

## База данных коллаборации CLAS

В. В. Чесноков<sup>1,\*</sup>, Б. С. Ишханов<sup>1,2,†</sup>, В. И. Мокеев<sup>3‡</sup><sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ имени М. В. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
физический факультет, кафедра ядерной физики  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2<sup>3</sup>Thomas Jefferson National Accelerator Facility, 12000 Jefferson Avenue, Suite 15, Newport News, VA 23606, USA  
(Статья поступила 17.06.2019; Подписана в печать 01.08.2019)

В CLAS Physics Database накоплен обширный массив данных по сечениям, поляризационным асимметриям, структурным функциям, и многим другим наблюдаемым, полученным при помощи детектора CLAS в Лаборатории Джефферсона в реакциях фото- и электророжения мезонов на нуклонах и атомных ядрах. Созданная база данных снабжена web-интерфейсом, обеспечивающим доступ к данным по всему миру, возможности поиска, визуализации и научного анализа данных. Накопленные данные представляют интерес для проверки функционирования экспериментальных установок, планирования будущих физических экспериментов, а также для ряда областей фундаментальной физики.

PACS: 13.60.Le      УДК: 539.126

Ключевые слова: CLAS JLab база данных мезоны электророжение фоторожение сечения асимметрии структурные функции.

## ВВЕДЕНИЕ

В Hall B Лаборатории Джефферсона (Вирджиния, США) Международной коллаборацией CLAS с участием НИИЯФ МГУ выполняется обширная программа исследований спектра и структуры основного и возбуждённых состояний нуклона. Эти исследования направлены на решение актуальных задач фундаментальной физики: исследования динамики сильного взаимодействия в режиме большого параметра кварк-глюонной связи, ответственной за формирование основного и возбуждённых состояний нуклона как связанных систем кварков и глюонов [1–4]. Полученные результаты позволили начать изучение механизмов формирования  $> 98\%$  массы адронов [2, 5, 6]. Впервые была продемонстрирована возможность доступа к компонентам тензора энергии-импульса для основного состояния нуклона из данных по распределению давления внутри протона [7]. Обнаружены новые состояния адронной материи, т.н. «missing» резонансы [8], поиск которых в течение последнего десятилетия являлся одной из наиболее актуальных задач физики адронов.

За время работы детектора CLAS в 1996–2012 гг. получен большой объем новых экспериментальных данных, многие из которых являются уникальной, единственной в мире экспериментальной информацией [1, 2]. На детекторе CLAS получена доминирующая часть мировых данных по большинству эксклюзивных каналов электророжения мезонов на нуклонах

и ядрах [4] в области масс конечной системы адронов  $W < 3.0$  ГэВ, значительно расширена информация о инклюзивных и полуинклюзивных процессах рассеяния электронов на нуклонах [1]. Информация по всем измеренным на детекторе CLAS наблюдаемым собрана в цифровом виде в CLAS Physics Database [12] созданной в коллаборации между Hall B at Jefferson Lab и ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ. В настоящей работе содержится краткое описание Базы [11] и её возможностей для физического анализа экспериментальных данных, а также в планировании экспериментов на новом детекторе CLAS12, вступившем в эксплуатацию весной 2018 г. [1].

В Базе данных [11] собрана численная информация о наблюдаемых, измеренных в экспериментах на детекторе CLAS в период 1996–2012 гг. В Базе содержатся все наблюдаемые, которые не зависят от специфических характеристик экспериментальной установки, такие как эффективность регистрации событий и акцептанс. Поэтому данные CLAS Physics Database могут сравниваться с результатами любых других экспериментов, в которых получены такие же наблюдаемые, как и на детекторе CLAS. База содержит данные по дифференциальным, интегральным сечениям и различным поляризационным асимметриям для большинства эксклюзивных каналов электророжения мезонов на нуклонах, а также данные по инклюзивным и полуинклюзивным сечениям/структурным функциям рассеяния электронов на нуклонах при  $W < 3.0$  ГэВ и виртуальностях фотонов  $Q^2 < 5.0$  ГэВ<sup>2</sup>. Кроме того, в Базе содержатся наблюдаемые, измеренные в процессах взаимодействия электронов и фотонов с атомными ядрами в указанной выше кинематической области  $W$  и  $Q^2$ .

База данных снабжена web-интерфейсом, который обеспечивает доступ к данным через сеть Интернет по

\*E-mail: chesn@depni.sinp.msu.ru

†E-mail: BSI@depni.sinp.msu.ru

‡E-mail: mokeev@jlab.org

### 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	Final state: any
polarization: any	polarization: any	polarization: any

**Select kinematics range:**

Search for average values

$Q^2_{min}$ , [GeV] <sup>2</sup> :		$Q^2_{max}$ , [GeV] <sup>2</sup> :	
$W_{min}$ , [GeV]:		$W_{max}$ , [GeV]:	
$x_{min}$ :		$x_{max}$ :	
$E_{Ymin}$ , [GeV]:		$E_{Ymax}$ , [GeV]:	

**Select observables:**

Quantity measured:

- any
- $\sigma$
- $d\sigma/d\Omega$
- $\sigma_L$
- $\sigma_T$
- $\sigma_L/\sigma_T$

**Additional search criteria:**

Spokespersons:

Year:

Experiment identifier(s):

**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>	<b>Fields selected for output:</b>
Final state polarization	Measurement identifier
Beam	Final state
Beam polarization	Q <sup>2</sup> min
Target	Q <sup>2</sup> max
Target polarization	W min
x min	W max
x max	Quantity
E <sub>Y</sub> min	Experiment title
E <sub>Y</sub> max	Authors
W	Year

Limit: 100    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)

Powered by MSU SINP, CDFE

Рис. 1: Внешний вид формы поиска данных CLAS Physics Database [11]

всему миру, предоставляет возможность поиска данных по множеству параметров. Среди них исследуемая реакция — тип пучка (электронный или фотонный),

мишень и конечное состояние, состояние поляризации пучка, мишени и конечного состояния; кинематические переменные — инвариантная масса конечного состоя-

**Experiment:** [E-89-037 Electroproduction of the P33\(1232\) Resonance, 2002](#)

**Spokespersons:** V. Burkert, R. Minehart

**Experiment comment:** Release 1 - Data replay: reccis prod-1-9. RC and acceptance: aao\_rad+MAID98

**Publication:**

- K. Joo, L. C. Smith, V. D. Burkert, R. Minehart, I. G. Aznauryan, L. Elouadrhiri, S. Stepanyan, and CLAS Collaboration [Q<sup>2</sup> Dependence of Quadrupole Strength in the  \$\gamma^\* p \rightarrow \Delta^+\(1232\) \rightarrow p\pi^0\$  Transition](#) // Phys. Rev. Let. 88, 122001 (2002)

**Quantity measured:**  $d\sigma/d\Omega$ , mcbn/srad

*Differential cross section.*

**Beam:** e, **polarization:** none

**Target:** p (Z=1, A=1), **polarization:** none

**Final state:**  $\pi^0 p$ , **polarization:** none

**Q<sup>2</sup>:** 0.35 — 0.45 GeV<sup>2</sup>

**W:** 1.18 GeV

**$\epsilon$ :** 0.85

**Select data slice:**

$\cos(\theta_\pi) = -0.9$  dimensionless

**Fit  $\varphi$  dependence:**

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

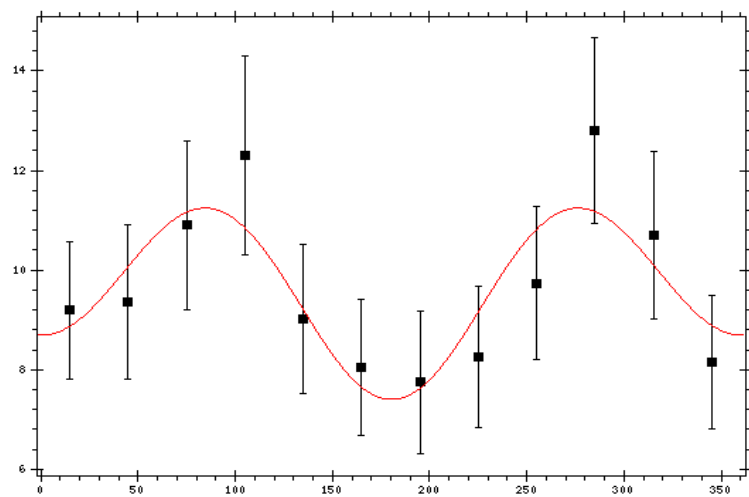
$\chi^2 = 0.2397$

Value	Uncert
A 9.6295	0.51923
B -1.5829	0.73168
C 0.64516	0.69222

$A + B \cdot \cos(2\varphi) + C \cdot \cos(\varphi) + D \cdot \cos(3\varphi)$

$\frac{1}{\varphi_{max} - \varphi_{min}} \int_{\varphi_{min}}^{\varphi_{max}} \frac{d\sigma}{d\Omega} d\varphi$

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



**Parameter (X axis):**  $\varphi_\pi$ , dimensionless

Click [here](#) to view sliced data.

Рис. 2: Пример автоматического фитирования дифференциального сечения электророжения  $\pi^0$  на протоне [12] при  $W = 1.18$  ГэВ и  $Q^2 = 0.4$  ГэВ<sup>2</sup> и  $\cos\theta_\pi = -0.9$  функцией  $A + B \cos 2\varphi + C \cos \varphi$ . База данных коллаборации CLAS, [11]

ния  $W$ , виртуальность фотона  $Q^2$ , переменная Бёркена  $x_B$ , энергия реального фотона  $E_\gamma$  (для случая фоторожения мезонов). Возможно задать одну или несколько из около 200 наблюдаемых, данные по которым присутствуют в базе. Возможен поиск по совокупности параметров, по диапазону значений или по средним значениям переменных. Есть поиск по названию, авторам и году проведения эксперимента. Web-форма поиска данных представлена на рис. 1.

Выдача данных обеспечивает визуализацию в виде графиков и таблиц, существует возможность загрузить данные в текстовом виде для дальнейшей компьютерной обработки. Доступна также библиографическая информация о публикациях, связанных с экспериментальными данными, ссылки на полные тексты

публикаций.

Диапазоны кинематических переменных  $W$ ,  $Q^2$  и конечные состояния, для которых в базе присутствуют данные по электророжению мезонов, представлены в табл. I.

Пользовательский интерфейс позволяет авторам самостоятельно загружать данные в БД, обеспечивает разделение доступа к данным.

В CLAS Physics Database включены также инструменты анализа данных по дифференциальным сечениям эксклюзивного или полуинклюзивного электророжения мезонов на нуклонах в целях извлечения структурных функций процессов рассеяния электронов на нуклонах. В приближении однофотонного обмена для описания реакций рассеяния электронов на нуклонах,

Таблица I: Диапазоны кинематических переменных  $W$ ,  $Q^2$  и конечные состояния, для которых в базе присутствуют данные по электророждению мезонов

Конечное состояние	$W_{min}$ , ГэВ	$W_{max}$ , ГэВ	$Q^2_{min}$ , ГэВ <sup>2</sup>	$Q^2_{max}$ , ГэВ <sup>2</sup>
inclusive	1.1	4.91	0.01021	6.545
semi-inclusive	1.63	4.24	1.36	3.26
$\pi^+n$	0.0	1.985	0.0023	4.845
$\pi^0p$	1.08	2.968	0.187	6.0
$\pi^-p$	1.153	3.107	0.021	4.67
$\pi^+\pi^-p$	1.3	2.8	0.2	5.353
$K^+\Lambda$	1.6	2.7	0.65	3.2
$K^+\Sigma^0$	1.65	2.35	0.65	2.55
$\eta p$	1.49	2.31	0.13	3.3
$\varphi(1020)p$	2.0	2.6	0.7	3.8
$\rho^0p$	1.8	2.8	1.57	5.6
$\omega p$	1.85	2.77	1.725	4.85
$ppN$	0.95	1.05	0.5	1.0
$p\ n$	0.0	1.095	0.985	5.5
$p+X$	0.94	2.9	0.18	4.2
$ppn$	0.3	3.9	0.8	4.9
$\pi^+ + X$	1.15	3.33	0.0	7.7
$\gamma\ p$	2.0	2.0	1.0	4.6

их дифференциальные сечения в зависимости от азимутального угла вылета мезона  $\varphi$  могут быть представлены следующим образом [9],

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = A + B \cos(2\varphi) + C \cos(\varphi), \quad (1)$$

где параметры  $A$ ,  $B$  и  $C$  зависят от всех других переменных помимо  $\varphi$ , описывающих кинематику начального состояния виртуальный фотон–протон–мишень и состояния конечных адронов. В случае конечного состояния мезон–барион такими переменными являются  $W$ ,  $Q^2$  и полярный угол  $\theta$  эмиссии мезона в системе центра масс начальный виртуальный фотон–протон–мишень. Угловые зависимости (1) являются наиболее общим описанием  $\varphi$ –зависимостей дифференциальных сечений. Они выполняются в любом подходе для моделирования динамики реакций, проявляющейся в зависимостях параметров  $A$ ,  $B$  и  $C$  от  $W$ ,  $Q^2$  и угла  $\theta$  [9, 10].

Параметры  $A$ ,  $B$  и  $C$  следующим образом связаны со структурными функциями  $R_T$  и  $R_L$  описываемыми произведением амплитуд реакций под действием поперечно  $T$  и продольно  $L$  поляризованных фотонов, а также произведением амплитуд для фотонов различной поляризации: поперечно–поперечной со спиральностями фотонов  $+1$  и  $-1$   $R_{TT}$  и поперечно–

продольной  $R_{TL}$  [9, 10]

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4K_L M_N} \{R_T + \varepsilon_L R_L\} d\Phi, \\ B &= \frac{1}{4K_L M_N} \{R_{TT}\} d\Phi, \\ C &= \frac{1}{4K_L M_N} \{R_{TL}\} d\Phi, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $d\Phi$  является фазовым объемом для конечного состояния адронов, фактор  $4K_L M_N$  есть инвариантный поток виртуальных фотонов, где  $K_L$  и  $M_N$  — модуль волнового вектора виртуального фотона и масса нуклона. Наличие в (1) второго и третьего членов, описываемых произведениями амплитуд реакции под действием виртуальных фотонов различных поляризаций, связано с формированием продольно поляризованного виртуального фотона в процессах рассеяния электронов со степенью поляризации  $\varepsilon_L$  однозначно определяемой кинематикой рассеяния электрона [9, 10].

В качестве примера, на рис. 2 приведено извлечение структурных функций из данных CLAS по дифференциальным сечениям реакции электророждения конечного состояния  $\pi^0 p$  на протонах [12] для  $W = 1.18$  ГэВ,  $Q^2 = 0.4$  ГэВ<sup>2</sup> и  $\cos\theta = -0.9$  с использованием интерфейса CLAS Physics Database.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В коллаборации между Hall B at Jefferson Lab и ОЭПВАЯ НИИЯФ МГУ создана и развивается CLAS Physics Database, содержащая численные данные экспериментов по изучению реакций инклюзивного, полуинклюзивного и эксклюзивного рассеяния электронов на протонах и ядрах полученных на детекторе CLAS в области  $W < 3.0 \text{ ГэВ}$  и  $Q^2 < 4.0 \text{ ГэВ}^2$ . База содержит доминирующую часть мировых данных

по большинству каналов электророжения мезонов на нуклонах в указанной выше кинематической области по  $W$  и  $Q^2$  и на постоянной основе пополняется новыми данными. В будущем в Базу данных будут включены результаты экспериментов на новом детекторе CLAS12 в области  $W < 4.0 \text{ ГэВ}$  и  $Q^2 < 12 \text{ ГэВ}^2$ . Эксперименты на детекторе CLAS12 успешно начались весной 2018 г. Утвержденная программа экспериментов на детекторе CLAS12 охватывает десятилетний период.

- [1] Burkert V.D. // Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 2018. **68**. P. 405.  
 [2] Burkert V.D., Roberts C.D. // Rev. Mod. Phys. 2019. **91**. 011003.  
 [3] Буркерт В.Д., Мокеев В.И., Ишханов Б.С. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2019. № 3. С. 28. (Burkert V.D., Mokeev V.I., Ishkhanov B.S. Mosc. Univ. Phys. Bull. 2019. **74**, N 3. P. 243).  
 [4] Mokeev V.I. Few Body Syst. // 2018. **59**. P. 46.  
 [5] Roberts C.D. Few Body Syst. // 2018. **59**. P. 72.  
 [6] Mokeev V.I. et al. // Phys. Rev. 2016. **C93**. 025206  
 [7] Burkert V.D., Elouadrhiri L. Girod F-X. // Nature. 2018. **557**. P. 396.  
 [8] Anisovich A. V., Burkert V.D. et al. // Phys. Rev. Lett 2017. **119**. 062004.  
 [9] Amaldi E., Fubini S., Furlan G. Pion Electroproduction. Springer Tracts in Modern Physics, 1989. **83**.  
 [10] Mokeev V.I. et al. // Phys. Rev. 2009. **C80**. 045212.  
 [11] CLAS Physics Database, <http://clas.sinp.msu.ru>  
 [12] Joo K., Smith L.C., Burkert V.D., Minehart R., Aznauryan I.G., Elouadrhiri L., Stepanyan S. CLAS Collaboration. // Phys. Rev. Let. 2002. **88**. 122001.

## The CLAS Detector Experiments Database

V. V. Chesnokov<sup>1,a</sup>, B. S. Ishkhanov<sup>1,2,b</sup>, V. I. Mokeev<sup>3,c</sup>

<sup>1</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University  
 Moscow 119991, Russia

<sup>2</sup>Department of Nuclear Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University  
 Moscow 119991, Russia

<sup>3</sup>Thomas Jefferson National Accelerator Facility. 12000 Jefferson Avenue, Suite 15, Newport News, VA 23606, USA  
 E-mail: <sup>a</sup>chesn@depni.sinp.msu.ru, <sup>b</sup>BSI@depni.sinp.msu.ru, <sup>c</sup>mokeev@jlab.org

The CLAS Physics Database has accumulated a vast array of data on cross sections, polarization asymmetries, structure functions, and many other observables obtained using the CLAS detector at the Jefferson Laboratory in photo and electroproduction of mesons on nucleons and atomic nuclei. The database has a web-interface that provides access to the data worldwide, as well as search capabilities, visualization and scientific data analysis. The accumulated data are of interest for testing the functioning of experimental facilities, planning future physical experiments, as well as for a number of related domains of fundamental physics.

PACS: 13.60.Le

Keywords: CLAS JLab database meson electroproduction photoproduction cross-section asymmetry structure functions.

Received 17 June 2019.

## Сведения об авторах

1. Чесноков Виталий Владимирович — программист, тел. (495) 939-34-83, e-mail: chesn@depni.sinp.msu.ru.
2. Ишханов Борис Саркисович — докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой общей ядерной физики, заведующий отделом электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер; тел.: (495) 939-50-95, e-mail: BSI@depni.sinp.msu.ru.
3. Мокеев Виктор Иванович — докт. физ.-мат. наук, staff scientist; тел.: +1 (757) 269-69-90, e-mail: mokeev@jlab.org.