

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОС.КОМИТЕТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

УДК.519.283:539.172.3:539.126.345

На правах рукописи

СХТОРЯН ЕРВАНД МИСАКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОРОЖДЕНИЯ НЕЙТРАЛЬНЫХ
ПСЕВДОСКАЛЯРНЫХ МЕЗОНОВ В РЕЗОНАНСНОЙ ОБЛАСТИ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Специальность: 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

Ереван - 1983

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Авакян Р.О.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Асатиани Т.Л.

Кандидат физико-математических наук
Иванченко И.М. (ОИЯИ).

Ведущая организация: Украинский физико-технический институт,
г. Харьков.

Защита состоится " 17 " июня 1983 г. в 14⁰⁰
часов на заседании Специализированного совета Д 034.03.01 при
Ереванском физическом институте (г. Ереван-36, ул. Маркаряна, 2).
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского
физического института.

Автореферат разослан " 17 " мая 1983 г.
Ученый секретарь Специализированного совета

В.А. Шахбазян

Актуальность работы. Изучение процессов фоторождения псевдоскалярных мезонов в резонансной области энергий является важным источником сведений об электромагнитных свойствах адронов.

В рассматриваемой области энергий доминирующий вклад в сечение процесса фоторождения псевдоскалярных мезонов дает механизм возбуждения нуклонных резонансов. Для определения характеристик этих резонансов и их вкладов в амплитуду реакции проводятся феноменологические анализы экспериментальных данных. Характеристики резонансов и, в первую очередь, амплитуда радиационных переходов вычисляются в различных моделях элементарных частиц. Сравнение значений амплитуд, полученных из анализа экспериментальных данных, с предсказаниями теории позволяет выбрать ту или иную конкретную модель элементарных частиц.

В последние годы разработаны кварковые модели, которые предсказывают значения амплитуд радиационных переходов для подавляющего большинства известных в настоящее время нуклонных резонансов.

При сравнении значений амплитуд переходов резонансов, полученных с помощью различных феноменологических анализов экспериментальных данных, наблюдается их расхождение, особенно для малых значений амплитуд переходов в области III и IV резонансов. Для разрешения этих неопределенностей и уточнения значений амплитуд необходимо проведение дополнительных исследований процессов фоторождения псевдоскалярных мезонов.

Из сказанного вытекает актуальность экспериментального исследования фоторождения нейтральных псевдоскалярных мезонов в области III и IV резонансов.

Кроме того экспериментальное исследование процесса фоторождения

дения псевдоскалярных мезонов проводится на установках, содержащих бесфильмовые детекторы: сцинтилляционные и черенковские счетчики, проволочные искровые и пропорциональные камеры,

NaJ - спектрометры и т.д. Съем экспериментальных данных с этих детекторов в цифровой форме, передача и накопление их на ЭВМ позволяет, при наличии соответствующего программного обеспечения, обрабатывать эти экспериментальные данные и получать конечные результаты экспериментальных исследований.

Создание программного обеспечения также является актуальной проблемой, решение которой требует специальных исследований и разработок новых алгоритмов и программ, с целью учета особенностей процессов фоторождения псевдоскалярных мезонов и состава аппаратуры конкретной установки.

Состояние исследуемого вопроса и цели работы. В экспериментальном отношении исследование этих процессов сводится к измерению определенного набора наблюдаемых величин для каждого зарядового канала. В этот набор наряду с дифференциальными сечениями $d\sigma/d\Omega$ реакции с неполяризованными начальными частицами входят различные поляризационные наблюдаемые величины, характеризующие процессы с выделенными направлениями спинов начальных или конечных частиц. К простым поляризованным наблюдаемым относятся: асимметрия сечения на поляризованных фотонах - Σ , поляризация нуклона отдачи - P и асимметрия сечения на поляризованных нуклонах - T .

К началу наших исследований наиболее полная информация по фоторождению нейтральных псевдоскалярных мезонов в области III и IV резонансов накоплена по дифференциальным сечениям, которые измерены с большой точностью и в широком интервале углов и энер-

гий. Однако ощущается нехватка информации по поляризационным наблюдаемым величинам P , Σ , T .

Создание на Ереванском синхротроне с энергией 5 ГэВ линейно-поляризованного монохроматического пучка фотонов позволило провести ряд экспериментов по измерению некоторых поляризационных наблюдаемых величин в процессах фоторождения нейтральных псевдоскалярных мезонов в области III и IV резонансов.

Основная цель настоящей работы заключается в следующем:

1. Создание программного обеспечения экспериментов по исследованию фоторождения η^0 -мезонов на водороде в диапазоне углов $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = (40 + 60)^\circ$ в с.ц.м. и для энергий фотонов в л.с.

$$E_\gamma = (0,7 + 1,3) \text{ ГэВ.}$$

2. Получение экспериментальных данных о величине асимметрии сечения реакции $\gamma P \rightarrow \pi^0 P$ в интервале углов с.ц.м. $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = (40 + 60)^\circ$ и энергии $E_\gamma = (0,7 + 1,3) \text{ ГэВ.}$

3. Получение экспериментальных данных о величине поляризации протонов отдачи в реакции $\gamma P \rightarrow \pi^0 P$ для угла вылета в с.ц.м. $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = 60^\circ$ и энергии $E_\gamma = (0,8 + 1,5) \text{ ГэВ.}$

4. Проведение сравнений экспериментальных данных по поляризационным наблюдаемым P и Σ в интервале углов $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = (40 + 60)^\circ$ в с.ц.м. и энергии $E_\gamma = (0,7 + 1,5) \text{ ГэВ}$ с различными теоретическими анализами.

5. Создание программного обеспечения экспериментов по исследованию фоторождения η^0 -мезона в области энергий $E_\gamma = (1 + 2) \text{ ГэВ}$ и измерению асимметрии сечения реакции.

6. Сравнение экспериментальных результатов величины асимметрии сечения реакции $\gamma P \rightarrow \eta^0 P$ в области энергий $E_\gamma = (1 + 2) \text{ ГэВ}$ с теоретическими анализами.

Научная новизна работы. Разработаны алгоритмы и созданы комплексы программ, обеспечивающие обработку накопленных экспериментальных данных, регистрируемых проволочными искровыми камерами, пробным спектрометром, черенковскими счетчиками, счетчиками полного поглощения на основе кристалла NaJ(TL) и получение конечных физических результатов в экспериментах по фоторождению π^0 и η^0 мезонов поляризованными фотонами.

Новизна этой работы не исчерпывается комплексным подходом к решению разнородных задач в рамках единого эксперимента. В процессе выполнения этой работы были построены алгоритмы распознавания событий, отличающиеся высокой эффективностью.

Впервые были получены экспериментальные данные по асимметрии сечения фоторождения π^0 - мезона поляризованными фотонами в области III и IV резонансов для углов вылета π^0 - мезона в с.ц.м. 40° , 50° , 60° .

Полученные экспериментальные результаты по асимметрии сечения реакции $\gamma P \rightarrow \eta^0 P$ в области энергии $(1 + 2)$ ГэВ являются единственными в мировой литературе.

Впервые было показано совпадение величин поляризации протона отдачи P и асимметрии поляризованной мишени T в реакциях $\gamma P \rightarrow \pi^0 P$ в районе угла вылета π^0 мезона $\Theta_{\gamma\pi^0}^* = 50^\circ$ и в области энергий $(0,7 + 1,5)$ ГэВ.

Научная и практическая значимость работы. Практическая значимость созданных программных обеспечений экспериментов [1-4] состоит в их использовании при обработке накопленной экспериментальной информации и получении экспериментальных данных о величинах асимметрии сечения фоторождения π^0 - мезонов для углов вылета π^0 - мезонов в с.ц.м. 40° , 50° , 60° в области III и

IV резонансов [5,6], асимметрии сечения фоторождения η^0 - мезона в области энергий $(1 + 2)$ ГэВ [7] и поляризации протона отдачи в реакции $\gamma P \rightarrow \pi^0 P$ при угле вылета π^0 мезона в с.ц.м. 60° и в области энергии $(0,8 + 1,5)$ ГэВ [8]. Полученные данные об асимметрии сечения фоторождения π^0 и η^0 мезонов поляризованными фотонами составляют в настоящее время основной объем экспериментальной информации в области III и IV резонансов.

Новые экспериментальные данные могут быть использованы в феноменологических анализах фоторождения π^0 и η^0 мезонов. Они, в частности, были использованы в анализе реакции

$\gamma P \rightarrow \pi^0 P$, проведенном в ЕРФИ Азнаурян И.Г. и др.

Разработанная методика определения величин асимметрии сечения фоторождения π^0, η^0 - мезонов и поляризации протона отдачи может быть применена в других подобных измерениях.

Апробация работы и публикации. Основные материалы диссертации опубликованы в 8 научных работах, представлялись и докладывались на международном совещании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1977) и на международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит III страниц машинописного текста, 38 рисунков, 8 таблиц и список цитируемой литературы в 108 наименованиях.

Содержание работы. Во введении кратко изложено современное состояние исследований по фоторождению псевдоскалярных мезонов на нуклонах в резонансной области энергий. Приведены различные

типы феноменологических анализов экспериментальных данных и обзор экспериментальных работ по измерению некоторых поляризационных наблюдаемых величин в фоторождении π^0 и η^0 мезонов поляризованными фотонами.

Показывается актуальность проведения экспериментальных измерений поляризационных наблюдаемых величин в реакциях фоторождения нейтральных псевдоскалярных мезонов в области Δ и IV резонансов.

В первой главе описываются экспериментальные установки, при помощи которых проводились измерения асимметрии сечения реакции фоторождения π^0 -мезона поляризованными фотонами; поляризации протона отдачи в реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$; асимметрии сечения реакции $\gamma p \rightarrow \eta^0 p$ поляризованными фотонами на водороде.

Установки по исследованию фоторождения π^0 -мезона имели по два плеча. Протонное плечо состояло из искровых камер (от 10 до 30), служащих для определения траектории протона отдачи и пробного спектрометра - для определения энергии протона. Для отделения протонов от сопутствующих π^\pm мезонов использовались счетчики dE/dX . В эксперименте по измерению поляризации протона отдачи между искровыми камерами располагались углеродные пластинки, рассеяние на которых позволило оценить степень поляризации протонов отдачи.

Пионное плечо состояло из одного или нескольких модулей счетчиков полного поглощения на основе кристалла NaJ(TL) для регистрации γ -квантов от распада π^0 мезона.

В установке, на которой измерялась асимметрия сечения процесса фоторождения η^0 мезона, протонным плечом являлся пробный спектрометр, а два γ -кванта от распада η^0 -мезона

регистрировались двумя черенковскими счетчиками полного поглощения.

Во второй главе описывается программное обеспечение экспериментов по фоторождению нейтральных псевдоскалярных мезонов.

Процесс проведения эксперимента можно разделить на несколько этапов: проектирование эксперимента; разработка и определение характеристик оборудования установки; измерение и накопление данных; обработка информации и получение физических результатов.

Программное обеспечение экспериментов было предназначено для использования на последнем этапе проведения эксперимента, т.е. на этапе обработки информации и получения физических результатов. При этом программным обеспечением решаются такие задачи как определение характеристик установки, опознавание событий и их классификация, определение геометрических и кинематических параметров событий, статистическая обработка данных и получение конечных физических результатов.

Так как во всех экспериментах по фоторождению π^0 -мезона использовалась методика искровых камер, то главной задачей программного обеспечения этих экспериментов является распознавание траектории частиц и, как следствие этой задачи, получение характеристик искровых камер. Проведено описание некоторых методов распознавания треков, использованных при разработке комплексов программ конкретного эксперимента и определения таких важных характеристик искровых камер, какими являются эффективность и пространственное разрешение.

Задача распознавания треков усложнилась в связи с требованиями последующих экспериментов по фоторождению π^0 мезона. Если

в эксперименте по измерению асимметрии сечения процесса фоторождения π^0 - мезона при угле вылета π^0 - мезона в с.ц.м. 60° [1] требовалось нахождение прямолинейного трека протона отдачи, то в эксперименте по измерению асимметрии сечения реакции $\delta p \rightarrow \pi^0 p$ при углах вылета π^0 - мезона в с.ц.м. 40° , 50° [2] в добавок надо было рассматривать случаи остановки протона отдачи в поглотителях, находящихся между искровыми камерами. А в эксперименте по измерению поляризации протона отдачи в фоторождении π^0 - мезона уже требовалось исследовать рассеяние протонов отдачи на углеродных пластинках при помощи информации от искровых камер [4].

Кроме этих задач разработанными комплексами программ решалась задача юстировки геометрических параметров установки и определение оптимальных значений ряда физических и рабочих параметров.

Каждое программное обеспечение содержало в себе тестовую генерирующую программу, при помощи которой проверялись, сравнивались и отбирались алгоритмы распознавания с высокой эффективностью.

Методика эксперимента по измерению асимметрии сечения фоторождения η^0 - мезона на водороде коренным образом отличается от методики экспериментов по фоторождению π^0 - мезона. Здесь при помощи калибровочных данных восстанавливается энергия двух γ - квантов от распада η^0 - мезона с использованием информации от двух черенковских счетчиков полного поглощения.

Были разработаны два комплекса программ [3] по разному обрабатывающих физическую информацию. Первый комплекс программ восстанавливает кинематическую картину каждого события. Исполь-

зуя разные методы отбора и фитирования полученных распределений по методу наименьших квадратов, отделяет физический эффект от фоновых процессов и оценивает асимметрию. При использовании второго комплекса программ получается двумерное распределение энергии двух γ - квантов, выделяется область рождения η^0 - мезона и оценивается асимметрия сечения процесса фоторождения η^0 - мезона.

Все комплексы программ были созданы на ЭВМ М-222 и ЕС-1022 на языках программирования ФОРТРАН, АВТОКОД и АССЕМБЛЕР.

В третьей главе описывается процедура измерения и результаты экспериментов. Эксперименты проводились на поляризованном монохроматическом пучке фотонов, полученном на Ереванском электронном ускорителе с помощью когерентного тормозного излучения (КТИ) электронов с энергией 4,6 ГэВ на кристалле алмаза. В процессе измерения форма спектра фотонов и положение пика поляризованных фотонов периодически контролировалось парным γ - спектрометром.

Процедура эксперимента состояла из двух основных этапов: настройки экспериментального оборудования, проверки правильности отбора интервала энергий начальных фотонов экспериментальной установкой и перехода к набору статистики. Для оценки фоновых процессов, наряду с основными измерениями, производились и измерения с нарушенной кинематикой, а также с пустой мишенью.

В результате проведенных экспериментов по измерению асимметрии сечения фоторождения π^0, η^0 - мезонов определялись выходы C_I и C_{II} рождения $\pi^0(\eta^0)$ - мезона фотонами с вектором поляризации, перпендикулярным и параллельным плоскости реакции.

При этом асимметрия определяется формулой

$$\Sigma = \frac{1}{\bar{P}_\gamma} \cdot \frac{C_\perp - C_\parallel}{C_\perp + C_\parallel}$$

где \bar{P}_γ - эффективная поляризация фотонного пучка, одинаковая для обеих ориентаций вектора поляризации и усредненная по области энергии фотонов, "охватываемой" экспериментальной установкой.

Получена энергетическая зависимость асимметрии сечения фоторождения π^0 - мезона для углов вылета π^0 - мезона в с.ц.м. 40° , 50° , 60° [5,6] и значение величины асимметрии сечения фоторождения η^0 - мезона в пяти кинематических точках [7].

В эксперименте по измерению поляризации протонов отдачи в реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ при угле вылета π^0 мезона в с.ц.м. 60° отбирались случаи рассеяния (1,4% от полного числа регистрируемых событий) под углами $\Theta_{pp'}$ ($5^\circ + 15^\circ$) и $\Psi_{pp'}$ ($0 + 2\pi$) и с кинетической энергией протона отдачи T_p . По этим отобраным событиям определялась поляризация протона отдачи по методу максимального правдоподобия, используя логарифмическую функцию правдоподобия:

$$L = \prod_{i=1}^N [1 + P \cdot \cos \varphi_{pp'}^{(i)} \cdot P_c^{\text{эфф}}(\Theta_{pp'}^{(i)}, T_p^{(i)})]$$

где $P_c^{\text{эфф}}$ - эффективная анализирующая способность угле - рода.

Угловой охват экспериментальной установки составлял

$\Delta \Theta_{\gamma \pi^0}^* = \pm 8^\circ$, а разрешение по энергии начальных γ квантов - $\Delta E_\gamma = \pm 50$ МэВ.

Была получена энергетическая зависимость поляризации протона отдачи при угле вылета π^0 мезона в с.ц.м. 60° [8].

приведены угловые зависимости асимметрии сечения процессов фоторождения π^0, η^0 - мезонов.

Полученные данные сравнивались с предсказаниями феноменологических анализов Меткалфа-Волкера, Феллера и др., Мурхауза и др. и Азнаурян и др.

Наблюдается удовлетворительное согласие наших результатов с предсказаниями мультипольных анализов Феллера и др. и Азнаурян и др.

Полученные результаты асимметрии сечения фоторождения η^0 - мезона сравнивались с предсказаниями изобарной модели Хикса и др.

Сравнение экспериментальных данных по поляризации протона отдачи P с экспериментальными данными по асимметрии поляризованной мишени T показало хорошее совпадение данных в области $\Theta_{\gamma \pi^0}^* = 50^\circ$.

Заключение. В настоящей работе выполнено экспериментальное исследование процессов фоторождения π^0, η^0 мезонов поляризованными фотонами в области III и IV резонансов. Получены экспериментальные данные по асимметрии сечения фоторождения π^0 и η^0 мезонов и поляризации протона отдачи в фоторождении π^0 - мезонов.

Основные результаты настоящей работы заключаются в следующем:

I. Разработано и создано программное обеспечение экспериментов по исследованию асимметрии сечения фоторождения π^0 - мезонов поляризованными фотонами.

2. Разработано и создано программное обеспечение эксперимента по исследованию асимметрии сечения фоторождения η^0 - мезона поляризованными фотонами.

3. При помощи созданных комплексов программ получены экспериментальные результаты по асимметрии сечения в фоторождении π^0 - мезона для углов вылета в с.ц.м. $40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ в области энергий $E_\gamma = (0,7 \div 1,3)$ ГэВ и по асимметрии сечения в фоторождении η^0 - мезона в области энергий $E_\gamma = (1 \div 2)$ ГэВ поляризованными фотонами. Проведено сравнение экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями.

4. Разработано и создано программное обеспечение эксперимента по измерению поляризации протона отдачи в фоторождении π^0 мезонов.

5. Получены экспериментальные результаты по поляризации протона отдачи в реакции $\gamma p \rightarrow \pi^0 p$ при угле вылета π^0 мезона в с.ц.м. 60° и в области энергий $E_\gamma = (0,8 \div 1,5)$ ГэВ. Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами различных теоретических анализов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Авакян Р.О., Схторян Е.М. Обработка данных в эксперименте по фоторождению π^0 - мезонов поляризованными γ - квантами. Международное совещание по программированию и математическим методам решения физических задач. - Дубна, 1977, 6 с.
2. Авакян Р.О., Гарибян Ю.А., Схторян Е.М. Обработка экспериментальной информации в реакциях фоторождения π^0 - мезонов. Ереван, 1982, Препринт ЕФИ-518(5), 12с.
3. Схторян Е.М. Программное обеспечение эксперимента по фоторождению η^0 - мезона. Ереван, 1982, Препринт ЕФИ-515(2), 22с.
4. Схторян Е.М. Геометрическая реконструкция событий в эксперименте по исследованию поляризации протонов отдачи в фоторождении π^0 - мезонов. - Ереван, 1982, 1982, Препринт, ЕФИ-522(9), 15с.
5. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э., Армаганиян А.А., Акопов Н.З., Бахшеян Р.А., Вартапетян Г.А., Данагулян С.С., Искандарян А.Г., Косаков И.Х., Мирзоян Р.М., Оганесян А.А., Оганесян М.А., Петросян Ж.В., Саркисян Р.Ц., Схторян Е.М., Тароян С.П., Элбакян Г.М. Измерение асимметрии в фоторождении π^0 - мезона в резонансной области. - Ядерная физика, 1977, т.26, вып.5, с.1014-1017.
6. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э., Армаганиян А.А., Акопов Н.З., Вартапетян Г.А., Данагулян С.С., Искандарян А.Г., Косаков И.Х., Мирзоян Р.М., Марукян Г.О., Оганесян А.А., Оганесян М.А., Петросян Ж.В., Саркисян Р.Ц., Схторян Е.М., Тароян С.П., Элбакян Г.М. Измерение асимметрии сечения в фоторождении π^0 - мезонов для углов пиона в с.ц.м. 40° и

π^0 в резонансной области. - Ядерная физика, 1979, т.29, вып.5, с.1212-1215.

7. Абрамян Л.О., Авакян Р.О., Аганьянц А.О., Адамян Ф.В., Армаганиян А.А., Вартанов Ю.А., Вартапетян Г.А., Галумян П.И., Демехина Н.А., Казарян Г.Х., Лебедев А.Н., Манукян Э.М., Пилипосян С.Е. Сирунян А.М., Схторян Е.М., Худавердян А.Г., Хуршудян Л.С.

Асимметрия сечения реакции фоторождения η^0 - мезонов поляризованными фотонами в резонансной области энергии. - Письма в ЖЭТФ, 1977, т.25, вып.12, с.597-600.

8. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э., Армаганиян А.А., Арутюнян Л.Г., Акопов Н.З., Багдасарян Л.С., Вартапетян Г.А., Гарибян Ю.А., Данагулян С.С., Еганов В.С., Искандарян А.Г., Карапетян А.П., Косаков И.Х., Марукян Г.О., Мирзоян Р.М., Оганесян А.А., Оганесян М.А., Петросян Ж.В., Саркисян Р.Ц., Схторян Е.М., Тароян С.П., Элбакян Г.М. Измерение P_y составляющей вектора поляризации протонов отдачи в реакции фоторождения π^0 - мезонов для угла $\theta_{\pi^0}^* = 60^\circ$ в резонансной области. - Ереван, 1982, Препринт ВФИ-596(83), 14 с.

Тех. редактор А.С. Абрамян

Заказ 127

ВФ - 03744

Тираж 170

Подписано к печати 12.05.83г.

Формат издания 210х110

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванский физический институт, Ереван 36, Маркаряна 2