



Физический факультет
Московского
государственного университета
имени М.В.Ломоносова
Кафедра Общей ядерной физики

Оценка вкладов реакции эксклюзивного электророждения одиночного заряженного пиона на протоне в инклюзивные наблюдаемые

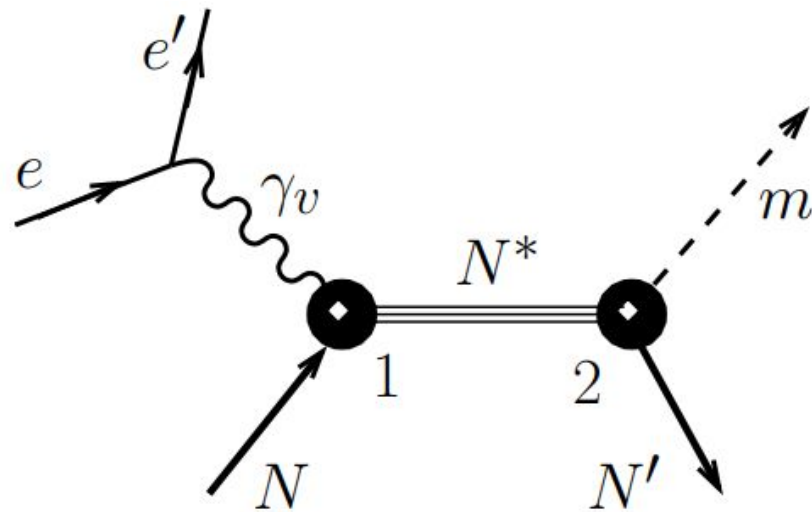
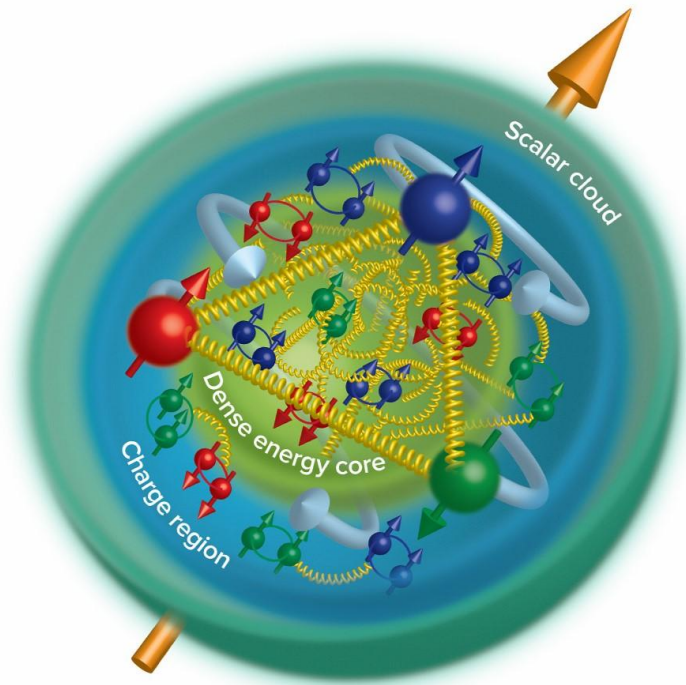
Выполнил:
студент 213м группы Сорокин С.А.

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., асс. Русова А.А.

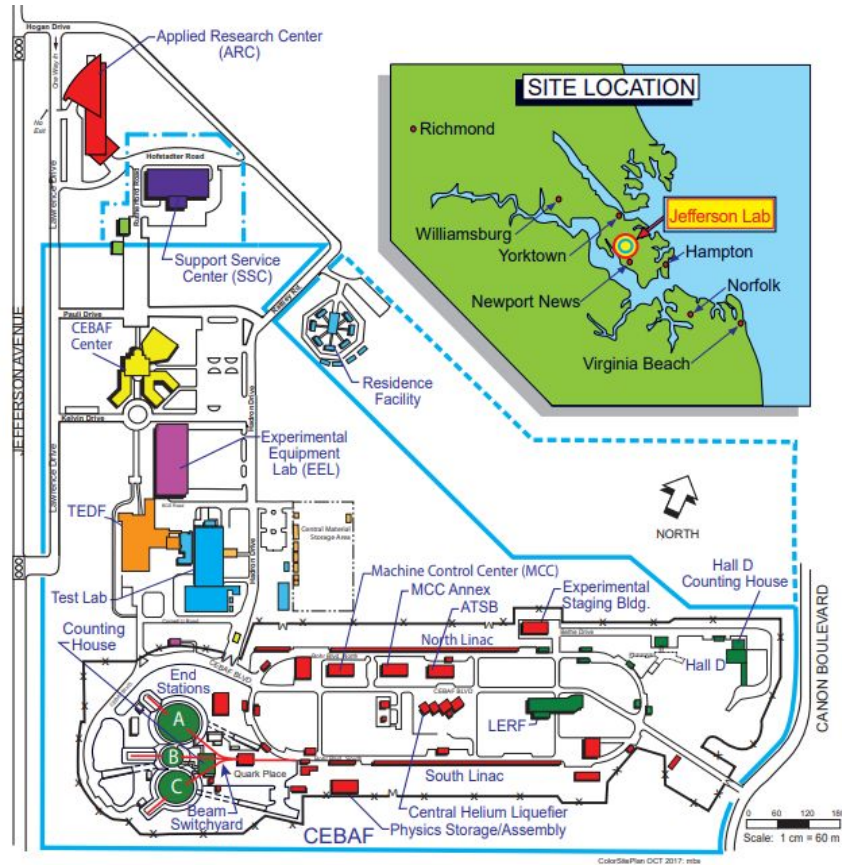
Москва, 2025



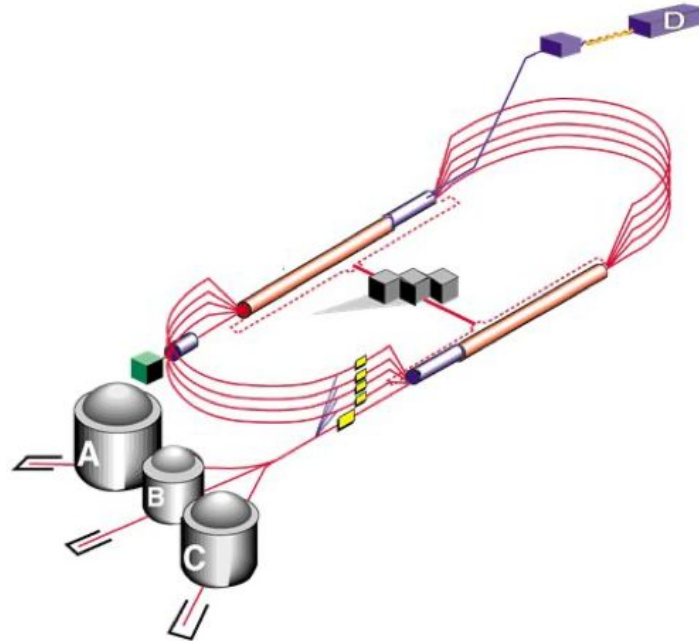
Структура нуклона



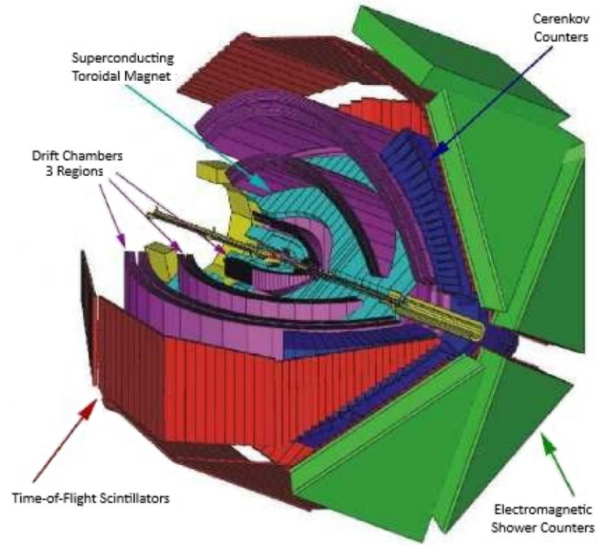
Jefferson Lab



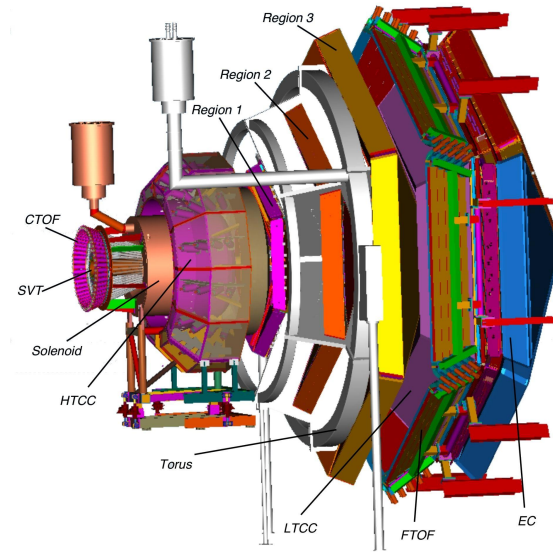
CEBAF
(Continuous Electron Beam
Accelerator Facility)



CEBAF Large Acceptance Spectrometer



CLAS



CLAS12

CLAS Physics Database

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

Search form for the data related to the CLAS physics

You are not logged in. [Login](#)

Select reaction:	
Beam: any	Target: any
polarization: any	polarization: any
Final state: any	polarization: any
Select kinematics range:	
☐ Search for average values	
Q^2_{min} [GeV] ² :	Q^2_{max} [GeV] ² :
W_{min} [GeV]:	W_{max} [GeV]:
x_{min} :	x_{max} :
E_{Ymin} [GeV]:	E_{Ymax} [GeV]:
Select observables:	
Quantity measured:	 any dσ/dΩ (exclusive) dσ/dΩ (quasi-free) σ (exclusive) sigma sigma (quasi-free)
Additional search criteria:	
Spokespersons:	
Year:	
Experiment identifier(s):	
Text table options	
☐ Show results as a plain text table ☐ Show average value for W, Q ² ranges ☐ Add W and Q ² columns How to save text data	

Коллаборация НИИЯФ МГУ (ОЭПВАЯ) с Лабораторией Джефферсона

[\[-\] Search Results Table Composition](#)

Available fields:	Fields selected for output:
Final state polarization	Measurement identifier
Beam	Final state
Beam polarization	Q ² min
Target	Q ² max
Target polarization	W min
x min	W max
x max	Quantity
E _Y min	Experiment title
E _Y max	Authors
W	Year

Limit: Clear form Start search ☐ Results in a new window

Member of CLAS Collaboration are encouraged to send available data to the CLAS Physics Database.

You can use our [data editing interface](#) (preferred) to enter your structured data or submit your data in arbitrary format using this [submission form](#).

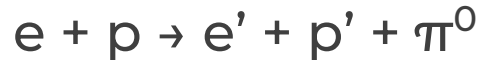
If you have any questions, suggestions or comments, please, feel free to contact developers: clasdb@desync.msu.ru

Powered by MSU SINP CC BY-NC-SA



Цели

- Изучение вкладов реакций эксклюзивного электророждения одиночного пиона на протоне в инклюзивные структурные функции F_1 и F_2
- Проверить согласованность данных в разных каналах реакций
- Получение надежной экстраполяции данных



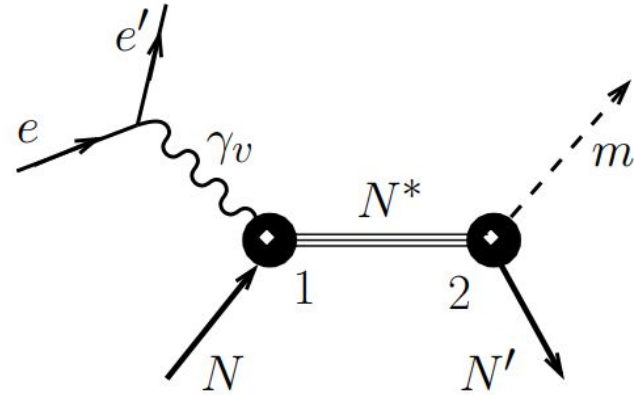
Формализм

$$\frac{d^{n+2}\sigma_e}{dE_{ef}d\Omega_{ef}d\tau^n} = \Gamma_{\gamma_v} \frac{d^n\sigma_{\gamma_v}}{d\tau^n}$$

$\frac{d^{n+2}\sigma_e}{dE_{ef}d\Omega_{ef}d\tau^n}$ – дифференциальное сечение
электророждения мезонов

Γ_{γ_v} – поток виртуальных фотонов

$\frac{d^n\sigma_{\gamma_v}}{d\tau^n}$ – дифференциальное сечение рождения мезонов под
действием виртуальных фотонов



Формализм

$$\Gamma_{\gamma_v} = \frac{\alpha}{4\pi} \cdot \frac{1}{E_{beam}^2 m_p^2} \cdot \frac{W(W^2 - m_p^2)}{(1 - \varepsilon)Q^2} - \text{поток виртуальных фотонов}$$

$$\varepsilon = \left(1 + 2 \left(1 + \frac{\nu^2}{Q^2} \right) \tan^2 \frac{\theta_e^2}{2} \right)^{-1} - \text{поляризация виртуального фотона}$$

$$W = \sqrt{(q + P_p)^2} - \text{инвариантная масса конечной адронной системы}$$

$$Q^2 = -q^2 = -(P_{e'} - P_e)^2 - \text{виртуальность фотона}$$



Формализм

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

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

$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}$, $\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi}$, $\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi}$, $\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_\pi}$, $\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_\pi}$ – неполяризованная, поперечная, продольная, продольно-поперечная, поперечно-поперечная структурные функции



Формализм

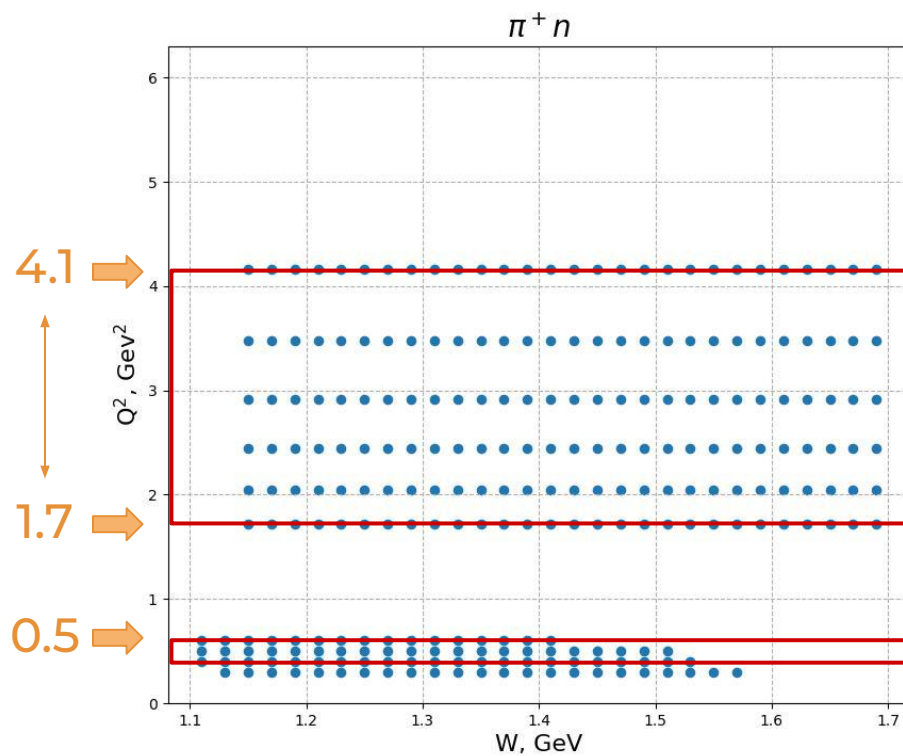
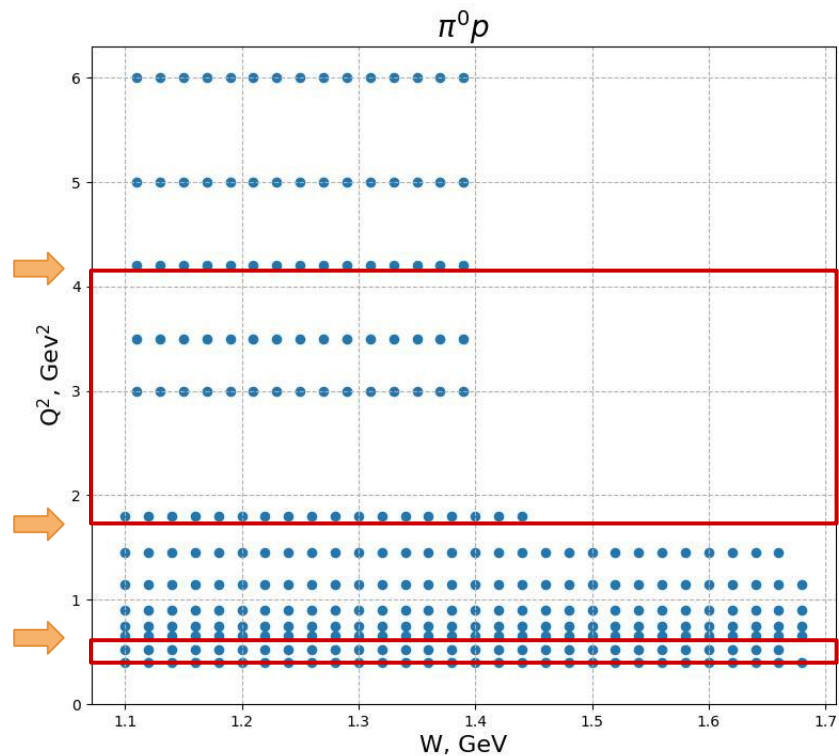
$$F_1 (Q^2, W) = \frac{KW}{4\pi^2\alpha} \sigma_T (Q^2, W)$$

$$F_2 (Q^2, W) = \frac{KW}{4\pi^2\alpha} \frac{2x}{1 + \frac{Q^2}{\nu^2}} (\sigma_T (Q^2, W) + \sigma_L (Q^2, W))$$

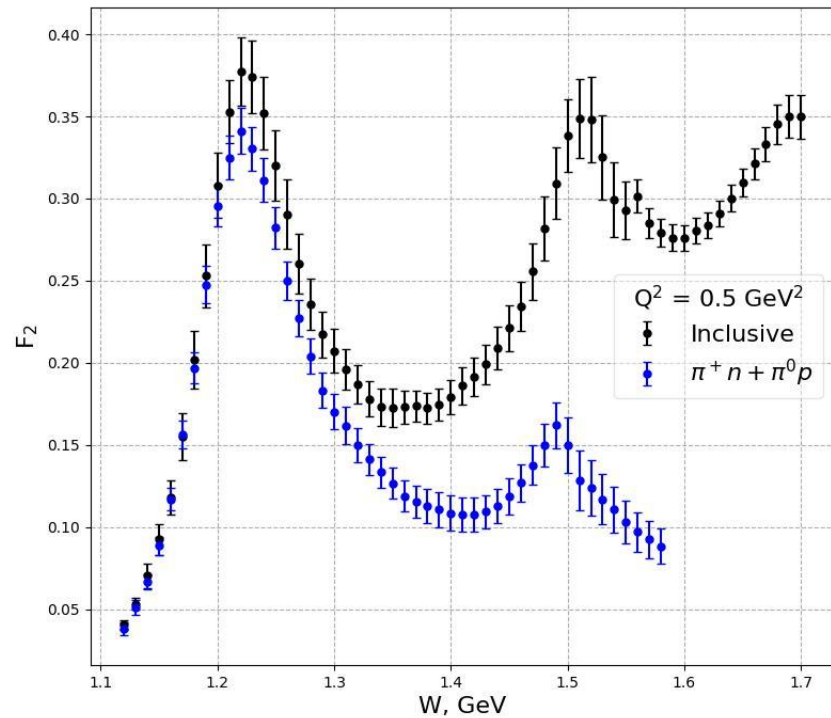
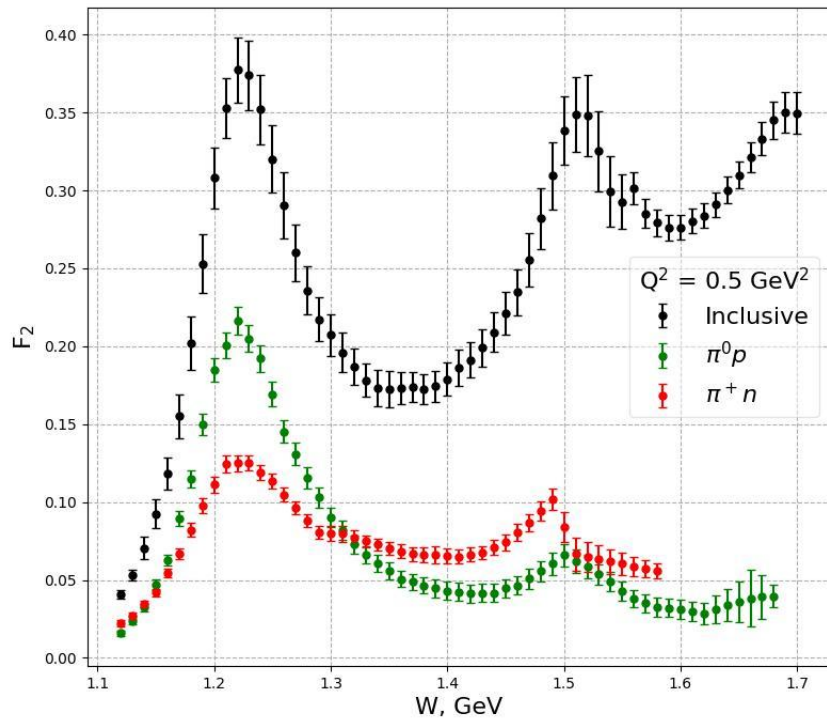
$$K = \frac{W^2 - M_p^2}{2M_p} \quad x = \frac{Q^2}{2M_N\nu} \quad \nu = \frac{W^2 - M_p^2 + Q^2}{2M_p}$$



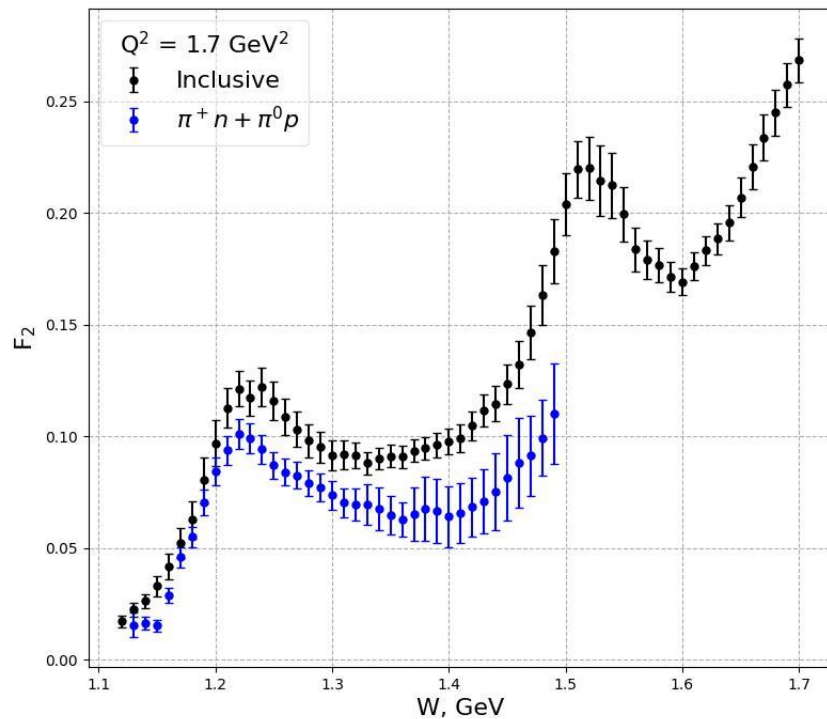
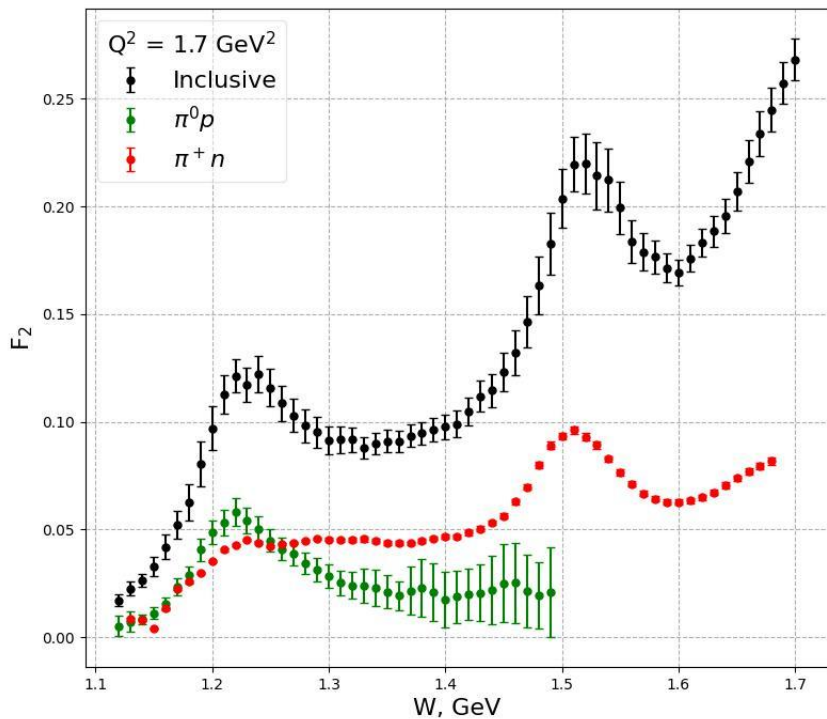
Карта данных



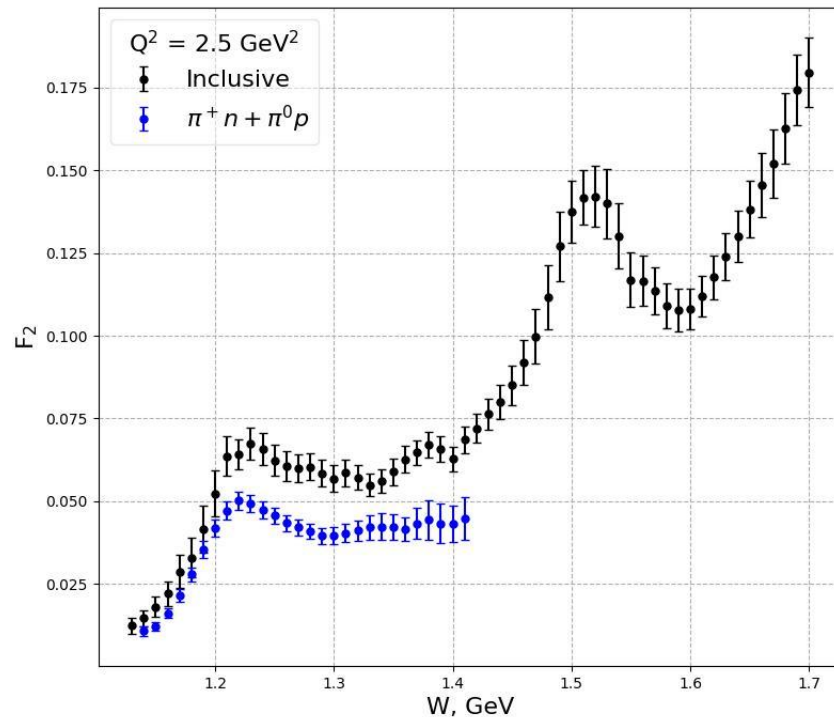
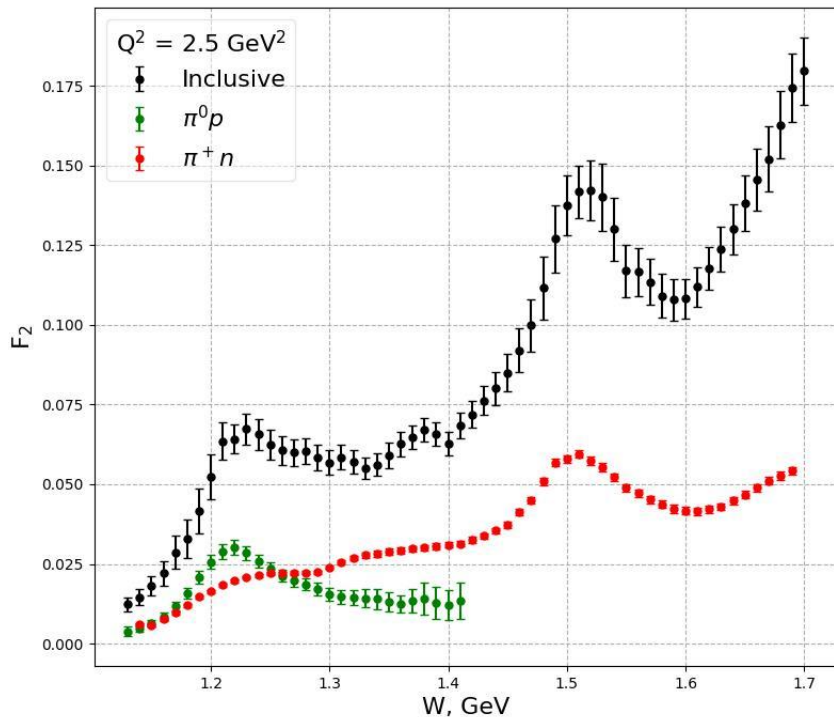
Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 0.5 \text{ ГэВ}^2$



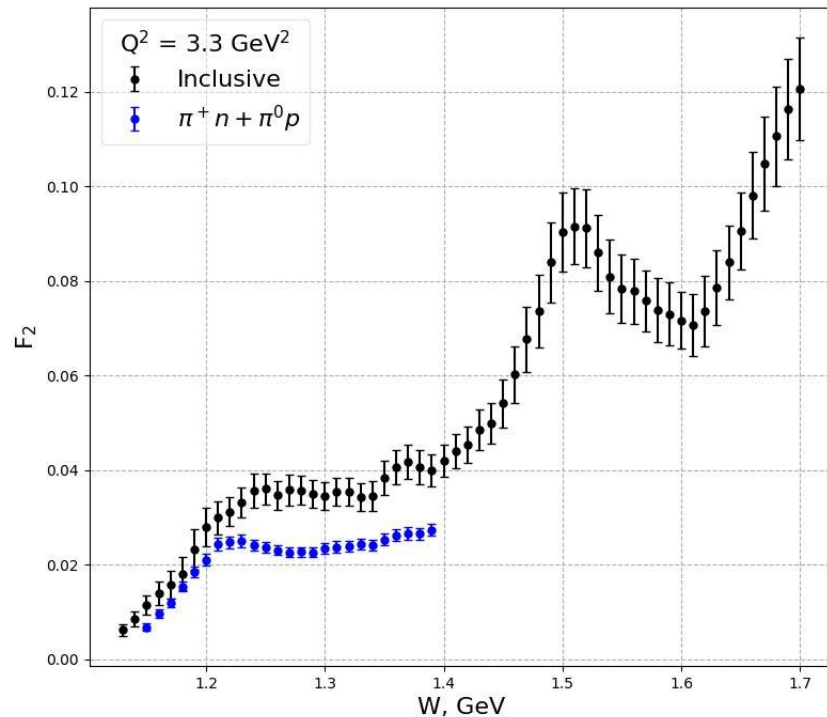
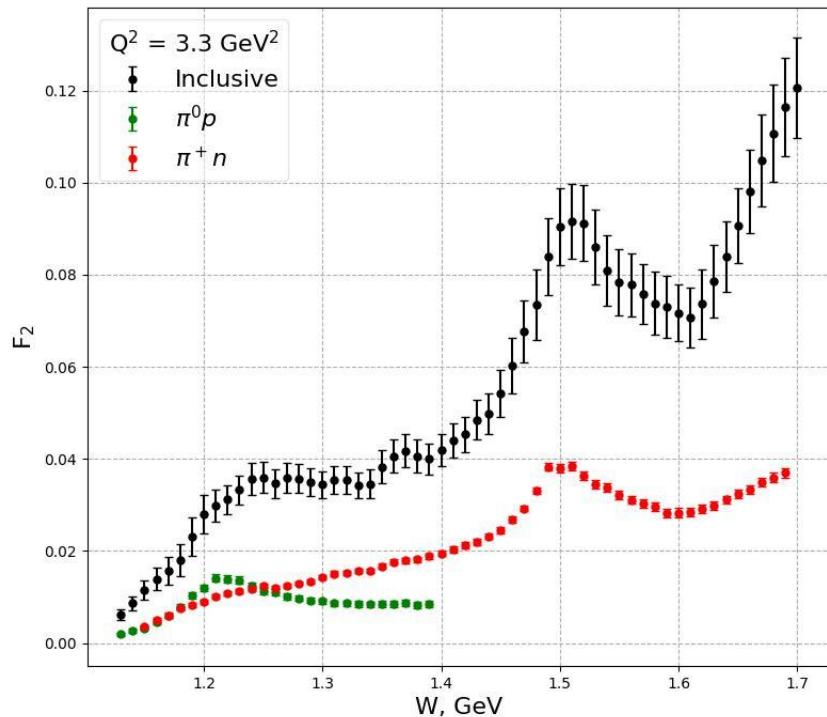
Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 1.7 \text{ ГэВ}^2$



Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 2.5 \text{ ГэВ}^2$



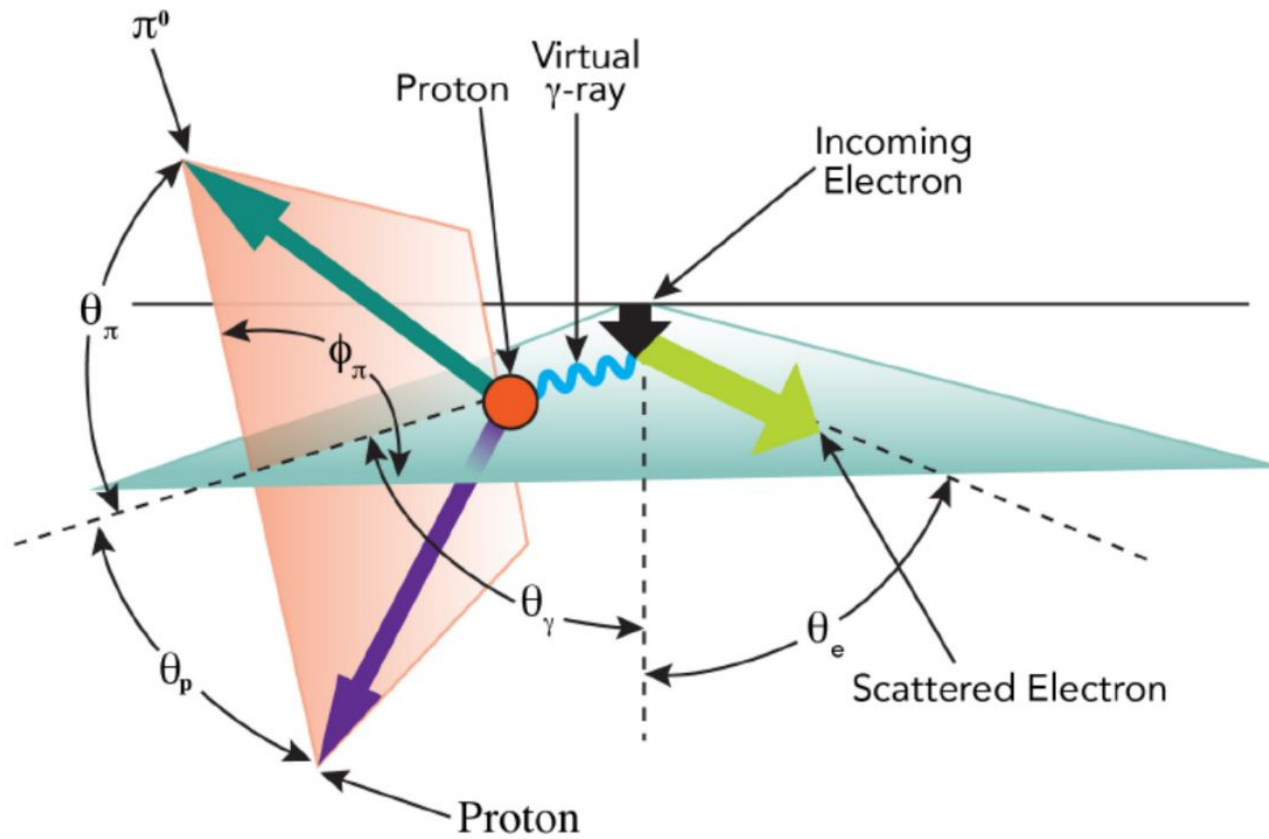
Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 3.3 \text{ ГэВ}^2$



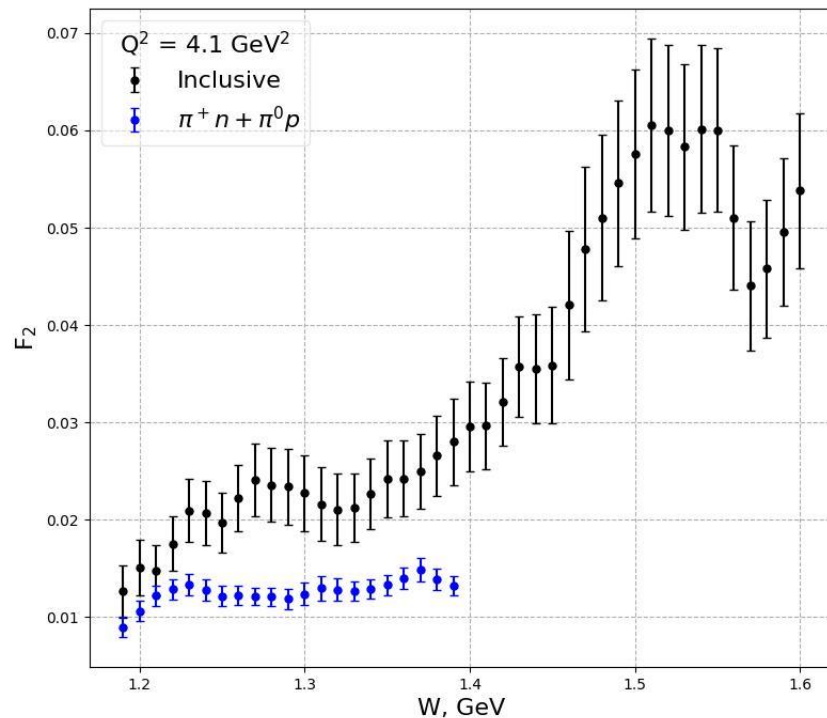
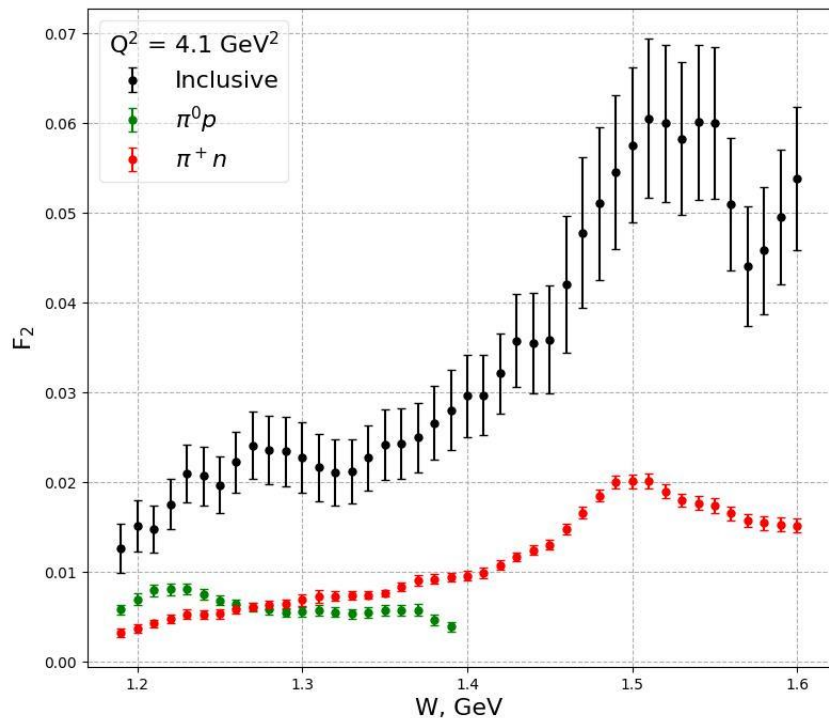
Заключение

- Оценка вкладов эксклюзивных каналов электророждения одиночного пиона в инклюзивные наблюдаемые показывает достоверную согласованность экспериментальных данных
- Экстраполяция данных для канала π^+n дала надежные результаты в оценке вкладов
- Данная оценка вкладов может быть применена на расширенной экспериментальной базе данных, получаемой на CLAS12

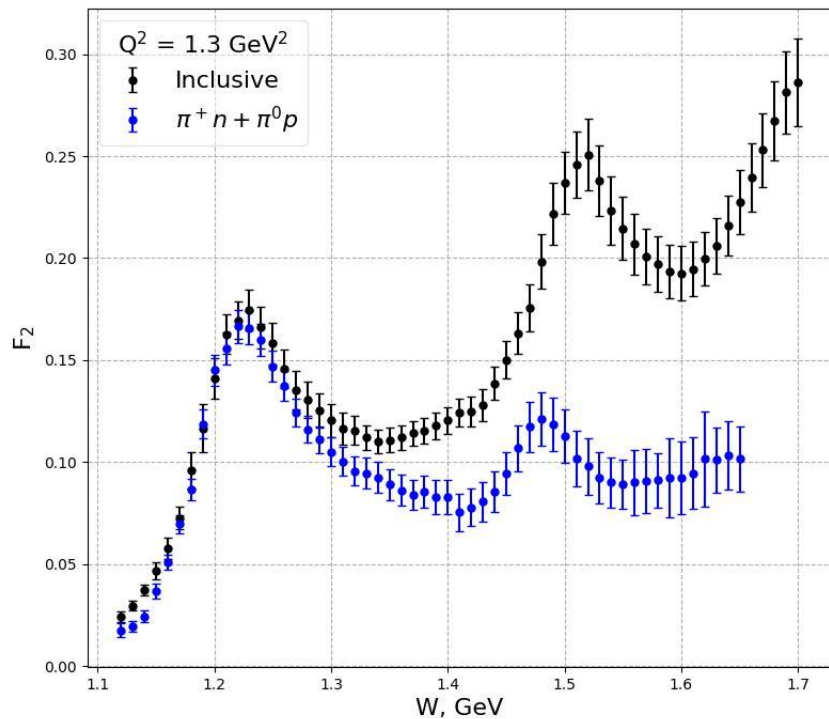
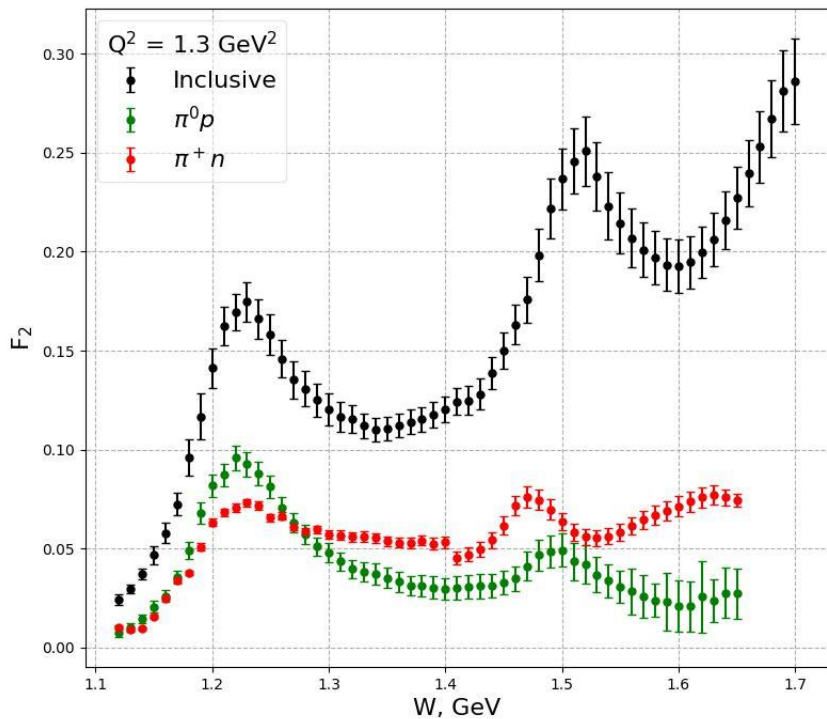


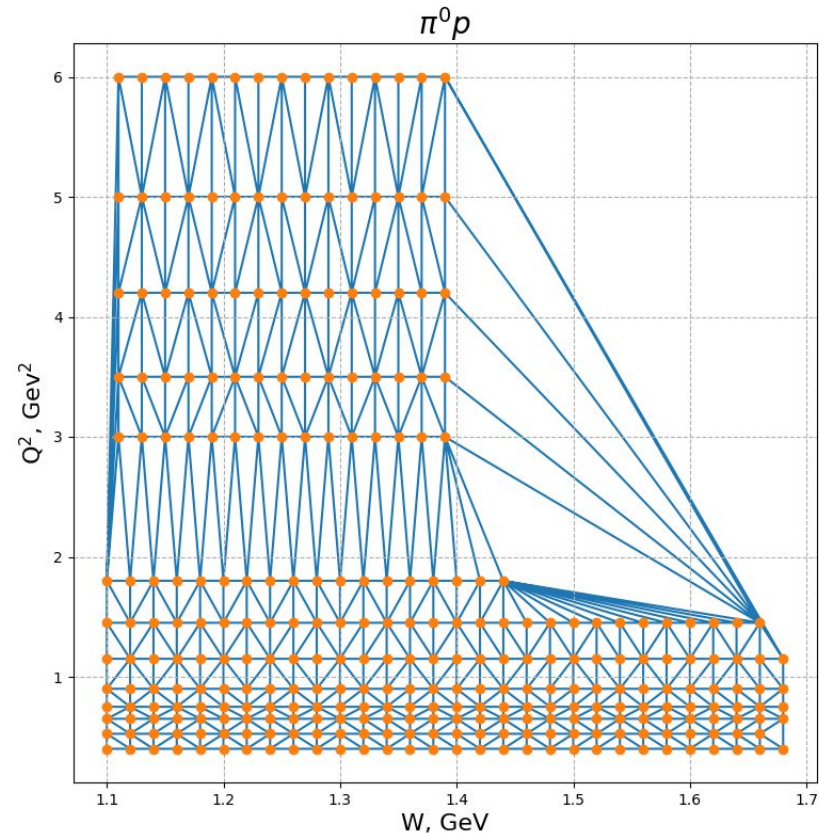
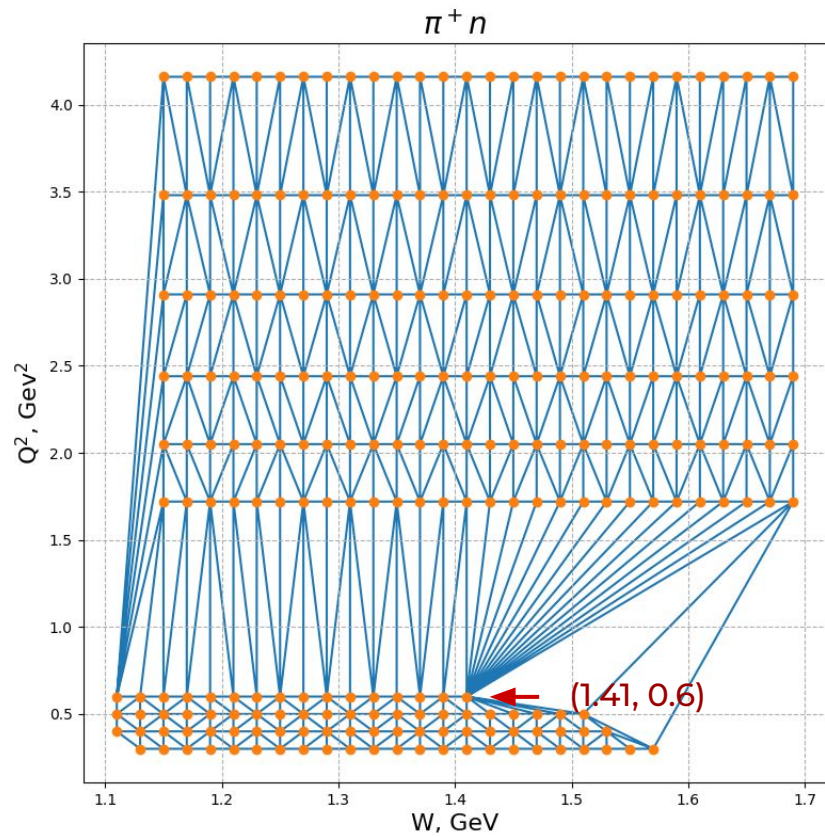


Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 4.1 \text{ ГэВ}^2$



Зависимость F_2 от W при $Q^2 = 1.3 \text{ ГэВ}^2$





Извлечение σ_t и σ_l

$$\sigma_u = \sigma_t + \varepsilon \sigma_l$$

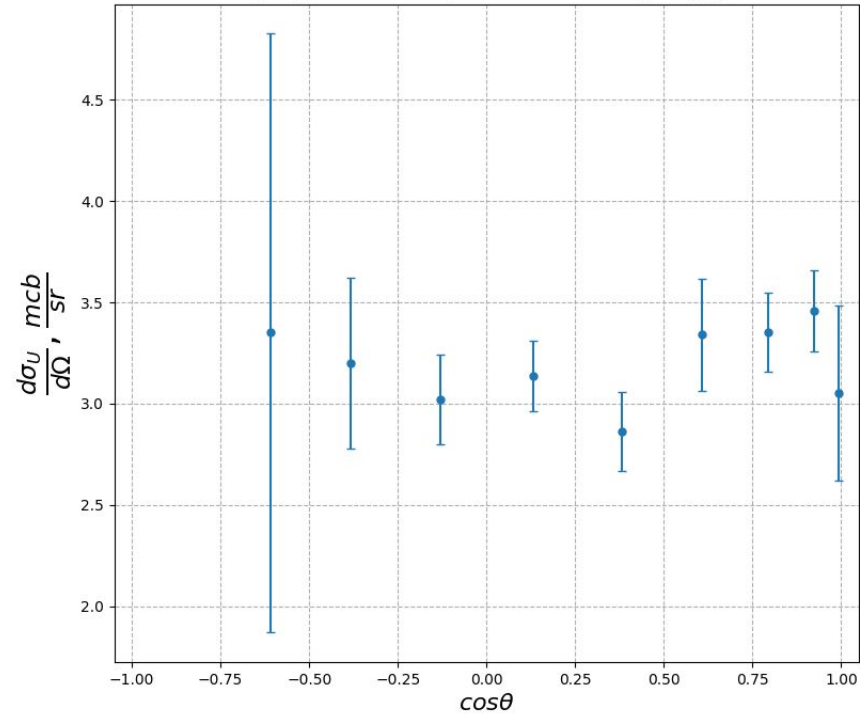
$$R_{lt} = \frac{\sigma_l}{\sigma_t} \qquad \sigma_t = \frac{\sigma_u}{1 + \varepsilon R_{lt}} \qquad \sigma_l = \frac{R_{lt} \sigma_u}{1 + \varepsilon R_{lt}}$$

$$R_{lt} = \begin{cases} \frac{(1-x)^3}{(1-x_{th})^3} \left[\frac{0.041\xi_{th}}{\zeta} + \frac{0.592}{Q^2} - \frac{0.331}{0.09+Q^4} \right] & W < 2.5 \text{ GeV}, \\ \frac{0.041\xi}{\zeta} + \frac{0.592}{Q^2} - \frac{0.331}{0.09+Q^4} & W > 2.5 \text{ GeV} \end{cases}$$

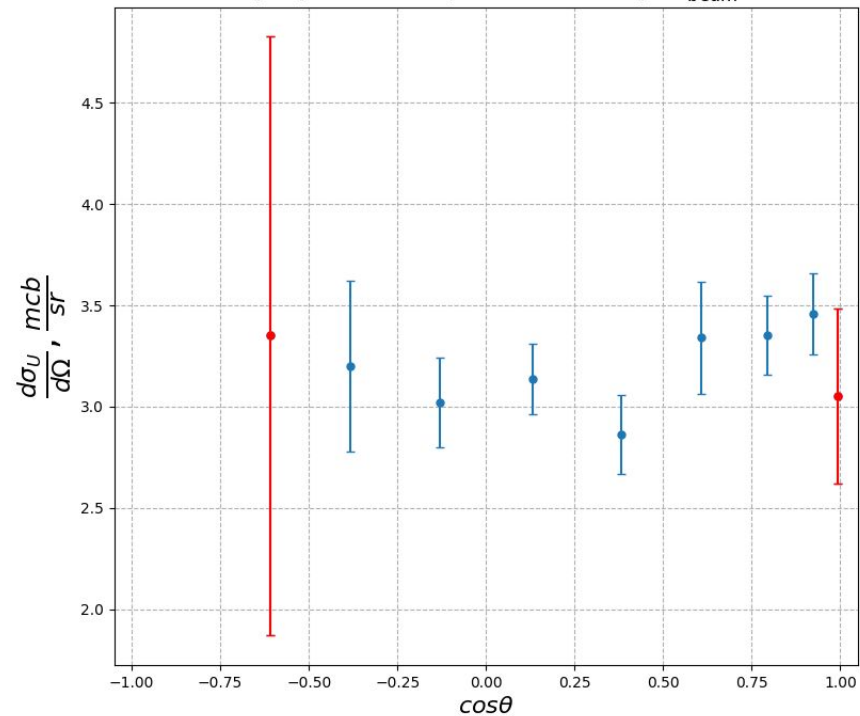
$$\zeta = \log \frac{Q^2}{0.04} \quad \xi = 1 + 12 \cdot \frac{Q^2}{1+Q^2} \cdot \frac{0.015625}{0.015625+x^2} \quad \xi_{th} = \xi(W = 2.5) \quad x_{th} = x(W = 2.5) \quad x = \frac{Q^2}{2M_p\nu}$$



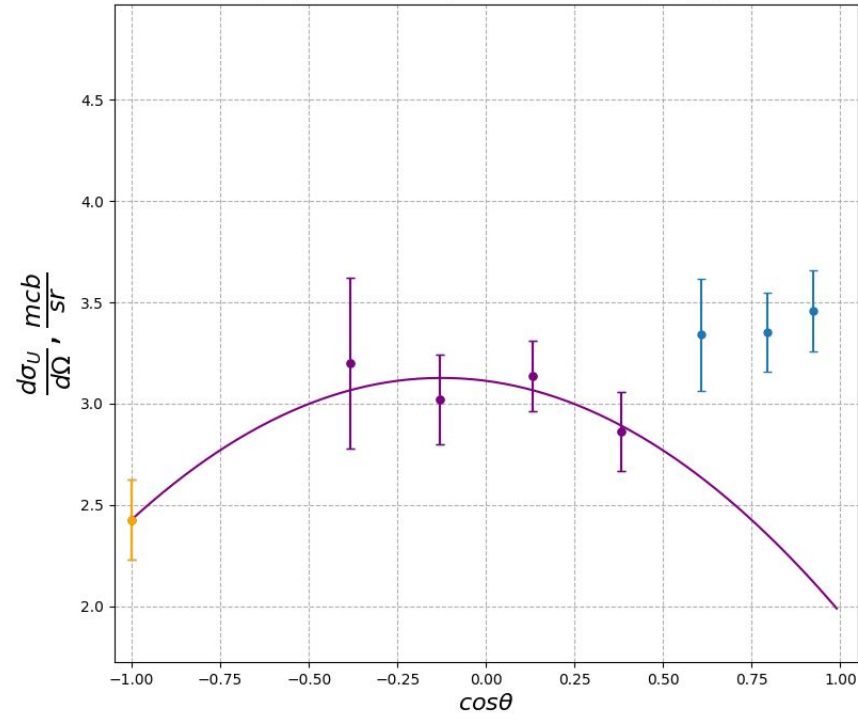
channel: $\pi^+ n$; Q^2 : 0.4 GeV²; W: 1.11 GeV; E_{beam} : 1.515 GeV



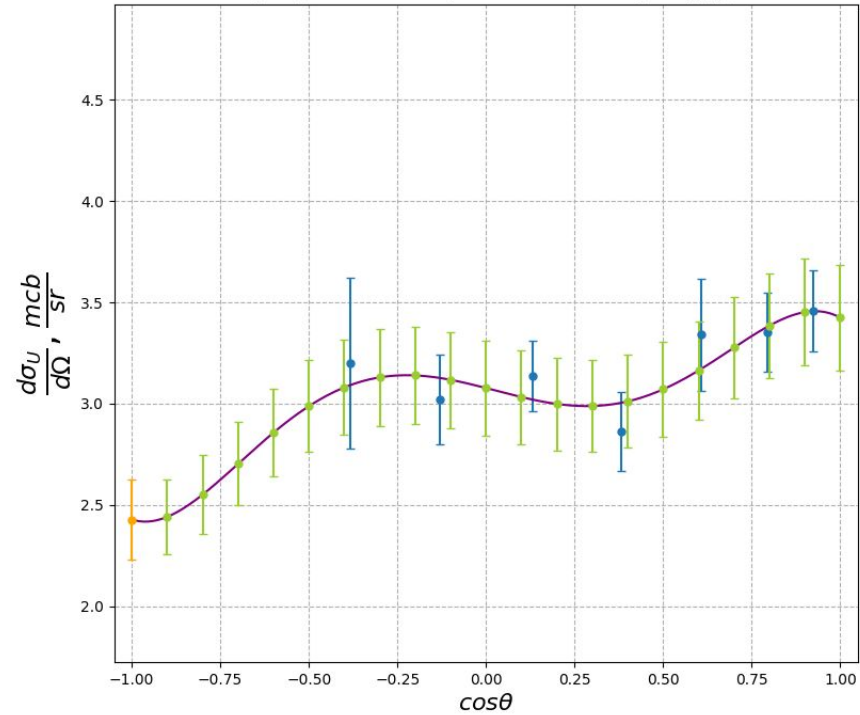
channel: $\pi^+ n$; Q^2 : 0.4 GeV²; W: 1.11 GeV; E_{beam} : 1.515 GeV



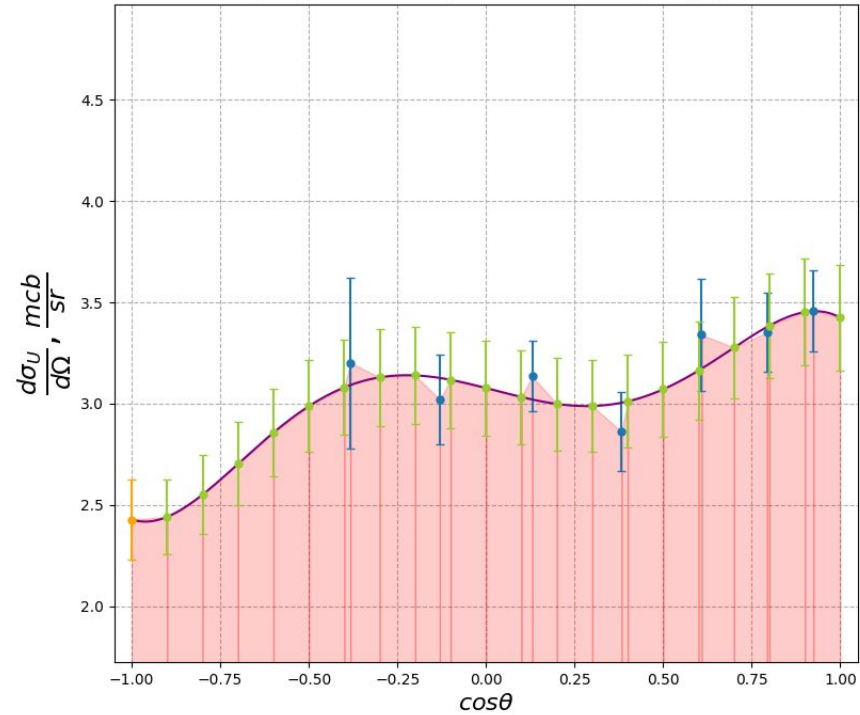
channel: $\pi^+ n$; Q^2 : 0.4 GeV²; W : 1.11 GeV; E_{beam} : 1.515 GeV



channel: $\pi^+ n$; Q^2 : 0.4 GeV²; W : 1.11 GeV; E_{beam} : 1.515 GeV



channel: $\pi^+ n$; Q^2 : 0.4 GeV²; W : 1.11 GeV; E_{beam} : 1.515 GeV



$$\sigma_u = 2\pi \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \sin \theta d\theta \frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}$$

$$(\sigma_u)_{\text{error}} = \sigma_u \cdot \left(\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi} \right)_{\text{mean relative error}}$$

$$\left(\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi} \right)_{\text{mean relative error}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi} \right)_i^{\text{error}} / \left(\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi} \right)_i \right]$$

