Delta \frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (method 2)
0.991445	5.90899	0.504156	6.17353	0.58412	6.15149	0.537089
0.92388	5.93317	0.241591	5.98073	0.257128	5.97677	0.236559
0.793353	5.64391	0.344192	6.01706	0.570191	5.98596	0.523461
0.608761	5.16123	0.303817	4.90601	0.335636	4.94855	0.284243
0.382683	5.48274	0.23907	5.42103	0.347104	5.43646	0.267101
0.130526	5.36754	0.254742	5.35776	0.340658	5.3602	0.263311
-0.130526	5.37701	0.46397	5.23737	0.463738	5.27228	0.366635
-0.382683	7.15894	2.29354	7.41596	2.37266	7.28745	1.64999
-0.608761	9.26655	3.06061	8.30121	1.73596	8.54254	1.51016

$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (fit)	$\Delta \frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (fit)	$\frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (method 1)	$\Delta \frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (method 1)	$\frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (method 2)	$\Delta \frac{d\sigma_{TT}}{d\Omega}$ (method 2)
0.991445	-0.0703649	0.708317	-0.073515	0.740087	-0.0732526	0.73744
0.92388	-0.101574	0.381763	-0.102388	0.384871	-0.10232	0.384612
0.793353	-0.946492	0.551263	-1.00907	0.598609	-1.00385	0.594387
0.608761	-1.35743	0.447725	-1.29031	0.44123	-1.30149	0.44242
0.382683	-1.89221	0.484313	-1.87091	0.500314	-1.87624	0.495789
0.130526	-2.28648	0.459928	-2.28231	0.493513	-2.28335	0.485057
-0.130526	-2.2093	0.618228	-2.15193	0.658329	-2.16627	0.651994
-0.382683	-1.43686	2.13409	-1.48845	2.31115	-1.46266	2.24691
-0.608761	0.716146	4.82795	0.641542	4.33227	0.660193	4.4576

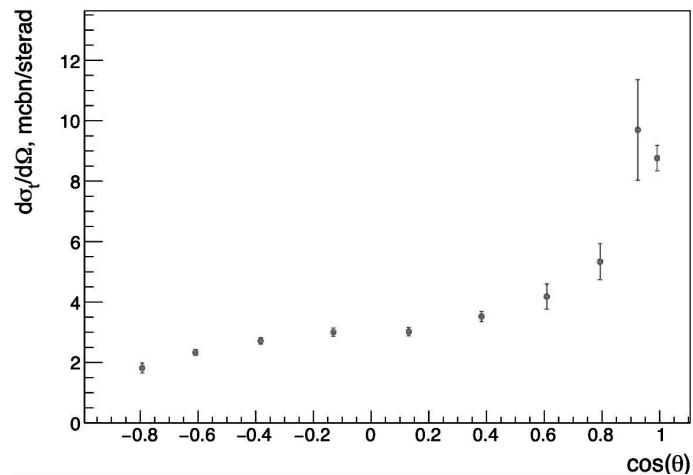
$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (fit)	$\Delta \frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (fit)	$\frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (method 1)	$\Delta \frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (method 1)	$\frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (method 2)	$\Delta \frac{d\sigma_{LT}}{d\Omega}$ (method 2)
0.991445	-0.630375	0.372759	-0.658596	0.398384	-0.656245	0.39624
0.92388	-1.14834	0.191569	-1.15754	0.204909	-1.15678	0.20385
0.793353	-1.39847	0.196934	-1.49093	0.268904	-1.48323	0.261976
0.608761	-1.56658	0.191503	-1.48911	0.22627	-1.50203	0.221301
0.382683	-1.63856	0.226956	-1.62012	0.257114	-1.62473	0.249067
0.130526	-1.34247	0.238753	-1.34002	0.260958	-1.34063	0.255406
-0.130526	-1.04394	0.434244	-1.01683	0.441254	-1.02361	0.440638
-0.382683	-0.41652	1.98878	-0.431474	2.06943	-0.423997	2.03131
-0.608761	-1.61752	2.25194	-1.44901	2.09536	-1.49114	2.14984

$gvp \rightarrow \pi^+ n$, $W=1.51$ GeV, $Q^2 = 0.4$ GeV², $E_{\text{beam}} = 1.515$ GeV

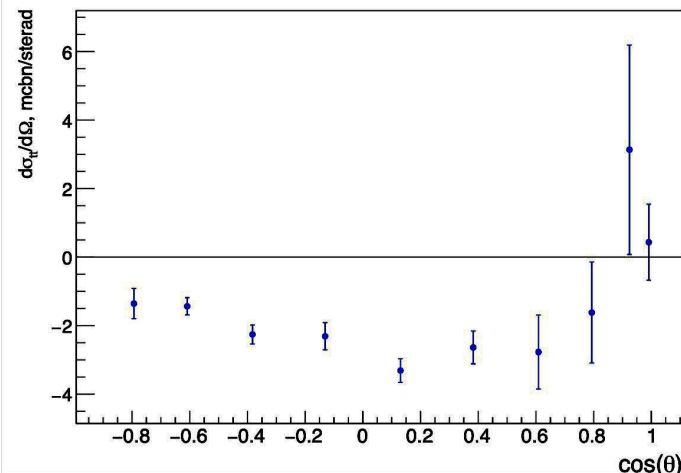
Longitudinal structure function



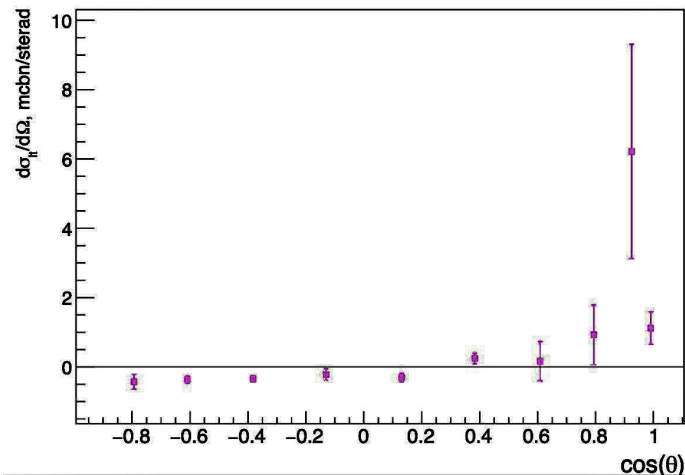
Transverse structure function

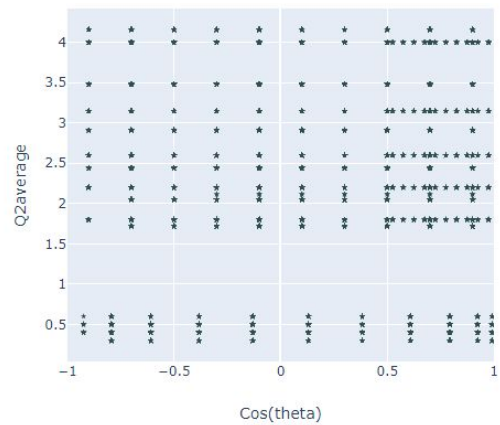
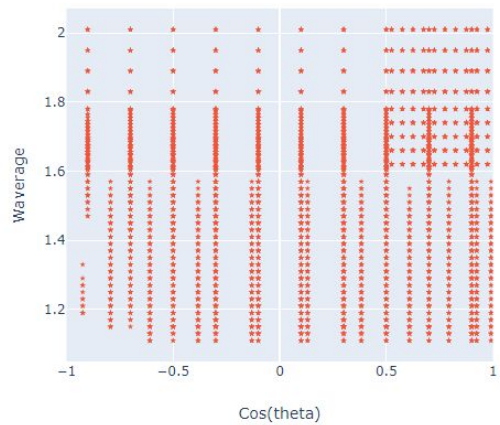
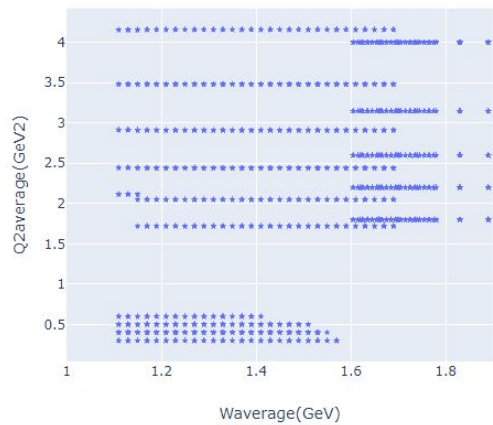


Transverse-transverse structure function

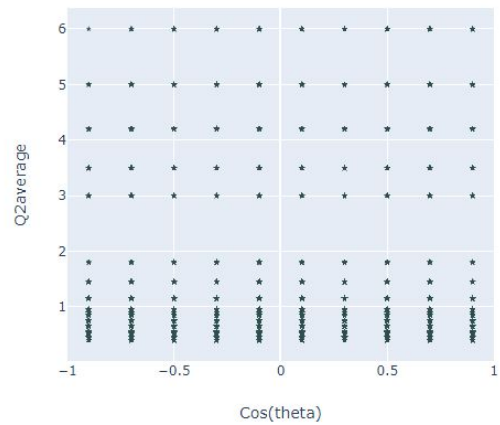
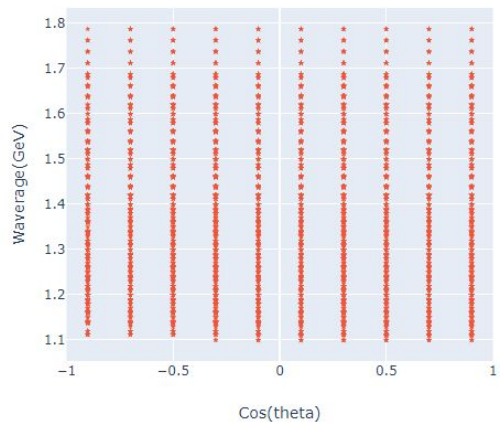
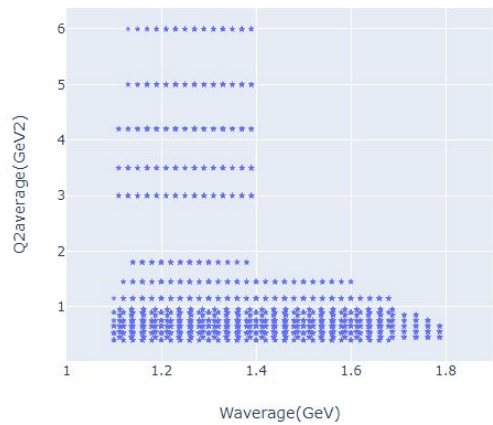


Longitudinal-transverse structure function





Available data for $gvp \rightarrow n^0 p$



ВЫПОЛНЕНИЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

nasrtdinov.ag17@physics.msu.ru

Interpolation features

Введите $W+Q2$ или $W+\cos(\theta)$ или $Q2+\cos(\theta)$ и получите зависимость структурных функций от третьей переменной ($\cos(\theta)/W/Q2$)

(Введите дополнительно E_{beam}/ϵ и ϕ и получите зависимость сечения от третьей переменной ($\cos(\theta)/W/Q2$))

Введите $W+Q2+\cos(\theta)$, E_{beam}/ϵ и получите зависимость дифф сечения от угла ϕ

x_{min} и x_{max} позволяют вывести зависимости в необходимом диапазоне (обрезать график по оси x)

W (GeV)

Q2 (GeV²)

cos(theta)

phi (degree)

Enter BeamEnergy OR eps (optional)

Energy: eps:

x_axis min and max values (optional)

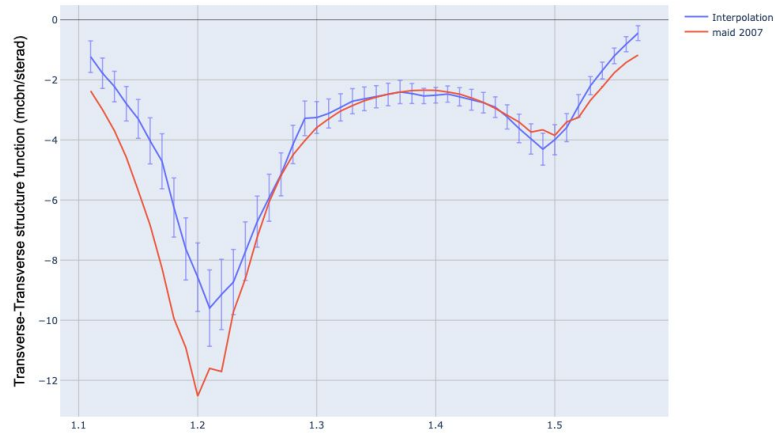
x_min x_max

interpolation step

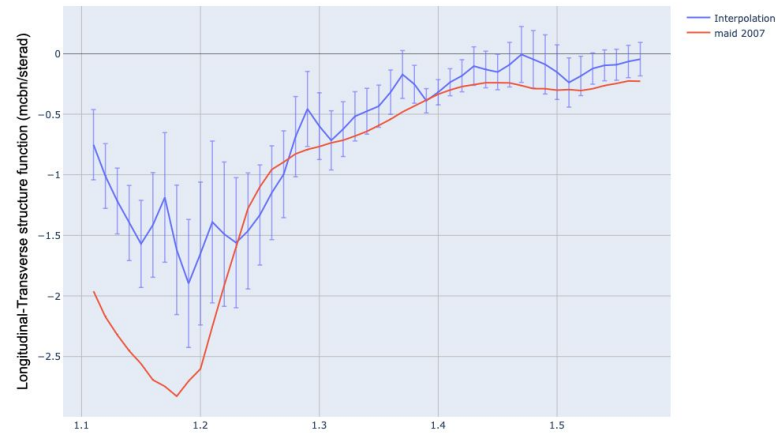
reaction channel:

Run

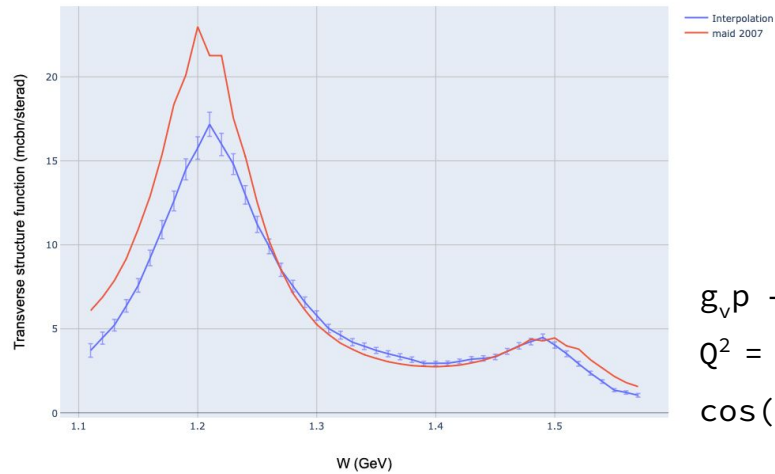
Transverse-Transverse structure function (mcbn/sterad)



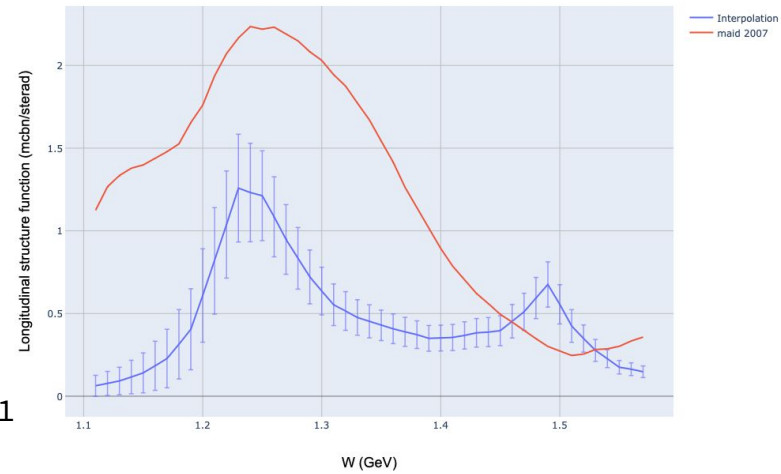
Longitudinal-Transverse structure function (mcbn/sterad)



Transverse structure function (mcbn/sterad)

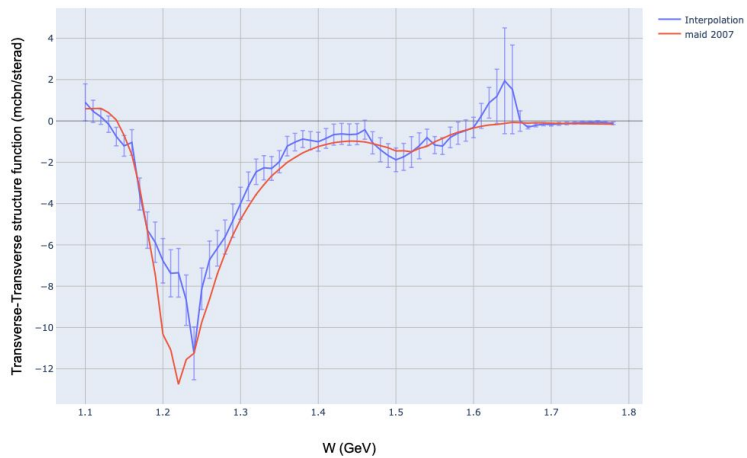


Longitudinal structure function (mcbn/sterad)

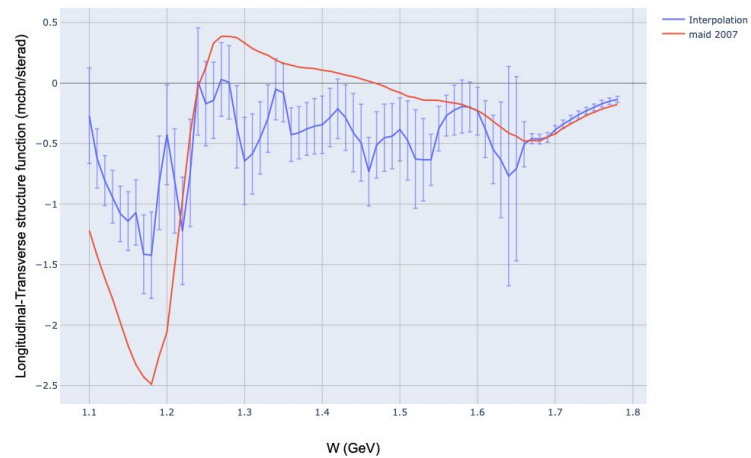


$g_{\nu p} \longrightarrow \pi^+ n$
 $Q^2 = 0.3 \text{ GeV}^2$
 $\cos(\theta) = 0.1$

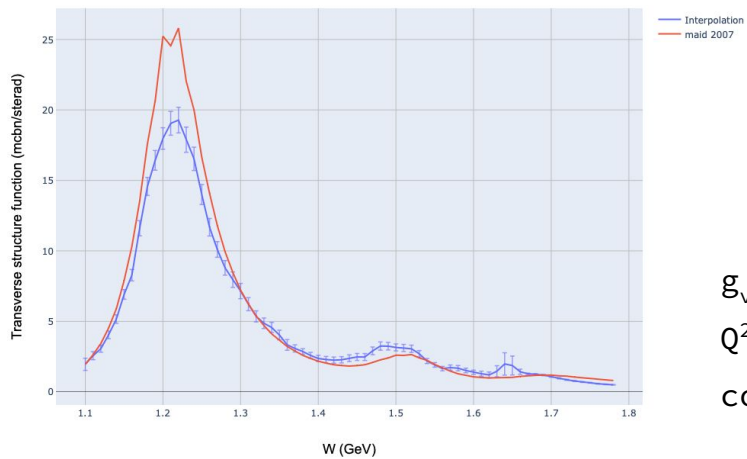
Transverse-Transverse structure function (mcbn/sterad)



Longitudinal-Transverse structure function (mcbn/sterad)

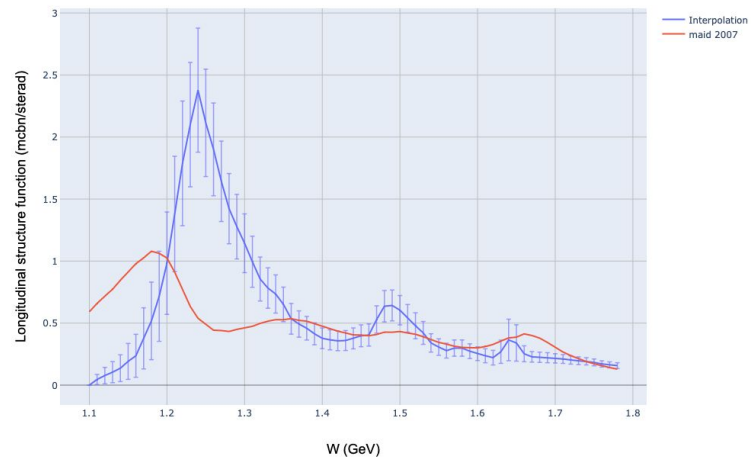


Transverse structure function (mcbn/sterad)



$g_{\nu p} \longrightarrow \pi^0 p$
 $Q^2 = 0.3 \text{ GeV}^2$
 $\cos(\theta) = 0.1$

Longitudinal structure function (mcbn/sterad)



Вклады ЭКСКЛЮЗИВНЫХ КАНАЛОВ

nasrtdinov.ag17@physics.msu.ru

Integrated cross section

Для получения интегрального сечения как функции W введите различные w_{\min} и w_{\max} и одинаковое значение $q_{\min}=q_{\max}$ и энергию реакции
(пример: $w_{\min}=0.4$, $w_{\max}=4$, $q_{\min}=0.5$, $q_{\max}=0.5$, $E_{\text{beam}}=5.75$)

Для получения интегрального сечения как функции $Q2$ введите различные q_{\min} и q_{\max} и одинаковое значение $w_{\min}=w_{\max}$ и энергию реакции
(пример: $w_{\min}=1.4$, $w_{\max}=1.4$, $q_{\min}=0.5$, $q_{\max}=4$, $E_{\text{beam}}=5.75$)

W min (GeV):


W max (GeV):

Q2 min (GeV2):

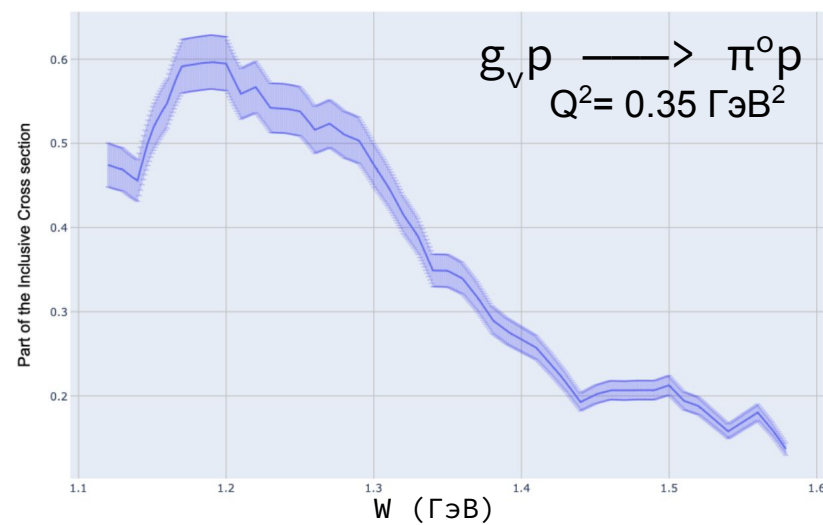
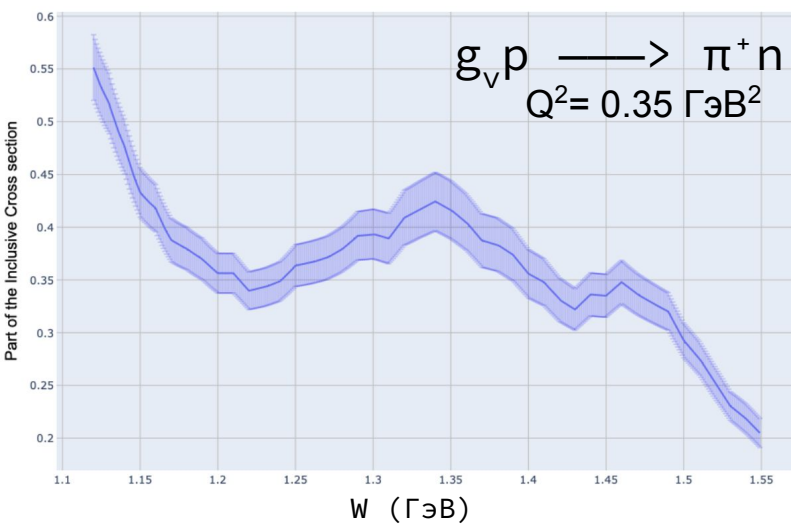
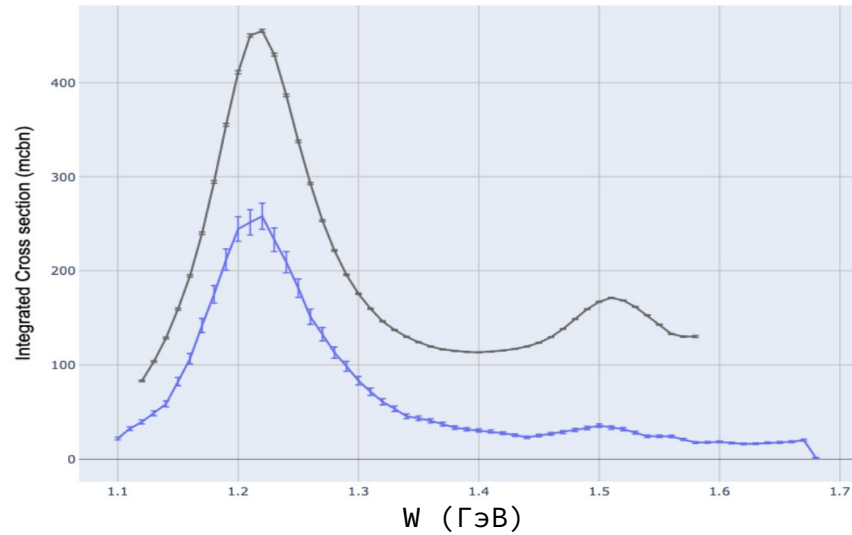
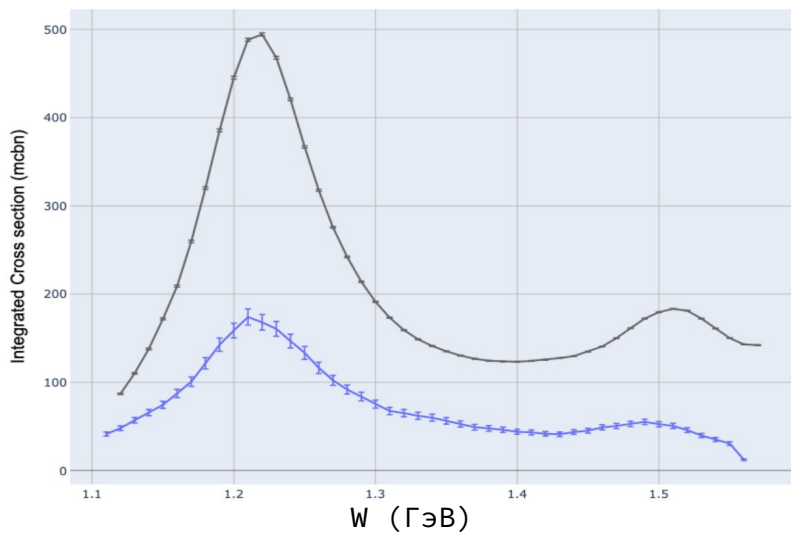
Q2 max (GeV2):

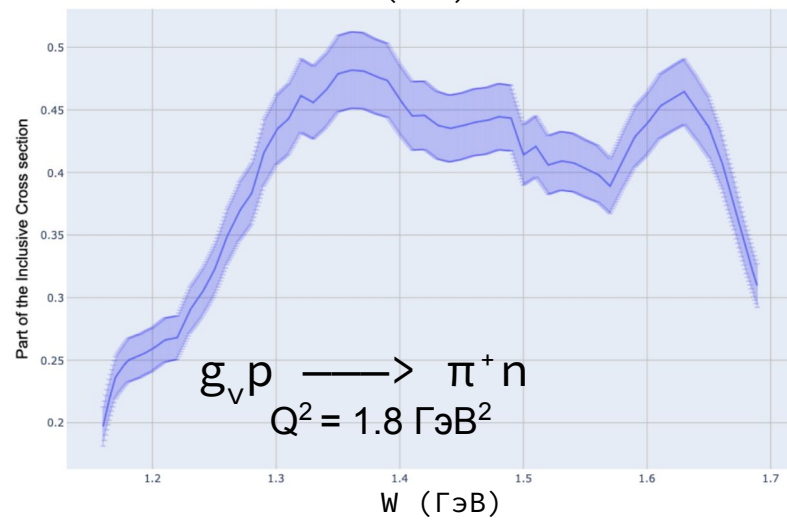
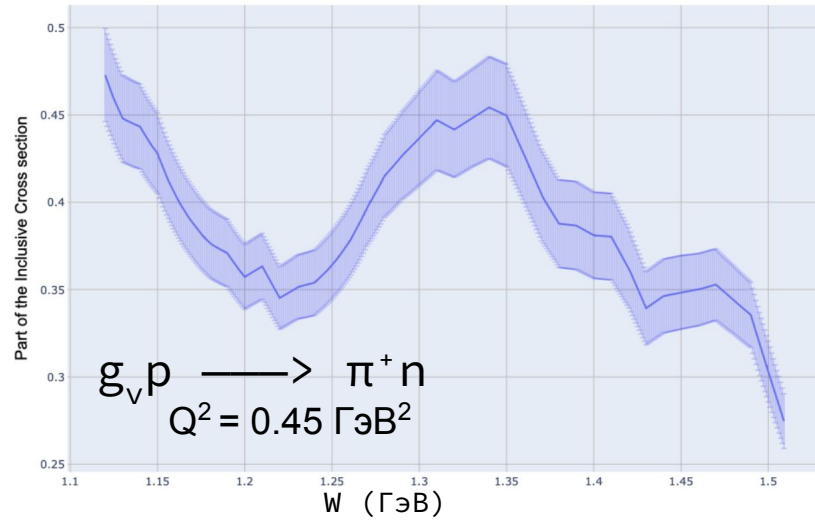
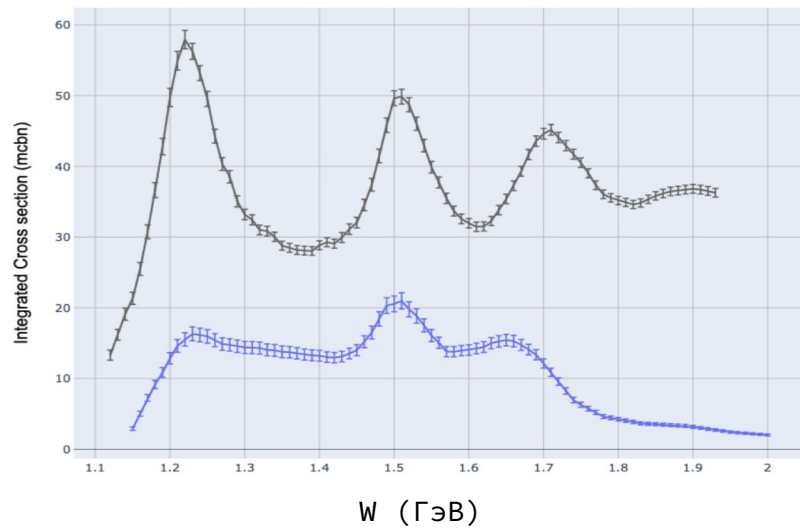
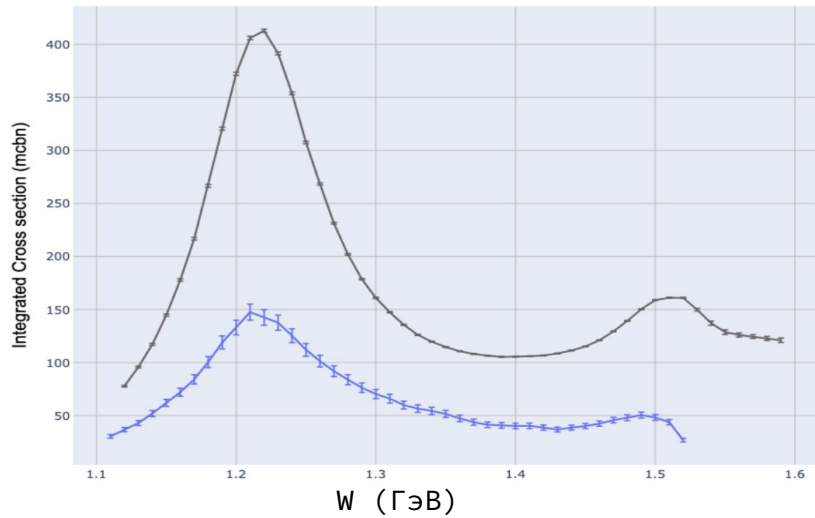
Beam energy:

Interpolation step:

Reaction channel: 

Run





Результаты работы

- 1) Были разработаны и реализованы методы извлечения структурных функций
- 2) Структурные функции, полученные различными методами, согласуются между собой
- 3) Разработаны веб-сайт, представляющий собой базу данных со всеми полученными результатами, позволяющий быстро получить доступ к необходимой реакции в выбранной кинематической области по W и Q^2
- 4) Рассмотрены вклады эксклюзивных каналов электророждения одиночных пионов на протоне в инклюзивные сечения
- 5) Подготовлен доклад на конференции Ядро, опубликована статья в Известиях РАН

Спасибо за внимание!!!

РАЗДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ

$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi} = \frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi} + \varepsilon \frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi} \quad (11)$$

$$r_{tt} = \frac{\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega}}{\frac{d\sigma_u}{d\Omega}}, r_{lt} = \frac{\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega}}{\frac{d\sigma_u}{d\Omega}} \quad (12)$$

$$\frac{d\sigma_l}{d\Omega} = \frac{R \frac{d\sigma_u}{d\Omega}}{1 + \varepsilon R} \quad (13)$$

$$\frac{d\sigma_t}{d\Omega} = \frac{\frac{d\sigma_u}{d\Omega}}{1 + \varepsilon R} \quad (14)$$