

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ
(Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)

Մկրտչյան Արթուր Գամլետի

ՊՐՈՏՈՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ՓՈՐՄ-ՓԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՐԱԲԵՐՈՒԹՅԱՆ
ՉԱՓՈՒՄԸ $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ ԱՌԱՉԳԱԿԱՆ ՑՐՈՒՄԻՑ
ՓՈՆԱՆԹՎԱԾ ԻՄՊՈՒԼՍՆԵՐ $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ և 8.5 (ԳԷՎ/Շ)² ԱՐԺԵՔՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ:

Ա. 04.16. – “Միջուկի, տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների
ֆիզիկա” մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2012

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ им. А.И. Аликханяна
(Ереванский физический институт)

Мкртчян Артур Гамлетович

ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРМ-ФАКТОРОВ ПРОТОНА
ИЗ УПРУТОГО $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ РАССЕЯНИЯ
ПРИ ЗНАЧЕНИЯХ ПЕРЕДАННЫХ ИМПУЛЬСОВ $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ И 8.5 (ГэВ/с)²

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.04.16 “Физика ядра,
элементарных частиц и космических лучей”
космических лучей”

ԵՐԵՎԱՆ 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ա. Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային
Գիտական Լաբորատորիայի գիտական խորհրդում

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Մ. Միրունյան (ԱԱԳԼ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ.
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ի. Գ. Ազնաուրյան, (ԱԱԳԼ)
ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
Ա.Թ. Մարգարյան, (ԱԱԳԼ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի Պետական Համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2012 թ. հունիսի 15-ին ժամը 14⁰⁰
Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայում գործող ԲՈՀ-ի «Մրջուկի և
տարրական մասնիկների ֆիզիկա» 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-0036,
Ալիխանյան եղբայրների փ. 2)

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԱԱԳԼ-ի գրադարանում:
Սեղմագիրը առաքված է 2012 թ. մայիսի 15-ին
Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար
ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր *Գ. Գազարյան* է. Գ. Գազարյան

Тема диссертации утверждена ученым советом Национальной Научной Лаборатории им.
А. И. Алиханяна

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук
А. М. Сирунян (ННЛ им. А. И. Алиханяна)

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук
И. Г. Азнаурян (ННЛ им. А.И. Алиханяна)
кандидат физ.-мат. наук
А. Т. Маргарян (ННЛ им. А.И. Алиханяна)

Ведущая организация: Ереванский Государственный университет

Защита состоится 15 июня 2012 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного
совета ВАК РА “Физика ядра и элементарных частиц” 024, действующего в ННЛ им. А.И.
Алиханяна (0036, Ереван, ул. Братьев Алиханяна 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛ им. А.И. Алиханяна

Автореферат разослан 15 Мая 2012 г.

Ученый секретарь спец. совета, д.ф.м.н. *Գ. Գազարյան* Э. Д. Газарян

Общая характеристика работы

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по изучению электромагнитной структуры протона, а именно измерения отношения его электрического и магнитного форм-факторов G_E^p/G_M^p при значениях квадрата переданного четырехимпульса $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ и 8.5 (ГэВ/с)², имеющие расхождение с данными, полученными из поляризационных и неполяризационных экспериментов [1,2]. Экспериментально измеренные отношения G_E^p/G_M^p при $Q^2 = 2.5$ (ГэВ/с)² для значений поляризации виртуального фотона $\varepsilon=0.15, 0.63$ и 0.77 показали нечувствительность полученных результатов к диаграммам 2х- фотонного обмена [3]. Разработанные программы моделирования и исследования характеристик калориметров позволили найти оптимальные решения для ряда методических и технических проблем [4]. Созданная и дополнительно введенная в спектрометр HMS система годоскопических счетчиков обеспечила эффективный набор событий упругого рассеяния, сохранив при этом приемлимые энергетическое и угловое разрешения для рассеянного электрона и протона отдачи [5]. Разработанная методика измерений, мониторингования и калибровки калориметра, а также процедура устранения радиационных повреждений сыграли решающую роль для успешного проведения указанных исследований [6,7]. Полученные результаты уницировали ряд новых теоретических и экспериментальных исследований. Разработанная аппаратура, методика измерений и технические решения были использованы в серии других экспериментов [8,9]. Они сыграли решающую роль при утверждении проектов аналогичных измерений при более высоких Q^2 в лаборатории им. Т. Джефферсона (JLab, USA) [10].

Актуальность работы. Экспериментальные исследования структуры нуклонов являются одной из важнейших задач физики элементарных частиц. Электромагнитные форм-факторы занимают особое место среди фундаментальных характеристик нуклонов и связаны с динамикой сильных взаимодействий составляющих нуклонов (кварков). Первое прямое указание на структуру протона было получено примерно 80 лет назад Штерном. В его опытах было измерено аномально большое значение магнитного момента у протона (в 2.79 раза больше, чем ожидалось для точечноподобного протона). Источником бесценной информации структуры нуклонов и ядер стали эксперименты Резерфорда [11]. Электромагнитное взаимодействие является наилучшим инструментом для исследования структуры нуклонов. Первые эксперименты по изучению электромагнитной структуры нуклона были выполнены Хофштадтером в SLAC-е в 50-ые годы [12]. Они позволили оценить зарядовый радиус протона (~0.8 fm). Аналогичные исследования проводились на других электронных ускорителях Европы и Америки (Orsay, Cambridge, Bonn, Saclay, NIKHEF, JLab). Проявление нового интереса и экспериментальной

активности к нуклонным форм-факторам было связано с неожиданными результатами, полученными в JLab Hall A для отношения электрического и магнитного форм-фактора G_E^p/G_M^p , методом измерения поляризации протона отдачи [13, 14]. Для значений Q^2 до 5.6 (ГэВ/с)^2 наблюдался резкий спад этого отношения с ростом Q^2 , что находится в противоречии с данными, полученными из неполяризованных экспериментов методом Розенблюта. Попытки объяснить это разногласие радиационными поправками привели к расчетам и прямым измерениям ранее пренебрегаемых диаграмм с обменом двух фотонов. Отметим, что до проведения наших измерений отсутствовали экспериментальные данные для G_E^p/G_M^p в области $Q^2 > 5 \text{ (ГэВ/с)}^2$, полученные поляризованным методом, а также экспериментальные работы по оценке влияния диаграмм 2х-фотонных обменов на эти результаты. Большинство ранее разработанных моделей (модели векторной доминантности (VDM)) и современные теоретические расчеты (на основе моделей квантовой хромодинамики (QCD) или в рамках составной кварковой модели (CQM)) для описания нуклонных форм-факторов содержат свободные параметры, определяемые подгонкой этих расчетов к экспериментальным данным. Многие из них достаточно хорошо описывают имеющиеся данные по форм-факторам. Однако, точность предсказаний этих моделей зависит от точности свободных параметров для уточнения которых необходимо проведение новых измерений в широкой области Q^2 . С целью улучшения экспериментальной ситуации по изучению структуры протона, в частности Q^2 -зависимости отношения электромагнитных форм-факторов протона, в том числе прямой оценки вклада диаграмм 2х-фотонного обмена на получаемые поляризованным методом результаты, были выполнены эксперименты Гер-III (E04-108) [15] и Гер-2γ (E04-019) [16].

Целью настоящей работы является измерение отношений электромагнитных форм-факторов протона G_E^p/G_M^p при значениях квадрата переданного четырехимпульса $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7, 8.5 \text{ (ГэВ/с)}^2$ и получение экспериментальных данных с передачей поляризации, которые подтвердили пренебрежительный вклад диаграмм с 2х-фотонным обменом в определение отношений G_E^p/G_M^p . В рамках данной работы были выполнены исследования электромагнитного калориметра, в том числе, изучение влияния радиационных повреждений на характеристики BigCal и разработана методика их восстановления ультрафиолетовым облучением. С целью эффективного отбора событий упругого рассеяния была создана и внедрена в экспериментальную установку система триггерных сцинтилляционных счетчиков S0, а также разработана схема накопления данных (база данных) для 1744-канального электромагнитного калориметра BigCal. Основные результаты диссертации получены в экспериментах Гер-III (E04-108) и Гер-2γ (E04-019), выполненных в Hall C на пучке продольно-поляризованных электронов ускорителя CEBAF лаборатории имени Джефферсона с октября 2007 г. по июнь 2008 г. в рамках

сотрудничества между Национальной Научной Лабораторией им. А. Алиханяна (ЕрФИ) и Лабораторией Томаса Джефферсона (JLab).

Научная новизна работы: Впервые на основе проведенных исследований получены новые экспериментальные данные для отношений электрического и магнитного форм-факторов протона при значениях квадрата переданного четырехимпульса $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ и 8.5 (ГэВ/с)^2 . Впервые для процесса упругого ($\bar{e}p$) рассеяния получены экспериментальные данные, подтверждающие пренебрежимую роль диаграмм 2х-фотонного обмена на отношение продольной и поперечной компоненты переданной протону поляризации. Впервые разработана и создана система триггерных счетчиков для эффективного отбора событий упругого рассеяния электронов и создана система для устранения радиационных повреждений калориметра BigCal методом ультрафиолетового облучения (УФО).

Практическая ценность. Полученные экспериментальные результаты будут использованы для развития новых теоретических моделей. В настоящее время на основе полученных результатов и методических разработок принят ряд новых экспериментальных проектов по измерению электромагнитных форм-факторов протона, как на действующем ускорителе CEBAF, так и на проектируемом CEBAF-12 ГэВ.

Автор выносит на защиту:

1. Результаты отношения электромагнитных форм-факторов протона G_E^p/G_M^p при $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ и 8.5 (ГэВ/с)^2 , измеренные методом "переданной поляризации" в процессе упругого рассеяния продольно поляризованных электронов на неполяризованной мишени $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$; сравнение полученных экспериментальных результатов с мировыми данными и с предсказаниями теоретических моделей.
2. Оценку вклада 2х-фотонного обмена в упругом ер-рассеянии в отношении форм-факторов протона G_E^p/G_M^p при $Q^2 = 2.5 \text{ (ГэВ/с)}^2$ для трех значений поляризации виртуального фотона $\varepsilon = 0.15, 0.63$ и 0.77 .
3. Разработку и создание системы триггерных счетчиков S0 для эффективного отбора событий упругого рассеяния, а также исследование точностей определения энергий, углов и координат рассеянного электрона и протона отдачи с учетом дополнительных материалов в магнитном спектрометре HMS и на входе в электромагнитный калориметр BigCal.
4. Изучение влияния радиационного фона на энергетическое и координатное разрешения калориметра BigCal и создание системы для устранения радиационных повреждений методом ультрафиолетового облучения.

5. Создание систем базы данных, калибровки и мониторингования для калориметра BigCal.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на научных семинарах Национальной Научной Лаборатории им. А. И. Алиханяна и Лаборатории им. Джефферсона (США), секциях Американского Физического Общества, на митингах коллаборации Hall C, а также в ведущих зарубежных центрах- ОИЯИ (Дубна), NIKHEF (Amsterdam), DESY (Hamburg), а также представлены на Международные конференции:

- 6th Inter. Conf. on Perspect. in Hadr. Phys., Trieste (Italy), 12-16 May 2008;
- 18th Part. and Nucl. Conf. PANIC08, Eliat (Israel), 9-14 November 2008;
- 13th Adv.Res. Workshop on High En. Spin Phys., SPIN-09, Dubna (Russia), 1-5 Sept. 2009;
- 10th Conf. Int. Sect. of Part. Nucl. Phys., CIPANP-2009, San Diego, CA, 17 Dec 2009;
- 4th Workshop on Excl. React. at HTM, Exclusive-2010, Newport News, VA, 18 May 2010;
- Annual Meetings of American Physics Society (APS), 2008-2010.

По теме диссертации опубликовано 7 статей в журналах Phys. Rev. Lett., Изв. АН РА и в трудах конференций.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 149 страниц печатного текста, включая 61 рисунок, 23 таблицы и список литературы из 171 наименований.

Содержание диссертации

Введение содержит научное обоснование необходимости и актуальности выполненной работы по изучению структуры нуклонов, в частности, по измерению отношения электромагнитных форм-факторов протона в области больших Q^2 , где предсказания различных теоретических моделей сильно отличаются друг от друга, а данные, полученные методом "передающей поляризации" полностью отсутствуют. Сформулированы основные цели и задачи исследований.

В первой главе дано краткое описание формализма упругого (eN) рассеяния, где отдельно выделен процесс упругого рассеяния неполяризованных электронов. Приведен метод Розенблюта, который используется для разделения электрического и магнитного форм-факторов, а также изложен метод измерения отношения электромагнитных форм-факторов нуклонов в реакциях упругого рассеяния поляризованных электронов на основе измерений компонент продольной и поперечной поляризации протона. Приведен полный

обзор имеющихся экспериментальных данных по форм-факторам нуклонов и обсуждается проблема разногласия между данными G_E^p/G_M^p , полученными в неполяризованных экспериментах и с передачей поляризации. Обоснована важность измерений при больших Q^2 . В экспериментах с неполяризованным электронным пучком для разделения электрического (G_E) и магнитного (G_M) форм-факторов используется метод Розенблюта, где сечение ер-рассеяния, нормировано на сечение Мотта σ_M (сечение рассеяния для точечной частицы) и представляется в виде линейной функции, зависящей от поляризации виртуального фотона ε :

$$\sigma_R = \frac{\sigma_{eN}}{\sigma_M} = \frac{d\sigma}{d\Omega_e} \frac{(1+\tau)\varepsilon}{\sigma_M\tau} = \frac{\varepsilon}{\tau} G_E^2 + G_M^2 \quad (1)$$

Для определения G_E и G_M этим методом требуются измерения при 2-х различных значениях ε и полученные результаты очень чувствительны к параметрам установки, пучка и к радиационным поправкам. При этом возникают серьезные трудности для выделения электрического форм-фактора в области больших Q^2 . Эксперименты упругого рассеяния поляризованных электронов, основанные на измерении отношения компонент переданной протону поляризации свободны от указанных проблем. Отношение продольной (P_L) и поперечной (P_T) компонент переданной поляризации прямым образом связано с отношением форм-факторов:

$$\frac{P_L}{P_T} = -\frac{G_E}{G_M} \frac{2M}{Q} \cos \frac{\theta_B}{2} \quad (2)$$

Этот метод в отличие от метода Розенблюта для определения G_E/G_M требует только одно измерение и не зависит как от степени поляризации электронного пучка, так и от анализирующей способности поляриметра. Однако, их высокие значения важны для обеспечения эффективности экспериментальных измерений. На рис.1 приведены предшествующие экспериментальные данные отношений $\mu_p G_E^p/G_M^p$. Как видно из рисунка, при $Q^2 \geq 2$ (ГэВ/с)² наблюдается сильное расхождение между данными, полученными методом Розенблюта и с передачей поляризации.

С целью уточнения причин расхождения данных, полученных из измерений сечения и поляризованных наблюдаемых, были инцидированы эксперименты Гер-III и Гер-2γ в Hall C лаборатории им. Т. Джефферсона, результаты которых составляют основу данной диссертации.

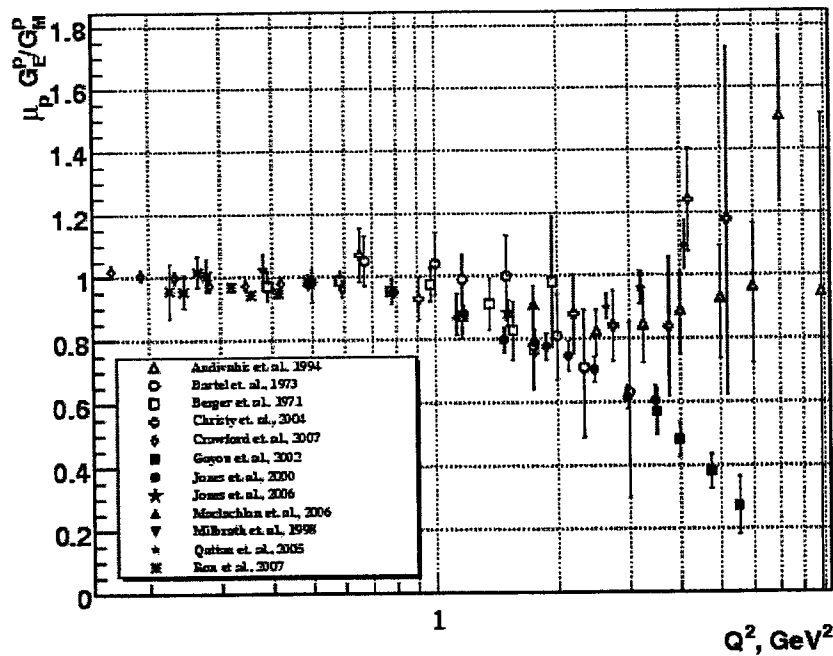


Рис. 1 Отношения электромагнитных форм-факторов протона $\mu_p G_E^p / G_M^p$, полученные в экспериментах с передачей поляризации (сплошные квадратики и кружки) и методом Розенблюта (пустые символы).

Во второй главе приведены общие сведения об ускорителе CEBAF. Приводится описание экспериментальной аппаратуры Hall C, в том числе тракта электронного пучка, системы измерения его поляризации и мониторингования, а также магнитного спектрометра HMS для регистрации протонов отдачи и многоканального (1744-каналов) калориметра BigCal для регистрации и идентификации рассеянных электронов. Для измерения компонент продольной и поперечной поляризации, переданной протону в процессе упругого ($\bar{e}p$) рассеяния, стандартная конфигурация детекторной системы спектрометра HMS была переоборудована с введением нового поляриметра фокальной плоскости (FPP). Описана разработанная и внедренная в спектрометр HMS система сцинтилляционных счетчиков S0 для оптимизации акцептанса спектрометра и триггера регистрации протонов упругого рассеяния. Особое внимание уделено обсуждению результатов исследований по радиационному

повреждению свинцовых стекл калориметра и описанию разработанного метода ультрафиолетового (UV) облучения для восстановления его характеристик. Приведены основные сведения о созданной системе базы данных, с помощью которой возможно было оперативно управлять калориметром BigCal. В экспериментах использовался пучок продольно-поляризованных электронов с поляризацией $\sim 85\%$ при интенсивности до 80 μA . В качестве рабочей мишени использовалась жидководородная мишень длиной 20 см. Во время экспериментальных измерений направление поляризации менялось (± 1) с частотой 30 Гц. Положение пучка на мишени контролировалось датчиками BPM (Beam Position Monitor). Спектрометр HMS служил для регистрации протонов от упругого ($\bar{e}p$) рассеяния и для измерения продольной и поперечной компоненты переданной поляризации. HMS имеет импульсный и угловой захват $\pm 10\%$ и 6 msr, соответственно. Импульсное разрешение спектрометра для частиц с импульсом до 7.4 ГэВ/с лучше чем 10^{-3} , а угловое разрешение ~ 2 mrad. HMS состоит из пары дрейфовых камер (DC1, DC2), четырех сцинтилляционных годоскопов (S1X, S1Y, S2X, S2Y), аерогельного Черенковского детектора и электромагнитного калориметра. При проведении экспериментов Гер-III и Гер-2 γ газовый Черенковский счетчик и задние плоскости годоскопов S2X и S2Y были сняты, освободив место для поляриметра фокальной плоскости FPP. Схематический вид спектрометра HMS и его поляриметра FPP показан на рис. 2.

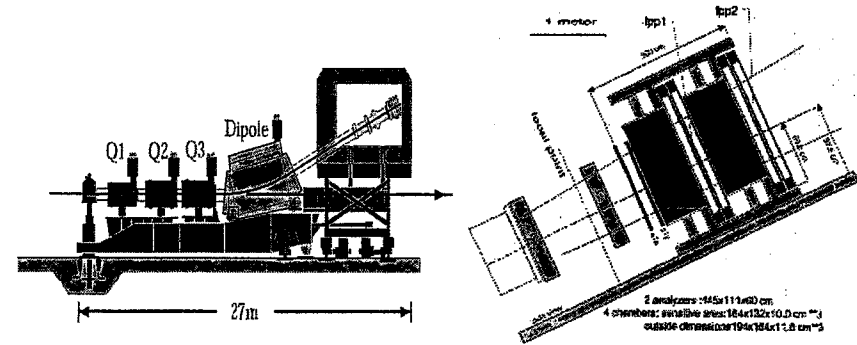


Рис. 2 Схематический вид спектрометра HMS и его поляриметра FPP.

С целью улучшения временного разрешения спектрометра и приемлемого счета истинных и случайных событий (совпадений $e p$) перед первой дрейфовой камерой была установлена созданная система сцинтилляционных счетчиков S0. Размеры и положение S0 были выбраны таким образом, чтобы совпадеательный триггер "S1X+S1Y+S0" преимущественно был нацелен на сбор событий упругого рассеяния. Рассеянные электроны регистрировались в 1744-канальном калориметре BigCal, изготовленном из свинцового стекла TF-1. Все

блоки имеют размеры $\sim 4 \times 4 \text{ см}^2$ и толщину ~ 15 радиационных длин ($\sim 40 \text{ см}$). Координатное разрешение BigCal было исследовано Монте-Карло моделированием, основанным на программном пакете GEANT-3. Важным узлом калориметра является система калибровки и мониторинга на основе световых диодов (LED). Основными задачами системы мониторинга являются периодическое определение относительного усиления всех каналов, выравнивание амплитуд с помощью коррекции высоких напряжений на ФЭУ, слежение за ухудшением характеристик калориметра, вызванных поглощением радиационного фона. На рис.3 показаны зависимости усиления фотоумножителей и разрешения BigCal от величины накопленного заряда электронного пучка. Исследование оптических характеристик поврежденных блоков TF-1 показало, что облучение поврежденных блоков ультрафиолетовым (UV) светом эффективно устраняет радиационное повреждение. С этой целью была сконструирована система из ультрафиолетовых ламп (мощностью $\sim 14 \text{ W}$) для облучения и восстановления калориметра. Несмотря на регулярное ультрафиолетовое облучение, был обнаружен остаточный эффект от радиационного повреждения кристаллов и разрешения калориметра постепенно снизилось до уровня $\sim 20\%$ (при $E = 2.3 \text{ ГэВ}$). Даже после двух месячного UV облучения нам не удалось полностью устранить эффекты радиационного повреждения, достигнув лишь разрешения $\sim 14\%$ (при $E = 1.2 \text{ ГэВ}$).

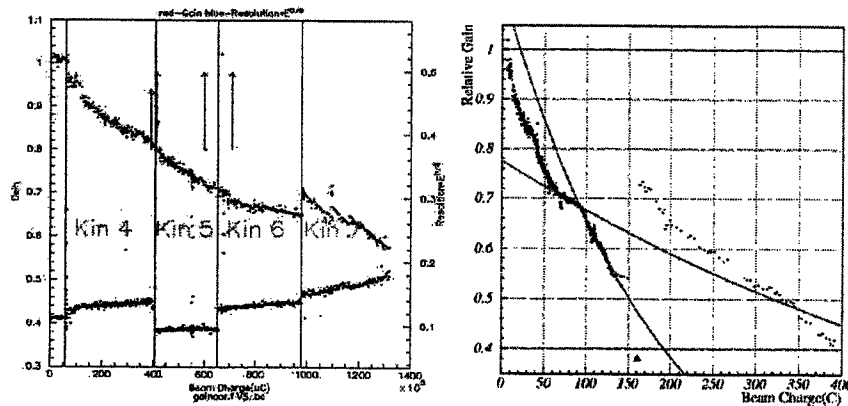


Рис. 3: Усиление фотоумножителей и энергетическое разрешение BigCal в зависимости от накопленного заряда электронного пучка в течение первого цикла измерений Гер-III (Октябрь 2007 – Январь 2008). Справа показана часть данных с фитом функцией $\alpha \cdot e^{-\beta \cdot x}$

Созданная система “базы данных” BigCal позволяла оперативно корректировать параметры калориметра, и хранить полезную информацию для последующего анализа. Основные результаты этой главы опубликованы в работах [4– 7].

Третья глава диссертации посвящена описанию процедуры экспериментальных измерений и анализу результатов. Первичным элементом системы накопления данных (DAQ) является “Триггер Супервайзер” (TS), который используется для контроля системы набора данных при различных вариантах триггера (одиночный, совпадательный, и т.д.) и считывания информации с BigCal, съема временных и амплитудных характеристик с годоскопов и калориметра спектрометра HMS, а также данных поляриметра FPP. Время считывания и записи одного события порядка несколько десятков микросекунд, а время загрузки информации всех заработанных каналов в сеть Hall C составляет несколько сот микросекунд. Основной триггер для набора событий упругого ер-рассеяния формировался совпадением протона (HMS) и электрона (BigCal). В эксперименте E04-108 была расширена кинематическая область измерений отношения G_E^p/G_M^p до максимально достигаемых $Q^2 = 8.5 \text{ (ГэВ/с)}^2$, при энергии CEBAF 6 ГэВ. В эксперименте E04-019 для оценки вклада от диаграмм 2х-фотонного обмена измерялась ϵ -зависимость отношения G_E^p/G_M^p при $Q^2 = 2.5 \text{ (ГэВ/с)}^2$. Методика анализа данных для экспериментов Гер-III и Гер-2 γ идентичны. Вначале проводилась калибровка ливневых детекторов и спектрометра BigCal и определялась эффективность детекторов. В процессе эксперимента процедура калибровки BigCal периодически повторялась с целью коррекции высокого напряжения на фотоумножителях для компенсации изменения амплитуды сигнала из-за радиационного повреждения блоков. По энерговыделению E_i и координатам X_i, Y_i сработанных блоков определялось положение центра тяжести ливня в калориметре:

$$E = \sum E_i, \quad X = \sum E_i X_i / E, \quad Y = \sum E_i Y_i / E \quad (3)$$

Абсолютная калибровка энергии калориметра BigCal проводилась с помощью регистрации фоновых π^0 -мезонов с 2х-фотонным распадом и восстановления его инвариантной массы. Контроль за состоянием BigCal осуществлялся калибровочными измерениями со световыми диодами (LED). На основе данных дрейфовых камер спектрометра HMS и поляриметра FPP проводилась реконструкция траекторий протонов с разделением событий упругого и неупругого рассеяния. Как известно, импульс протона отдачи p_p при упругом рассеянии определяется соотношением (4), где E_e - энергия электронного пучка, θ_p - угол вылета протона отдачи. Разница между измеренным (p) и ожидаемым значением (p_p) определяет “неупругость” данного события.

$$p_p = \frac{2M_p E_e (E_e + M_p) \cos \theta_p}{M_p^2 + 2M_p E_e + E_e^2 \sin^2 \theta_p} \quad (4)$$

Эта разница выражается в процентах относительно центрального импульса HMS и представляется как $\Delta_p \equiv 100 \times (p - p(\theta_p)) / p_0$. Естественно, что упругие

события проявляются при $\Delta_p \approx 0$ резким пиком (рис. 4) на фоне неупругих событий в этой области. Для эффективного разделения упругих-неупругих событий (при больших Q^2) была использована дополнительная информация электронного плеча (BigCal).

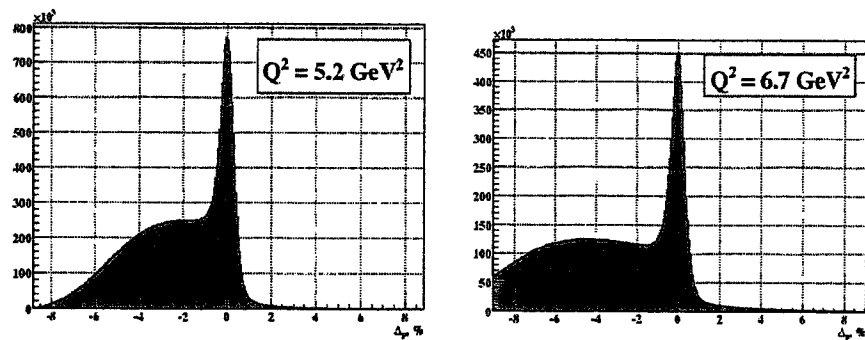


Рис. 4 Распределения Δ_p без отбора по координатам BigCal при $Q^2 = 5.2$ и 6.7 (ГэВ/с)²

Фон от π^0 – мезонов сильно затрудняет анализ при $Q^2 = 8.5$ (ГэВ/с)² (левая часть рис. 5).

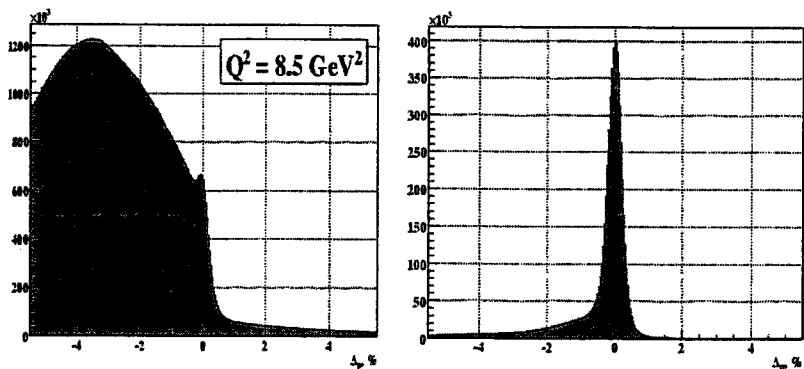


Рис. 5 Распределения Δ_p при $Q^2 = 8.5$ (ГэВ/с)² без учета данных BigCal (слева) и с учетом координатной информации электронов в калориметре (справа).

Как видно из рис.5, доля неупругих событий резко уменьшается при использовании критерия отбора разницы ожидаемых и измеренных координат электрона (Δ_x , Δ_y) в калориметре BigCal. Вклад неупругих событий также

независимо оценивался на основе Монте-Карло моделирования. Разница в оценках не превосходила 4-10%.

Для определения отношения форм-факторов G_E^p/G_M^p из экспериментальных данных вычислялось отношение продольной и поперечной компоненты поляризации рассеянного протона (ф-ла (2)). С этой целью измерялась азимутальная асимметрия рассеянных протонов в анализаторе CH_2 поляриметра FPP с учетом поворота спина в магнитных полях спектрометра HMS. Вследствие больших геометрических размеров счетчиков, зависимостей углового и импульсного акцептансов, а также эффективностей детекторов FPP от азимутального угла ϕ возможно возникновение спин-независимой "ложной асимметрии". Как известно, при рассеянии неполяризованных электронов асимметрия не должна возникать. Таким образом, в эксперименте суммированная по двум состояниям спина электронного пучка (+ и -) асимметрия может возникнуть лишь в случае "ложной асимметрии". Такой спектр аппроксимировался полиномиальной функцией и использовался для оценки "ложной асимметрии", которая далее вычиталась из спектра асимметрий, полученной при каждой спиральности пучка. Аналогичная процедура проводилась для всех кинематических точек измерений. Основные результаты этой главы опубликованы в работах [3,4,5, 6].

Четвертая глава диссертации посвящена описанию полученных результатов и анализу источников систематических ошибок. Для определения переданной протону поляризации был использован Метод Максимального Правдоподобия. Транспортировка спина протонов через магнитные поля спектрометра HMS и оценка неточностей расчетов проводилась в рамках модели COSY [17]. Радиационные поправки на поляризационные наблюдаемые оценивались в соответствии с работой А. Афанасьева [18] и не превосходили ~1%, поскольку при измерениях периодически изменяли знак поляризации ϵ -пучка ($\hbar = \pm 1$), что приводило к сокращению поправок на отношение компонент переданной поляризации (следовательно и для $R = \mu G_E^p/G_M^p$). Основные систематические ошибки в G_E/G_M связаны с возникновением ложной асимметрии, которая учитывается в расчетах поворота спина в спектрометре HMS и при оценке вклада от неупругого фона. Ошибки в расчетах поворота спина можно разделить на две категории: ошибки восстановления координат и углов и неточности модели COSY, используемой при оценке поворота спина. Отметим, что отношение формфакторов крайне чувствительно к углу поворота спина, так как поворот смешивает компоненты переданной протону поляризации (P_1 и P_1). В Таблице 1 приведены результаты для отношения $R = \mu G_E^p/G_M^p$, полученные из экспериментов Гер-III и $G_{\text{ep-}2\gamma}$ с статистическими и систематическими ошибками для средних значений Q^2 .

Таблица 1. Отношения $R = \mu G_E^p / G_M^p$, полученные из экспериментов Ger-III / $G_{ep-2\gamma}$

$\langle Q^2 \rangle$	Q_{\min}^2	Q_{\max}^2	$R \pm \Delta R_{\text{stat}} \pm \Delta R_{\text{syst}}$
2.500	2.490	2.510	$0.694 \pm 0.004 \pm 0.011$
5.171	4.904	5.476	$0.436 \pm 0.067 \pm 0.0165$
6.703	6.451	7.255	$0.389 \pm 0.114 \pm 0.022$
8.488	8.135	8.868	$0.205 \pm 0.181 \pm 0.043$

На Рис. 6 представлены данные Ger-III (квадратики) вместе с результатами ранних измерений Hall A (треугольники и кружки). Приведены лишь статистические ошибки, масштаб систематических ошибок для Ger-III показан в верхней части рисунка. Отметим, что после недавнего пересмотра данных Hall A при больших Q^2 (из эксперимента E99-007) расхождение с нашими результатами уменьшилось.

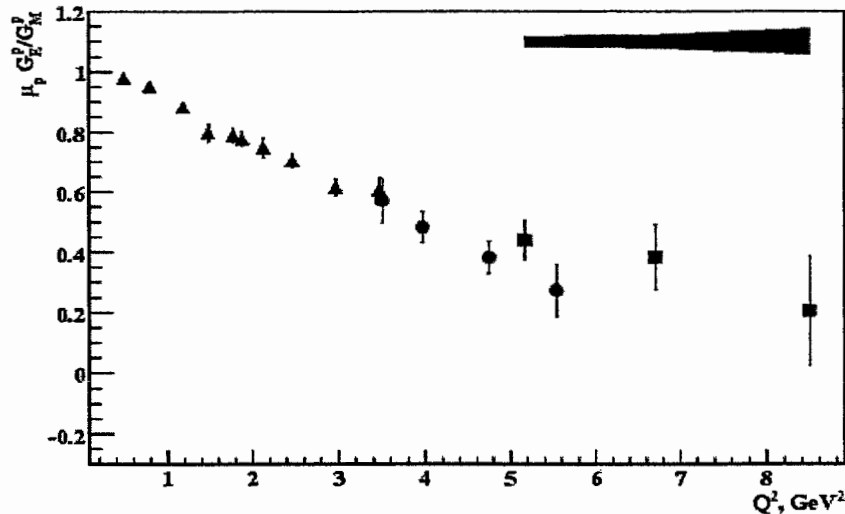


Рис. 6 Отношения $R = \mu G_E^p / G_M^p$, полученные из экспериментов Ger-III и $G_{ep-2\gamma}$ (квадратики) вместе с измерениями Hall A при малых Q^2 (треугольники: E93-027[13], кружки: E99-007 [14]).

Как было отмечено ранее, существует разногласие между данными $R = \mu_p G_E^p / G_M^p$, полученными из экспериментов упругого рассеяния поляризованных электронов ($e_p \rightarrow e_p'$) с передачей поляризации и неполяризованных экспериментов $e_p \rightarrow e_p'$ с разделением G_E и G_M по методу Розенблюта. Данные, полученные

по методу Розенблюта указывали на независимость отношения R от Q^2 , а поляризационные эксперименты показывали резкое падение R с ростом Q^2 . Основным источником этого разногласия считался неучет вклада диаграмм 2х-фотонного обмена. Теоретические оценки указывали на ничтожно малый вклад диаграмм 2х-фотонного обмена на отношение компонент переданной протону поляризации, тем самым и на G_E^p / G_M^p . При этом отсутствовали прямые измерения этого вклада. Для оценки чувствительности результатов G_E^p / G_M^p , полученных из e_p -рассеяния к вкладу диаграмм с 2х фотонным обменом, был выполнен эксперимент "Ger-2 γ ". Суть измерений сводится к проверке ϵ зависимости отношения продольной и поперечной компоненты переданной протону поляризации p_L / p_T . Эксперимент Ger-2 γ (E04-019) был выполнен при $Q^2 = 2.5$ (ГэВ/с)² для трех значений поляризации виртуального фотона $\epsilon = 0.154, 0.633$ и 0.789 . Кинематические параметры и результаты для $R = \mu G_E^p / G_M^p$, полученные из эксперимента $G_{ep-2\gamma}$ приведены в Таблице 2. Отсутствие зависимости отношения форм факторов от поляризации ϵ подтверждает малость (~1%) вклада от диаграмм 2 γ -обмена.

Таблица 2. Средние значения кинематических параметров и отношения $R = \mu G_E^p / G_M^p$, со статистическими и систематическими ошибками

E_e (GeV)	Q^2 (GeV/c) ²	θ_e (deg)	E (GeV)	$R \pm \text{stat.} \pm \text{syst.}$
1.87	2.493	104.0	.152 \pm 0.025	.695 \pm 0.009 \pm 0.017
2.84	2.490	44.6	.635 \pm 0.015	.689 \pm 0.010 \pm 0.014
3.63	2.490	31.7	.785 \pm 0.009	.692 \pm 0.011 \pm 0.013

На рис. 7 показаны отношения форм-факторов протона в зависимости от ϵ . Сплошными кружками показаны наши результаты, пустой треугольник представляет ранее проведенное измерение Hall A [13]. Наши измерения подтвердили, что для G_E^p / G_M^p вклад диаграмм с 2х-фотонным обменом мал или примерно одного порядка для G_E^p и G_M^p , и в отношении они компенсируют друг друга. Из результатов эксперимента Ger-2 γ было также получено отношение $R = \mu G_E^p / G_M^p = 0.694 \pm 0.004$ при $Q^2 = 2.5$ (ГэВ/с)², что весьма хорошо согласуется с ранее полученным в Hall A (из эксперимента E93-027) значением $R = 0.703 \pm 0.023$ при $Q^2 = 2.47$ (ГэВ/с)².

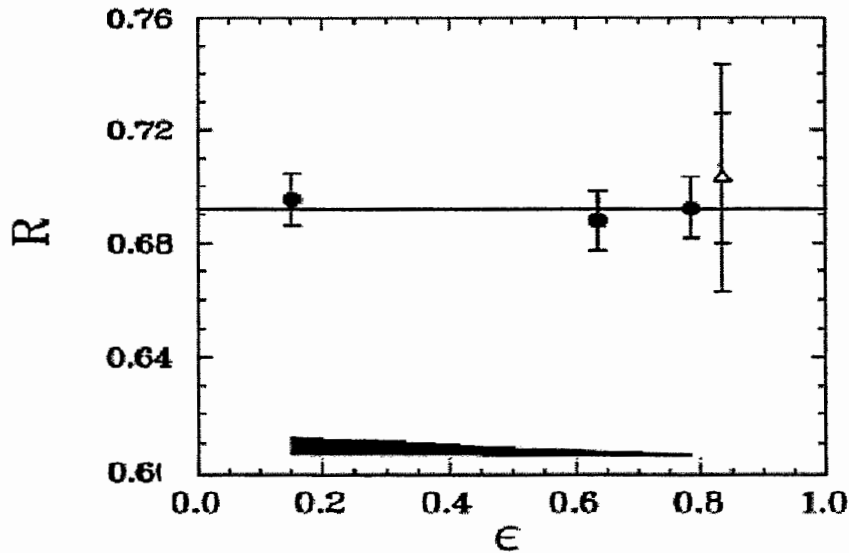


Рис.7: Отношения форм-факторов протона в зависимости от ϵ . Сплошными кружками показаны наши результаты, пустой треугольник представляет ранее проведенное измерение Hall A [13].

На рис.8 представлены полученные результаты отношений электромагнитных форм-факторов протона $\mu_p G_E^p/G_M^p$ из эксперимента GEp-III в комбинации с ранее измеренными данными при более низких Q^2 из экспериментов E93-027 [13] и E99-007 [14] Hall A и сравниваются с предсказаниями различных теоретических моделей. Результаты наших измерений при $Q^2 = 2.5$ и 5.2 (ГэВ/с)² находятся в хорошем согласии с данными Hall A, которые также получены методом переданной протону поляризации, однако они более точны. При $Q^2 = 6.7$ и 8.5 (ГэВ/с)² измерения отношения $\mu_p G_E^p/G_M^p$ являются первыми, и пока единственными. В целом, все имеющиеся экспериментальные данные полученные по методу переданной протону поляризации подтверждают, что отношение $\mu_p G_E^p/G_M^p$ продолжает падать с ростом Q^2 . Тем самым, существующее противоречие между данными полученными из неполяризованных измерений по методу Розенблюта и данными полученными из поляризованных экспериментов остается не объяснимой и требует дальнейших исследований.

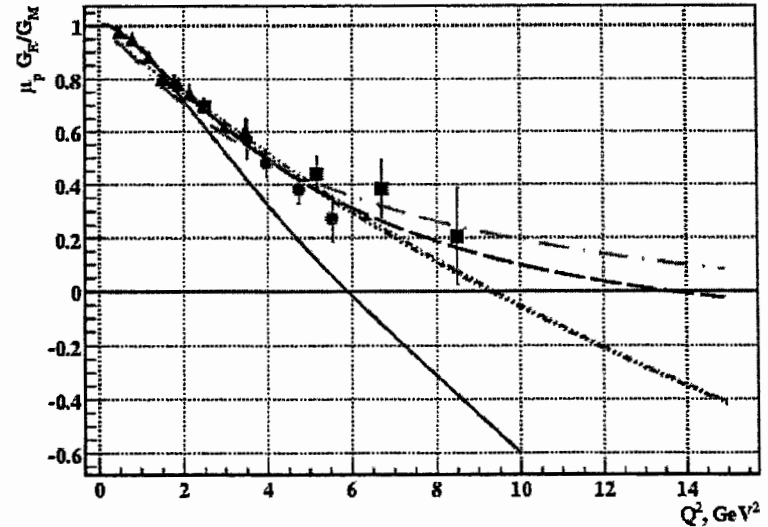


Рис.8: Сравнение экспериментальных данных отношения $\mu_p G_E^p/G_M^p$ с предсказаниями некоторых теоретических моделей.

Как видно из рисунка наилучшее согласие имеется с моделями VDM (lachello-пунктур) [19] и (Lomon- точка-пунктур) [20]. Модели pQCD (Belitsky) [21] и GPD (Guidal) [22] (две почти совпадающие точечные кривые), и модель LFCBM (Miller-солидная кривая) [23] предсказывают более резкое падение отношения R с Q^2 и расходятся с данными. Результаты этой главы опубликованы в работах [1,2,7].

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе. Они сводятся к следующему:

1. Проведены измерения асимметрии протонов упругого $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ рассеяния. Из отношений продольных и поперечных компонент переданной протону поляризации с высокой точностью определены значения G_E^p/G_M^p при $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ и 8.5 (ГэВ/с)². Полученные результаты сравнены с предсказаниями теоретических моделей [1, 2, 3].

2. При $Q^2 = 2.5$ (ГэВ/с)² измерено отношение продольных и поперечных компонент переданной поляризации протонов упругого $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ рассеяния при значениях поляризации виртуального фотона $\epsilon = 0.15, 0.63$ и 0.77 . Отсутствие зависимости отношения P_1/P_t от параметра ϵ свидетельствует о пренебрежительном вкладе диаграмм двух-фотонного обмена в экспериментах с передачей поляризации [3].

3. Создана система сцинтилляционных счетчиков S0 для спектрометра HMS с целью эффективной селекции протонов от упругого рассеяния. Изучено влияние размеров и толщины этих счетчиков в спектрометре HMS на точности определения энергетических, угловых и координатных параметров протонов отдачи и электронов [5].

4. Исследованы характеристики спектрометров HMS и BigCal, разработаны методы их калибровки. Изучено влияние радиационного фона на характеристики калориметра, разработан метод ультрафиолетового облучения для восстановления их прозрачности [4,7].

5. Создана система базы данных и мониторингования для многоканального калориметра BigCal [6].

Литература

Публикации вошедшие в диссертацию:

1. A. J. Puckett, ..., A. Mkrchyan et al., Recoil polarization measurements of the proton electromagnetic form factor ratio to high momentum transfer, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 242301 (2010); 10th Conf. Int. Part. Nucl. Phys., CIPANP-2009, San Diego, CA, 26 May 2009, AIP Conf. Proc. 1182 (2009) 925; arXiv:1005-3419, [nucl-ex].
2. A. J. Puckett for GEP-III Collaboration, Final results of the GEP-III experiment and status of the proton form factors, 4th Workshop on Exclusive Reactions at High Momentum Transfer, Exclusive-2010, Newport News, VA, May 2010; arXiv:1008.0855 [nucl-ex].
3. M. Meziane, ..., A. Mkrchyan et al., Search for effects beyond the Born approximation in polarization transfer observables in $\bar{e}p$ elastic scattering, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 132501 (2011); arXiv:1012.0339, [nucl-ex].
4. H. G. Mkrchyan, ..., A. Mkrchyan et al., Electromagnetic calorimeter for SHMS spectrometer at JLab Hall C, *Ei. J. Natural Sciences, NAS RA*, **1(14)**, 2010, 22-32; JLAB-TN-06-035, 2006; JLAB-TN-07-005, 2007; JLAB-TN-10-016, 2010; JLAB-TN-11-037, 2011.
5. A. Mkrchyan, Monte Carlo studies for Hall C experiment GepIII: Effect of the additional materials on the detector resolution, *Ei. J. Natural Sciences, NAS RA*, **1(16)**, 2011, 31-35; JLAB-TN-06-020, 2006.
6. A. Mkrchyan, Database for BigCal in GEP-III experiment at Hall C, *Ei. J. Natural Sciences, NAS RA*, **1(16)**, 2011, 27-30; JLAB-TN-09-026, 2009.
7. A. Mkrchyan, Study of radiation-induced optical effects on the lead-glass, *Ei. J. Natural Sciences, NAS RA*, **1(16)**, 2011, 36-39.

Цитируемая литература:

8. S. Choi, Z. Meziani, O. Rondon, Spin Asymmetries on the Nucleon Experiment-SANE. JLab Experiment E-07-003.
9. B. Wojtsekhowski, Polarization transfer in Wide Angle Compton Scattering. JLab Experiment E-07-002.
10. C. F. Perdrisat et al., Large Acceptance Proton Form Factor Measurements at 13 and 15 GeV² Using Recoil Polarization Method. JLab Proposal E12-07-109.
11. R. Reserford. The Scattering of α and β particles by matter and structure of atom. *Philosophical Magazine*, **21**, 669 (1911).
12. R. Hofstadter and R. McAllister, Electron Elastic Scattering from the Proton. *Phys. Rev.* **98**, 217 (1955).
13. V. Punjabi et al., Proton elastic form factor ratio to $Q^2 = 3.5 \text{ GeV}^2$ by polarization transfer. *Phys. Rev. C* **71**, 0505202 (2005).
14. O. Gayou et al., Measurements of G_E^p/G_M^p in $\bar{e}p \rightarrow e\bar{p}$ to $Q^2 = 5.6 \text{ GeV}^2$.
15. C. F. Perdrisat, V. Punjabi, M. Jones and E. Brash, JLab Experiment E04-108: Measurement of GEp/GMp to $Q^2 = 9 \text{ GeV}^2$.
16. C. F. Perdrisat et al., JLab experiment E04-019: Measurement of the Two-Photon-Exchange Contribution in ep Elastic Scattering Using Recoil Polarization.
17. M. Berz, J. Hoefkens, and K. Makino. COSY INFINITY Version 8.1 programming manual. Tech. Report MSUHEP-20703. <http://cosy.pa.msu.edu>.
18. A. Afanasev et al., Model independent radiative corrections in processes of polarized electron-nucleon elastic scattering. *Phys. Rev. D* **64**, 113009 (2001).
19. R. Bijker and F. Iachello, Reanalysis of the nucleon spacelike and timelike electromagnetic form factors in a two-component model. *Phys. Rev. C* **69**, 068201 (2004)
20. E. L. Lomon, Effect of recent Rp and Ru measurements on extended Gari-Krumpelmann model fits to nucleon electromagnetic form factors, *Phys. Rev. C* **66**, 045501 (2002)
21. A. V. Belitsky, X. Ji, and F. Yuan, Perturbative QCD analysis of the nucleon's Pauli form factor F2(Q²), *Phys. Rev. Lett.* **91**, 092003 (2003)
22. M. Guidal et al., Nucleon form factors from generalized parton distributions, *Phys. Rev. D* **72**, 054013 (2003).
23. G. A. Miller, Light front cloudy bag model: Nucleon electromagnetic form factors, *Phys. Rev. C* **66**, 032201 (2002).

Պրոտոնի էլեկտրամագնիսական ֆորմ-ֆակտորների հարաբերության չափումը $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ առաձգական ցրումից փոխանցված իմպուլսներ $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.8$ և

8.5 (ՉէՎ/с)² արժեքների համար

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Նուկլոնների կառուցվածքի փորձնականորեն ուսումնասիրվող կարևորագույն մեծություններից են էլեկտրամագնիսական ֆորմ-ֆակտորները: Ժամանակակից տեսական հաշվարկները, որոնք նկարագրում են նուկլոնի բաղկացուցիչ մաս կազմող թվարկների ուժեղ փոխազդեցությունը, խիստ անհրաժեշտություն ունեն նոր և ճշգրիտ փորձարարական տվյալների Q^2 արժեքների լայն տիրույթում: Էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը լավագույն հնարավորություն է տալիս նման ուսումնասիրությունների, քանի որ այն տեսականորեն ճշգրիտ հաշվարկելի է, և համեմատաբար թույլ, որը չի խախտում նուկլոնի ներքին կառուցվածքը: Նման չափումները կարելի է բաժանել երկու դասի՝ ոչ-բևեռացված և բևեռացված փնջերով չափումներ: Նախկինում բևեռացման մեթոդով կատարված չափումները ակնհայտորեն ցույց տվեցին էլեկտրական և մագնիսական ֆորմ-ֆակտորների հարաբերության խիստ կախվածությունը փոխանցվող Q^2 քառաչափ իմպուլսից, որը շատ անսպասելի էր և հակասում էր ոչ-բևեռացված փնջերով ստացված արդյունքներին: Ատենախոսությունը նվիրված է պրոտոնի էլեկտրամագնիսական ֆորմ-ֆակտորների հարաբերության փորձարարական հետազոտման արդի խնդիրներին: Արդյունքները ստացվել են ԱՄՆ-ի Ջեֆերսոնի անվան լաբորատորիայի CEBAF արագացուցիչի Hall C սրահում 2007-2008 թթ. կատարված Gep-III և Gep-2y գիտափորձերից: Օգտագործելով երկայնական բևեռացված էլեկտրոնային փունջ և չբևեռացված հեղուկ ջրածնային թիրախ, ($\bar{e}p$) առաձգական ցրման երևույթում փոխանցված բևեռացման լայնական և երկայնական բաղադրիչների չափման միջոցով որոշվել է պրոտոնի էլեկտրական և մագնիսական ֆորմ-ֆակտորների G_E^p/G_M^p հարաբերությունը քառաչափ իմպուլսի քառակուսու $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ և 8.5 (ՉէՎ/с)² արժեքների համար: Ստացված արդյունքները $Q^2 = 2.5$ և 5.2 (ՉէՎ/с)² արժեքներում լավ համաձայնեցման մեջ են նախկինում նման մեթոդով կատարված չափումների հետ, բայց առանձնաձև են իրենց բարձր ճշգրտությամբ: $Q^2 = 6.7$ և 8.5 (ՉէՎ/с)² արժեքներում Hall C-ի Gep-III գիտափորձից ստացված արդյունքները առայժմ միակն են: Gep-2y գիտափորձում կատարվել է հատուկ ուսումնասիրություն պարզելու համար թե ինչ չափով կարող է ազդել 2-ֆոտոնային փոխանակման երևույթը փոխանցված բևեռացման մեթոդով ստացված G_E^p/G_M^p հարաբերության արժեքների վրա: Ապացուցվել է, որ 2-ֆոտոնային փոխանակման մեխանիզմը գործնականում չի ազդում մեր ստացած հարաբերության արդյունքների վրա: Ուստի տարածայնությունը Ռոզենբլյուտի մեթոդով չբևեռացված փնջերով առաձգական $e\bar{p}$ -ցրումից և փոխանցված

բևեռացման մեթոդով $\bar{e}p \rightarrow e'\bar{p}'$ ցրումից ստացված G_E^p/G_M^p արդյունքների միջև դեռևս մնում է անբացատրելի: Ստացված արդյունքները հաստատում են, որ G_E^p/G_M^p հարաբերությունը շարունակում է նվազել Q^2 -ու աճման զուգընթաց, սակայն ավել դանդաղ քան ենթադրում էին նախկինում: Ցրված պրոտոնների բևեռացման լայնական և երկայնական բաղադրիչների տարանջատման և դրանց հարաբերության որոշման համար փոփոխվեց HMS սպեկտրոմետրի “ստանդարտ” դետեկտորների կազմը, և ավելացվեց ֆոկուսային հարթության բևեռաչափ FPP. Առաձգական ցրման դեպքերի ավելի էֆֆեկտիվ գրանցման համար, հարկ եղավ HMS-ի “տրիգգերային” համակարգում լրացուցիչ տեղադրել S0 սցինտիլյացիոն հաշվիչներ: Նախնապես, MC-մոդելավորման միջոցով ուսումնասիրվեցին դրանց հնարավոր բացասական ազդեցությունը HMS սպեկտրոմետրի և BigCal կալորիմետրի ճշտությունների վրա, և գտնվեցին նրանց օպտիմալ չափերը: Ստեղծվեց BigCal բազմաբջիջ կալորիմետրի տվյալների “բազա”, նրա սանդղակավորման և հսկման համակարգ: Ուսումնասիրվել է ռադիացիոն ճառագայթման ազդեցությունը կալորիմետրի էներգետիկ և կորրիկցատային ճշգրտության վրա, ստեղծվել նրա բնութագրերի վերականգնման ուլտրա-մանուշակագույն լույսի ճառագայթման համակարգ: Ստացված ֆիզիկական և մեթոդիկական արդյունքները եզակի են այս տիրույթում և անկասկած կխթանեն հետագա տեսական և փորձարարական ուսումնասիրությունները:

Ամփոփելով կարելի է նշել կատարված աշխատանքի հիմնական արդյունքները.

1. Չափվել է $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ առաձգական ցրման երևույթում պրոտոնների ասիմմետրիան: Պրոտոնին փոխանցած բևեռացման լայնական և երկայնական բաղադրիչների հարաբերությունից որոշվել է G_E^p/G_M^p հարաբերությունը $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ և 8.5 (ՉէՎ/с)² արժեքներում: Ստացված արդյունքները համեմատվել են նախկինում գոյություն ունեցող տվյալների և տեսական մոդելների հետ:
2. $Q^2 = 2.5$ (ՉէՎ/с)² արժեքի համար չափվել է $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ առաձգական ցրումից պրոտոնի ստացած բևեռացման երկայնական և լայնական բաղադրիչների հարաբերությունը $\epsilon = 0.15, 0.63$ և 0.77 արժեքներում: P_1/P_2 հարաբերության անկախությունը ϵ -ից հաստատում է 2-ֆոտոնային դիագրամի աննշանությունը:
3. HMS սպեկտրոմետրի համար ստեղծվել է տրիգգերային S0 նոր համակարգ, որը զգալիորեն բարձրացրեց առաձգական դեպքերի գրանցման էֆֆեկտիվությունը: Կատարվել են մոդելավորման հաշվարկներ պարզելու S0 հաշվիչի չափերը, հաստատությունը, ուսումնասիրվել է նրա ազդեցությունը սարքերի ճշգրտության վրա:
4. Ուսումնասիրվել են BigCal կալորիմետրի բնութագրերը, մշակվել է նրա հսկման և սանդղակավորման մեթոդը: Ուսումնասիրվել է ռադիացիայի ազդեցությունը BigCal-ի բնութագրերի վրա, մշակվել է գեր-մանուշակային լույսով նրա ապակիների թափանցելիության վերականգնման մեթոդիկա:
5. Ստեղծվել է BigCal-ի տվյալների կուտակման ցանց, որի միջոցով գիտափորձում չափում-առ-չափում գրանցվեց և պահպանվեց նրա բոլոր կարևոր բնութագրերը:

Measurements of the Proton Electromagnetic Form Factor Ratio from elastic $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ scattering at momentum transfer $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ and 8.5 (GeV/c)²

ABSTRACT

Among the fundamental observables of nucleon structure are nucleon electromagnetic form factors. For the modern theoretical calculations describing the strong interaction dynamics of the nucleon's quark constituents very important new high accuracy experimental data in a wide range of Q^2 . The electromagnetic interaction is a powerful tool for investigating the nucleon structure since it is well understood and it weak, and does not disturb their internal structure. Such measurements can be separated in two categories: measurements with unpolarized and polarized electron beams. The most important feature of early measurements of proton form factor ratio with recoil polarization technique is the sharp decline of the ratio with Q^2 increases. This was unexpected and are in disagreement with the data extracted by Rosenbluth method with unpolarized electron beam. The subject of this thesis is experimental studies of proton electromagnetic form factor: The data have been collected in Gep-III and Gep-2 γ experiments which carried out during 2007-2008 in Hall C using CEBAF accelerator electron beam at Jefferson Lab. The proton form factor ratio G_E^p/G_M^p at $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ and 8.5 (GeV/c)² have been measured using longitudinally polarized electron elastic scattering from unpolarized hydrogen target ($\bar{e}p$), by measuring recoil proton longitudinal and transverse polarization components. Our results at $Q^2 = 2.5$ and 5.2 (GeV/c)² are in a good agreement with earlier measured polarized data but are more accurate. The results extracted from Hall C experiment Gep-III at $Q^2 = 6.7$ and 8.5 (GeV/c)² are first and unique in this region. Special studies have been carried out in Gep-2 γ experiment to determine impact of 2-photon exchange diagram on the ratio G_E^p/G_M^p measured with transferred polarization technique. We found that contributions from 2-photon exchange process are negligible and they do not have any notable impact on our results for the form factor ratio. Hence, the discrepancy between the results for G_E^p/G_M^p obtained by Rosenbluth method in unpolarized electron (ep)-elastic scattering and with polarization transfer method in polarized electron scattering $\bar{e}p \rightarrow e'\bar{p}'$ still remains unsolved. The obtained results confirm that the ratio G_E^p/G_M^p are decreasing when Q^2 increases but falls slower than expected. To measure the recoil protons longitudinal and transverse polarization the HMS magnetic spectrometer standard detector

package has been modified and new Focal Plane Polarimeter was installed. For more effective detection of elastic scattering events we added in the HMS trigger system a newly constructed S0 scintillators. Detailed MC-simulation has been carried out to study negative impact of S0 on the HMS and BigCal resolution and define optimal dimensions of the detector. The "data base" and calibration, and monitoring system for BigCal calorimeter have been developed. Degradation of the calorimeter energy and coordinate resolution due to accumulated radiation dose were studied. The UV curing system were developed and constructed which used to recovery calorimeter block transmittance. The obtained physics results and developed experimental methods in this thesis are unique in this region and will generate new theoretical and experimental studies.

In summary, the main scientific results presented in this thesis are:

1. Measurements of the proton electromagnetic form factor ratios G_E^p/G_M^p at $Q^2 = 2.5, 5.2, 6.7$ and 8.5 (GeV/c)², using recoil polarization technique in $\bar{e} + p \rightarrow e' + \bar{p}'$ elastic scattering. Comparison of the experimental results with the existing world data and theoretical models predictions.
2. Measurement of the 2 γ -exchange contribution in elastic ep -scattering and estimation of its effect on determination of proton form factor ratio by the measurements of G_E^p/G_M^p for three values of virtual photon polarization $\epsilon = 0.15, 0.63$ and 0.77 at fixed $Q^2 = 2.5$ (GeV/c)².
3. Development of new trigger system (S0) for effective selection of elastic scattering events. Studies of the effects of additional material (S0) in proton arm (HMS) and in electron arm (on the front of BigCal calorimeter) on momentum and angular resolution of recoil protons and scattered electrons.
4. Studies of Electromagnetic Calorimeters for the Hall C High Momentum Spectrometer (HMS) and Super-High Momentum Spectrometer (SHMS), and for the BigCal Electromagnetic Calorimeter for Gep-III experiment. Investigation of radiation-induced degradation of electromagnetic calorimeter energy and coordinate resolutions and methods of their UV curing and monitoring.
5. The DataBase was developed for BigCal. This was used in experiment and allowed effectively control and store all basic parameters of the calorimeter run by run.

