

Экстраполяция структурных функций F_1 и F_2 в область виртуальностей фотона от 2 до 7 ГэВ²

А. А. Голубенко*

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2
(Статья поступила 24.04.2018; Подписана в печать 21.05.2018)

Выполнена оценка инклюзивных структурных функций протона в области энергий возбуждения нуклонных резонансов при виртуальностях фотона Q^2 от 2 до 7 ГэВ². Экстраполяция инклюзивных структурных функций F_1 и F_2 проведена на основании экспериментальных данных CLAS в области $Q^2 < 4.5$ ГэВ² и данных, полученных из фита Бустеда при $Q^2 > 4.5$ ГэВ². Выполненная оценка имеет важное значение в развитии программы экспериментов на детекторе CLAS12 по изучению структуры основного и возбужденных состояний нуклона, открывающих доступ к динамике сильных взаимодействий в непертурбативном режиме.

PACS: 13.60.Le

УДК: 539.126.34.

Ключевые слова: Структура протона, нуклонные резонансы, структурные функции протона, возбужденные состояния нуклона.

ВВЕДЕНИЕ

Проект CLAS12 (CEBAF Large Acceptance Spectrometer at 12 GeV) является частью модернизации ускорительного и детекторного комплекса Национальной Ускорительной Лаборатории им. Т. Джефферсона (Thomas Jefferson National Accelerator Facility, TJNAF). Ускоритель CEBAF (Continuous Electron Beam Accelerator Facility — Ускоряющая установка на непрерывном электронном пучке), построенный в лаборатории, позволяет получить пучок электронов с энергией до 6 ГэВ. Модернизация ускорителя позволила увеличить энергию пучка до 12 ГэВ, что значительно расширила доступную для исследований кинематическую область. Эксперименты, проведенные на детекторе CLAS, позволили изучить структуру нуклонных резонансов в различных реакциях электро-рождения мезонов на протоне в резонансной области при энергиях в системе центра масс конечных адронов W менее 3 ГэВ и при виртуальностях фотонов Q^2 менее 5 ГэВ² [1–6]. Сечение инклюзивного глубоко неупругого рассеяния электронов на протоне может быть представлено в виде:

$$\sigma(W, Q^2) = \sigma_T(W, Q^2) + \epsilon \sigma_L(W, Q^2) \quad (1)$$

где $\sigma_T(W, Q^2)$ и $\sigma_L(W, Q^2)$ представляют собой компоненты сечения реакции под действием поперечного и продольно поляризованных виртуальных фотонов. Параметр поляризации ϵ определяется выражением:

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

где ν — переданная электроном энергия, а θ — угол рассеяния электрона в лабораторной системе.

Детектор CLAS12 начал свою работу в начале 2018 г., и на данный момент требуется проверка получаемых данных. Для контроля правильности восстановления сечения часто используют сечения упругого рассеяния. Эксперименты по упругому электронному рассеянию на нуклонах проводятся уже более 50 лет, вследствие чего сечение известно с хорошей точностью. Однако наше исследование требует широкую кинематическую область в том числе по W , а упругое рассеяние происходит только при $W = M_N$, где $W = M_N$ — масса нуклона. Вторым путем для калибровки является сравнение с неупругим инклюзивным сечением рассеяния, на данный момент так же хорошо исследованным. Значительно хуже известны $\sigma_T(W, Q^2)$ и $\sigma_L(W, Q^2)$ по отдельности, так как для разделения продольной и поперечной компонент требуются эксперименты при разных энергиях пучков (6), поэтому цель данной работы — экстраполировать имеющиеся экспериментальные данные на исследуемую кинематическую область в экспериментах CLAS12.

$\sigma_T(W, Q^2)$ и $\sigma_L(W, Q^2)$ могут быть выражены через структурные функции F_1 и F_2 следующим образом:

$$W_1 = \frac{K}{4\pi^2\alpha} \sigma_T(W, Q^2), \quad K = \frac{W^2 - M_N^2}{2W} \quad (3)$$

$$W_2 = (\sigma_T(W, Q^2) + \sigma_L(W, Q^2)) \frac{K}{4\pi^2\alpha} \frac{1}{1 + \frac{\nu^2}{Q^2}} \quad (4)$$

$$F_1(W, Q^2) = M_N W_1(W, Q^2) \quad (5)$$

$$F_2(W, Q^2) = \nu W_2(W, Q^2) \quad (6)$$

Так как каждая из компонент сечения может быть выражена через F_1 и F_2 , то в дальнейшем мы будем моделировать поведение именно структурных функций.

*E-mail: aa.golubenko@physics.msu.ru

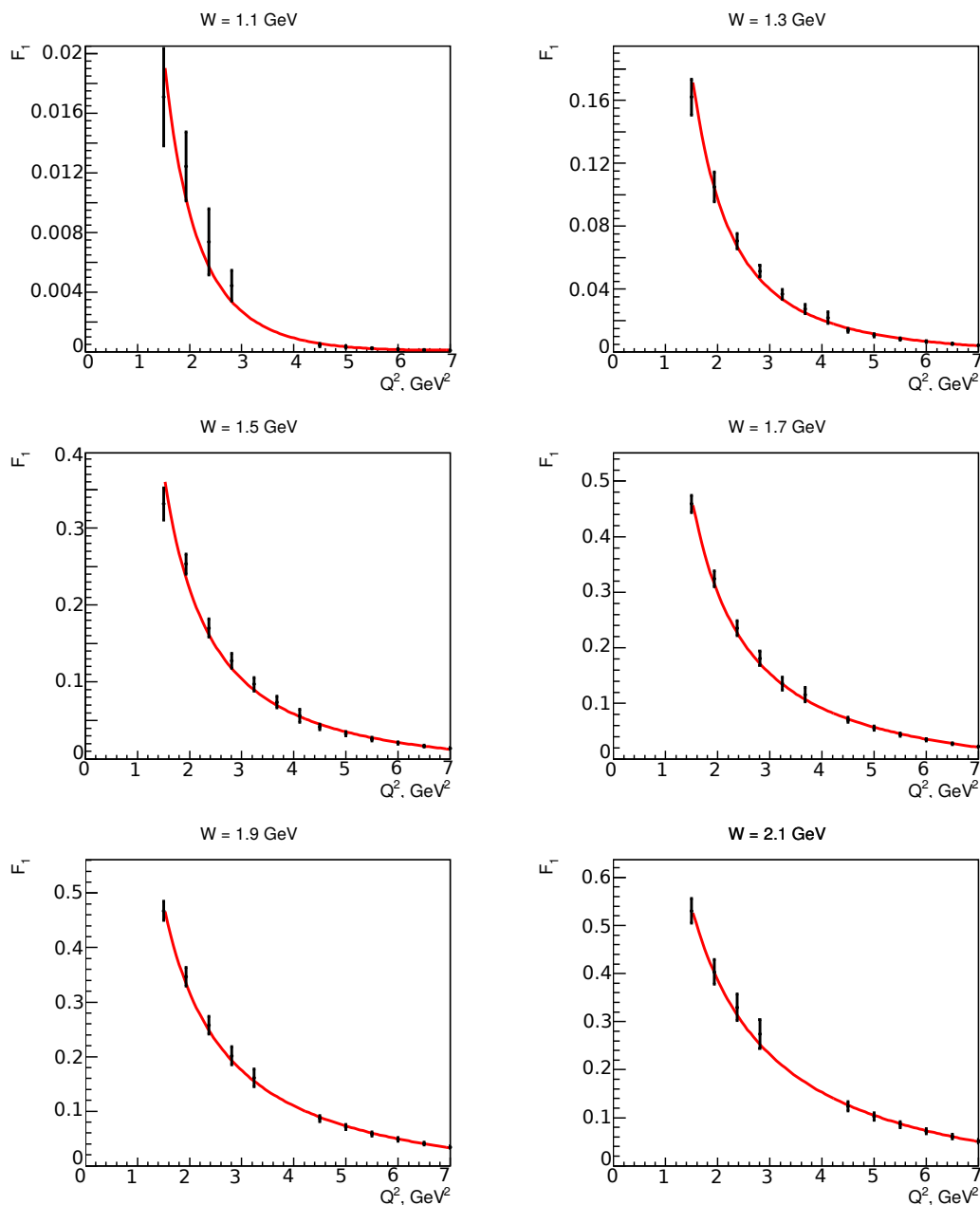


Рис. 1: Структурные функции F_1 при различных значениях W

ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ

F_1 и F_2

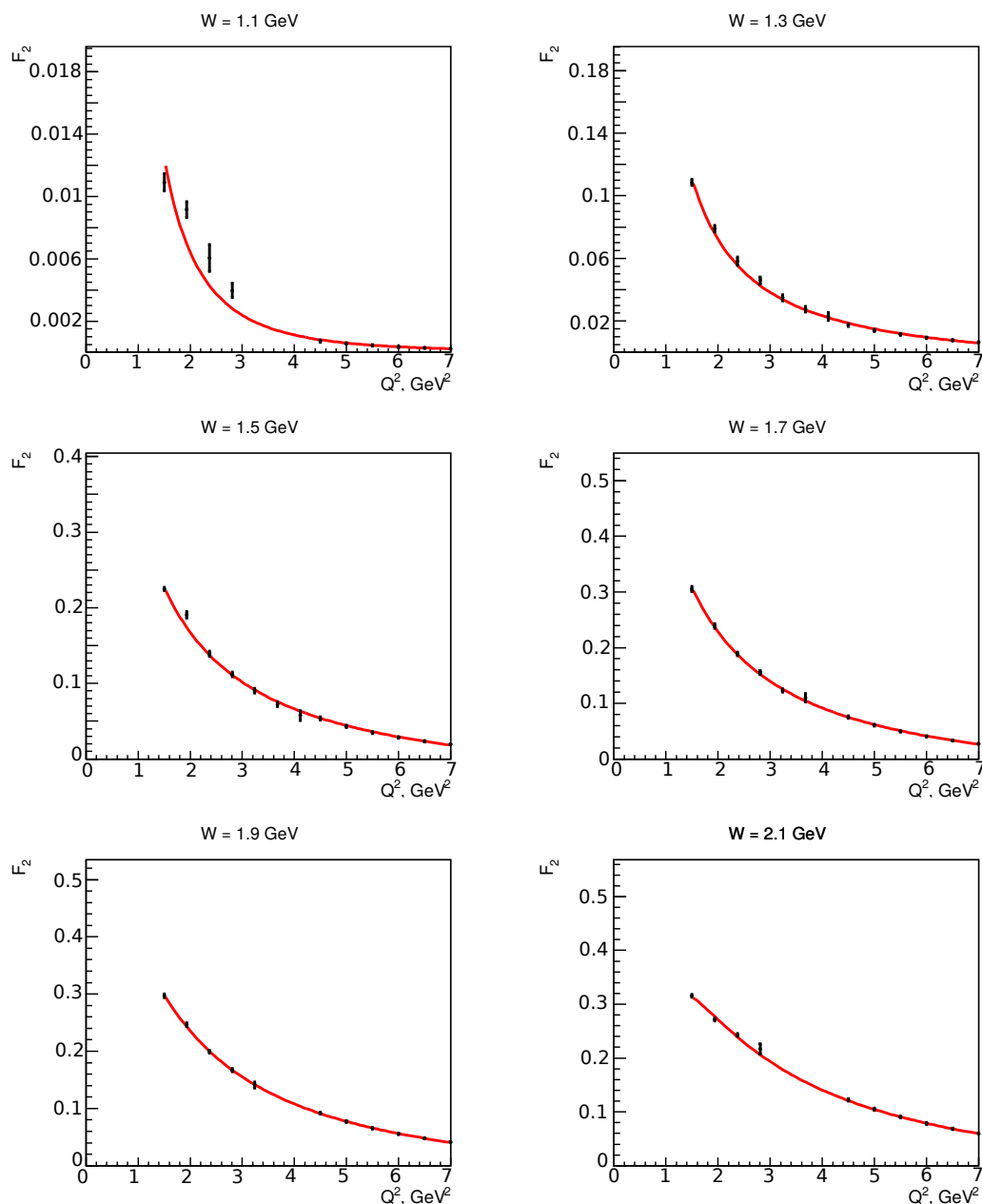
При малых $Q^2 < 4.5 \text{ ГэВ}^2$ F_1 и F_2 могут быть извлечены из экспериментальных данных CLAS. При $Q^2 > 4.5 \text{ ГэВ}^2$ F_1 и F_2 могут быть получены из аппроксимации Бустеда [8]. В данной работе была проведена экстраполяция структурных функций F_1 и F_2 по объединенным данным из экспериментов CLAS и аппроксимации Бустеда.

Экстраполяция основана на предсказании т.н. «Operator Product Expansion», описывающее Q^2 -

эволюцию моментов инклюзивных структурных функций $F_1(W, Q^2)$ и $F_2(W, Q^2)$ при $Q^2 \gg \Lambda_{QCD}^2$, где $\Lambda_{QCD} \approx 0.2 \text{ ГэВ}$ — масштабный параметр КХД [7].

При экстраполяции инклюзивных структурных функций предполагалось, что их Q^2 -эволюция может быть описана такими же зависимостями вида:

$$\begin{aligned} F_1(W, Q^2) &= C_{0,1}(W) + \frac{C_{1,1}(W)}{Q^2} + \frac{C_{2,1}(W)}{Q^4} + \dots \\ F_2(W, Q^2) &= C_{0,2}(W) + \frac{C_{1,2}(W)}{Q^2} + \frac{C_{2,2}(W)}{Q^4} + \dots \end{aligned} \quad (7)$$

Рис. 2: Структурные функции F_2 при различных значениях W

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Далее приведены графики, где точки и их погрешности — данные, приведенные в CLAS Physics Data Base [9] и извлеченные из аппроксимации Бустеда [8], красные линии — полученная нами экстраполяция (Рис. 1, 2).

Все полученные данные размещены в CLAS Physics Data Base и в дальнейшем будут использоваться для оценки вкладов нуклонных резонансов.

Выполнены оценки структурных функций F_1 и F_2 при энергиях возбуждения нуклонных резонансов $W < 2.2 \text{ ГэВ}$ в области виртуальностей фотонов $2 \text{ ГэВ}^2 < Q^2 < 7 \text{ ГэВ}^2$. Полученные результаты будут использоваться при анализе данных экспериментов на детекторе CLAS12 по исследованию структуры нуклонных резонансов в широкой кинематической области. Первые данные этого эксперимента будут получены в первой половине 2018 года. Выполненные оценки представляют значительный интерес для обширной програм-

мы исследований на новом детекторе CLAS12, обеспечивающей доступ к динамике сильных взаимодей-

ствий, формирующих основные и возбужденные состояния нуклонов из кварков и глюонов.

-
- [1] Aznauryan I.G., Burkert V.D. Prog. Part. Nucl. Phys. 2012. **67**. P. 1.
[2] Burkert V.D. Few Body Syst. 2016. **57**. P. 873.
[3] Mokeev V.I. Few Body Syst. 2016. **57**. P. 909.
[4] Aznauryan I.G., Burkert V.D., Lee T.-S.H., Mokeev V.I. J. Phys. Conf. Ser. 2011. **299**. P. 012008.
[5] Mokeev V.I., Burkert V.D., Elouadrhiri L. et al. Phys. Rev. C. 2012. **86**. 035203.
[6] Aznauryan I.G., Burkert V.D., Biselli A.S. et al. Phys. Rev. C. 2009. **80**. P. 055203.
[7] Roberts R.G. The Structure of the Proton. Deep Inelastic Scattering. Cambridge Univ. Press, 1990.
[8] Peter Bosted's Fits <https://userweb.jlab.org/bosted/fits.html>.
[9] CLAS Physics Database <http://clas.sinp.msu.ru/cgi-bin/jlab/db.cgi>.

Extrapolation of the structural functions F_1 and F_2 for virtualities of the photon from 2 to 7 GeV²

A. A. Golubenko

¹Department of General Nuclear Physics Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
Moscow 119991, Russia

E-mail: aa.golubenko@physics.msu.ru

An estimation of the inclusive structural functions of the proton in the excitation energy region of nucleon resonances for virtualities of the photon Q^2 from 2 to 7 GeV² is performed. Extrapolation of the inclusive structural functions F_1 and F_2 was carried out on the basis of experimental data in the region $Q^2 < 4.5$ GeV² and data obtained from the Bosted's fit for $Q^2 > 4.5$ GeV². This evaluation is important in the development of the CLAS12 detector program of experiments to study the structure of the ground and excited states of the nucleon, which opens access to the dynamics of strong interactions in the nonperturbative regime.

PACS: 13.60.Le

Keywords: Structure of the proton, nucleon resonances, structural functions of proton, the excited states of the nucleon.

Received 24 April 2018.

Сведения об авторе

Голубенко Анна Александровна — студентка; e-mail: aa.golubenko@physics.msu.ru.
