

На правах рукописи

Игнатов Александр Сергеевич

**ПАРЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ
ФОТОРОЖДЕНИЯ π И η МЕЗОНОВ НА
ЛЁГКИХ ЯДРАХ В ОБЛАСТИ НУКЛОННЫХ
РЕЗОНАНСОВ**

**01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных
частиц**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

МОСКВА — 2009

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте ядерных исследований

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Недорезов – доктор физ.-мат. наук, профес-
Владимир Георгиевич сор

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Львов – кандидат физ.-мат. наук
Анатолий Иосифович ФИАН г.Москва.

Малов – доктор физ.-мат. наук,
Леонард Александрович ЛТФ ОИЯИ г.Дубна

Ведущая организация: – НИИЯФ МГУ, г.Москва

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2009 года
в « ____ » часов на заседании диссертационного совета Д002.119.01
Учреждения Российской академии наук Института ядерных исследо-
ваний.

Адрес: 117312, г.Москва, проспект 60-летия Октября 7а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯИ РАН.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физ.-мат. наук

Б.А.Тулупов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Изучение парциальных сечений фоторождения π - и η -мезонов на легких ядрах является в настоящее время актуальной задачей. Эти сечения в сумме почти полностью исчерпывают полное сечение фотопоглощения в рассматриваемом диапазоне энергий. Полные сечения фотопоглощения на внутриядерных нуклонах дают важную информацию о механизмах взаимодействия фотонов с ядрами и структуре нуклонов. Большинство работ на эту тему выполняется на самых легких ядрах, хотя имеются ограниченные данные и для тяжелых ядер. При этом обнаружен ряд эффектов, которые указывают на фундаментальные проблемы, связанные с исследованием структуры ядра и нуклонов. Например, можно отметить изменение формы кривой фотопоглощения с ростом атомного номера для легких ядер, различие в интегральных сечениях фотопоглощения для легких и тяжелых ядер в области Δ -резонанса и др.

Актуальность выполненных в настоящей работе исследований определяется также тем, что в настоящее время существенно вырос экспериментальный уровень. Во-первых, созданы пучки гамма-квантов в широком диапазоне энергий, отличающиеся высокой монохроматичностью, низким уровнем фона, высокой степенью поляризации. В настоящей работе для получения пучка γ -квантов был использован метод обратного комптоновского рассеяния лазерных фотонов на электронах накопителя с энергией 6 ГэВ. Во-вторых, для регистрации продуктов реакции использовался широкоапертурный детектор, позволяющий идентифицировать пионы, η -мезоны и нуклоны отдачи с высоким разрешением и высокой эффективностью. Это позволило уменьшить систематические ошибки измеряемых величин, и на этой основе разработать новые методы для изучения взаимодействия образующихся мезонов с ядрами.

В настоящей работе при вычислении полного сечения фотопоглощения на протоне для улучшения точности и уменьшения систематических ошибок было использовано два альтернативных метода. Первый метод основан на вычитании фона от пустой мишени. Второй метод - это суммирование сечений парциальных каналов, вносящих основной вклад в полное сечение в данном энергетическом диапазоне. Первый метод является перспективным для измерения полного сечения фотопоглощения на тяжелых ядрах, где вычисление сечений всех парциальных каналов является трудно выполнимой задачей. До

настоящего времени надежные данные по полным сечениям фотопоглощения на свободном протоне и нейтроне имеются только для области энергий до 800 МэВ. При более высоких энергиях имеются только данные 1972 года, полученные в единственной работе. Поэтому новые прецизионные данные для протона и нейтрона представляют большой интерес.

В диссертации представлены результаты исследования полного фотопоглощения и реакций $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, $\gamma p \rightarrow \eta p$, $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- p$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$, $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^0 n$ в области энергий гамма-квантов $E_\gamma = 600 \div 1500$ МэВ.

Проведенный анализ полученных данных по фоторождению π^0 -мезона и η -мезона позволил сформулировать и апробировать новый корреляционный метод исследования упругого и неупругого взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами. Этот метод основан на идентификации образования мезонов разного типа при помощи регистрации нуклона отдачи. Таким образом, даже при отсутствии мезона в конечном состоянии стало возможным получать информацию о продуктах его взаимодействия с ядерной средой. В настоящей работе представлены результаты разработки данного метода на примере реакций фоторождения π - и η -мезонов на квазисвободном протоне.

Цель работы состояла в следующем:

- разработать алгоритмы и программы анализа экспериментальных данных установки GRAAL по фоторождению π - и η -мезонов на протоне и дейтроне,
- изучить фоновые условия эксперимента GRAAL с целью разработки метода измерения полного сечения фотопоглощения путем вычитания фона от пустой мишени,
- разработать и протестировать на экспериментальных и моделированных данных новый корреляционный метод исследования взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами,
- вычислить полное сечение фотопоглощения на протоне в области энергий гамма-квантов от 600 до 1500 МэВ двумя альтернативными методами: вычитанием фона от пустой мишени и суммированием парциальных сечений,

- исследовать продукты упругого и неупругого взаимодействия η -мезонов с легкими ядрами на примере дейтериевой мишени и мишени из майлара.

Научная новизна работы

Следующие результаты, представленные в диссертации, являются новыми:

1. Сделана оценка фоновых условий эксперимента GRAAL и измерено полное сечение фотопоглощения на протоне в области энергий гамма-квантов $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$ ГэВ. Были рассчитаны полные эффективности регистрации и измерены полные сечения парциальных каналов фоторождения на протоне, дающих основной вклад в полное сечение фотопоглощения в данной области энергий гамма-квантов. Полученные результаты по парциальным каналам были просуммированы для получения полного сечения фотопоглощения. Для увеличения точности и уменьшения систематических ошибок полное сечение было также измерено методом вычитания фона от пустой мишени.
2. Впервые разработан корреляционный метод исследования взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами, основанный на идентификации типа реакции фоторождения с помощью нуклонов отдачи («метод меченых мезонов»). Показано, что параметры современных экспериментальных установок типа GRAAL, имеющие высокое разрешение и низкий уровень фона, позволяют разделять каналы реакций используя энергию нуклона отдачи, вылетевшего в переднем направлении. Реакция фоторождения η -мезона, когда протон отдачи с максимальной энергией вылетает в переднем направлении представляет особый интерес. η -мезон в данном случае имеет маленький импульс, что, согласно предсказаниям модели внутриядерных каскадов, увеличивает длину его свободного пробега и, соответственно, вероятность взаимодействия с другими нуклонами ядра. В данной работе впервые с помощью «метода меченых мезонов» представлены признаки вторичного перерассеяния η -мезонов на нейтроне в ядре майларовой мишени.
3. Впервые в одном эксперименте полные сечения фотопоглощения для протона в области энергий $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$ ГэВ измере-

ны двумя независимыми способами, что позволило существенно уменьшить систематические ошибки.

Научная и практическая ценность работы

- Полученные данные по сечениям основных парциальных каналов и по полному сечению фотопоглощения на протоне в области энергий гамма-квантов $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$ ГэВ уточняют и дополняют существующую базу данных. Так же они будут использованы в дальнейших исследованиях на более тяжелых ядрах в качестве реперных данных.
- Разработанный корреляционный метод позволяет на современных экспериментальных установках с низким уровнем фона и 4 π -детектором с высоким разрешением изучать взаимодействие нестабильных мезонов с ядерным веществом в отсутствии мезонного пучка. Этот метод также будет использован при дальнейших исследованиях более тяжелых ядер.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Алгоритмы и программы анализа экспериментальных данных установки GRAAL по фоторождению π - и η -мезонов на протоне и дейтроне.
2. Оценка фоновых условий эксперимента GRAAL и расчет полных эффективностей регистрации парциальных каналов фоторождения $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, $\gamma p \rightarrow \eta p$, $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- p$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$ и $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^0 n$.
3. Разработка и обоснование нового корреляционного метода изучения взаимодействия нестабильных мезонов с ядерным веществом.
4. Расчет полного сечения фотопоглощения на протоне в области энергий гамма-квантов от 600 до 1500 МэВ двумя альтернативными методами.
5. Результаты исследования продуктов взаимодействию η -мезонов с ядерным веществом.

Вклад автора

Изложенные в работе результаты получены автором лично или в соавторстве при его участии.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 100 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 100 наименований.

Апробация работы

Результаты диссертации докладывались автором на следующих Российских и международных конференциях, школах и семинарах:

- 11-й международный семинар по электромагнитным взаимодействиям ядер ЕМІN-2006 (Москва, 2006),
- 29-ая международная школа по ядерной физике (Эриче, 2007),
- 50-ая научная конференция МФТИ (Долгопрудный, 2007),
- Международная конференция ЯДРО-2008 (Москва, 2008)
- Вторые Черенковские чтения (ФИАН, 2009),

Результаты исследований также докладывались на научных семинарах ЛФЯР ИЯИ РАН (Москва).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** формулируются задачи, решаемые в работе, а так же даётся обоснование их актуальности.

Первая глава представляет собой обзор литературы, посвящённый изучению фоторождения мезонов на легких ядрах в области нуклонных резонансов. В §1 дан обзор по изучению парциальных каналов, дающих основной вклад в полное сечение фотопоглощения на ядре при энергии гамма-квантов $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$. Так же представлена информация об имеющихся данных о полном сечении фотопоглощения на протоне. В §2 делается обзор существующих данных по реакции фоторождения η -мезона и по изучению взаимодействия η -мезонов с нуклонами ядра, а также данных по поиску связанных мезон-нуклонных состояний.

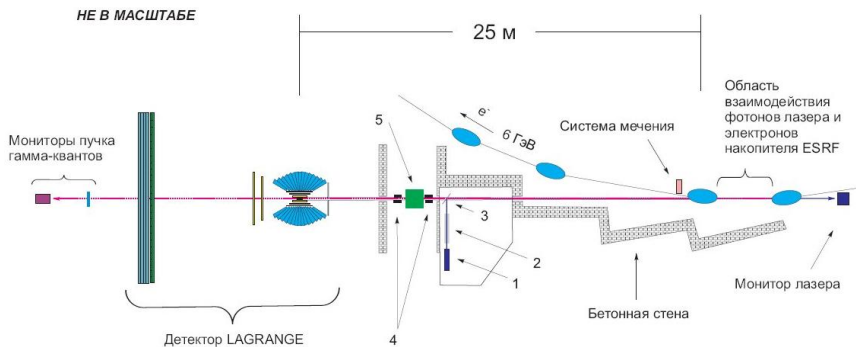


Рис. 1: Установка GRAAL. Цифрами показаны: 1 — лазер, 2 — оптическая система лазера, 3 — бериллиевое зеркало, 4 — коллиматоры, 5 — очищающий магнит.

Вторая глава посвящена описанию установки GRAAL (Рис. 1). Рассмотрены программы управления её работой и сбором данных, а так же программы моделирования и предварительной обработки данных. В §2.1 дано краткое описание накопителя электронов ESRF и характеристик пучка электронов. §2.2 посвящён описанию получения пучка γ -квантов методом обратного комптоновского рассеяния. Описывается кинематика обратного комптоновского рассеяния. Затем, дано описание системы мечения γ -квантов и детекторов монитора пучка. Характеристики мишени описываются в параграфе §2.3. Следующий параграф рассказывает о детекторе LAGRAN γ E установки GRAAL (см. Рис. 2). Последовательно рассматриваются основные элементы, составляющие детектор: электромагнитный калориметр BGO, детектор ливней, пропорциональные камеры и т.д. В §2.5 описывается система управления работой установки и организацией сбора данных. Рассмотрены основные триггеры записи событий. В §2.6 описывается организация анализа экспериментальных и моделированных данных. Описывается организация предварительной обработки данных, производимая при помощи программ DECODE и PREAN. Так же, рассмотрены программы LAGGEN и LAGDIG, выполняющие моделирование экспериментальной установки.

Третья глава диссертации посвящена анализу реакций $\gamma p \rightarrow$

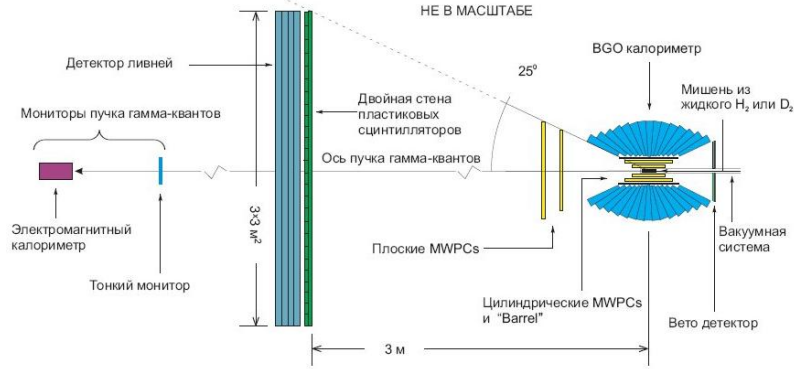


Рис. 2: Схема детектора LAGRAN γ E.

π^+n , $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, $\gamma p \rightarrow \eta p$, $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- p$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$ и $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^0 n$, а также анализу полного фотопоглощения на протоне в диапазоне энергий γ -квантов $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$. В §3.1 представлена методика расчётов сечений данных реакций. Рассмотрен также метод вычисления полной эффективности регистрации реакций и её применения к экспериментальным данным. Расчёты эффективности проводились с использованием программного обеспечения установки GRAAL (Рис. 3). Эти программы позволяют моделировать процессы с учетом кинематики и аппаратной функции отклика детектора. В §3.2 представлен детальный анализ фоновых условий. Описаны алгоритмы отбора событий. Вычисляются полные сечения парциальных каналов $\gamma p \rightarrow \pi^+ n$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, $\gamma p \rightarrow \eta p$, $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^- p$, $\gamma p \rightarrow \pi^0 \pi^0 p$ и $\gamma p \rightarrow \pi^+ \pi^0 n$ (Рис. 4, 5, 6, 7, 8 и 9). Отмечается, что для некоторых каналов в перекрывающемся диапазоне энергий гамма-квантов для двух различных лазерных линий сечения не совпадают. Однако различие в значениях не превышает 5% и в среднем хорошо согласуются с данными других экспериментов, а так же с расчетами модели MAID2007.

В §3.3 полное сечение фотопоглощения вычисляется методом вычитания фона от пустой мишени. Результат вычисления сравнивается с имеющимися данными (Рис. 10). Производится сравнение полного сечения фотопоглощения на протоне, вычисленного двумя альтернативными методами (Рис. 11). Данные, полученные разными методами отличаются не более, чем на 5% при энергии гамма-квантов $E_\gamma \leq 1.1$

E_γ , ГэВ	π^+n	π^0p	$\pi^+\pi^-p$	$\pi^+\pi^0n$	$\pi^0\pi^0p$	$\eta p \rightarrow 2\gamma p$
0.55	0.122 (0.68)	0.441 (0.72)	0.133 (0.33)	0.031 (0.29)	0.10 (0.24)	
0.65	0.131 (0.64)	0.419 (0.71)	0.158 (0.34)	0.037 (0.29)	0.10 (0.24)	
0.75	0.121 (0.59)	0.352 (0.64)	0.162 (0.34)	0.038 (0.29)	0.10 (0.23)	0.008 (0.10)
0.85	0.113 (0.55)	0.253 (0.56)	0.167 (0.33)	0.034 (0.28)	0.10 (0.23)	0.038 (0.10)
0.95	0.106 (0.54)	0.191 (0.52)	0.154 (0.31)	0.031 (0.26)	0.10 (0.22)	0.060 (0.14)
1.05	0.100 (0.49)	0.131 (0.50)	0.151 (0.29)	0.027 (0.25)	0.10 (0.22)	0.058 (0.14)
1.15	0.090 (0.44)	0.090 (0.46)	0.160 (0.28)	0.022 (0.23)	0.09 (0.21)	0.058 (0.14)
1.25	0.081 (0.41)	0.062 (0.41)	0.167 (0.26)	0.019 (0.21)	0.09 (0.21)	0.051 (0.13)
1.35	0.072 (0.40)	0.049 (0.38)	0.169 (0.24)	0.017 (0.19)	0.10 (0.20)	0.044 (0.12)
1.45	0.064 (0.38)	0.041 (0.36)	0.171 (0.22)	0.016 (0.17)	0.09 (0.18)	0.034 (0.11)

Рис. 3: Моделированные эффективности регистрации парциальных каналов фоторождения мезонов в BGO (в скобках отдельно указаны кинематические эффективности).

ГэВ. Выше этой энергии данные расходятся потому, что в этой области начинают сказываться более сложные и более множественные реакции, которые не учтены в сумме по каналам.

Четвертая глава посвящена описанию нового корреляционного метода изучения взаимодействия нестабильных мезонов с ядерным веществом. Этот метод основан на регистрации и измерении первичного нуклона отдачи для мечения родившегося мезона.

Предпосылкой для разработки данного метода явилась полученная в моделировании зависимость импульса протона отдачи от угла его вылета (Рис. 12), которая свидетельствует о том, что при достаточно хорошем разрешении детектора и низком уровне фона существует возможность разделения каналов реакции по импульсу нуклона отдачи. В настоящей работе метод изучался на примере реакции фоторождения η -мезона. Следует отметить, что ввиду короткого времени жизни, не представляется возможным создать пучок η -мезонов. Однако при некоторых условиях длина свободного пробега η -мезона превышает расстояние между нуклонами в ядре. Эти обстоятельства

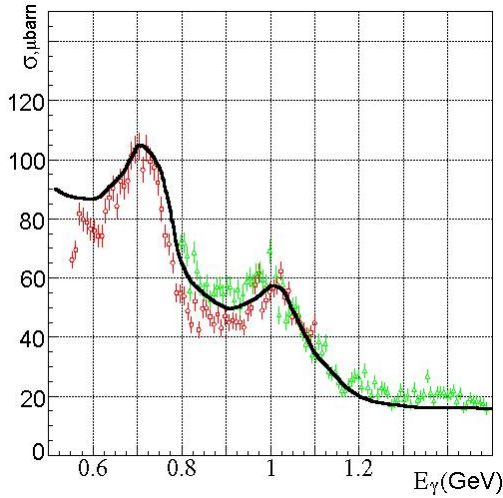


Рис. 4: Полное сечение фоторождения π^- -мезона на свободном протоне.

делают η -мезон особенно интересной целью для применения нового метода.

В §4.1 представлен анализ условий применимости изучаемого метода. Анализ проводился на экспериментальных данных установки GRAAL (водородная и дейтериевая мишени) и на моделированных данных с азотной (^{14}N) мишенью. Он заключался в установлении характеристик детектора и кинематических областей для которых возможно определение типа реакции по энергии нуклона отдачи. В настоящей работе в качестве нуклона отдачи использовался протон. Соответственно, первоочередной задачей было разделение протонов и заряженных π -мезонов. Для этого измерялась зависимость энергетических потерь заряженной частицы от времени пролета. Такой анализ позволил отсеять заряженные пионы, скорость которых близка к скорости света, а также убрать электромагнитный фон от ускорителя и выделить именно протон. На Рис. 13 и Рис. 14 представлены данные зависимости для экспериментальных и моделированных данных соответственно. Все события, в которых время пролета заряженной частицы составляло меньше 13 нс или энергетические потери ΔE со-

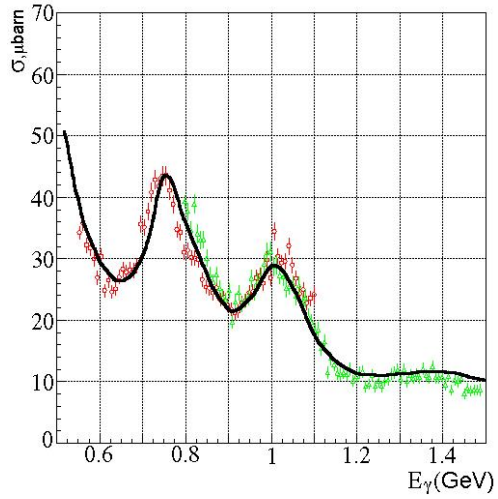


Рис. 5: Полное сечение фоторождения π^0 -мезона на свободном протоне.

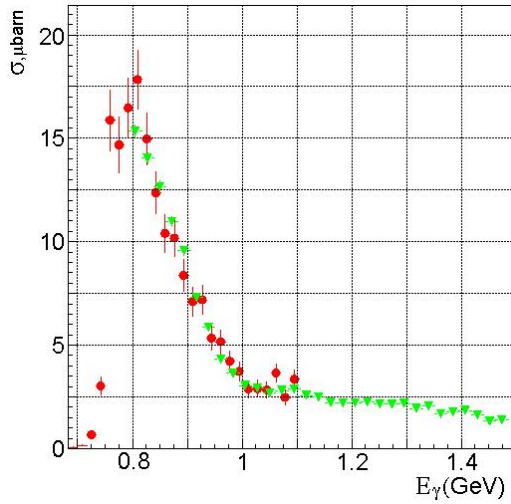


Рис. 6: Полное сечение фоторождения η -мезона на свободном протоне.

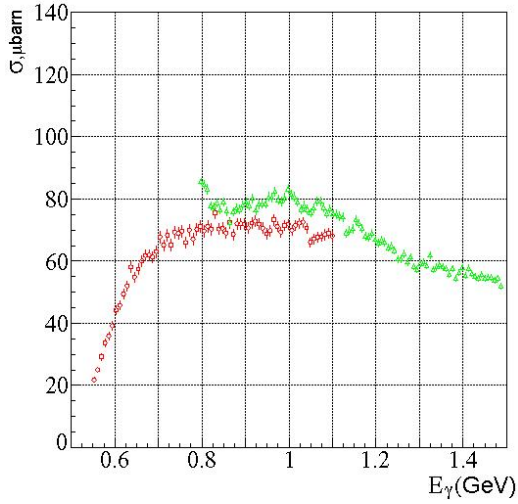


Рис. 7: Полное сечение фоторождения пары $\pi^+\pi^-$ на свободном протоне.

ставляли менее 8 МэВ отсекались. В результате отбирались события, в которых в переднем детекторе был зарегистрирован протон отдачи либо из реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, либо из реакции $\gamma p \rightarrow \eta p$. Также согласно моделированию существует небольшой вклад протонов от когерентного рождения π^0 -мезона на дейтроне. Однако вклад канала при данной энергии γ -квантов составляет не более 1%. Следующим шагом являлось выделение протонов отдачи из реакции $\gamma p \rightarrow \eta p$. Для этой цели использовалась зависимость импульса протона от угла его вылета.

На Рис. 15 и Рис. 16 представлена зависимость импульса протона отдачи от угла его вылета при фиксированной энергии γ -кванта для дейтериевой(эксперимент) и азотной(моделирование) мишени соответственно. Угол вылета ограничен передним направлением ($\theta < 30^\circ$). Видно, что для углов вылета $\theta < 15^\circ$ каналы фоторождения π^0 - и η -мезона хорошо разделяются. Эта кинематическая область особенно интересна в связи с тем, что именно быстрым нуклонам отдачи, вылетевшим в переднем направлении, соответствуют медленные η -мезоны, которые могут взаимодействовать с ядерным веществом.

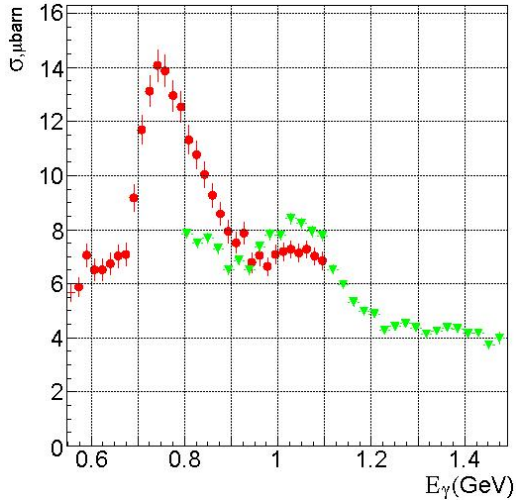


Рис. 8: Полное сечение фоторождения пары $\pi^0\pi^0$ на свободном протоне.

В §4.2 представлены первые результаты исследования взаимодействия η -мезонов с ядерным веществом для мишени из майлара. Исследование производилось следующим образом: для фиксированного значения энергии γ -кванта в переднем детекторе регистрировался протон. Фиксировался также его угол. В соответствии с Рис. 15 и Рис. 16 по импульсу зарегистрированного протона отбирались только соответствующие каналу $\gamma p \rightarrow \eta p$. В центральном детекторе на совпадение измерялась инвариантная масса двух γ -квантов. В отсутствии взаимодействия η -мезонов с ядром мы должны получить инвариантную массу η -мезона, что и демонстрирует моделирование. Моделированные данные дают практически 100% событий с инвариантной массой η -мезона (Рис. 17), однако экспериментальные данные, в особенности на мишени из майлара (Рис. 18), дают значительный вклад событий с инвариантной массой вблизи массы π^0 -мезона. Это может свидетельствовать о неупругом перерасеянии η -мезонов на одном из нуклонов ядра.

В Заключение суммируются основные результаты работы:

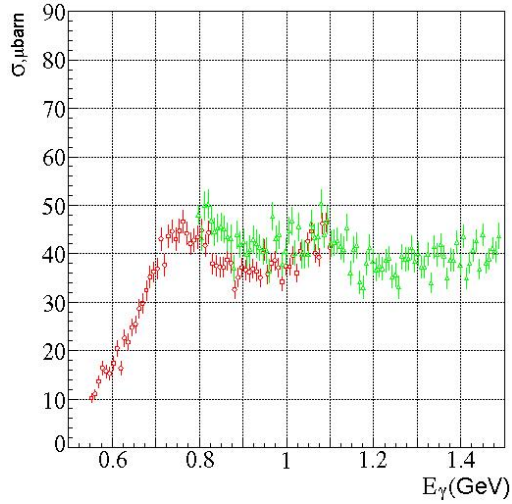


Рис. 9: Полное сечение фоторождения пары $\pi^0\pi^+$ на свободном протоне.

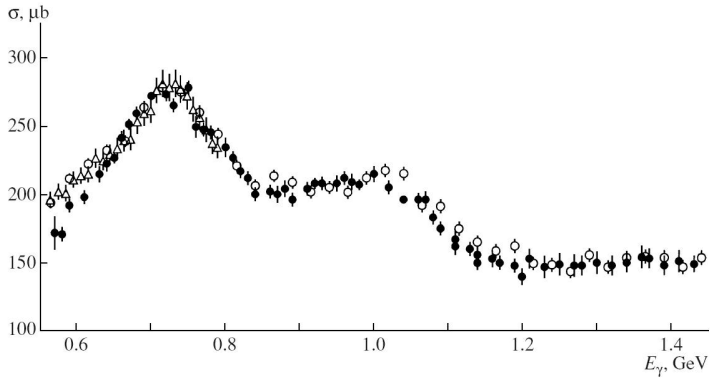


Рис. 10: Полное сечение фотопоглощения, полученное методом вычитания фона в сравнении с имеющимися данными из литературы: (пустые кружки) данные из работы [1], (пустые треугольники) данные из работы [2], и (сплошные кружки) наши данные.

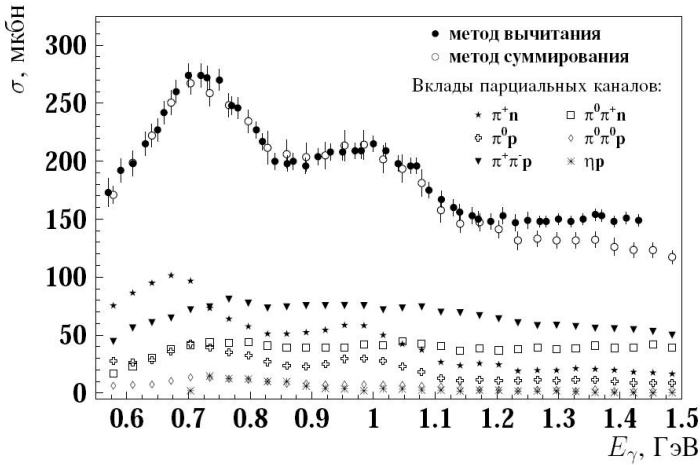


Рис. 11: Парциальные сечения фоторождения мезонов на протоне и их сумма в сравнении с полным сечением фотопоглощения, полученным методом вычитания фона.

- Разработаны алгоритмы и программы анализа экспериментальных данных установки GRAAL по фоторождению π - и η -мезонов на протоне и дейтроне в области энергий γ -квантов $E_\gamma = 0.6 \div 1.5$.
- Изучены фоновые условия эксперимента GRAAL и разработан метод измерения полного сечения фотопоглощения путем вычитания фона от пустой мишени. Установлено, что вклад электромагнитного фона в полный выход от пустой мишени пренебрежимо мал.
- Разработан и протестирован на экспериментальных и моделированных данных новый корреляционный метод исследования взаимодействия нестабильных мезонов с ядрами. Установлены условия применимости данного метода.
- Измерено полное сечение фотопоглощения на протоне в области энергий гамма-квантов от 600 до 1500 МэВ двумя альтернативными методами: вычитанием фона от пустой мишени и суммиро-

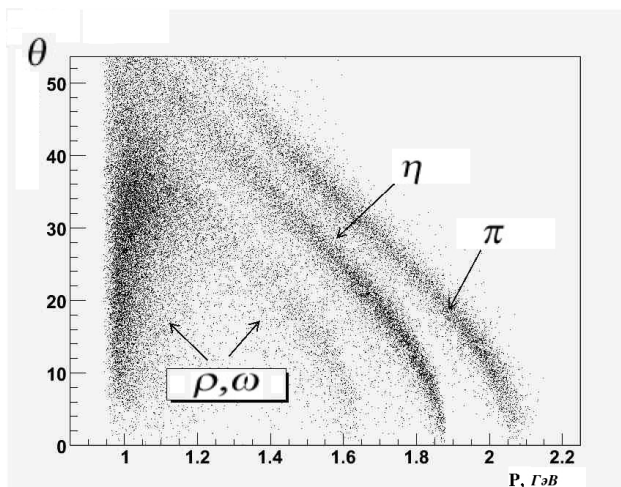


Рис. 12: Зависимость импульса протона отдачи от угла его вылета (моделирование на ядре ^{14}N).

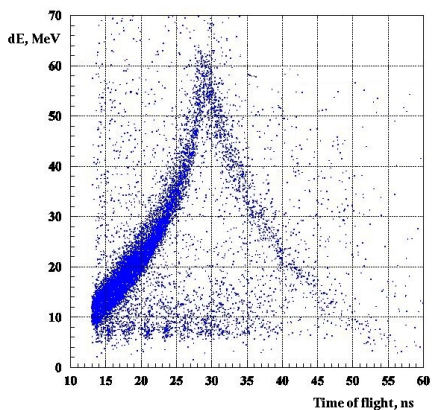


Рис. 13: Зависимость энергетических потерь заряженной частицы от времени пролета (эксперимент).

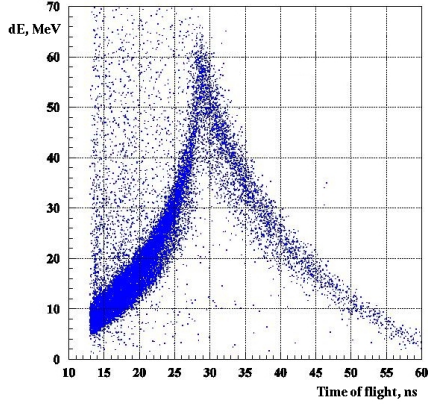


Рис. 14: Зависимость энергетических потерь заряженной частицы от времени пролета (моделирование). Красным цветом изображены протоны из реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$, синим - $\gamma p \rightarrow \eta p$ и лиловым $\gamma d \rightarrow \pi^0 d$

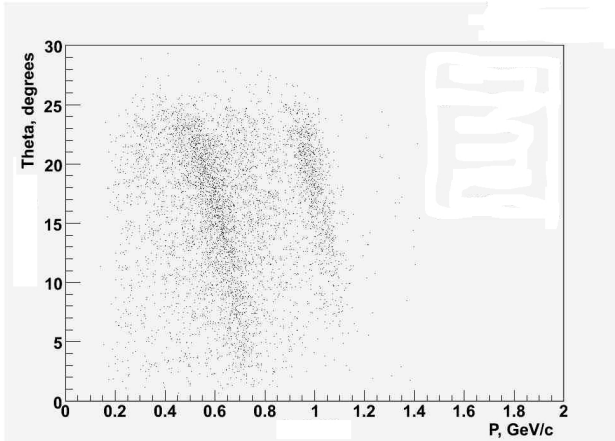


Рис. 15: Зависимость импульса протона отдачи от угла его вылета для дейтериевой мишени (эксперимент).

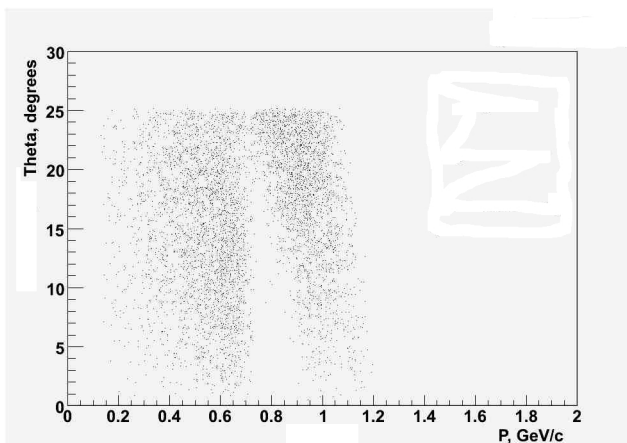


Рис. 16: Зависимость импульса протона отдачи от угла его вылета для мишени ^{14}N (моделирование).

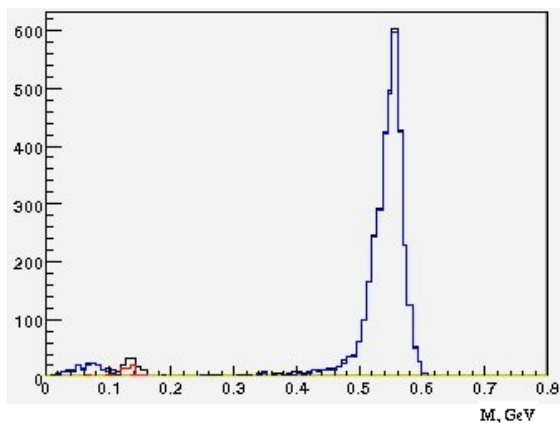


Рис. 17: Инвариантная масса двух γ -квантов в центральном детекторе для событий, где был зарегистрирован протон отдачи из реакции фоторождения η -мезона (моделирование).

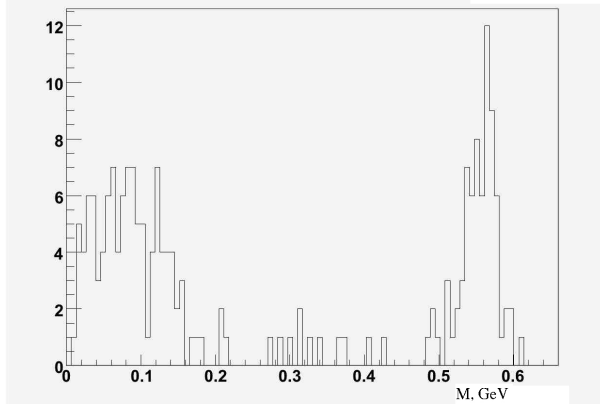


Рис. 18: Инвариантная масса двух γ -квантов в центральном детекторе для событий, где был зарегистрирован протон отдачи из реакции фоторождения η -мезона (эксперимент).

ванием парциальных сечений. Показано, что эти два метода хорошо согласуются для энергий γ -квантов $E_\gamma < 1.1$. Выше этой энергии в полное сечение фотопоглощения дают значительный вклад процессы с образованием нескольких мезонов, которые не учтены в методе суммирования парциальных каналов.

- Исследованы продукты упругого и неупругого взаимодействия η -мезонов с легкими ядрами на примере дейтериевой мишени и мишени из майлара. Для событий с рождением η -мезонов в экспериментальных данных обнаружен выход π^0 -мезонов, который отсутствует в моделировании.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. A.D. Belyaev, ..., A.S. Ignatov *et al*, "New relational database for experimental and model meson photoproduction data in internet", Proceedings of XI International Seminar EMIN-2006, p.176-179.
2. О. Барталини, ..., А.С. Игнатов *и др.*, "Измерение полного се-

чения фотопоглощения на протоне в области энергий $600 \div 1500$ МэВ на установке GRAAL”, Ядерная Физика, т. **71** (2008) 76-83.

3. A. Ignatov, . . . , V. Nedorezov *et al*, ”New experimental and simulated results on nuclear media effects in meson photoproduction off nuclei” Prog. in Part. and Nucl. Physics **61** (2008) 253-259.

Список литературы

- [1] T.A. Armstrong et al., Phys. Rev. D 5, 1640(1972)
- [2] M. McCormick et al., Phys. Rev. C 53, 41(1996)