

Поляризованная структурная функция электророждения нейтрального пиона на протоне в резонансной области (по материалам кандидатской диссертации)

Голубенко Анна Александровна

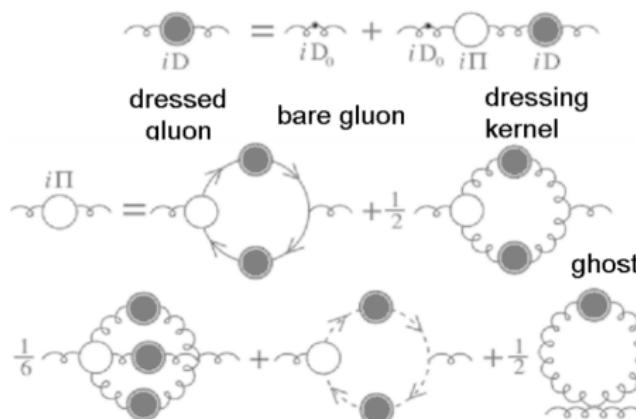
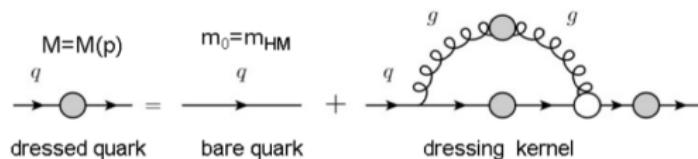
Специальность: 01.04.16

Науч. руководитель: к.ф.-м.н., с.н.с Исупов Е.Л.

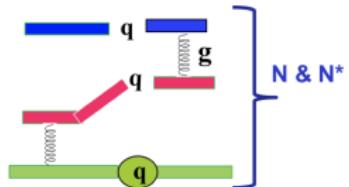
Научно-исследовательский институт ядерной физики
имени Д.В.Скобельцына МГУ им. М.В.Ломоносова

Москва, 2022

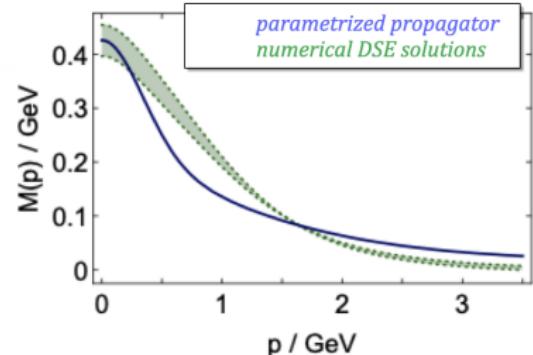
Возбужденные состояния нуклонов как инструмент для изучения сильной КХД



Emergence of Dressed Quarks and Gluons
D. Binosi et al, Phys. Rev. D95, 031501 (2017)

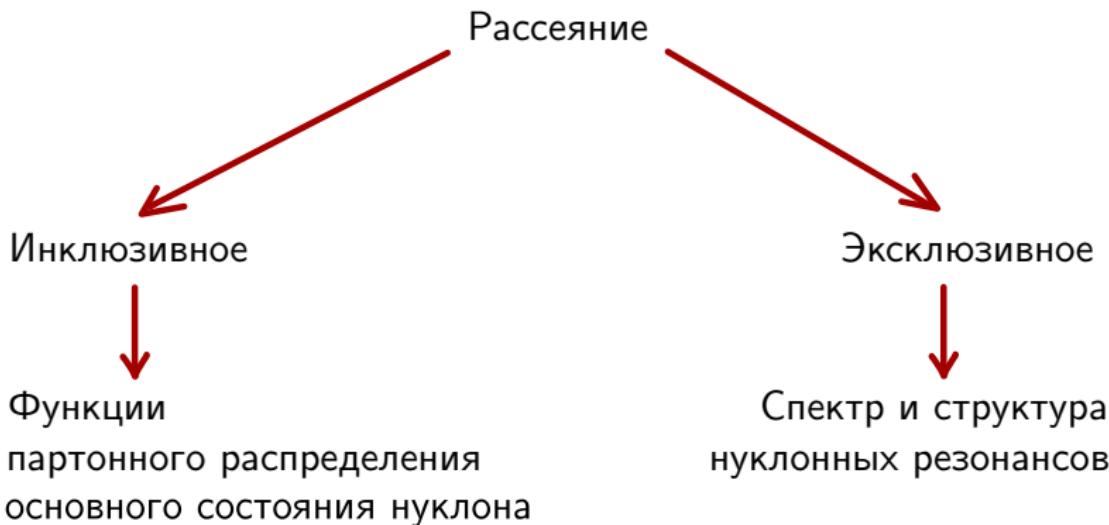


Dressed Quark Borromean Binding in N/N^*
J. Segovia et al., arXiv:1908:0572 [nucl-th]

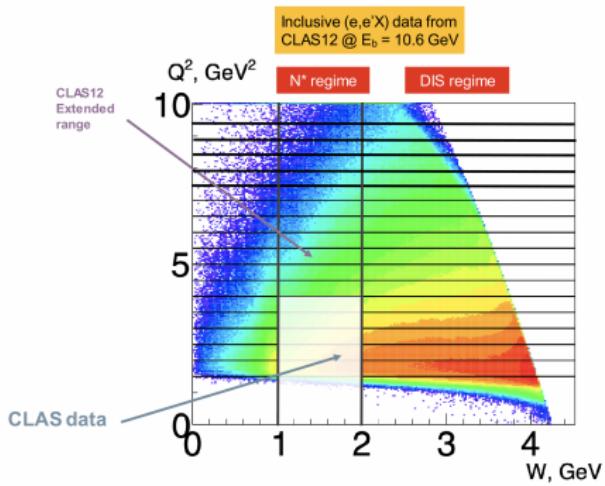
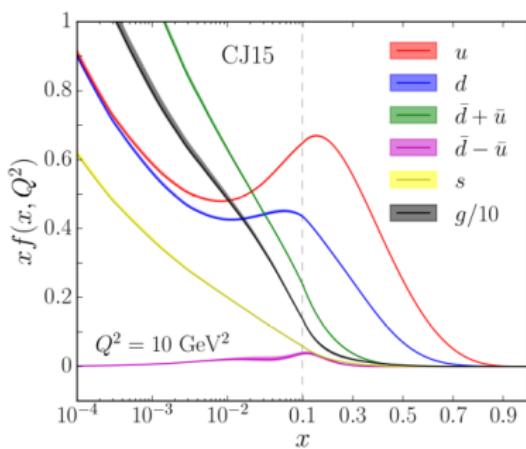


Dressed Quark Mass Function
C.D. Roberts, Few Body Syst. 58, 5 (2017)

Методы исследования структуры нуклонов



Исследование функций partонных распределений в резонансной области



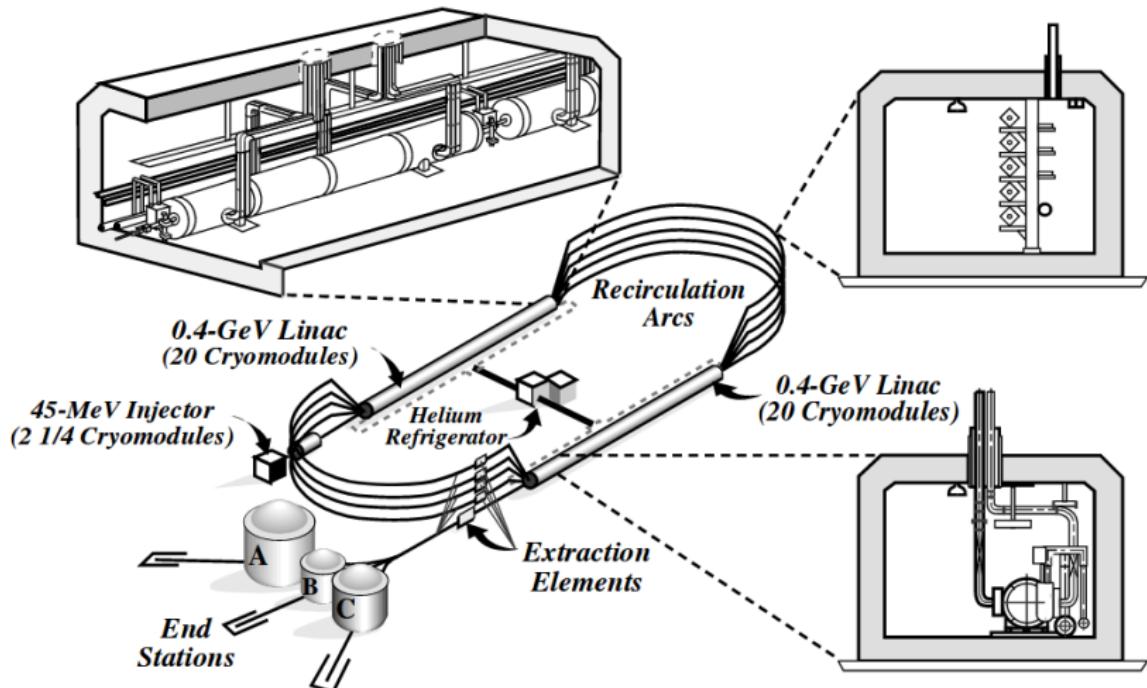


Рис. 1: Ускоритель CEBAF.

Детектор CLAS

CEBAF
Large
Acceptance
Spectrometer

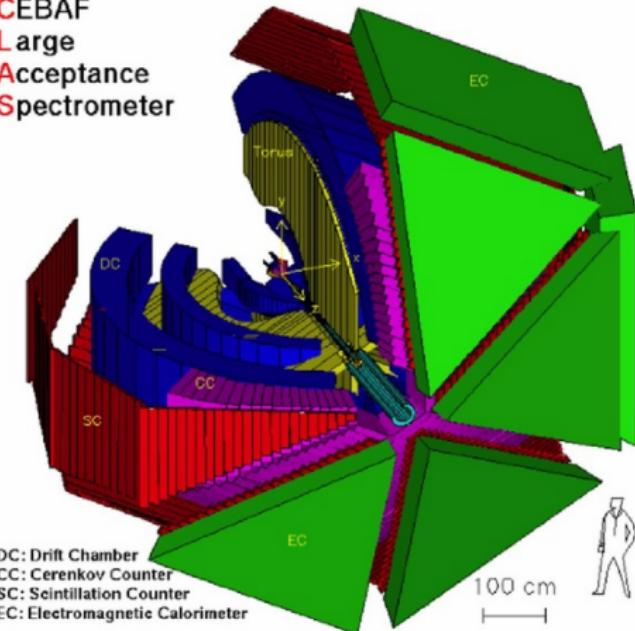
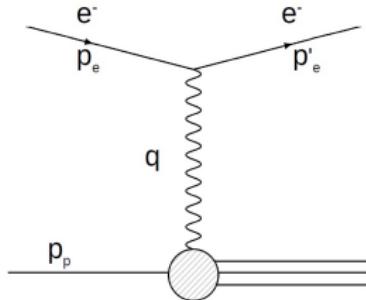


Рис. 2: Детектор CLAS.

Кинематика электрон-протонного рассеяния



$$q = p_e - p'_e \quad (1)$$

$$W = \sqrt{(q + p_p)^2} \quad (2)$$

$$Q^2 = -q^2 = 4E_e E'_e \sin^2 \frac{\theta_{ee'}}{2} \quad (3)$$

$$\nu = \frac{qp_p}{M_N} = \frac{W^2 + Q^2 - M_N^2}{2M_N} = (E_e - E'_e) \quad (4)$$

$$x_B = \frac{Q^2}{2M_N \nu} \quad (5)$$

Структурные функции инклюзивного электрон-протонного рассеяния

$$\sigma(W, Q^2) = \sigma_T(W, Q^2) + \varepsilon \sigma_L(W, Q^2), \quad (6)$$

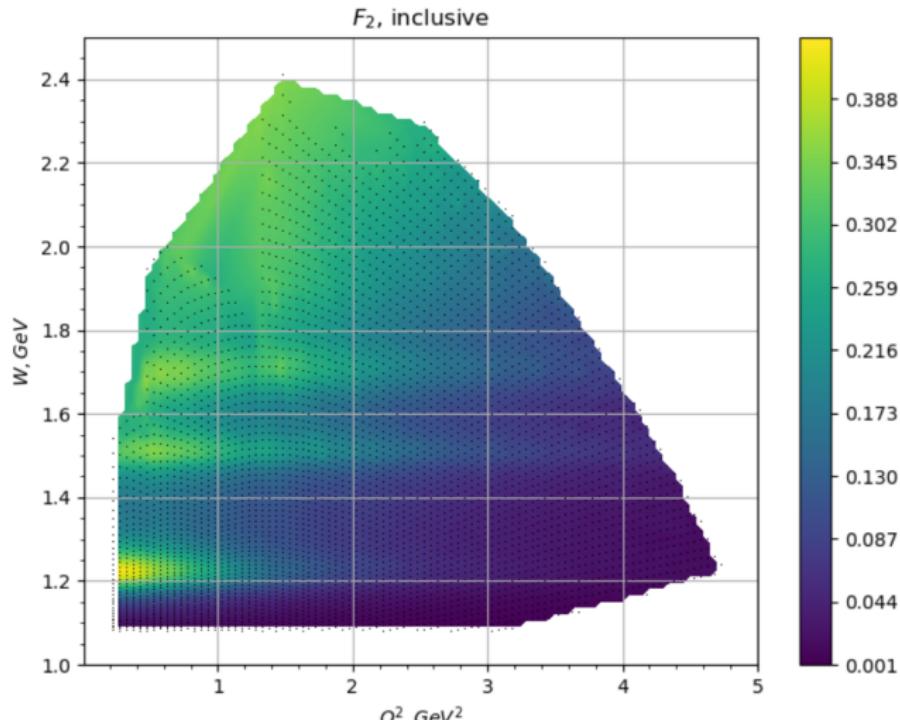
$$\varepsilon = \left(1 + 2 \left(1 + \frac{\nu^2}{Q^2} \right) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) \right)^{-1}, \quad (7)$$

$$F_1 = M_p \frac{K}{4\pi^2 \alpha} \sigma_T(W, Q^2), \quad (8)$$

$$F_2 = \nu \frac{\sigma_T(W, Q^2) + \sigma_L(W, Q^2)}{4\pi^2 \alpha} \frac{(2\nu M_p - Q^2) Q^2}{2M_p(Q^2 + \nu^2)}, \quad (9)$$

где M_p – масса протона, ν – переданная электроном энергия,
 $K = \frac{2\nu M_p - Q^2}{2M_p}$.

Данные, доступные из экспериментов CLAS

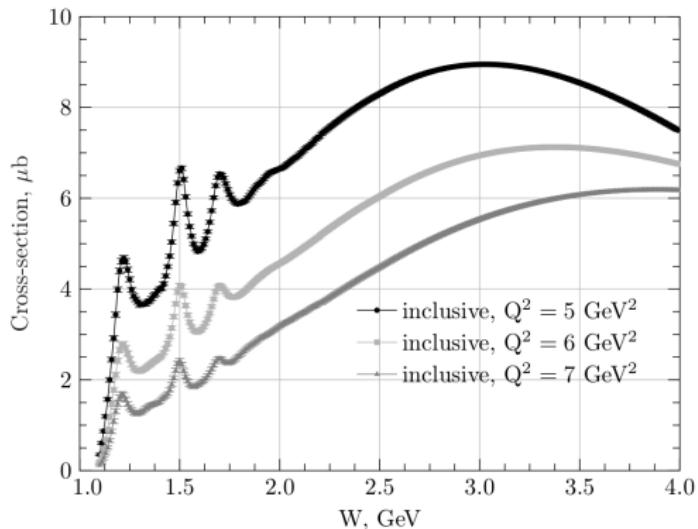


Интерполяция и экстраполяция структурных функций F_1 , F_2

- Для интерполяции инклузивных структурных функций и сечений были использованы данные CLAS
- Для экстраполяции были использованы данные параметризации M.E. Christy and P.E. Bosted, arXiv:0711.0159
- Комбинация данных, полученных из интерполяции и экстраполяции, была параметризована при помощи подхода Operator Product Expansion:

$$F_1(W, Q^2) = C_{0,1}(W) + \frac{C_{1,1}(W)}{Q^2} + \frac{C_{2,1}(W)}{Q^4} + \dots \quad (10)$$
$$F_2(W, Q^2) = C_{0,2}(W) + \frac{C_{1,2}(W)}{Q^2} + \frac{C_{2,2}(W)}{Q^4} + \dots$$

Экстраполированные инклюзивные сечения рассеяния электрона на протоне



- $E_b = 10.6 \text{ GeV}$
- Интегр. светимость:
 $12.8 \cdot 10^{10} \text{ мбарн}^{-1}$
- $\Delta W = 0.01 \text{ GeV}$
 $\Delta Q^2 = 0.1 \text{ GeV}^2$
- Стат. неопред.:
0.2 – 2.0%

CLAS Physics Database
<http://clasweb.jlab.org/physicsdb>

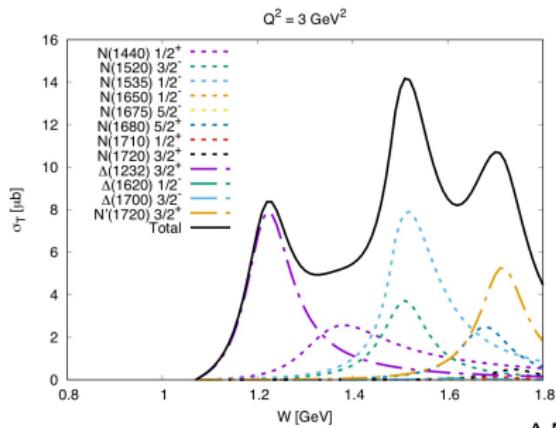
Оценка резонансных вкладов в инклюзивные сечения электрон-протонного рассеяния

$$\sigma_{L,T}^R(W, Q^2) = \frac{\pi}{q_\gamma^2} \sum_{N^*, \Delta^*} (2J_r + 1) \frac{M_r^2 \Gamma_{tot}(W) \Gamma_\gamma^{T,L}(M_r)}{(M_r^2 - W^2)^2 + M_r^2 \Gamma_{tot}^2(W)} \frac{q_\gamma}{K}. \quad (11)$$

$$\Gamma_r^T(M_r, Q^2) = \frac{q_{\gamma,r}^2(Q^2)}{\pi} \frac{2M_N}{(2J_r + 1)M_r} (|A_{1/2}(Q^2)|^2 + |A_{3/2}(Q^2)|^2); \quad (12)$$

$$\Gamma_r^L(M_r, Q^2) = 2 \frac{q_{\gamma,r}^2(Q^2)}{\pi} \frac{2M_N}{(2J_r + 1)M_r} |S_{1/2}(Q^2)|^2; \quad (13)$$

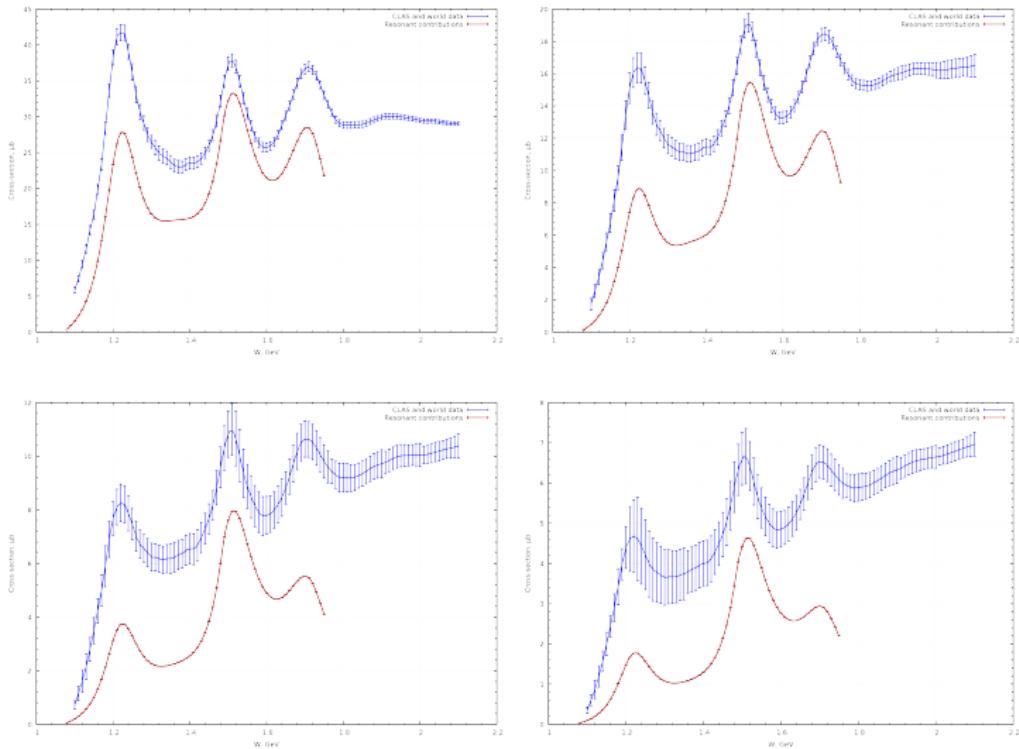
где $q_{\gamma,r} = q_\gamma|_{W=M_r}$.



A.N. Hiller Blin, ..., A.A. Golubenko et al. Phys.Rev. C100, 035201 (2019)

N^*	M_r [MeV]	Γ_r [MeV]	L_r	$\beta_{\pi N}$	$\beta_{\eta N}$	$\beta_{r.}$	X [GeV]
$\Delta(1232) \ 3/2^+$	1232	117	1	1.00	0	0	—
$N(1440) \ 1/2^+$	1430	350	1	0.65	0	0.35	0.3
$N(1520) \ 3/2^-$	1515	115	2	0.60	0	0.40	0.1
$N(1535) \ 1/2^-$	1535	150	0	0.45	0.42	0.13	0.5
$\Delta(1620) \ 1/2^-$	1630	140	0	0.25	0	0.75	0.5
$N(1650) \ 1/2^-$	1655	140	0	0.60	0.18	0.22	0.5
$N(1675) \ 5/2^-$	1675	150	2	0.40	0	0.60	0.5
$N(1680) \ 5/2^+$	1685	130	3	0.68	0	0.32	0.2
$\Delta(1700) \ 3/2^-$	1700	293	2	0.10	0	0.90	0.22
$N(1710) \ 1/2^+$	1710	100	1	0.13	0.30	0.57	0.5
$N(1720) \ 3/2^+$	1748	114	1	0.14	0.04	0.82	0.5
$N'(1720) \ 3/2^+$	1725	120	1	0.38	0	0.62	0.5

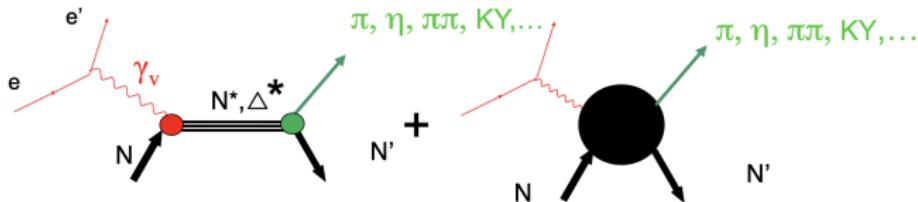
Оценка резонансных вкладов в инклюзивные сечения электрон-протонного рассеяния



Извлечение амплитуд электророждения $\gamma_v NN^*$ из эксклюзивного мезонного электророждения на нуклонах

- Real $A_{1/2}(Q^2)$, $A_{3/2}(Q^2)$, $S_{1/2}(Q^2)$

I.G. Aznauryan and V.D. Burkert,
Prog. Part. Nucl. Phys. 67, 1 (2012)



$$\Gamma_\gamma = \frac{k_{\gamma N^*}^2}{\pi} \frac{2M_N}{(2J_\gamma + 1)M_N} (|A_{1/2}(Q^2)|^2 + |A_{3/2}(Q^2)|^2) \quad (14)$$

I.G. Aznauryan and V.D. Burkert, Prog. Part. Nucl. Phys. 67, 1 (2012)

Измеренные данные по электророждению одиночного псевдоскалярного мезона на нуклоне

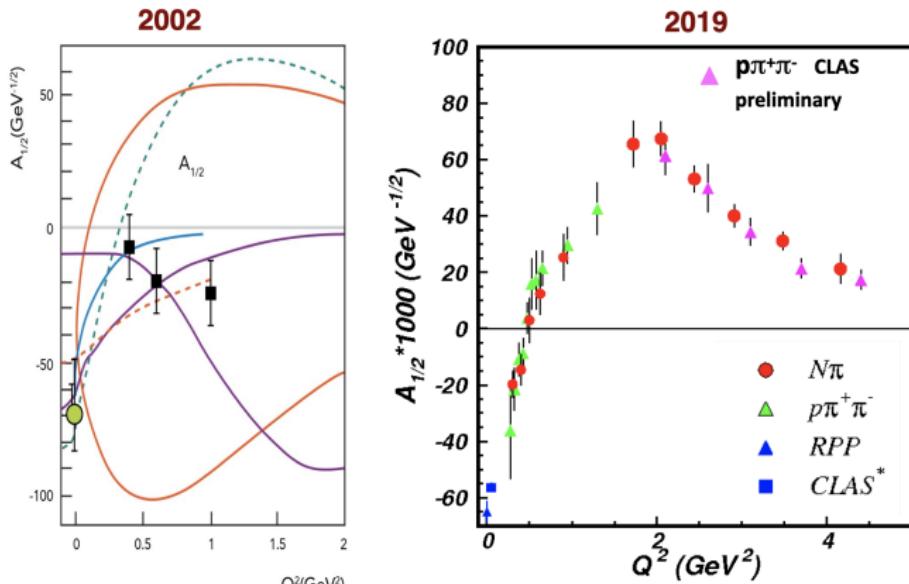
Q^2

W

JLab/Hall B		Q^2	W	
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p, \pi^+ n)$	0.16–0.36	1.1–1.38	[8]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p)$	0.4–1.8	1.1–1.68	[9]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p)$	3.0–6.0	1.1–1.39	[10]
	$A_{LT'}(\pi^0 p)$	0.4, 0.65	1.1–1.66	[11]
	$A_t, A_{et}(\pi^0 p)$	0.252, 0.385, 0.611	1.12–1.55	[12]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^+ n)$	0.3–0.6	1.1–1.55	[13]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}, A_{LT'}(\pi^+ n)$	1.7–4.5	1.11–1.69	[14]
	$A_{LT'}(\pi^+ n)$	0.4, 0.65	1.1–1.66	[15]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\eta p)$	0.375–1.385	1.5–1.86	[16]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\eta p)$	0.17–3.1	1.5–2.3	[17]

Progress in Particle and Nuclear Physics 67 (2012) 1 I.G. Aznauryan, V.D. Burkert

Амплитуды электровозбуждения Роперовского резонанса

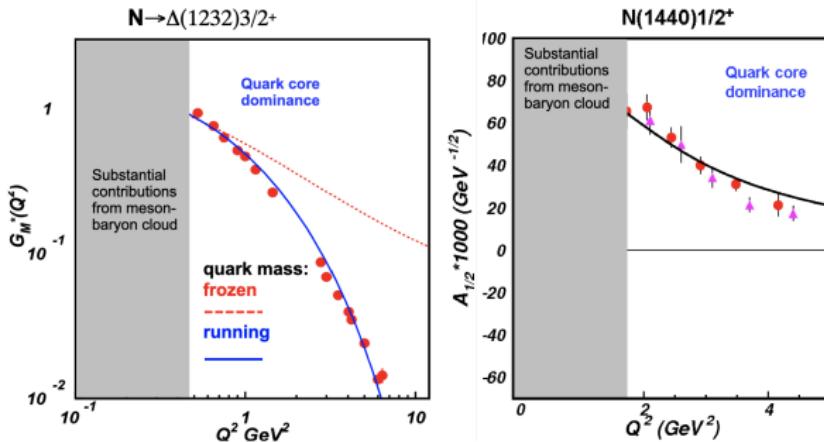


V. D. Burkert, Baryons 2016 and the recent update from
the CLAS p+p-p electroproduction off protons data

Изучение Роперовского резонанса в подходе Дайсона-Шингера

Уравнения Дайсона-Швингера:

- J. Segovia et al., Phys. Rev. Lett. 115, 171801 (2015).
 - J. Segovia et al., Few Body Syst. 55, 1185 (2014).



Измеренные данные по электророждению одиночного псевдоскалярного мезона на нуклоне

Q^2

W

JLab/Hall B		Q^2	W	
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p, \pi^+ n)$	0.16–0.36	1.1–1.38	[8]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p)$	0.4–1.8	1.1–1.68	[9]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^0 p)$	3.0–6.0	1.1–1.39	[10]
	$A_{LT'}(\pi^0 p)$	0.4, 0.65	1.1–1.66	[11]
	$A_t, A_{et}(\pi^0 p)$	0.252, 0.385, 0.611	1.12–1.55	[12]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\pi^+ n)$	0.3–0.6	1.1–1.55	[13]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}, A_{LT'}(\pi^+ n)$	1.7–4.5	1.11–1.69	[14]
	$A_{LT'}(\pi^+ n)$	0.4, 0.65	1.1–1.66	[15]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\eta p)$	0.375–1.385	1.5–1.86	[16]
	$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\eta p)$	0.17–3.1	1.5–2.3	[17]

Progress in Particle and Nuclear Physics 67 (2012) 1 I.G. Aznauryan, V.D. Burkert

Набор данных e1e



- Энергия пучка:
2.036 ГэВ
- $0.4 < Q^2 < 1 \text{ GeV}^2$
- $1.1 < W < 1.8 \text{ GeV}$

Доступ к третьей резонансной области

Exclusive $\pi^0 p$ electroproduction off protons in the resonance region at photon virtualities $0.4 \text{ GeV}^2 \leq Q^2 \leq 1 \text{ GeV}^2$

N. Markov,^{8,36,*} K. Joo,⁸ V.D. Burkert,³⁶ V.I. Mokeev,³⁶ L. C. Smith,⁴¹ M. Ungaro,³⁶ S. Adhikari,¹¹

Набор данных ele:

Доступная кинематическая область:

- $0.4 < Q^2 < 1 \text{ GeV}^2$;
- $1.1 < W < 1.8 \text{ GeV}$.

Набор данных e1e



- Энергия пучка:
2.036 ГэВ
- $0.4 < Q^2 < 1 \text{ GeV}^2$
- $1.1 < W < 1.8 \text{ GeV}$
- Поляризация пучка:
 $\sim 80\%$
- Мишень:
 H_2 , толщина 2 см
- Количество триггеров:
 $\sim 1.5 \cdot 10^9$

Идентификация электронов

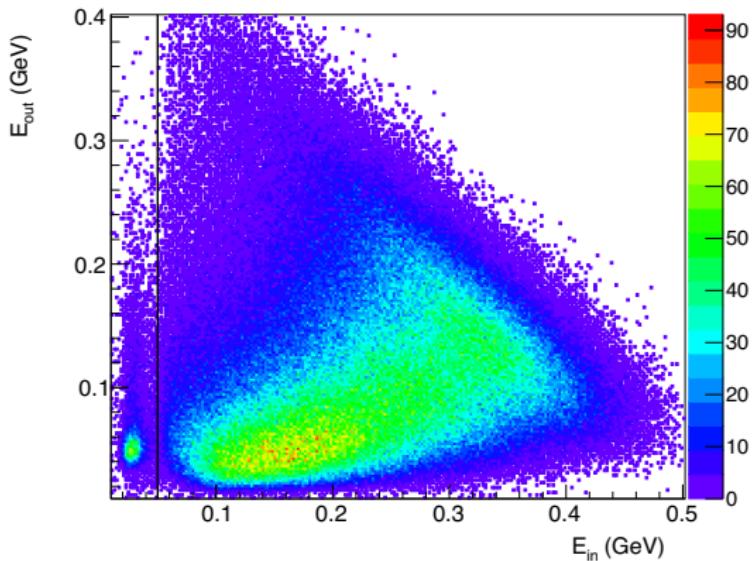


Рис. 3: Энергия, выделяемая отрицательно заряженными частицами во внутреннем калориметре, по сравнению с энергией, выделяемой во внешнем калориметре. Ось цветов (z) представляет количество событий.

Идентификация электронов

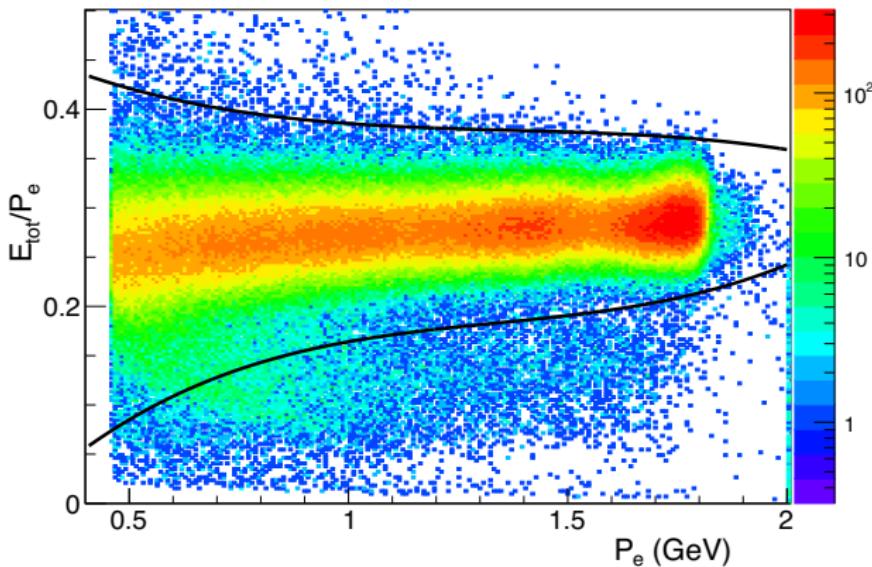


Рис. 4: Энергия, оставляемая отрицательно заряженными частицами в калориметре, деленная на импульс частиц в зависимости от импульса. Ось цветов (z) показывает количество событий.

Идентификация протонов

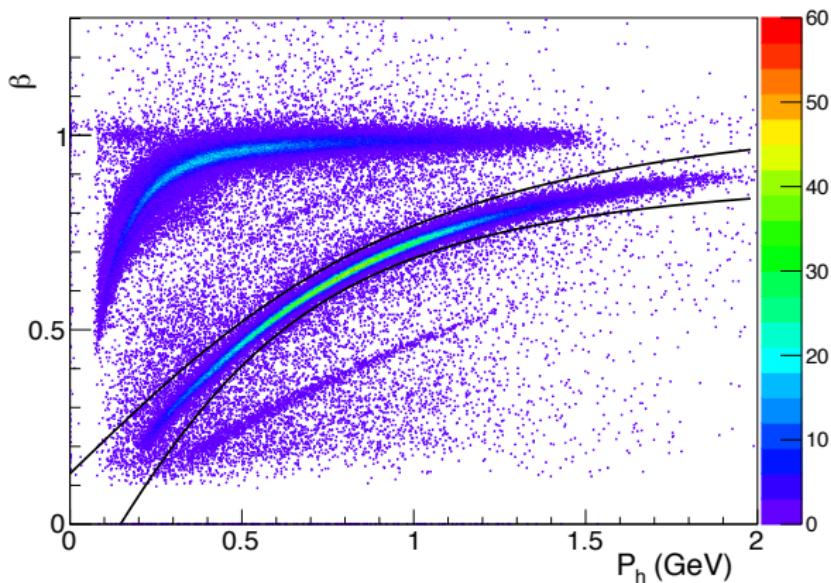


Рис. 5: β как функция импульса для положительно заряженных частиц.
Ось цветов (z) представляет количество событий.

Геометрические отборы областей доверия

CEBAF
Large
Acceptance
Spectrometer

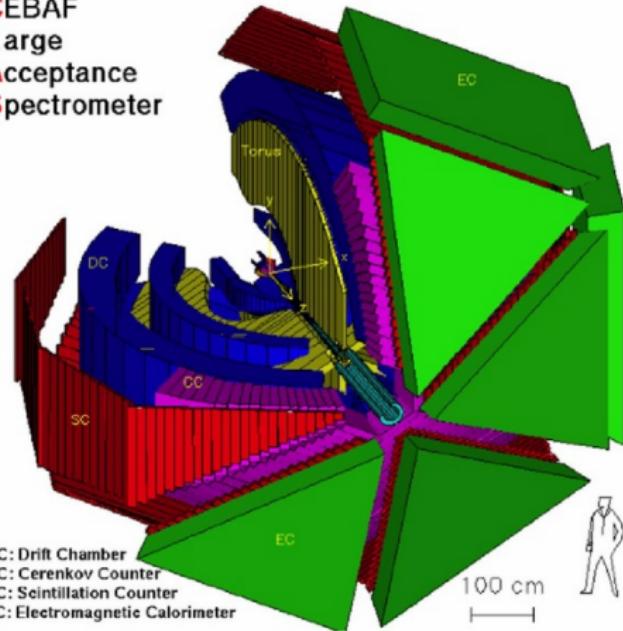


Рис. 6: Детектор CLAS.

Геометрические отборы областей доверия

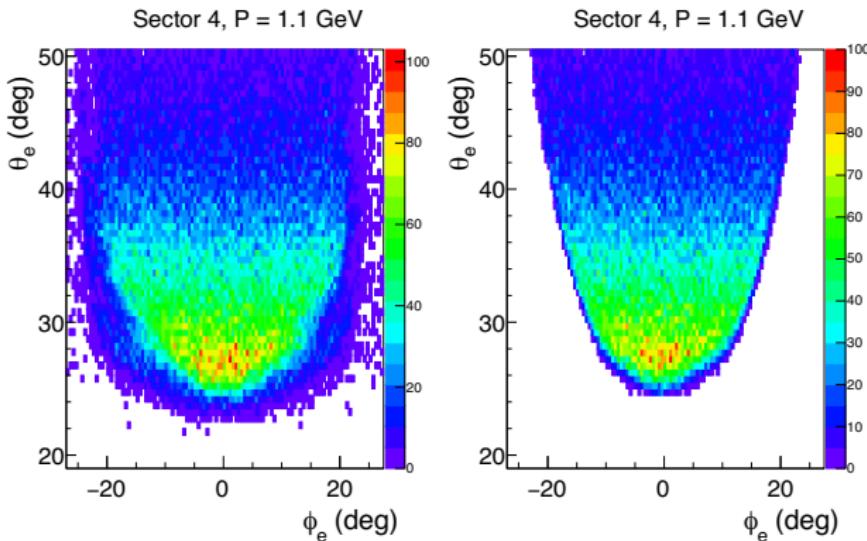


Рис. 7: Выбор доверительной области для электронов. Ось цветов (z) представляет количество событий.

Ограничения на вершину электрона

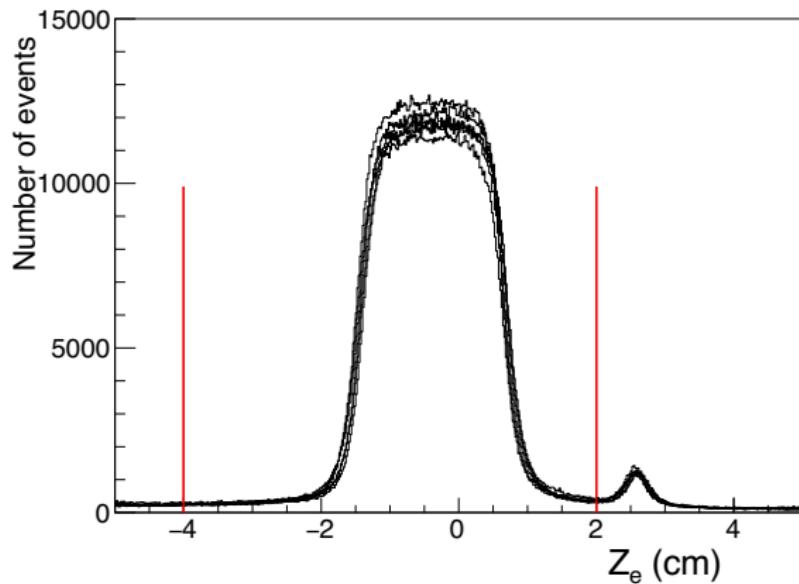
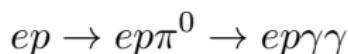


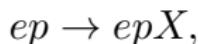
Рис. 8: Z координата вершины для электронов в разных секторах (разные кривые).

Идентификация реакции $ep \rightarrow ep\pi^0$

Реакция



будет идентифицироваться методом "недостающей массы" в канале:

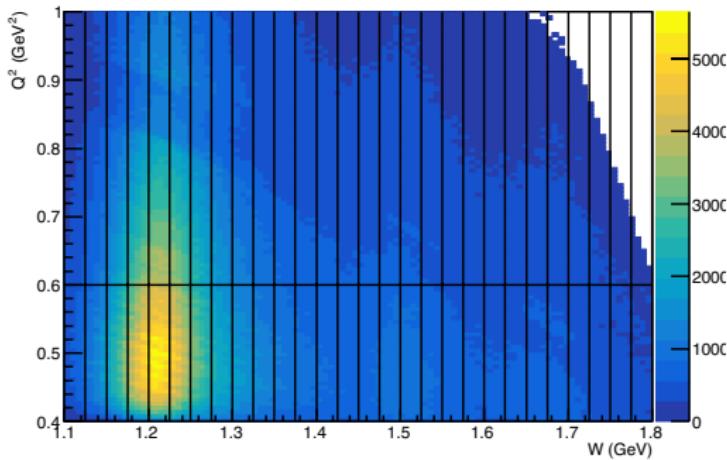


где сигнал от π^0 будет выделяться при помощи недостающей массы частицы X:

$$MM^2(\pi^0) = (P_e + P_p - P_{e'} - P_{p'})^2, \quad (15)$$

где P_e , $P_{e'}$, P_p , $P_{p'}$ - четырехвектора начального и конечного электронов и начального и конечного протонов соответственно.

Разбиение кинематической области



Переменная	Размер ячейки	Количество ячеек	Нижняя граница	Верхняя граница
W , ГэВ	0.025	28	1.1	1.7-1.8
Q^2 , ГэВ 2	0.2-0.4	2	0.4	1.0
$\cos\theta_{\pi^0}$	0.2	10	-1	1
ϕ_{π^0}	30°	12	0°	360°

Идентификация реакции $ep \rightarrow ep\pi^0$

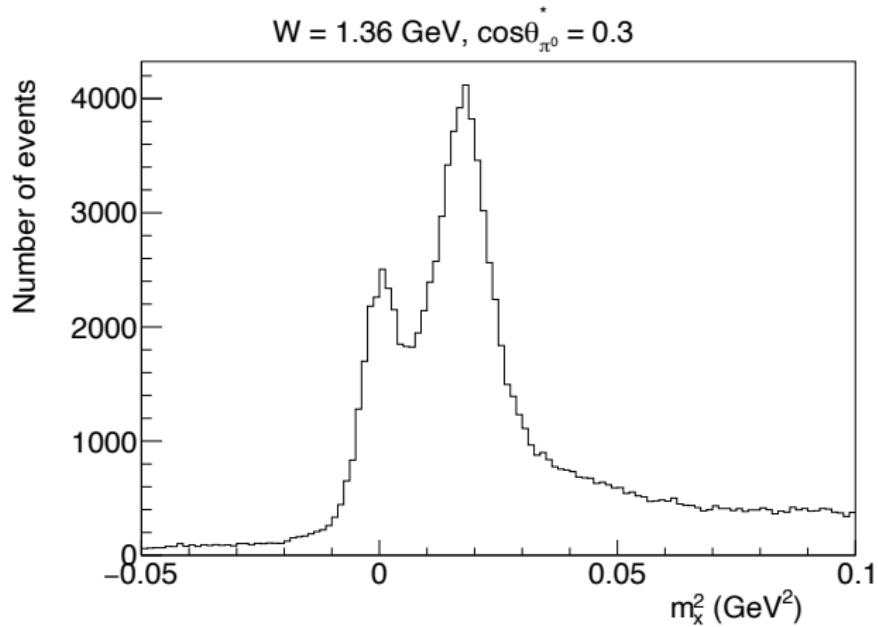
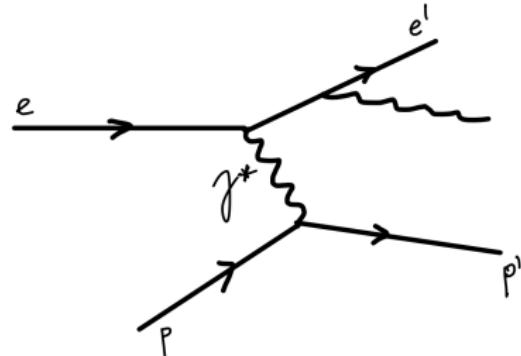
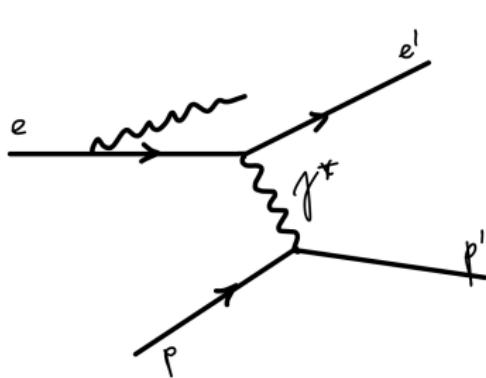


Рис. 9: Распределение недостающей массы в реакции $ep \rightarrow epX$.

Пре- и пострадиационные упругие события



$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{E_f}{M_p - E_f + E_f \cos \theta_{e'}}\right) \operatorname{tg} \frac{\theta_{e'}}{2}} \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{1}{\left(1 + \frac{E}{M_p}\right) \operatorname{tg} \frac{\theta_{e'}}{2}} \quad (17)$$

Пре- и пострадиационные упругие события

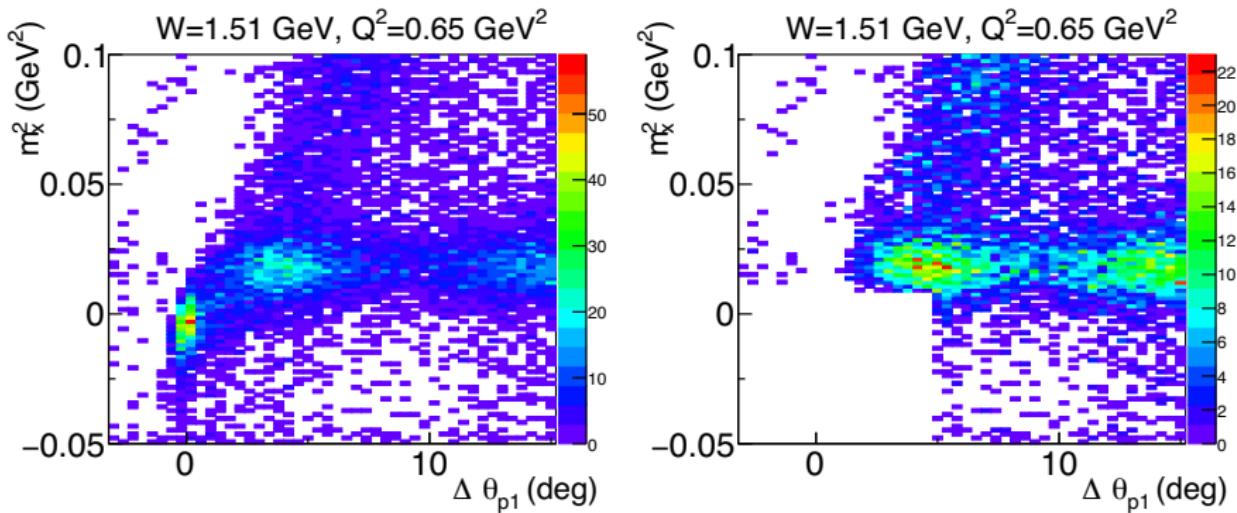


Рис. 10: Отделение событий Бете-Гайтлера. Ось цветов (z) представляет количество событий.

Идентификация реакции $ep \rightarrow ep\pi^0$

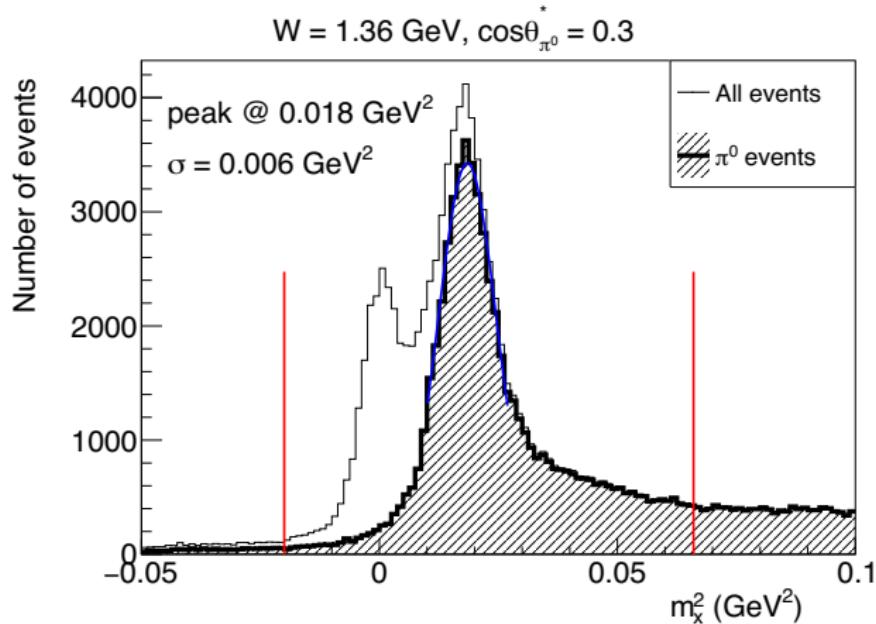


Рис. 11: Распределение недостающей массы в реакции $ep \rightarrow epX$.

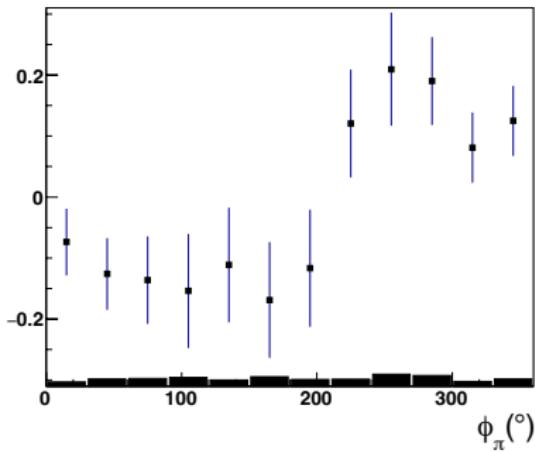
Извлечение спиновой асимметрии пучка

$$A_{LT} = \frac{1}{P_e} \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-}, \quad (18)$$

где P_e - поляризация пучка, N^\pm - количество событий с спиральностью электрона ± 1 .

Извлечение спиновой асимметрии пучка

BSA $W = 1.56 \text{ GeV}$, $Q^2 = 0.5 \text{ GeV}^2$, $\cos \theta_\pi = -0.9$



BSA $W = 1.71 \text{ GeV}$, $Q^2 = 0.5 \text{ GeV}^2$, $\cos \theta_\pi = 0.9$

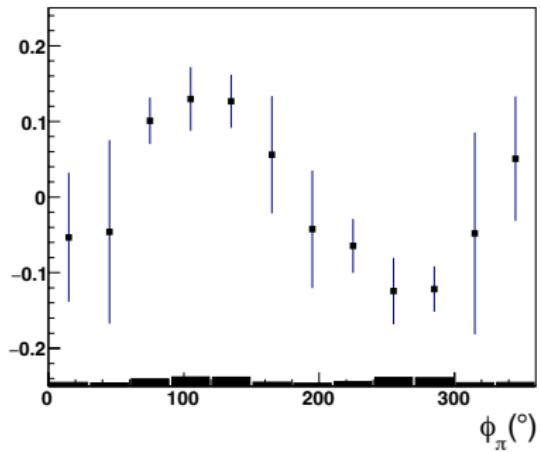


Рис. 12: Спиновая асимметрия пучка как функция азимутального угла пиона в системе центра масс ϕ_π для реакции $e p \rightarrow e' \pi^0 p$.

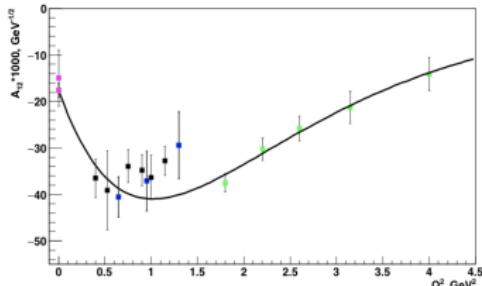
Извлечение спиновой асимметрии пучка

Было проведено сравнение полученных спиновых асимметрий пучка $A_{LT'}(W, Q^2, \cos\theta, \phi)$ и структурных функций $\sigma_{LT'}(W, Q^2, \cos\theta)$ с предсказаниями модели MAID2007 с использованием двух различных наборов амплитуд электровозбуждения N^* :

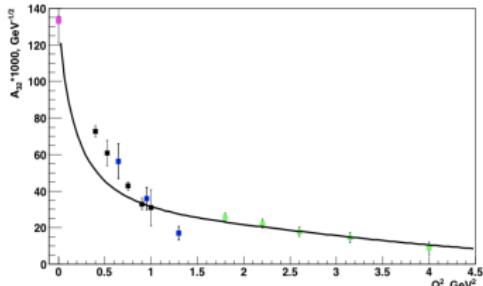
- исходные данные по амплитудам электровозбуждения N^* , заложенным в модель MAID2007;
- амплитуды, полученные из анализа данных CLAS по однопионному и двухпионному электророждению на протоне.

Амплитуды электровозбуждения нуклонных резонансов из данных CLAS

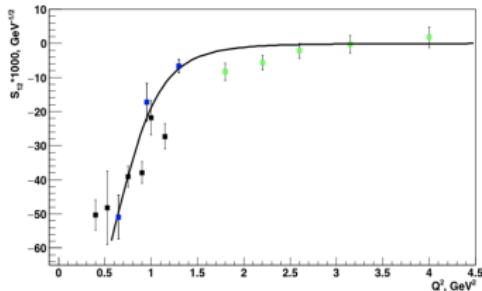
F15_1685_A12



F15_1685_A32



F15_1685_S12



Magenta lower point for A12 and upper for A32 — CLAS analysis of $N\pi$ photoproduction off protons:

- M. Dugger et al., (CLAS Collaboration), Phys. Rev. C79, 065206 (2009)

Magenta upper point for A12 and lower for A32 — PDG14

Blue points — CLAS analysis of $\rho\pi\pi$ electroproduction off protons:

- V.I. Mokeev and I.G. Aznauryan, Int. J. of Modern Phys: Conf. Ser 26, 1460080 (2014)

Black points — MAID analysis of $N\pi$ electroproduction data:

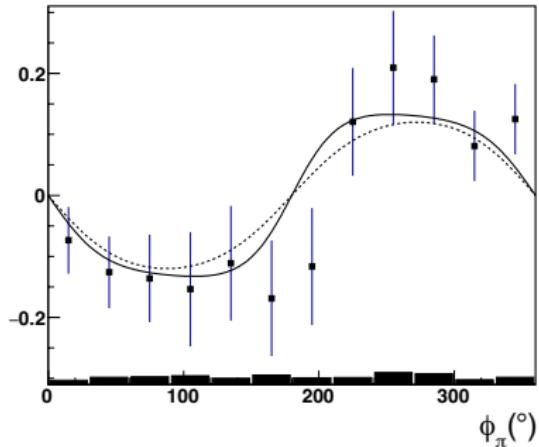
- L. Tiator et al., Eur. Phys. J. ST 198, 141 (2011)

Green points — CLAS analysis of $N\pi$ electroproduction off protons:

- K. Park et al, (CLAS Collaboration) , Phys. Rev. C 91, 045203 (2015)

Извлечение спиновой асимметрии пучка

BSA $W = 1.56 \text{ GeV}$, $Q^2 = 0.5 \text{ GeV}^2$, $\cos \theta_\pi = -0.9$



BSA $W = 1.71 \text{ GeV}$, $Q^2 = 0.5 \text{ GeV}^2$, $\cos \theta_\pi = 0.9$

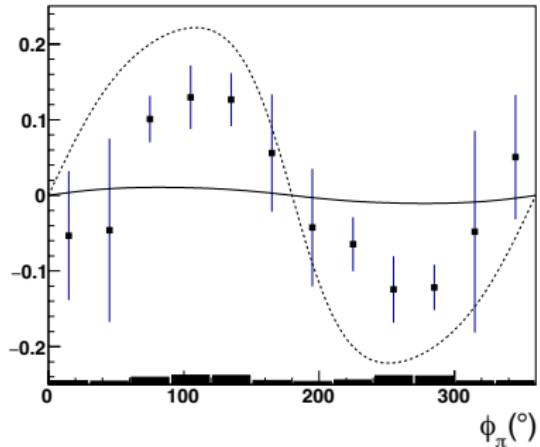


Рис. 13: Спиновая асимметрия пучка как функция азимутального угла пиона в системе центра масс ϕ_π для реакции $e p \rightarrow e' \pi^0 p$.

Извлечение $\sigma_{LT'}$

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega_\pi^*} = \frac{p_\pi^*}{k_\gamma^*} (\sigma_0 + h\sqrt{2\epsilon_L(1-\epsilon)} \sigma_{LT'} \sin \theta_\pi^* \sin \phi_\pi^*), \quad (19)$$

$$\sigma_0 = \sigma_T + \epsilon_L \sigma_L + \epsilon \sigma_{TT} \sin^2 \theta_\pi^* \cos 2\phi_\pi^* + \sqrt{2\epsilon_L(1+\epsilon)} \sigma_{LT} \sin \theta_\pi^* \cos \phi_\pi^*, \quad (20)$$

где p_π^* обозначает абсолютное значение импульса π^0 в системе центра масс, а k_γ^* - эквивалентная энергия реального фотона:

$$k_\gamma^* = \frac{W^2 - M_N^2}{2W}. \quad (21)$$

$$\varepsilon = (1 + 2|\vec{q}|^2 \tan^2(\theta_e/2)/Q^2)^{-1}, \quad \varepsilon_L = \frac{Q^2}{\omega_\gamma^{*2}} \varepsilon, \quad (22)$$

где $|\vec{q}|$ и θ_e - абсолютные значения трехимпульса виртуального фотона и угла рассеяния в лабораторном системе отсчета, ω_γ^* - энергия виртуального фотона в системе центра масс.

Извлечение $\sigma_{LT'}$

$$A_{LT'} = \frac{\sqrt{2\varepsilon_L(1-\varepsilon)} \sigma_{LT'} \sin \theta_\pi^* \sin \phi_\pi^*}{\sigma_0}. \quad (23)$$

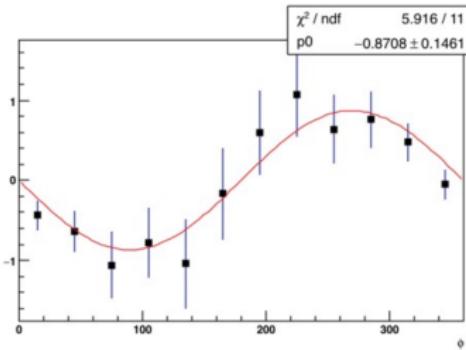


Рис. 14: Спиновая асимметрия пучка как функция угла ϕ при $W = 1.66$ ГэВ $0.4 < Q^2 < 0.6$ ГэВ 2 $\cos \theta = -0.9$.

Извлечение $\sigma_{LT'}$

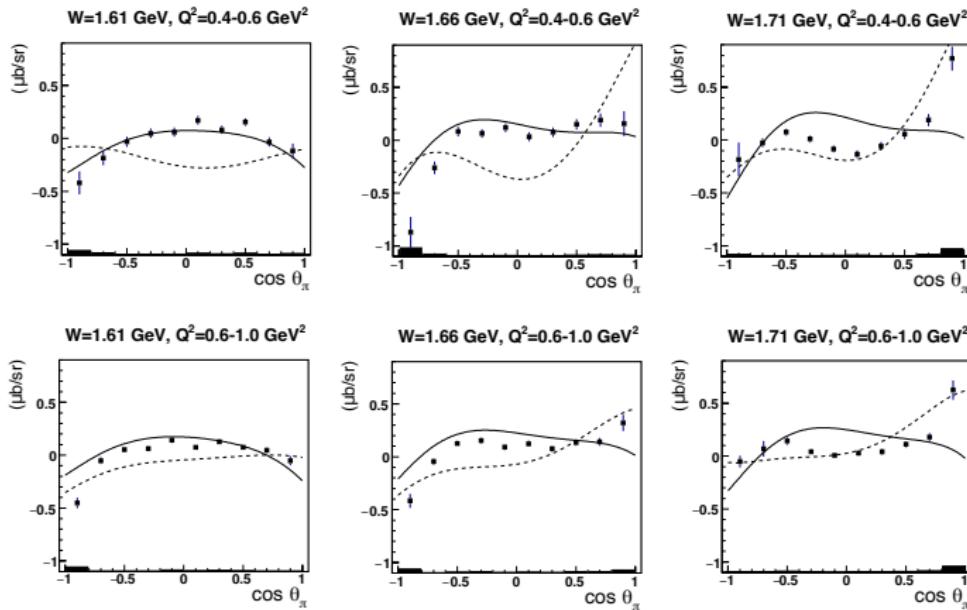


Рис. 15: Структурная функция $\sigma_{LT'}$ для электророждения $\pi^0 p$ на протоне в третьей резонансной области.

Моменты Лежандра структурной функции $\sigma_{LT'}$

$$\sigma_{LT'} = \sum_{l=0}^{l_{max}=3} D_l P_l(\cos\theta_\pi^*), \quad (24)$$

где l - орбитальный момент π^0 .

Анализ чувствительности момента Лежандра D_0 к резонансным вкладам

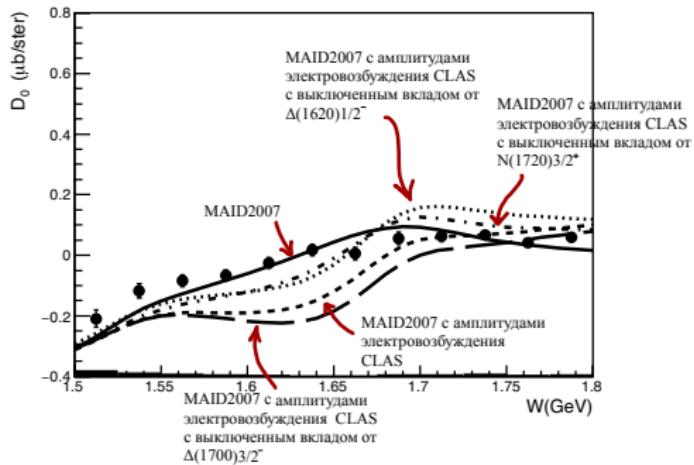


Рис. 16: Момент Лежандра $D_0(Q^2, W)$ структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.4-0.6$ ГэВ 2 .

$$D_0 \sim (5E_{3+}^* - 2E_{3-}^* + M_{1-}^* + M_{1+}^*)S_{0+} + E_{0+}^*(S_{3-} - S_{3+}). \quad (25)$$

Анализ чувствительности момента Лежандра D_0 к резонансным вкладам

P_{11}	P_{31}	$\frac{1}{2}^+$	1^+	L_{1-}
S_{11}	S_{31}	$\frac{1}{2}^+$	0^-	L_{0+}, E_{0+}
D_{13}	D_{33}	$\frac{1}{2}^+$	2^-	L_{2-}, E_{2-}
P_{11}	P_{31}	$\frac{1}{2}^+$	1^+	M_{1-}
P_{13}	P_{33}	$\frac{1}{2}^+$	1^+	M_{1+}
P_{13}	P_{33}	$\frac{1}{2}^+$	1^+	L_{1+}, E_{1+}
F_{15}	F_{35}	$\frac{1}{2}^+$	3^+	L_{3-}, E_{3-}
D_{13}	D_{33}	$\frac{1}{2}^+$	2^-	M_{2-}
D_{15}	D_{35}	$\frac{1}{2}^+$	2^-	M_{2+}

Анализ чувствительности момента Лежандра D_0 к резонансным вкладам

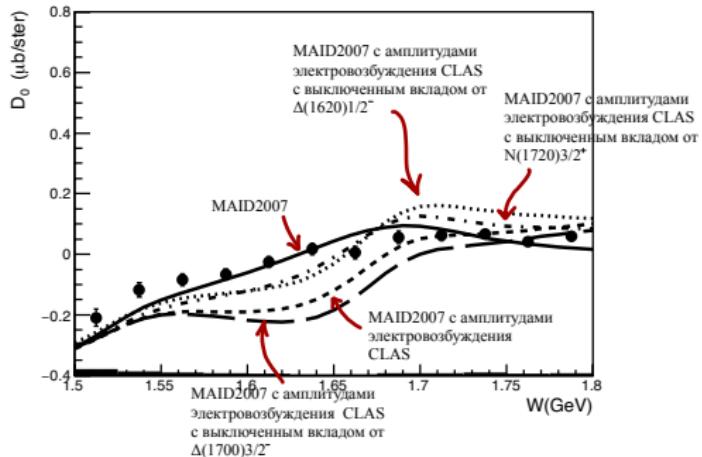


Рис. 17: Момент Лежандра $D_0(Q^2, W)$ структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.4-0.6$ ГэВ 2 .

$$D_0 \sim (5E_{3+}^* - 2E_{3-}^* + M_{1-}^* + M_{1+}^*)S_{0+} + E_{0+}^*(S_{3-} - S_{3+}). \quad (26)$$

Анализ чувствительности момента Лежандра D_1 к резонансным вкладам

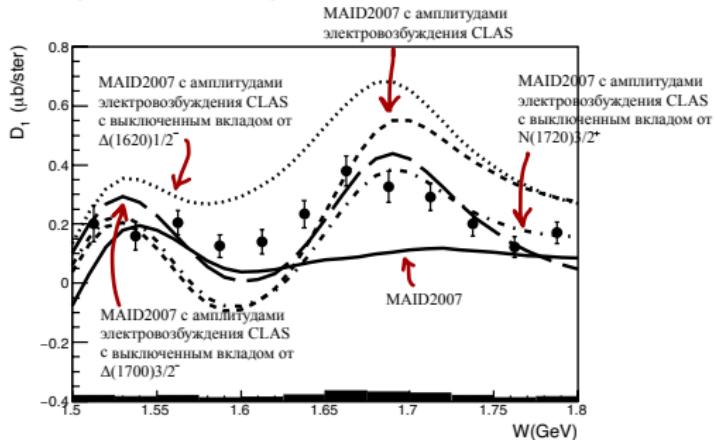


Рис. 18: Момент Лежандра $D_1(Q^2, W)$ структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.4-0.6$ ГэВ 2 .

$$D_1 \sim -6E_{2-}^* S_{2-} - 6M_{2-}^* S_{2-} + 6E_{1+}^* S_{1+} - 6M_{1+}^* S_{1+}. \quad (27)$$

Анализ чувствительности момента Лежандра D_2 к резонансным вкладам

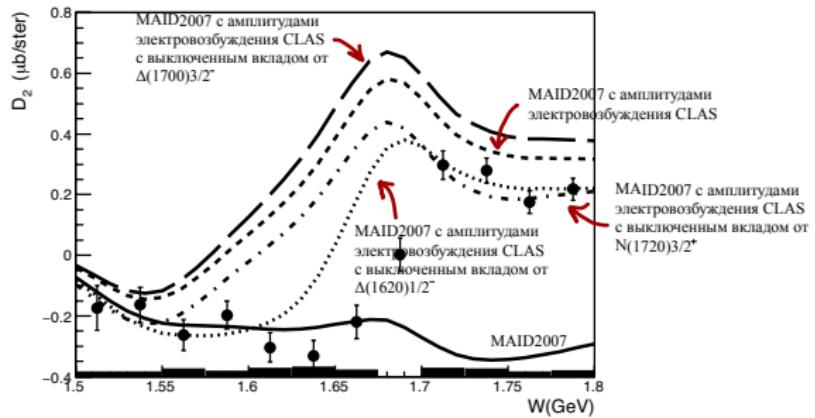


Рис. 19: Момент Лежандра $D_2(Q^2, W)$ структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.4\text{--}0.6$ ГэВ 2 .

$$D_2 \sim 12(M_{2+}^* - E_{2-}^*)S_{1+} + 6(3E_{2+}^* + 2M_{2+}^*)S_{1+} - 15M_{1+}^*S_{2-} \quad (28)$$
$$+ 5(5E_{3+}^* - 2E_{3-}^* + M_{3-}^* - M_{3+}^*)S_{0+} + 5E_{0+}^*(3S_{3-} - 4S_{3+}).$$

Анализ чувствительности момента Лежандра D_3 к резонансным вкладам

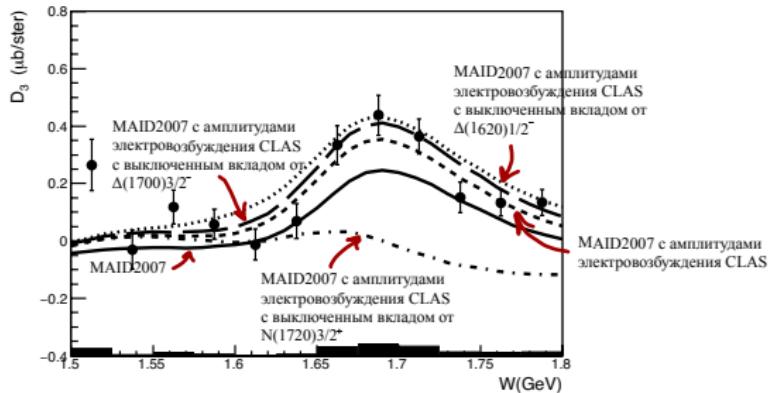


Рис. 20: Момент Лежандра $D_3(Q^2, W)$ структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.4-0.6$ ГэВ 2 .

$$D_3 \sim 18(M_{3-}^* - E_{3+}^*)S_{1+} + (34E_{3+}^* - 36E_{3-}^*)S_{1+} - 28M_{1+}^*S_{3+}. \quad (29)$$

Анализ чувствительности моментов Лежандра к резонансным вкладам

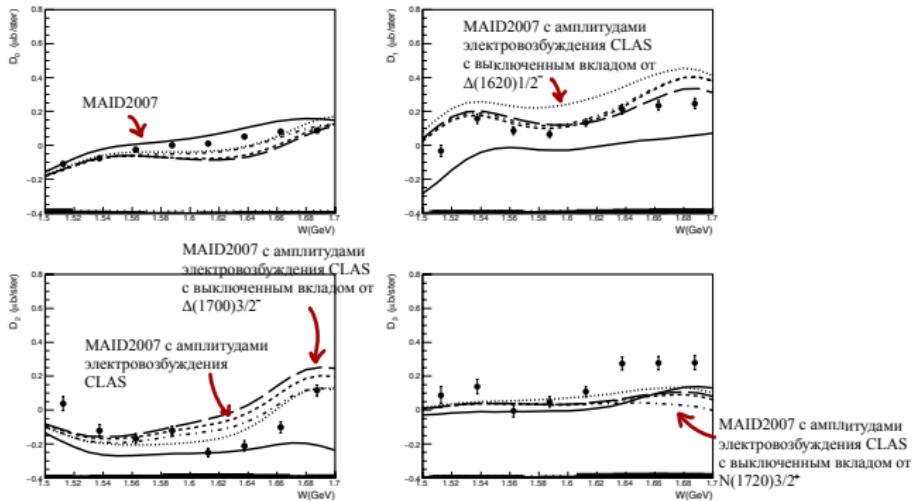


Рис. 21: Моменты Лежандра $D_l(Q^2, W)$ ($l=0,1,2,3$) структурной функции $\sigma_{LT'}$ из данных электророждения $\pi^0 p$ при $Q^2=0.6-1.0 \text{ ГэВ}^2$: $D_0(Q^2, W)$ (вверху слева), $D_1(Q^2, W)$ (вверху справа), $D_2(Q^2, W)$ (внизу слева), $D_3(Q^2, W)$ (внизу справа).

Основные результаты работы

- Получена спиновая асимметрия пучка при значении кинематических переменных, соответствующей второй и третьей резонансным областям, при $0.4 < Q^2 < 1.0 \text{ ГэВ}^2$, где мировые данные до этого отсутствовали или были ограничены.
- Поляризованная структурная функция $\sigma_{LT'}$ электророждения нейтрального pione на протоне впервые получена в кинематической области при $0.4 < Q^2 < 1.0 \text{ ГэВ}^2$ и $1.5 < W < 1.8 \text{ ГэВ}$.
- Найден вклад нуклонных резонансов в инклюзивные структурные функции F_1 и F_2 на основе новейших данных CLAS по амплитудам электровозбуждения N^* .

Публикации

1. Polarized structure function σ_{LT} from $\pi^0 p$ electroproduction data in the resonance region at $0.4 \text{ GeV}^2 \leq Q^2 \leq 1.0 \text{ GeV}^2$ / A. A. Golubenko [et al.] // Phys. Rev. C. — 2022. — Feb. — Vol. 105, issue 2.— P. L022201.
2. Nucleon resonance contributions to unpolarized inclusive electron scattering / Hiller Blin A. N., Mokeev V.I., Albaladejo M., Fern'andez-Ram'irez C., Mathieu V., Pilloni A., Szczepaniak A., Burkert V. D., Chesnokov V. V., Golubenko A. A., Vanderhaeghen. M. // Phys. Rev. C. — 2019. — Sept. — Vol. 100, issue 3. — P. 035201.
3. Evaluation of the Inclusive Electron Scattering Observables in the Resonance Region from the Experimental Data / A.A. Golubenko [et al.] // Phys. Part. Nuclei. — 2019. — Sept. — Vol. 50. — P. 587–592.
4. А.А. Голубенко. Экстраполяция структурных функций F_1 и F_2 в область виртуальностей фотона от 2 до 7 ГэВ² // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2018. — No 2.
5. А.А. Голубенко, Е.Н. Головач. Интерполяция и экстраполяция сечений и структурных функций инклузивного рассеяния электронов на протонах при $W < 4.0 \text{ ГэВ}$ и $2.0 < Q^2 < 7.0 \text{ ГэВ}^2$ // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. — 2019. — No 3.
6. Electromagnetic form factors of nucleon resonances from CLAS / A.A. Golubenko [et al.] // EPJ Web Conf. — 2019. — Vol. 222. — P. 02003.

Спасибо за внимание!

Апробация

Основные результаты работы докладывались автором на следующих конференциях:

- XV International Seminar on Electromagnetic Interactions of Nuclei (Москва – 2018 г.)
- CLAS Collaboration Meeting (Ньюпорт-Ньюс, США – 2019)
- International conference “NUCLEUS” (Дубна – 2019 г., Санкт-Петербург – 2020 г.)
- Научная конференция «Ломоносовские чтения» (Москва – 2019 г.)

Цели и задачи

Данная работа посвящена экспериментальному измерению спиновых асимметрий пучка и извлечению поляризованных структурных функций. Существенной частью работы является оценка резонансного вклада в инклюзивные структурные функции.

Цели и задачи

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи:

- Произвести надежную идентификацию электронов и протонов, необходимую для предварительного отбора событий, принадлежащих исследуемым каналам реакции, содержащих только один электрон и протон.
- Вычитание фона различного происхождения в событиях, в том числе от Бете-Гайтлеровских процессов, значительно подавляющих сигнал реакции, и окончательный отбор событий методом недостающей массы для экспериментальных событий $e p \rightarrow e p X$
- Вычисление спиновой асимметрии пучка и применение коррекций на центр ячеек при четырехмерном разбиении кинематического пространства и радиационных поправок.
- Извлечение поляризационных структурных функций $\sigma_{LT'}$ из спиновых асимметрий пучка.
- Сравнение измеренных асимметрий и вычисленных $\sigma_{LT'}$ с феноменологической моделью MAID2007 с различными предположениями об амплитудах электровозбуждения нуклонных резонансов.
- Интерполяция и экстраполяция инклузивных структурных функций F_1 и F_2 из мировых данных и данных CLAS в кинематической области по W до 4 ГэВ и по Q^2 до 7 ГэВ².
- Вычисление резонансного вклада в инклузивные структурные функции F_1 и F_2 на основе данных по спиральным амплитудам электровозбуждения N^* .

Основные положения, выносимые на защиту

- Значения структурных функций F_1 и F_2 в инклюзивном электрон-протонном рассеянии в кинематической области по W до 4 ГэВ и по Q^2 до 7 ГэВ 2 и вычисление вклада нуклонных резонансов в инклюзивные структурные функции.
- Набор значений спиновых асимметрий пучка в реакциях $e p \rightarrow e p \pi^0$ в фазовом пространстве четырех переменных $W, Q^2, \cos \theta, \phi$.
- Поляризованные структурные функции $\sigma_{LT'}(W, Q^2, \cos \theta)$.
- Значения моментов Лежандра для поляризованных структурных функций $\sigma_{LT'}$. Анализ чувствительности моментов Лежандра к вкладам резонансных состояний $S_{31}(1620)$, $P_{13}(1720)$ и $D_{33}(1700)$.

Новизна работы

- Получена спиновая асимметрия пучка при значении кинематических переменных, соответствующей третьей резонансной области, при $0.4 < Q^2 < 1.0 \text{ ГэВ}^2$, где мировые данные до этого отсутствовали или были ограничены.
- Поляризованная структурная функция $\sigma_{LT'}$ электророждения нейтрального пиона на протоне впервые получена в кинематической области при $0.4 < Q^2 < 1.0 \text{ ГэВ}^2$ и $1.5 < W < 1.8 \text{ ГэВ}$.
- Найден вклад нуклонных резонансов в инклюзивные структурные функции F_1 и F_2 на основе новейших данных CLAS по амплитудам электровозбуждения N^* .