

МГУ им. М.В. Ломоносова  
Физический факультет  
Кафедра общей ядерной физики

# **Развитие базы данных как инструмент анализа экспериментальных данных CLAS**

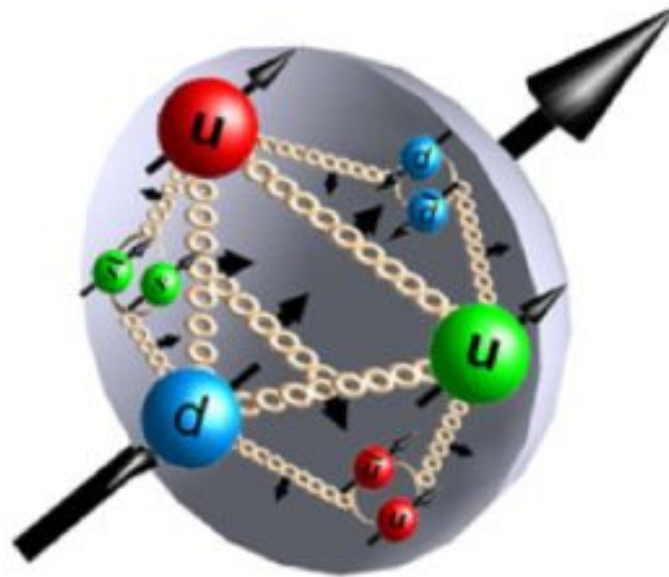
Выполнил  
студент 413 группы  
Сорокин Станислав Алексеевич

Научный руководитель:  
к.ф.-м.н., асс.  
Голубенко Анна Александровна

Москва, 2023

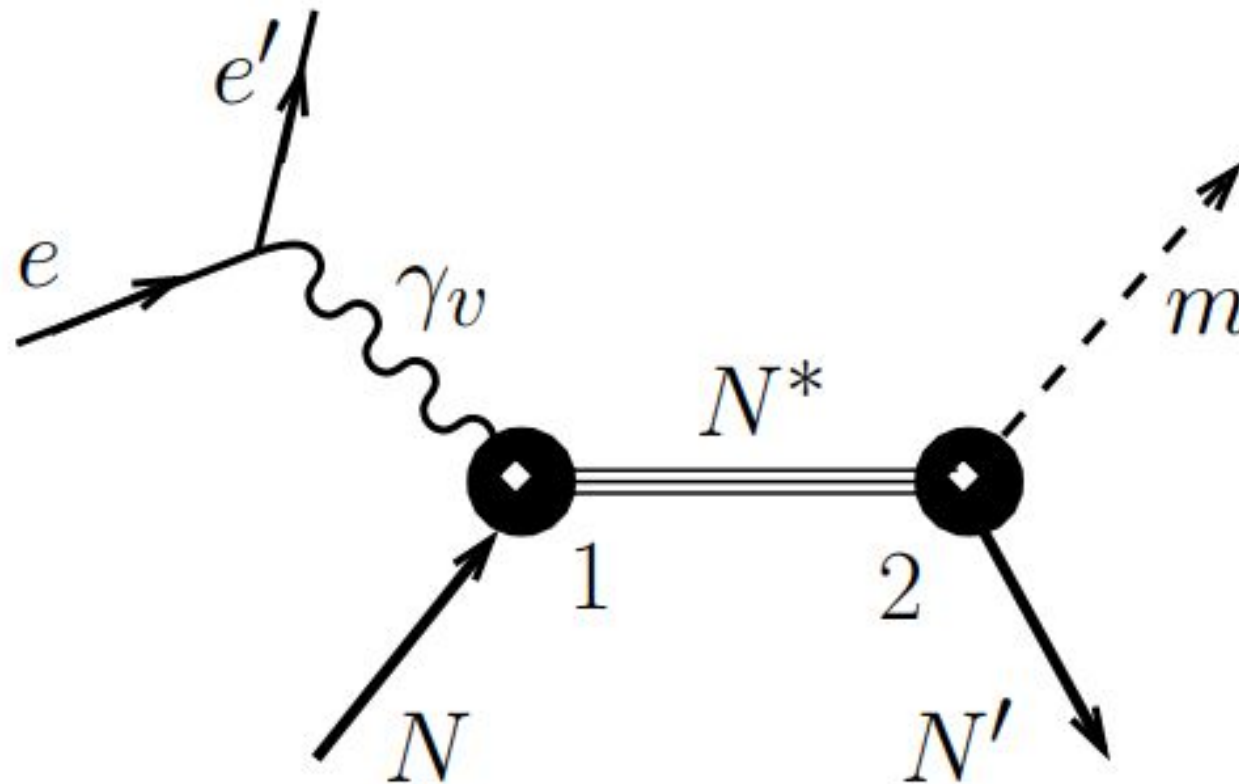
# Область исследования

– формирование внутренней структуры нуклонов и их эволюция как системы кварков и глюонов



# Предмет исследования

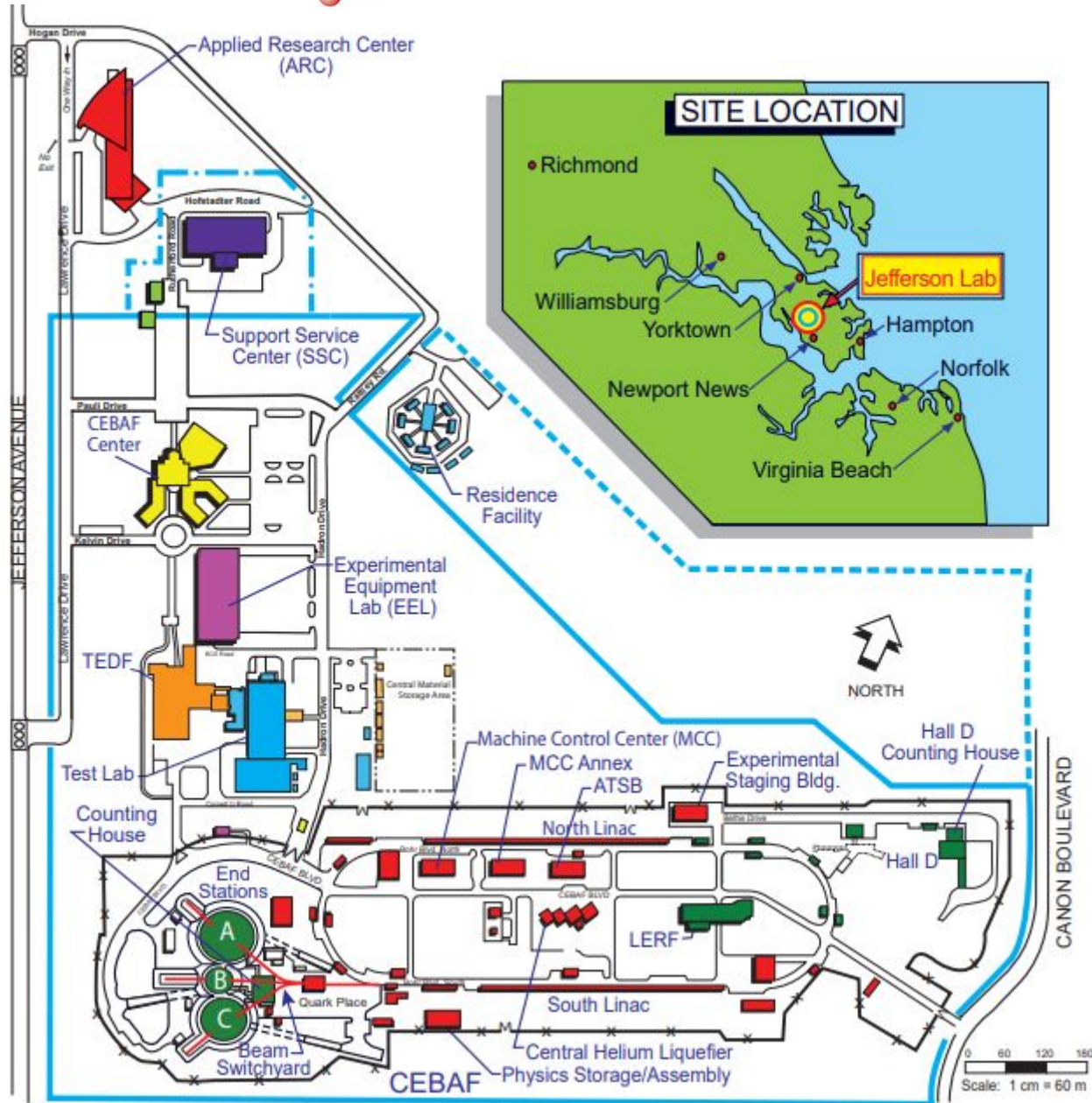
– изучение спектра нуклонных резонансов



# Цель

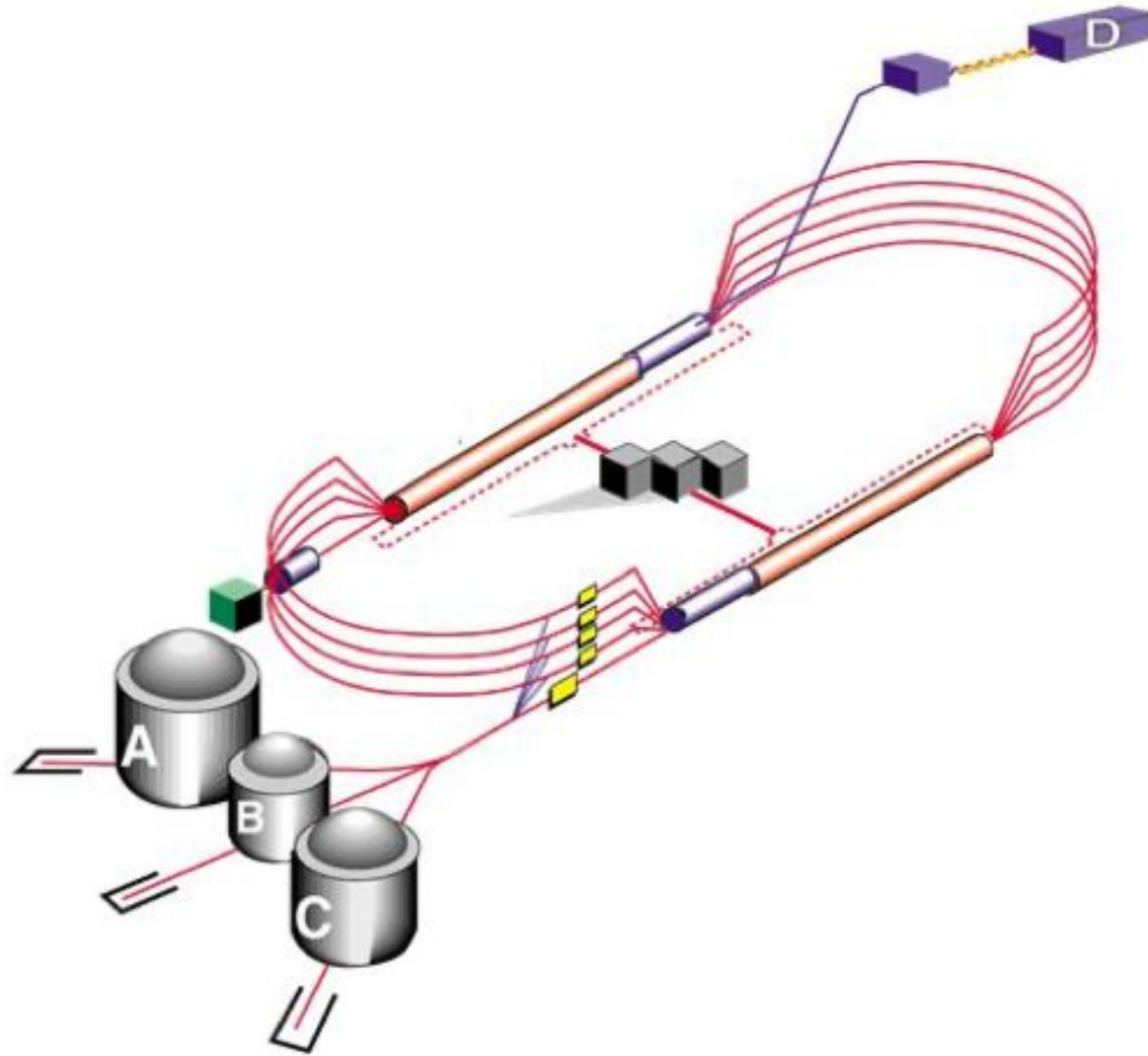
Разработка веб-инструмента для CLAS Physics Database, реализующего один из методов извлечения структурных функций электровозбуждения резонансов

# Jefferson Lab



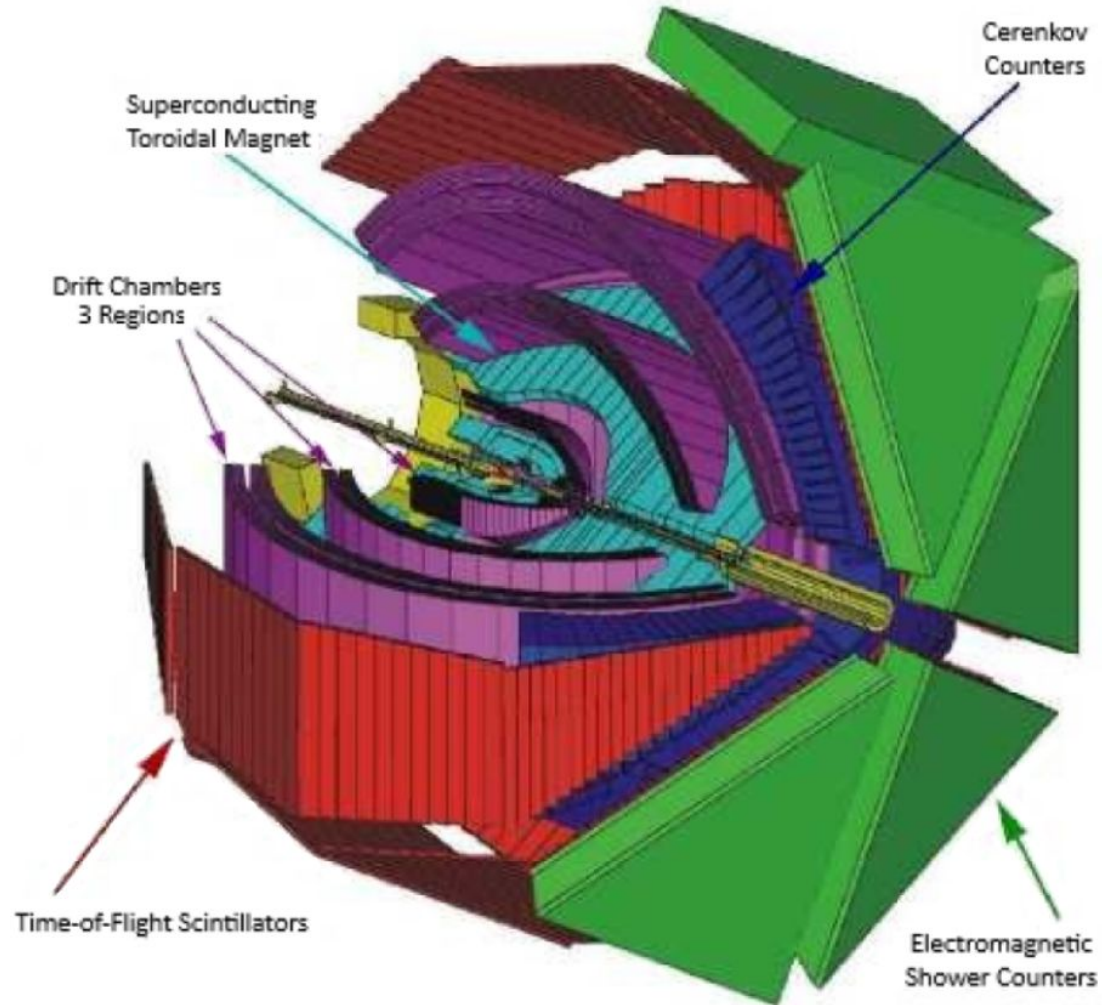
# CEBAF

*(Continuous Electron Beam Accelerator Facility)*

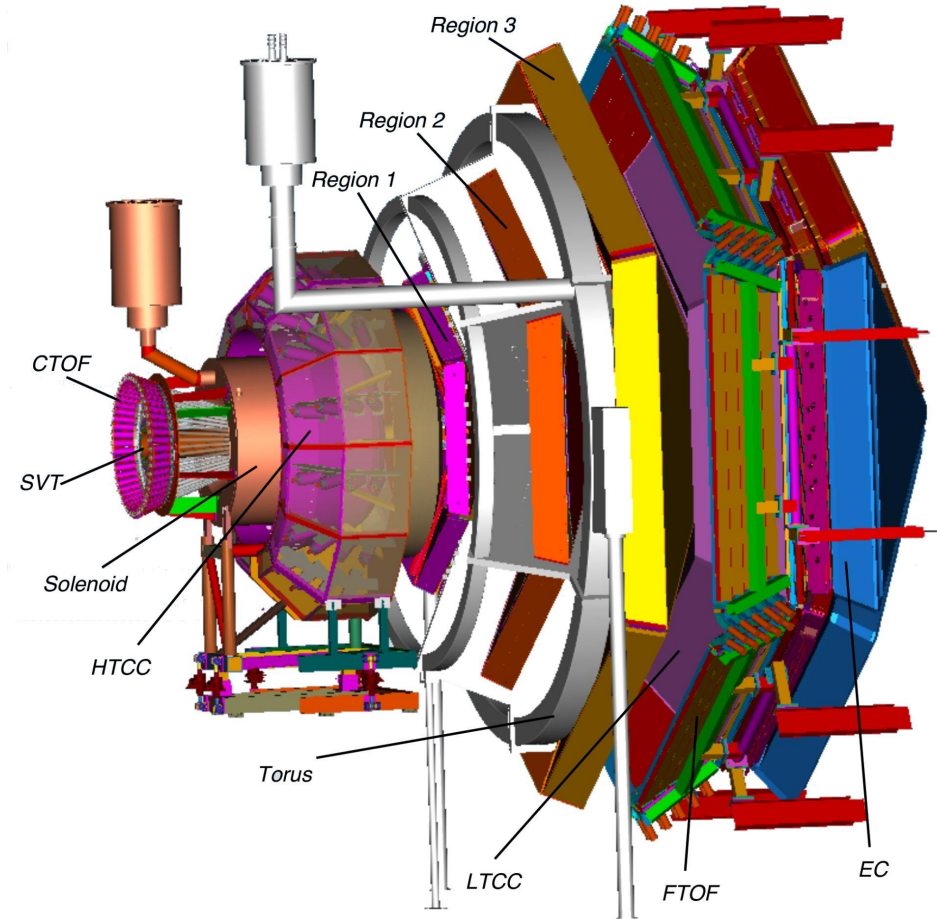


# CEBAF Large Acceptance Spectrometer

## CLAS



## CLAS12



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

**Select reaction:**

Beam: <input type="text" value="any"/>	Target: <input type="text" value="any"/>	Final state: <input type="text" value="any"/>
polarization: <input type="text" value="any"/>	polarization: <input type="text" value="any"/>	polarization: <input type="text" value="any"/>

**Select kinematics range:**

Search for average values

Q <sup>2</sup> <sub>min</sub> [GeV] <sup>2</sup> : <input type="text"/>	Q <sup>2</sup> <sub>max</sub> [GeV] <sup>2</sup> : <input type="text"/>	W <sub>min</sub> [GeV]: <input type="text"/>	W <sub>max</sub> [GeV]: <input type="text"/>
X <sub>min</sub> : <input type="text"/>	X <sub>max</sub> : <input type="text"/>	EY <sub>min</sub> [GeV]: <input type="text"/>	EY <sub>max</sub> [GeV]: <input type="text"/>

**Select observables:**

Quantity measured:	<input type="text" value="any"/>
--------------------	----------------------------------

**Additional search criteria:**

Spokespersons: <input type="text"/>
Year: <input type="text"/>
Experiment identifier(s): <input type="text"/>

**Text table options**

Show results as a plain text table     Show average value for W, Q<sup>2</sup> ranges

Add W and Q<sup>2</sup> columns    [How to save text data](#)

**[ - ] Search Results Table Composition**

<b>Available fields:</b> <input type="text" value="Final state polarization"/> <input type="text" value="Beam"/> <input type="text" value="Beam polarization"/> <input type="text" value="Target"/> <input type="text" value="Target polarization"/> <input type="text" value="x min"/> <input type="text" value="x max"/> <input type="text" value="Eγ min"/> <input type="text" value="Eγ max"/> <input type="text" value="W"/>	<b>Fields selected for output:</b> <input type="text" value="Measurement identifier"/> <input type="text" value="Final state"/> <input type="text" value="Q&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;min"/> <input type="text" value="Q&lt;sup&gt;2&lt;/sup&gt;max"/> <input type="text" value="W min"/> <input type="text" value="W max"/> <input type="text" value="Quantity"/> <input type="text" value="Experiment title"/> <input type="text" value="Authors"/> <input type="text" value="Year"/>
---	--

Limit:     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@depni.sinp.msu.ru](mailto:clasdb@depni.sinp.msu.ru)



# Формализм

$$\frac{d^{n+2}\sigma_e}{dW dQ^2 d\tau^n} = \Gamma_{\gamma v} \frac{d^n \sigma_{\gamma v}}{d\tau^n}$$

где  $\frac{d^{n+2}\sigma_e}{dW dQ^2 d\tau^n}$  – дифференциальное сечение электророждения мезонов

$\Gamma_{\gamma v}$  – поток виртуальных фотонов

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

# Формализм

$$\frac{d^{n+2}\sigma_e}{dW dQ^2 d\tau^n} = \Gamma_{\gamma\nu} \frac{d^n\sigma_{\gamma\nu}}{d\tau^n}$$

- где  $W$  – инвариантная масса  $W = \sqrt{(q + P_p)^2}$
- $Q^2$  – виртуальность фотона  $Q^2 = -q^2 = -(P_{e'} - P_e)^2$
- $d\tau^n$  – дифференциал кинематических переменных конечного адронного состояния

# Формализм

Поток виртуальных фотонов:

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

где  $\alpha$  – постоянная тонкой структуры

$E_{beam}$  – энергия начального пучка электронов

$m_p$  – масса протона (ГэВ)

$W$  – инвариантная масса

$Q^2$  – виртуальность фотона

# Формализм

Поляризация виртуального фотона:

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

где  $\nu$  – энергия виртуального фотона

$\theta_e$  – полярный угол рассеяния электрона

## Структурные функции

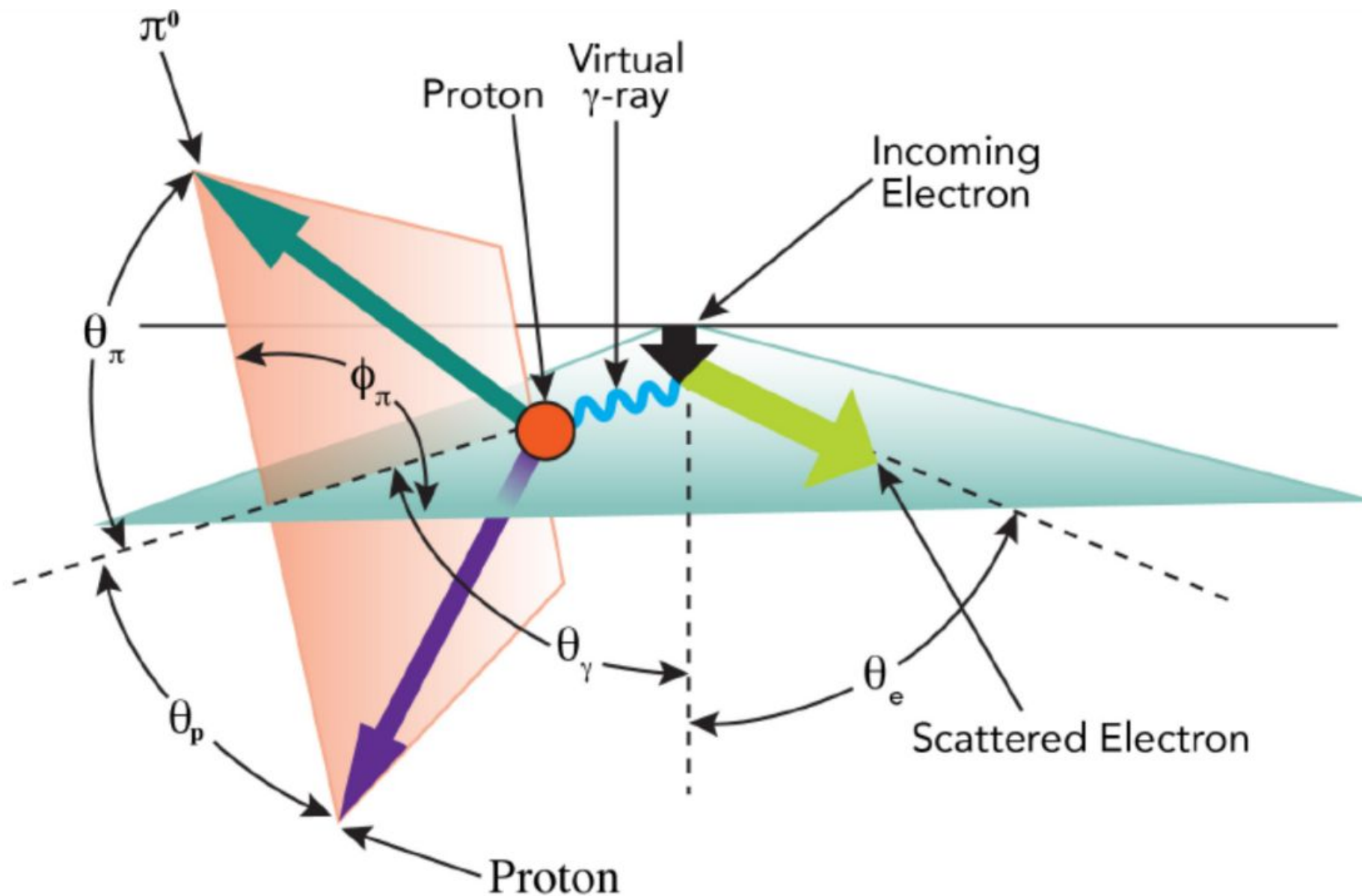
$$\frac{d\sigma_{\gamma\nu}}{d\Omega_{\pi}} = \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}} \cdot \cos \varphi$$

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

где:  $\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi}}$ ,  $\frac{d\sigma_t}{d\Omega_{\pi}}$ ,  $\frac{d\sigma_l}{d\Omega_{\pi}}$ ,  $\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi}}$ ,  $\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi}}$  – неполяризованная,

поперечная, продольная, продольно-поперечная, поперечно-поперечная структурные функции соответственно

$\varphi$  – угол между плоскостью рассеяния электрона и плоскостью реакции



# Извлечение структурных функций

## Метод 0

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

# Извлечение структурных функций

## Метод 0

$$R = \frac{\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi}}{\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi}}$$

$$\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi} = \frac{\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}}{1 + \varepsilon R}$$

$$\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi} = \frac{R \frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}}{1 + \varepsilon R}$$



# Извлечение структурных функций Метод 1

$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi} \text{ method 1}} = \frac{1}{\varphi_{max} - \varphi_{min}} \left[ \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi} \text{ exp}} d\varphi - \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi 0}} \times \right. \\ \left. \times \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \cos 2\varphi d\varphi - \sqrt{\varepsilon(1 + \varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi 0}} \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \cos \varphi d\varphi \right]$$

# Извлечение структурных функций

## Метод 1

$$\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{method}} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \varepsilon \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{method}} \cdot r_{tt}$$

$$\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{method}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)}} \cdot \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{method}} \cdot r_{lt}$$

где

$$r_{tt} = \frac{\varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi 0}}}{\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi 0}}} \quad r_{lt} = \frac{\sqrt{2\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi 0}}}{\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi 0}}}$$

# Извлечение структурных функций

## Метод 1

$$R = \frac{\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi}}{\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi}}$$

$$\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi} = \frac{\frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}}{1 + \varepsilon R}$$

$$\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi} = \frac{R \frac{d\sigma_u}{d\Omega_\pi}}{1 + \varepsilon R}$$

# Извлечение структурных функций

## Метод 2

$$\begin{aligned}
 \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi} \text{ method 2}} &= \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi} \text{ exp}} d\varphi + \right. \\
 &+ \int_0^{\varphi_{min}} \left[ \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi 0}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi 0}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi 0}} \cdot \cos \varphi \right] d\varphi + \\
 &\left. + \int_{\varphi_{max}}^{2\pi} \left[ \frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi 0}} + \varepsilon \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_{\pi 0}} \cdot \cos 2\varphi + \sqrt{\varepsilon(1+\varepsilon)} \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_{\pi 0}} \cdot \cos \varphi \right] d\varphi \right]
 \end{aligned}$$

# Извлечение структурных функций

## Метод 3

$$\frac{d\sigma_u}{d\Omega_{\pi \text{ method 3}}} = \left[ \int_{\varphi_{1 \min}}^{\varphi_{1 \max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi \text{ exp}}} d\varphi + \int_{\varphi_{2 \min}}^{\varphi_{2 \max}} \frac{d\sigma_{\gamma v}}{d\Omega_{\pi \text{ exp}}} d\varphi \right] \times$$

$$\times \left( [(\varphi_{1 \max} - \varphi_{1 \min}) + (\varphi_{2 \max} - \varphi_{2 \min})] + r_{tt} \cdot \left[ \int_{\varphi_{1 \min}}^{\varphi_{1 \max}} \cos 2\varphi d\varphi + \right.$$

$$\left. + \int_{\varphi_{2 \min}}^{\varphi_{2 \max}} \cos 2\varphi d\varphi \right] + r_{lt} \cdot \left[ \int_{\varphi_{1 \min}}^{\varphi_{1 \max}} \cos \varphi d\varphi + \int_{\varphi_{2 \min}}^{\varphi_{2 \max}} \cos \varphi d\varphi \right] \right)^{-1}$$

# Graphs of the structure functions

Channel:

*(Enter the value of the two parameters, to see the graph of the dependence of the structure functions on the third parameter)*

W =  (1.11 < W (GeV) < 2.01)

Q<sup>2</sup> =  (0.3 < Q<sup>2</sup> (GeV<sup>2</sup>) < 4.16)

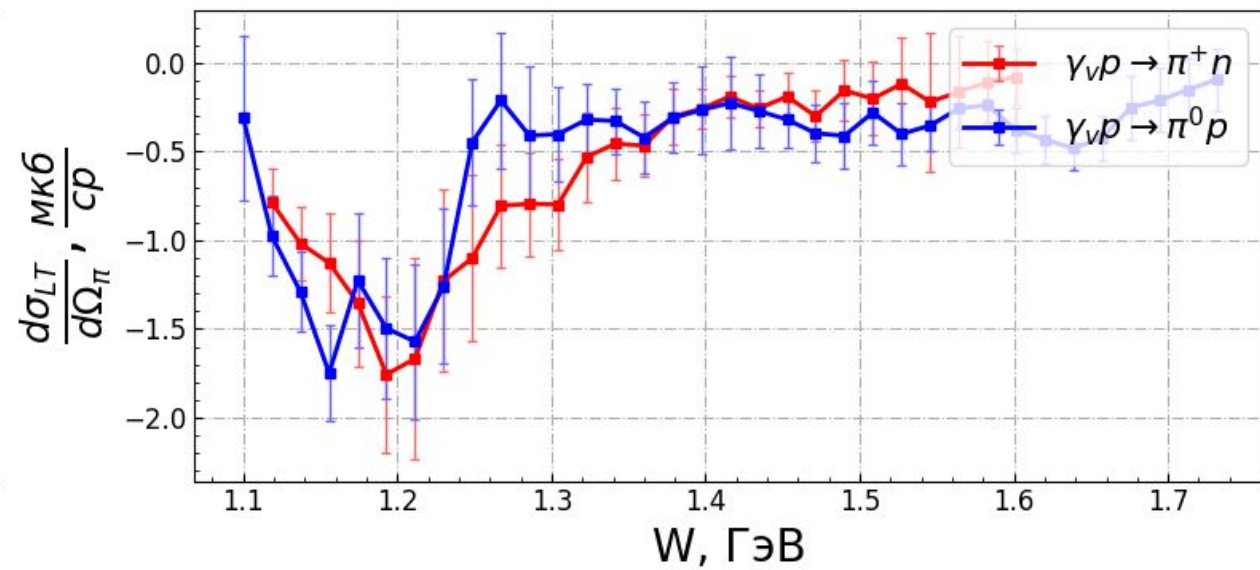
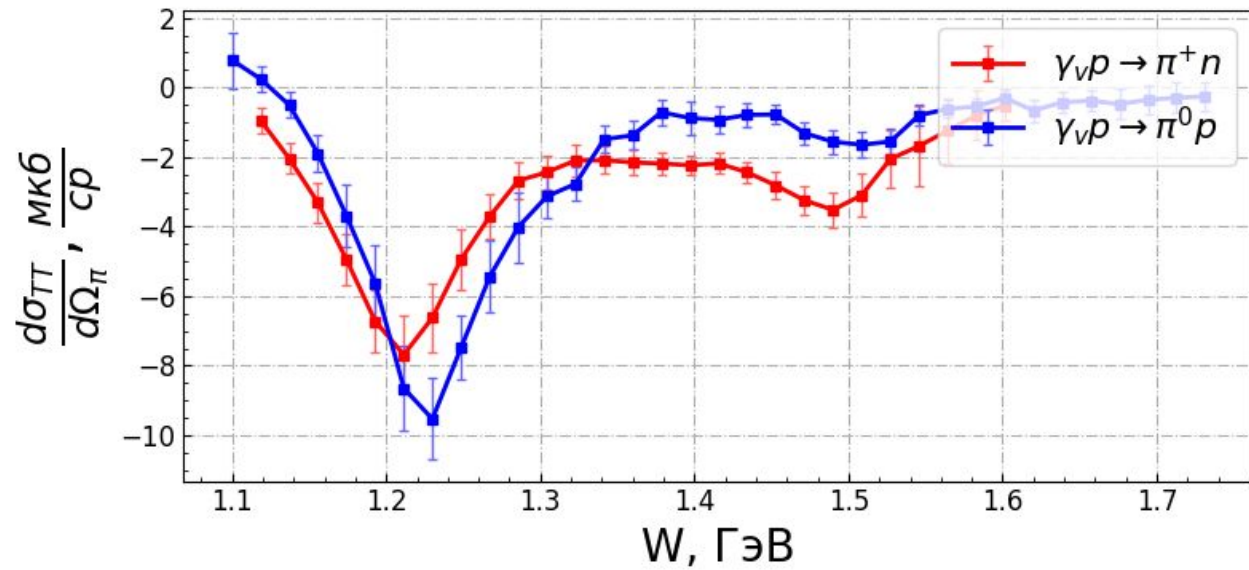
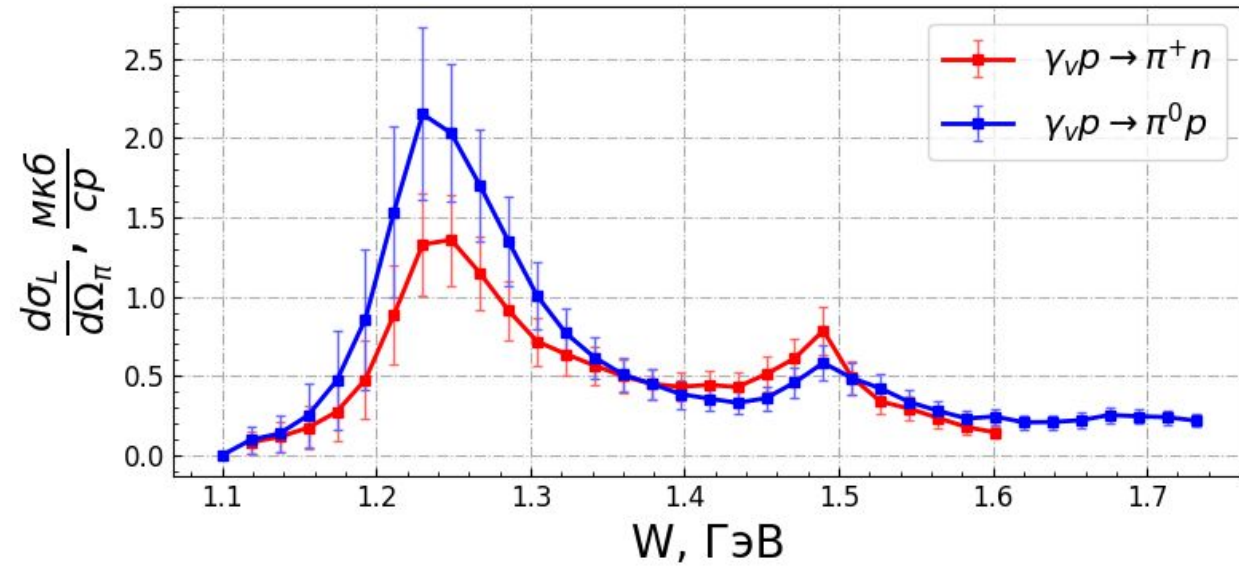
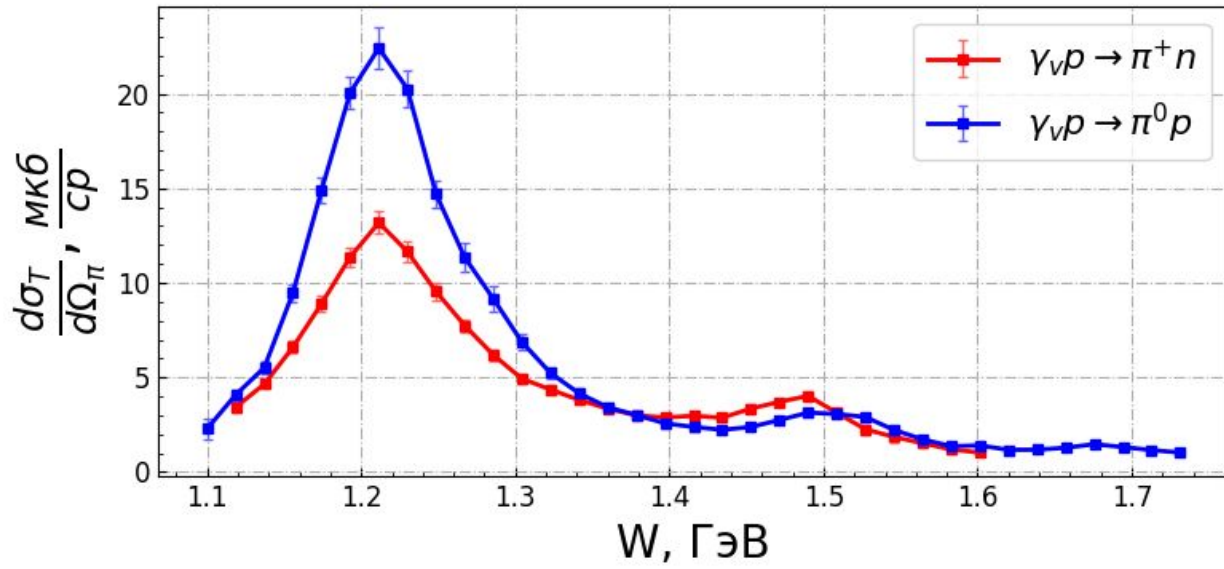
Cos(θ) =  (-1 < Cos(θ) < 1)

**Show**

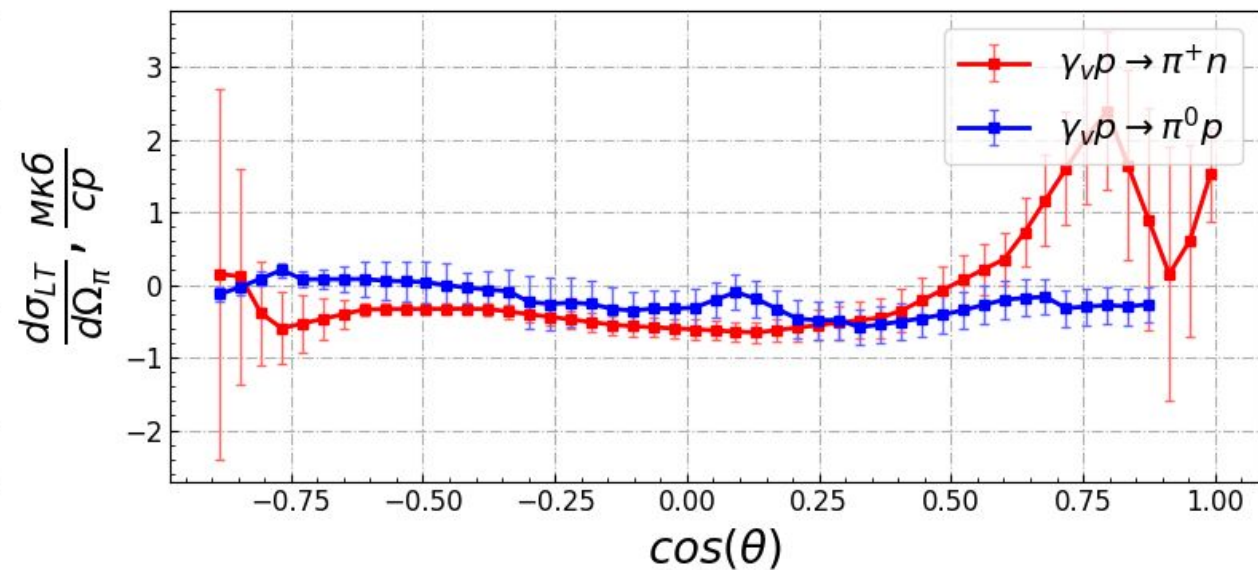
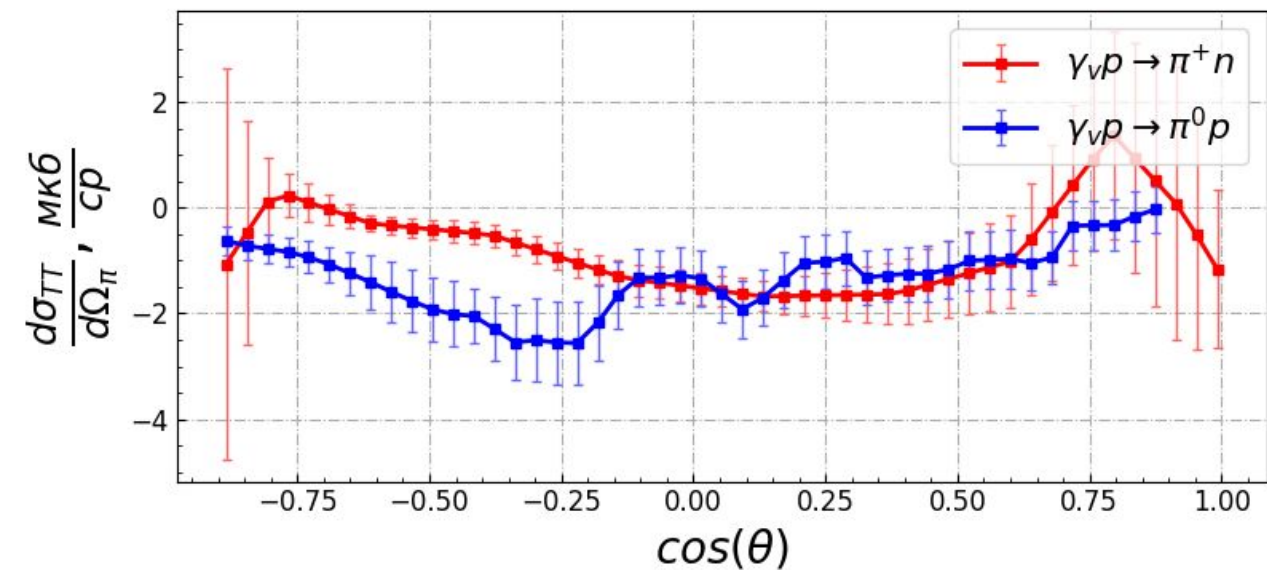
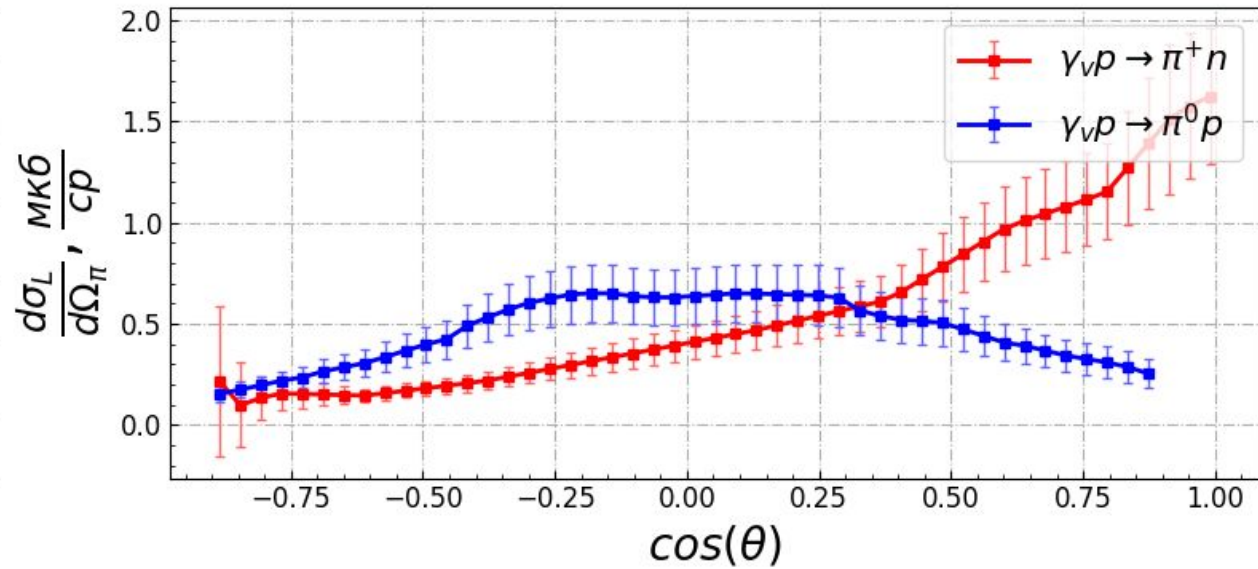
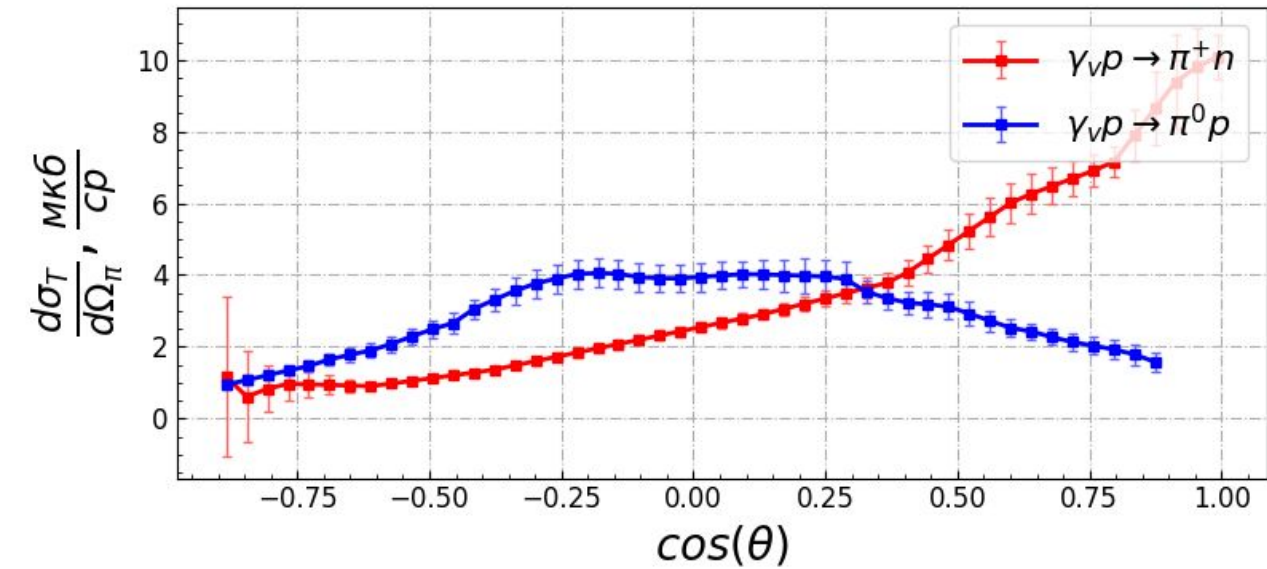
Data source: **CLAS Physics Database**

Developer: [sorokin.sa19@physics.msu.ru](mailto:sorokin.sa19@physics.msu.ru)

Зафиксировано:  $Q^2 = 0.43 \text{ ГэВ}^2$ ,  $\cos(\theta) = 0.2$

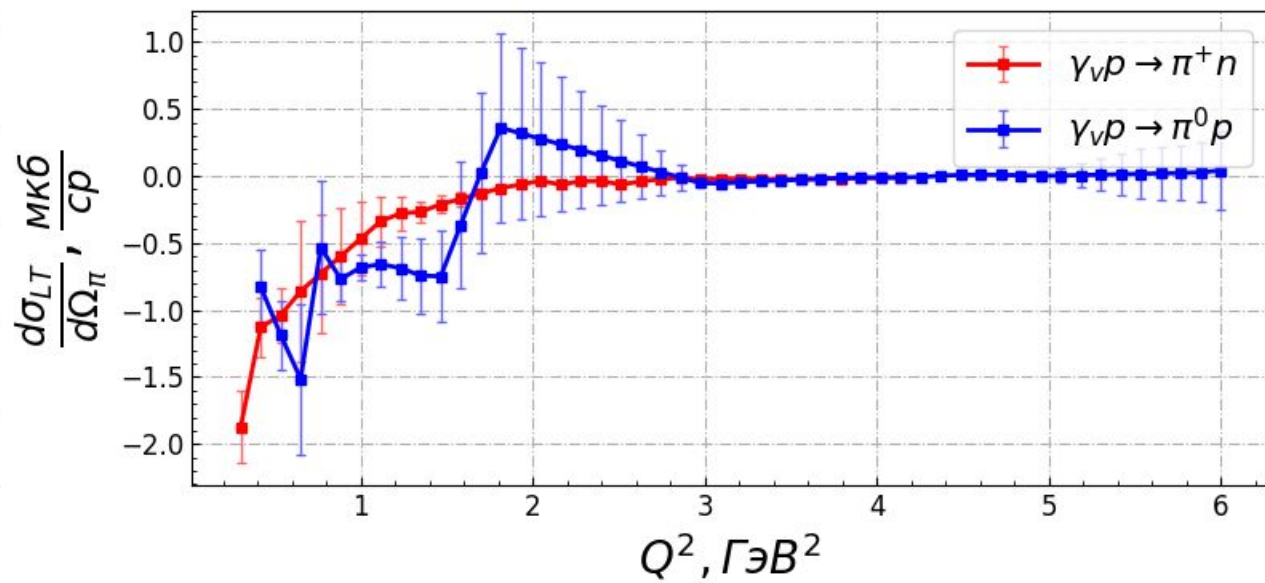
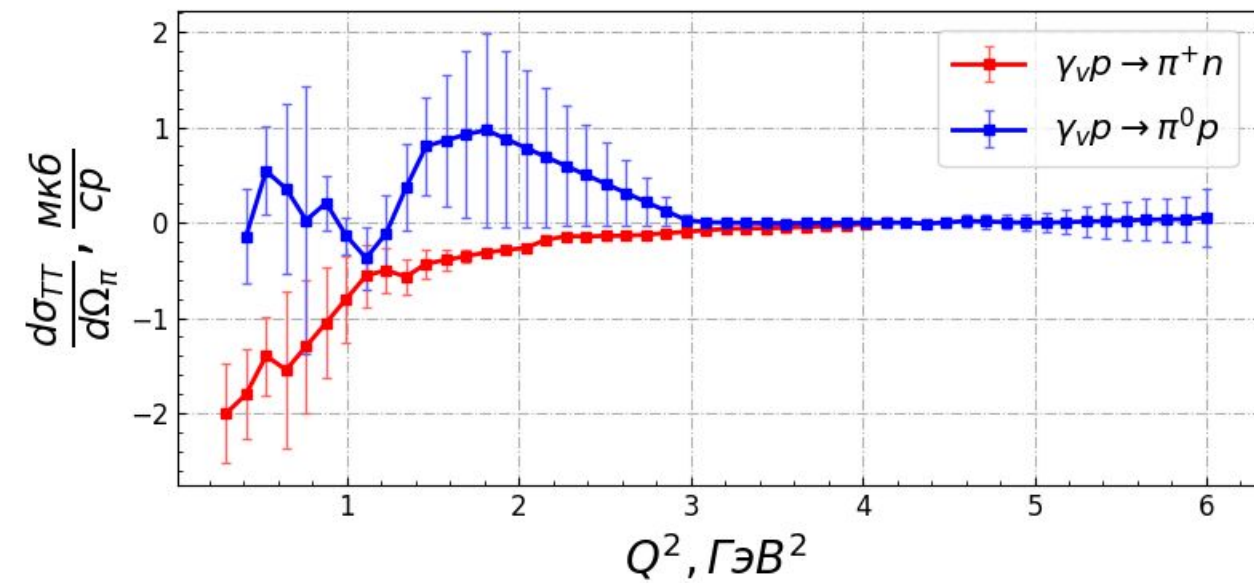
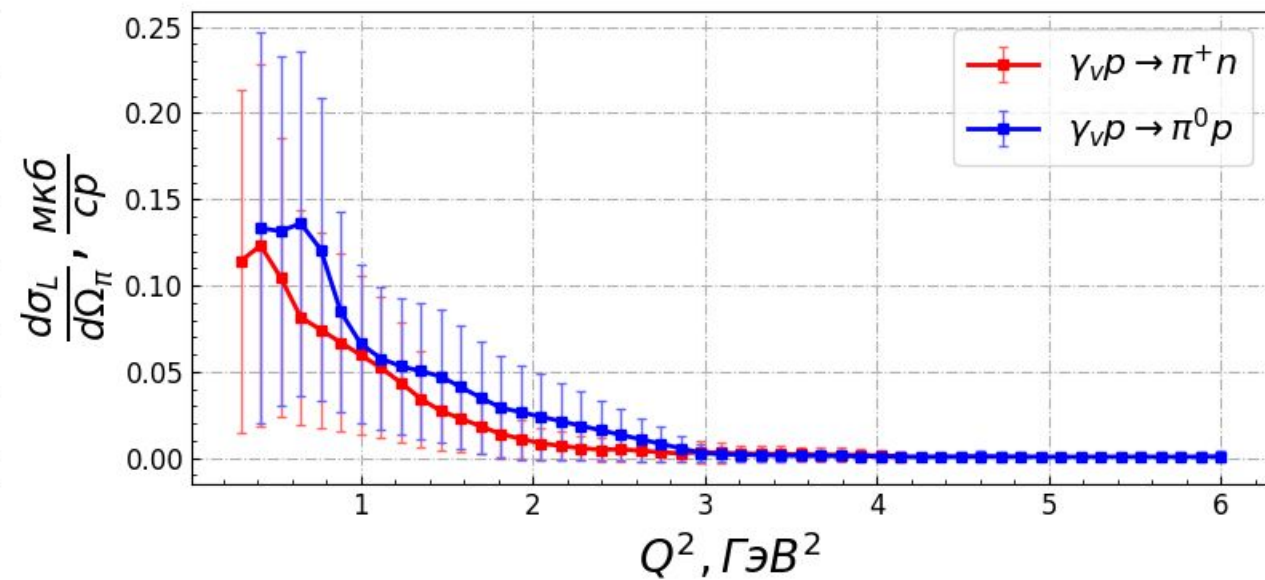
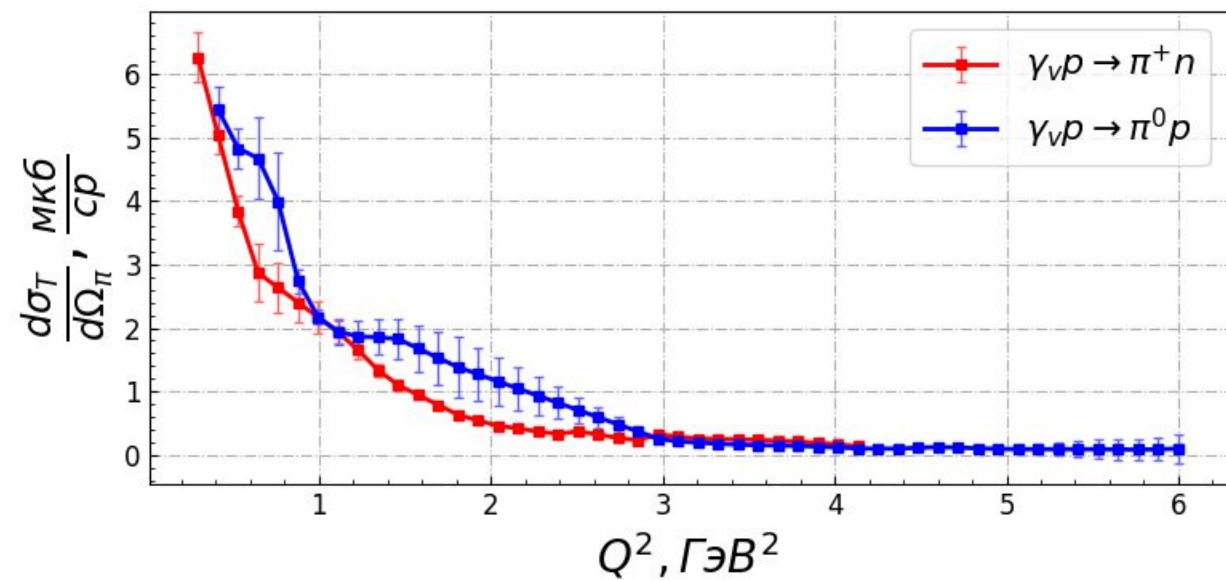


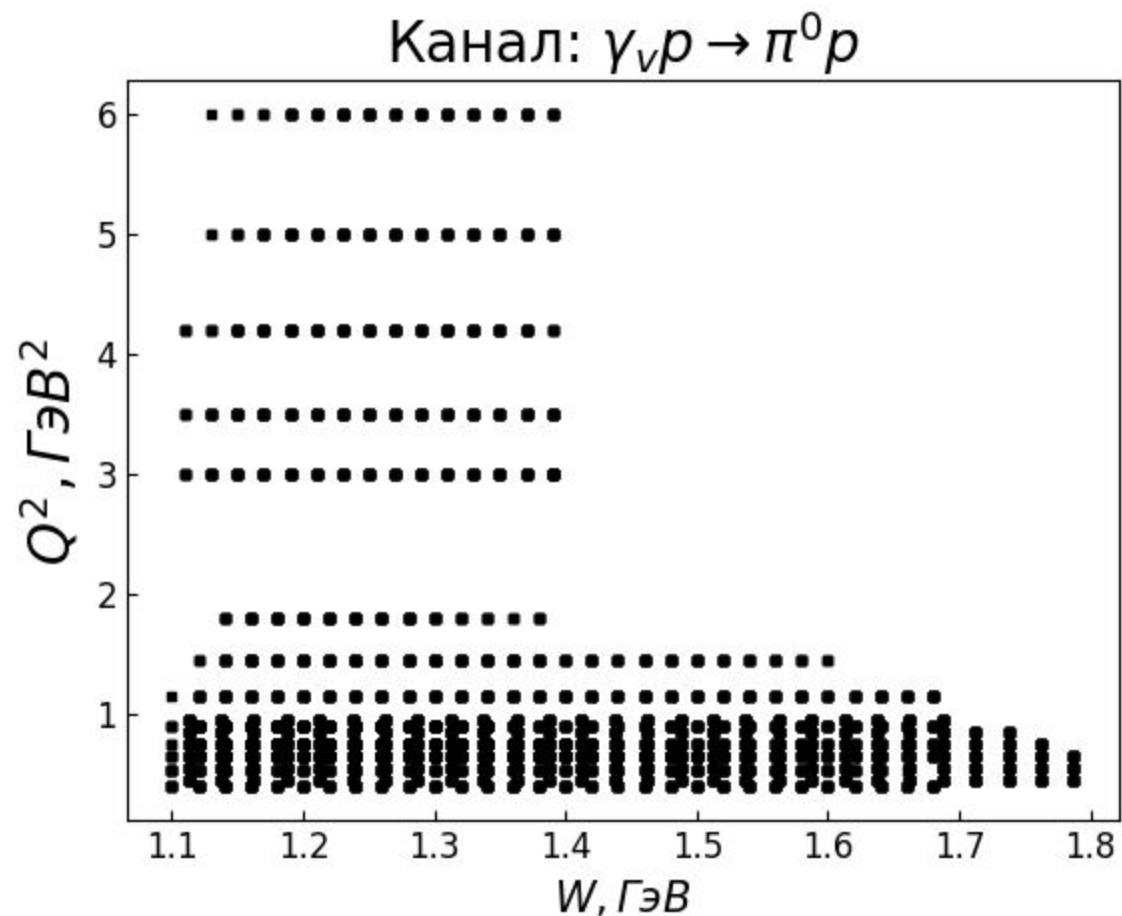
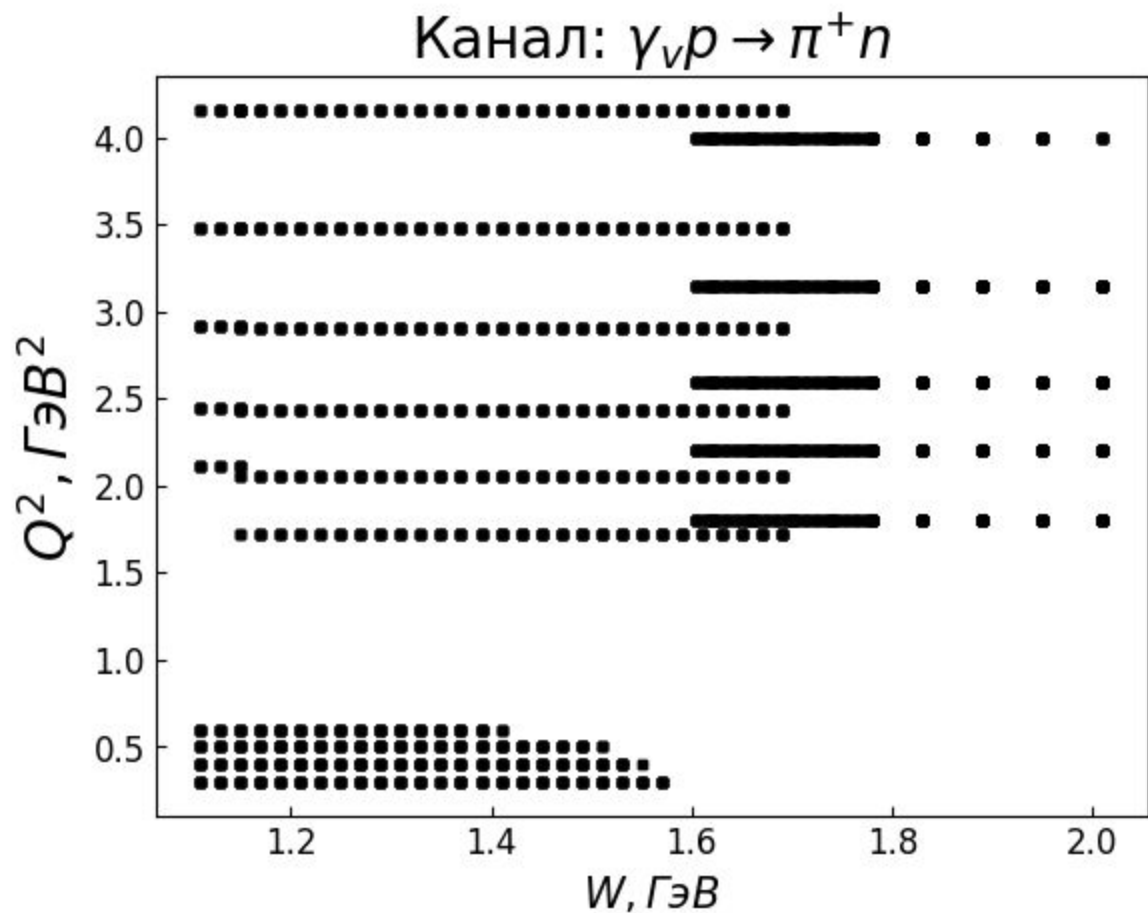
Зафиксировано:  $W = 1.35$  ГэВ,  $Q^2 = 0.5$  ГэВ<sup>2</sup>



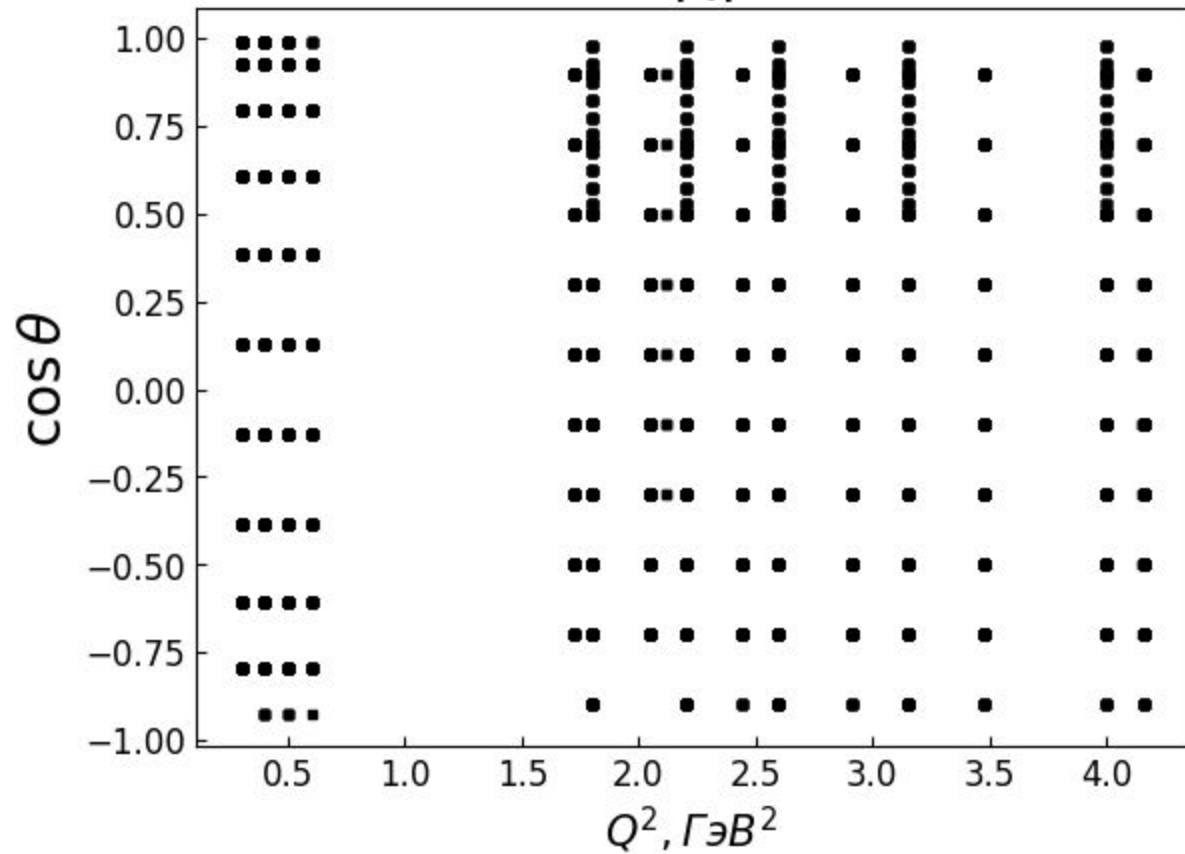


Зафиксировано:  $W = 1.14$  ГэВ,  $\cos(\theta) = 0.5$

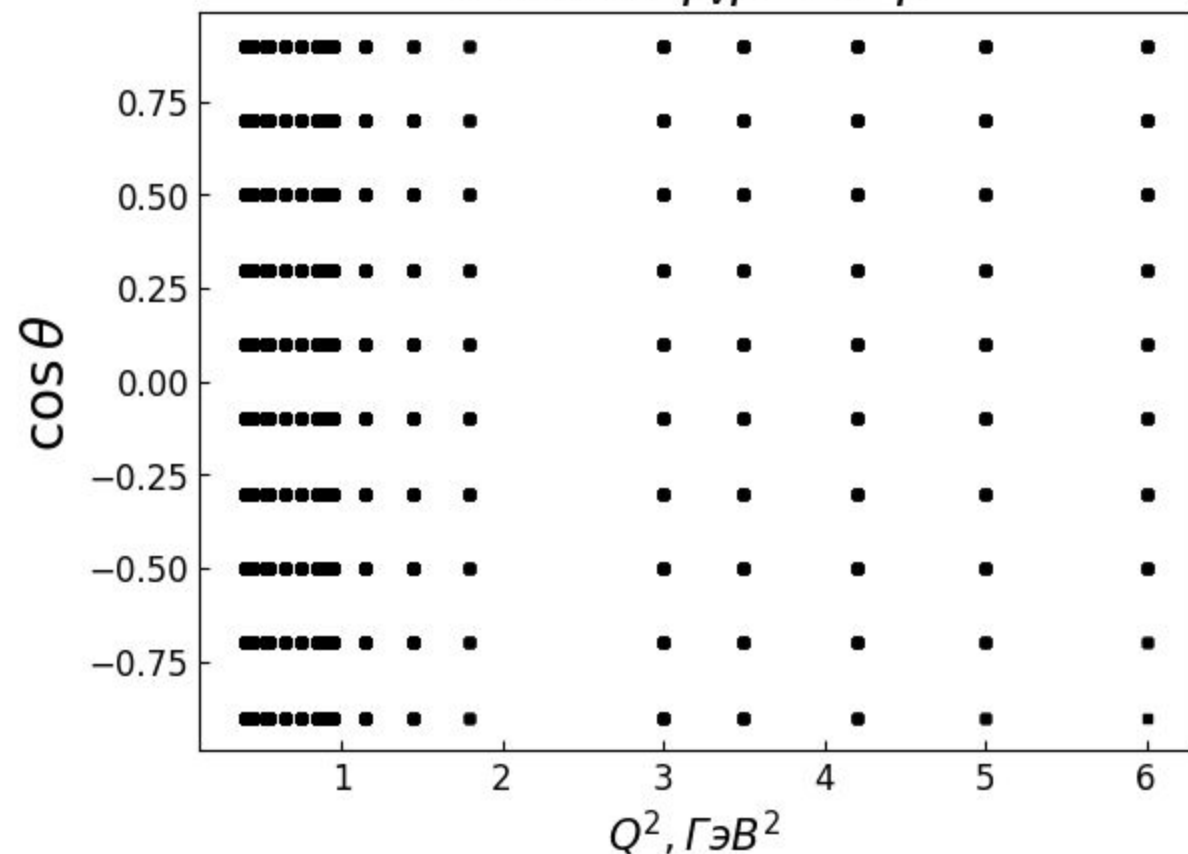


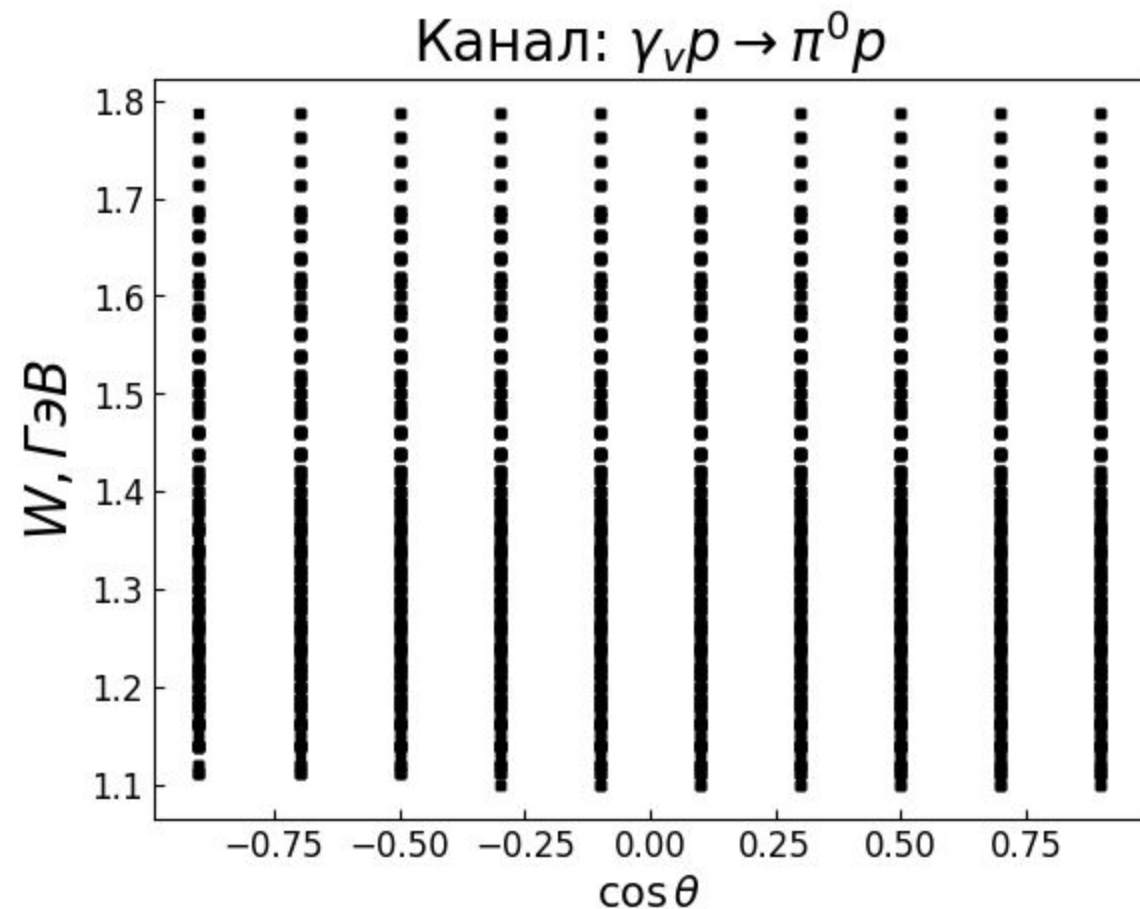
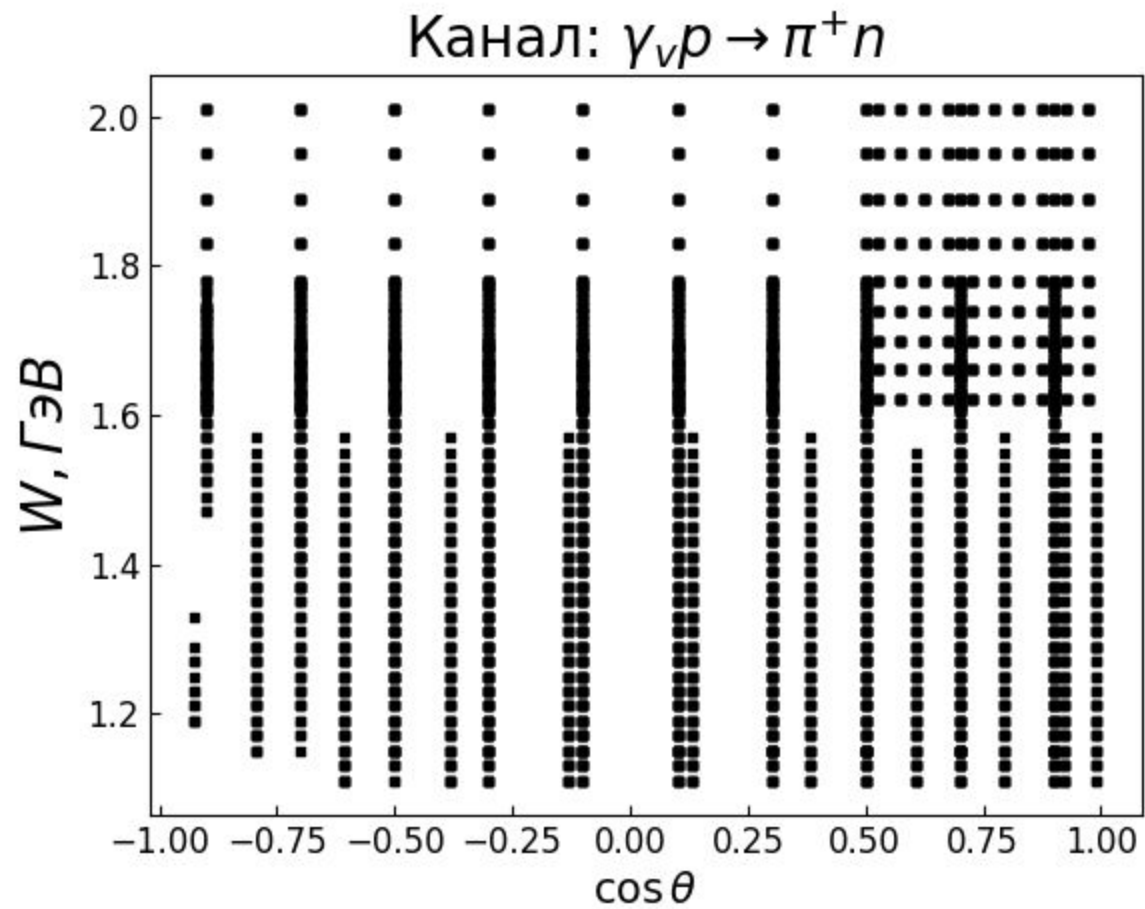


Канал:  $\gamma_V \rho \rightarrow \pi^+ n$



Канал:  $\gamma_V \rho \rightarrow \pi^0 \rho$





# Заключение

- Получены структурные функции  $\frac{d\sigma_t}{d\Omega_\pi}$ ,  $\frac{d\sigma_l}{d\Omega_\pi}$ ,  $\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega_\pi}$ ,  $\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega_\pi}$   
в области  $W < 2.01$  ГэВ и  $Q^2 < 4.16$  ГэВ<sup>2</sup>  
для каналов  $\gamma_v p \rightarrow \pi^0 p$  и  $\gamma_v p \rightarrow \pi^+ n$
- Создан web-инструмент для анализа результатов из базы данных CLAS

**Спасибо за внимание!**

$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_U}{d\Omega}$ (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)
-0.9	0.805246	0.157951	1.03271	0.249181	0.994803	0.209313
-0.7	1.25008	0.242888	1.28422	0.276958	1.28137	0.254684
-0.5	2.26769	0.26516	2.23089	0.26804	2.23395	0.246695
-0.3	2.27496	0.229446	2.34099	0.241614	2.33549	0.222304
-0.1	2.66084	0.269091	3.01101	0.279282	2.98183	0.256989
0.1	2.62771	0.287247	2.69553	0.334723	2.68988	0.307762
0.3	1.95514	0.200716	2.19691	0.273103	2.17676	0.250902
0.5	2.00759	0.191921	2.14293	0.219513	2.13165	0.201855
0.7	1.33237	0.142857	1.54284	0.179897	1.5253	0.165335
0.9	1.0305	0.22774	1.2046	0.182316	1.19009	0.168197

$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega}$ (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)
-0.9	0.367268	0.294477	0.471013	0.405067	0.453724	0.386502
-0.7	0.791202	0.453723	0.81281	0.522428	0.811006	0.516831
-0.5	-0.288526	0.542066	-0.283844	0.535389	-0.284233	0.535954
-0.3	-1.76239	0.544307	-1.81355	0.618231	-1.80929	0.612539
-0.1	-1.67175	0.647202	-1.89176	0.777021	-1.87342	0.766806
0.1	-0.0807141	0.589616	-0.0827973	0.604989	-0.0826237	0.603708
0.3	-1.08101	0.461547	-1.21469	0.554364	-1.20355	0.546413
0.5	-0.266326	0.461722	-0.28428	0.494455	-0.282784	0.491728
0.7	0.136324	0.339564	0.157859	0.393998	0.156064	0.389461
0.9	-0.0268139	0.553603	-0.0313441	0.647187	-0.0309665	0.639389

$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega}$ (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)
-0.9	-0.505639	0.172855	-0.64847	0.299675	-0.624667	0.279088
-0.7	-0.681732	0.280548	-0.70035	0.352696	-0.698796	0.34702
-0.5	-1.10342	0.320819	-1.08552	0.364325	-1.087	0.361178
-0.3	-0.393568	0.298635	-0.404991	0.312811	-0.40404	0.311659
-0.1	-0.0950457	0.341865	-0.107554	0.387136	-0.106511	0.383367
0.1	-0.919517	0.335209	-0.94325	0.377613	-0.941272	0.374073
0.3	0.051017	0.222953	0.0573257	0.250694	0.0567999	0.24838
0.5	0.149415	0.215192	0.159488	0.230783	0.158649	0.229485
0.7	0.425531	0.160673	0.49275	0.201763	0.487148	0.198368
0.9	0.602659	0.267168	0.704477	0.364886	0.695991	0.358515

method 3						
$\cos(\theta)$	$\frac{d\sigma_u}{d\Omega}$	$\Delta \frac{d\sigma_u}{d\Omega}$	$\frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega}$	$\Delta \frac{d\sigma_{tt}}{d\Omega}$	$\frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega}$	$\Delta \frac{d\sigma_{lt}}{d\Omega}$
-0.7	1.53747	0.339803	0.973097	0.627219	-0.83846	0.42419
-0.5	2.441	0.310215	-0.310577	0.585954	-1.18775	0.401661
-0.3	2.22981	0.220266	-1.72742	0.586599	-0.385757	0.297731
-0.1	2.79286	0.260631	-1.7547	0.720951	-0.0997615	0.359089
0.9	1.09115	0.219789	-0.0283921	0.586246	0.638129	0.34123

$$W = 1.46 \text{ GeV}, Q^2 = 0.6 \text{ GeV}^2, E_{beam} = 6 \text{ GeV}$$