

КРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ШАЛАЦКИЙ Сергей Владимирович

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ $\gamma N \rightarrow N\pi$ И
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАНСА Δ_{33}

ОІ.04.І6 - физика атомного ядра и элементарных частиц

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков, 1982

Работа выполнена в Харьковском физико-техническом институте АН УССР

Научный руководитель — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник
Мирошниченко И.И.

Официальные оппоненты — доктор физико-математических наук, профессор Липидус Л.И.
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Азнаурян И.Г.

Ведущая организация — Институт физики высоких энергий

Защита состоится 25 мая 1982 г. в 14-00 часов на заседании Специализированного совета Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте (375036 г. Ереван, ул. Маркаряна, 2)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ

Автореферат разослан "22" апреля 1982г.

Ученый секретарь Специализированного совета
кандидат физико-математических наук

Шахбазян В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Изучение процессов взаимодействия фотонов с адронами позволяет исследовать электромагнитные свойства сильно взаимодействующих частиц, знание которых необходимо для построения теории элементарных частиц и их взаимодействий. Без исследования этих процессов невозможно изучить многие свойства адронов.

Одним из процессов такого типа является реакция фоторождения одиночных пионов на нуклонах $\gamma N \rightarrow N\pi$. Область энергий фотонов до 500 МэВ для этих реакций изучена наиболее хорошо. В этой области возбуждается резонанс $P_{33}(1236)$ и может проявляться резонанс $P_{11}(1470)$. Информация об этих состояниях важна для проверки существующих моделей и систематики элементарных частиц. Изучение процессов фоторождения позволяет поставить задачу проверки теоретических моделей этих процессов (дисперсионные соотношения) и свойств симметрии электромагнитных взаимодействий адронов.

Для решения всех этих задач необходимо однозначно определить амплитуды процесса из экспериментальных данных, что возможно при наличии достаточного объема экспериментальной информации. Совокупность экспериментов, необходимых для этой цели, называется полным опытом. Из всей совокупности необходимых для осуществления полного опыта данных пока измерены только четыре независимых экспериментальных величины (наблюдаемых), что явно недостаточно для реализации полного опыта. Поэтому для определения амплитуд из экспериментальных данных необходимы дополнительные теоретические предположения.

В области энергий фотонов до 500 МэВ задача определения амплитуд существенно упрощается благодаря возможности использования условия двухчастичной унитарности S -матрицы, приводящего к известной связи процессов фоторождения и πN -рассеяния (теорема Ферми-Ватсона). Это позволяет сократить число наблюдаемых, необходимых для определения амплитуд.

Наименьшее число модельных предположений содержит метод энергонезависимого мультиполярного анализа (ЭНМА) процессов фоторождения. Этот метод позволил достигнуть определенных успехов в нахождении оценок мультиполярных амплитуд, соответствующих пе-

ходам в состоянии πN -системы с орбитальными моментами $l \leq 1$ (s, p -приближение). На этой основе в ряде работ были получены оценки степени нарушения T -инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов и характеристик P_{33} -резонанса. Однако эти результаты являлись недостаточно надежными и достоверными, так как решения выполненных до настоящего времени ЭНМА были многозначными и неустойчивыми, вследствие чего наблюдались скачки и аномалии в энергетических зависимостях ряда мультипольных амплитуд. Эти свойства решений взаимосвязаны и являются следствием недостаточной информативности экспериментальных данных.

В такой ситуации прежде всего возникает необходимость уточнения экспериментальных данных и получения качественно новой экспериментальной информации. Однако существенный прогресс в этом направлении связан с дорогостоящими и трудоемкими измерениями, которые не сразу могут быть осуществлены. Поэтому весьма актуальными являются задачи разработки методов получения устойчивых и однозначных оценок амплитуд процесса фоторождения пионов на нуклонах на основе имеющегося материала, то есть в условиях недостаточной информативности экспериментальных данных, а также задача получения из результатов анализа надежных оценок характеристик резонанса Δ_{33} и проверки T -инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов.

Цель работы заключалась в следующем:

- разработать математические методы получения однозначных и устойчивых решений энергонезависимого мультипольного анализа;
- разработать систему феноменологического анализа экспериментальных данных, включающую эти методы;
- используя разработанную систему анализа, найти амплитуды процесса $\gamma N \rightarrow \pi N$ в области энергий фотонов до 500 МэВ;
- на основе полученных оценок амплитуд провести проверку предсказаний дисперсионной теории фоторождения, проверку T -инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов, определить характеристики Δ_{33} -резонанса.

Научная новизна. Впервые для отбора решений ЭНМА процессов фоторождения применялся метод, основанный на принципе крат-

чайшего пути, позволивший отобрать единственное решение анализа. Задача ЭНМА процессов фоторождения впервые рассматривается как некорректно поставленная, и для ее решения впервые предложены конкретные алгоритмы регуляризации; на их основе впервые получено однозначное и устойчивое решение мультипольного анализа, не имеющее скачков и аномалий в энергетических зависимостях амплитуд. Точность, устойчивость и единственность полученного решения позволили значительно повысить надежность результатов анализа и выводов, полученных из сопоставления результатов анализа с теоретическими предсказаниями, а именно:

- впервые сделан обоснованный вывод о том, что учет в дисперсионных соотношениях вклада процессов обмена ρ и ω -мезонами улучшает согласие предсказаний дисперсионной теории с результатами мультипольного анализа;

- сделан обоснованный вывод о доминирующей роли изовекторной части амплитуды M_{1-} фоторождения и резонансном характере ее энергетической зависимости; об эквивалентном проявлении резонанса P_{11} как на протоне, так и на нейтроне, о возможной принадлежности P_{11} к антидекуплету SU_3 ;

- получены новые оценки фазы амплитуды $M_{1+}^{(3)}$ и границы справедливости T -инвариантности в электромагнитных взаимодействиях адронов;

- получены новые оценки полюсных характеристик Δ_{33}^+ -изобары;

- впервые из результатов ЭНМА получены модельнонезависимые оценки расщепления массы и ширины Δ_{33} -изомультиплета.

Практическая ценность. Разработанная система феноменологического анализа процессов фоторождения пионов на нуклонах позволила решить основную задачу определения точных и устойчивых оценок мультипольных амплитуд.

Разработанные методы регуляризации могут использоваться в фазовых и мультипольных анализах различных процессов, где наблюдается неустойчивость решений.

Полученные оценки границы справедливости T -инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов, а также оценки массы, радиационной и полной ширины резонанса Δ_{33}^+ и расщепления массы и ширины Δ_{33} -изомультиплета могут быть использованы для

проверки различных теоретических моделей элементарных частиц и их взаимодействий.

Апробация работы. Материалы диссертации представлялись на 18-ю (Тбилиси, 1976), 19-ю (Токио, 1978) международные конференции по физике высоких энергий и были включены в репортерские доклады по исследованиям фоторождения пионов в резонансной области энергий, докладывались на ежегодных сессиях Отделения ядерной физики АН СССР в 1975–1977 гг., на Всесоюзном семинаре по электромагнитным взаимодействиям адронов в резонансной области энергий (Харьков, 1979), на итоговых конференциях Харьковского физико-технического института. Полюсные характеристики Δ_{33}^+ -резонанса были включены в международный Обзор свойств элементарных частиц за 1980 г. – Review of Particle Properties/ Particle Data Group. – Rev. Mod. Phys., 1980, v.52, No. 2.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано пять работ.

Объем работы и структура диссертации. Диссертация содержит 130 стр. основного машинописного текста, 14 таблиц, 36 рисунков, список литературы из 125 наименований и состоит из введения, трех глав, заключения и приложения.

Защищаемые положения:

1. Методы регуляризации решений мультипольного анализа реакций $\gamma p \rightarrow n\pi^+$, $\gamma p \rightarrow N\pi$ и $\gamma n \rightarrow p\pi^-$.
2. Метод отбора решений в мультипольном анализе реакций $\gamma p \rightarrow N\pi$ на основе принципа "кратчайшего пути".
3. Новые оценки амплитуд реакций $\gamma N \rightarrow N\pi$, полученные в мультипольном анализе с применением метода регуляризации.
4. Результаты сравнения полученных оценок амплитуд с предсказаниями, основанными на дисперсионных соотношениях, и вывод об улучшении согласия этих результатов при учете в дисперсионных соотношениях процессов обмена ρ и ω -мезонами в промежуточном состоянии.
5. Новые оценки фазы амплитуды $M_{1+}^{(3)}$ и границы справедливости T-инвариантности в электромагнитных взаимодействиях ад-

ронов, выражаемой средним значением разности фаз амплитуд фоторождения и πN -рассеяния, равным $\Delta\varphi = -0,45 \pm 0,8^\circ$.

6. Выводы о доминирующей роли изовекторной части амплитуды M_{1-} и резонансном характере ее энергетической зависимости; об эквивалентном проявлении резонанса P_{11} как на протоне, так и на нейтроне, о принадлежности его к унитарному октету.

7. Новые оценки полюсных характеристик Δ_{33}^+ -изобары: координат полюса и вычета относительно полюса амплитуды $M_{1+}^{(3)}$, а также радиационной ширины Δ_{33}^+ ; оценки разностей масс и ширин изобар Δ_{33}^{++} , Δ_{33}^+ и Δ_{33}^0 .

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении перечислены основные проблемы в исследовании процессов фоторождения пионов, актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы и кратко описано ее содержание; приведены основные положения, выносимые автором на защиту.

В главе I детально рассмотрены проблемы исследования и сформулированы конкретные цели исследования по каждой проблеме.

Теоретическое рассмотрение процессов фоторождения в существенной мере опирается на дисперсионные соотношения. Результаты выполненных до настоящего времени мультипольных анализов фоторождения расходятся с предсказаниями дисперсионных соотношений, поэтому в настоящей диссертации поставлена задача исследования причин упомянутых расхождений.

Еще одна проблема, сформулированная в диссертации – проверка T-инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов путем поиска новых, более точных и надежных оценок фазы мультипольной амплитуды $M_{1+}^{(3)}$ и сравнения ее с соответствующим фазовым сдвигом πN -рассеяния. Обнаружение различия указанных величин будет означать нарушение T-инвариантности.

Одна из центральных проблем исследования фоторождения – возбуждение резонансных состояний в этих процессах. Доступными для экспериментального изучения в области энергий фотонов до 500 МэВ являются резонансы Δ_{33}^+ (1232) и P_{11} (1470). Точность полученных до настоящего времени оценок массы, полной и радиационной ширины распада Δ_{33}^+ была невелика вследствие модельных неопределенностей использованных для этой цели параметриза-

ций, а также неустойчивость и неоднозначность решений мультипольных анализов. Поэтому в диссертации сформулирована конкретная цель получения более точных характеристик резонанса Δ_{33}^+ и Δ_{33}^- -изомультиплета на основе разработки и применения новых методов получения устойчивых и однозначных оценок мультипольных амплитуд.

Предсказания теоретических моделей относительно классификации роперовского резонанса, проблематичного в фоторождении, рассмотрены в данной главе отдельно. Сформулирована задача уточнения оценок амплитуды M_{I-} , соответствующей возбуждению P_{II} , и проверки полученных в других анализах выводов относительно классификации P_{II} и его возбуждения в процессах фоторождения.

В конце главы рассмотрены проблемы восстановления амплитуд процессов $\gamma N \rightarrow N\pi$ из экспериментальных данных. Основными проблемами энергонезависимых мультипольных анализов являются многозначность и неустойчивость решений. Поэтому в диссертации сформулирована задача разработки методов получения однозначных и устойчивых решений мультипольного анализа.

Глава 2 посвящена решению основной задачи диссертации - разработке методов получения однозначных и устойчивых оценок мультипольных амплитуд и применению этих методов в мультипольном анализе процессов $\gamma p \rightarrow n\pi^+$ и $\gamma N \rightarrow N\pi$.

Наши исследования показали, что вследствие неоднозначности и неустойчивости решений задача энергонезависимого мультипольного анализа относится к классу некорректно поставленных задач. Для корректной постановки и решения таких задач необходимо использовать дополнительную (априорную) информацию об искомом решении. В предложенном А.Н.Тихоновым методе регуляризации дополнительная информация определенным образом согласуется с точностью исходных данных, что обеспечивает важное свойство устойчивости регуляризованных решений.

В работе предложен конкретный регуляризирующий алгоритм поиска решений энергонезависимого мультипольного анализа реакции $\gamma p \rightarrow n\pi^+$, основанный на использовании в качестве дополнительной (априорной) информации значений амплитуд, найденных теоретически или в энергозависимом мультипольном анализе. Регуляризованные оценки мультипольных амплитуд получают путем минимизации сглаживающего функционала R :

$$R = R_0 + R_M, \quad (I)$$

где R_0 - обычный функционал метода наименьших квадратов (МНК), а R_M представляет собой взвешенную сумму квадратов разностей искомых оценок мультипольных амплитуд $E_{0+}^{\pi^+}$, $M_{1-}^{\pi^+}$, $E_{1+}^{\pi^+}$ и $M_{1+}^{\pi^+}$ и их априорных значений. Веса каждого слагаемого в этой сумме рассматриваются как параметры регуляризации, которые определяются согласно разработанному в диссертации алгоритму, обеспечивающему устойчивость решений. Смысл предложенного метода заключается в поиске решений, ближайших к априорным, и в то же время хорошо описывающих экспериментальные данные. Полученные регуляризованные решения устойчивы и не имеют скачков в энергетических зависимостях мультипольных амплитуд, в отличие от нерегуляризованных решений.

Центральное место в данной главе занимает мультипольный анализ реакций $\gamma p \rightarrow N\pi$ и $\gamma n \rightarrow p\pi^-$. В этом анализе фазы искомых изотопических компонент мультипольных амплитуд E_{0+} , M_{1-} , E_{1+} и M_{1+} определялись из данных о фазовых сдвигах πN -рассеяния, согласно теореме Ферми-Ватсона, остальные мультипольные амплитуды вычислялись в борновском приближении.

При выполнении мультипольного анализа реакций $\gamma p \rightarrow N\pi$ большое внимание было уделено проблеме многозначности решений анализа. Существующий набор экспериментальных данных не позволяет однозначно восстановить мультипольные амплитуды, и необходимо использовать различные критерии отбора решений. До начала наших исследований для отбора среди решений, удовлетворяющих статистическим критериям, использовались различные физические соображения, такие как предположения о знаках ряда мультипольных амплитуд, базирующиеся в основном на предсказаниях дисперсионных соотношений. Подобные методы являются модельно зависимыми и могут приводить к искажению оценок мультипольных амплитуд. В диссертации впервые в мультипольном анализе реакций фоторождения для отбора решений анализа применяется модельно-независимый метод, основанный на принципе "кратчайшего пути", применявшемся ранее только в фазовых анализах πN -взаимодействий. Применение этого метода позволило в диссертации при каждой энергии отобрать по одному решению. Полученные решения качественно согласуются с теоретическими предсказаниями, осно-

ванными на дисперсионных соотношениях. Таким образом, в диссертации впервые модельно-независимым образом отобрано единственное решение мультипольного анализа реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$.

Результаты выполненных исследований, описанных в данной главе, подтвердили выводы более ранних работ о неустойчивости решений мультипольного анализа. Указанная неустойчивость проявляется в виде скачков в энергетических зависимостях мультипольных амплитуд, увеличении корреляции искомых параметров и ухудшении обусловленности системы нормальных уравнений, решение которой определяет положение минимума функционала МНК (остаточной суммы квадратов).

Для получения устойчивого решения мультипольного анализа реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$ нами был разработан модельно-независимый метод регуляризации, основанный на минимизации сглаживающего функционала R^α :

$$R^\alpha = R + \alpha \Omega, \quad (2)$$

где функционал R совпадает с обычным функционалом МНК, но суммирование, в отличие от обычного ЭНМА, проводится по экспериментальным точкам в угловых распределениях наблюдаемых при всех энергиях одновременно. Это отличие связано с тем, что в стабилизирующий функционал Ω одновременно входят мультипольные амплитуды при всех энергиях, используемых в анализе. Стабилизирующий функционал строился в виде интеграла от квадратичной формы, сконструированной из производных решения по энергии, и аппроксимировался интегральной суммой, а производные — конечными разностями. Такой выбор стабилизирующего функционала приводит к регуляризованным оценкам мультипольных амплитуд, являющимся наиболее гладкими (визуально) функциями энергии, удовлетворяющими экспериментальным данным. Параметр регуляризации α выбирался так, чтобы минимум R^α достигался при значении R , равном максимально допустимому значению R_{max} . Это значение выбиралось равным верхней границе доверительного интервала для R .

Как показала проверка, полученное регуляризованное решение действительно устойчиво. При исследовании многозначности регуляризованных решений было выяснено, что среди найденных минимумов R^α имеется единственный, отвечающий минимальным значениям R и Ω ; остальные решения могут быть отвергнуты

на основании статистического критерия Фишера. Отобранное решение, приведенное на рис. I, имеет высокую точность, а в энергетических зависимостях мультипольных амплитуд отсутствуют скачки и аномалии, характерные для нерегуляризованных решений. Таким образом, метод регуляризации позволил однозначно определить решение мультипольного анализа реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$, устойчивое по отношению к малым изменениям экспериментальных данных. Это повышает надежность и достоверность выводов из результатов анализа и из сравнения этих результатов с теоретическими предсказаниями.

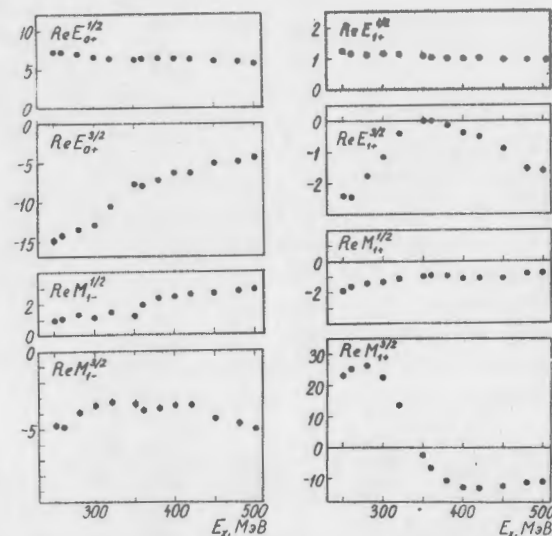


Рис. I. Регуляризованные оценки протонных амплитуд (в ед. $10^{-3} \cdot I/m_\pi$, где m_π — масса пиона).

С помощью модельно-независимого метода регуляризации в диссертации выполнен также мультипольный анализ реакции $\gamma n \rightarrow p\pi^-$. При выполнении анализа протонные амплитуды фиксировались; их значения принимались равными регуляризованным оценкам мультипольных амплитуд реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$, найденным в диссертации (см. рис. I); определялись из экспериментальных

данных только нейтронные амплитуды. Полученные оценки нейтронных амплитуд, приведенные на рис. 2, не имеют скачков и аномалий в энергетических зависимостях амплитуд и обладают более

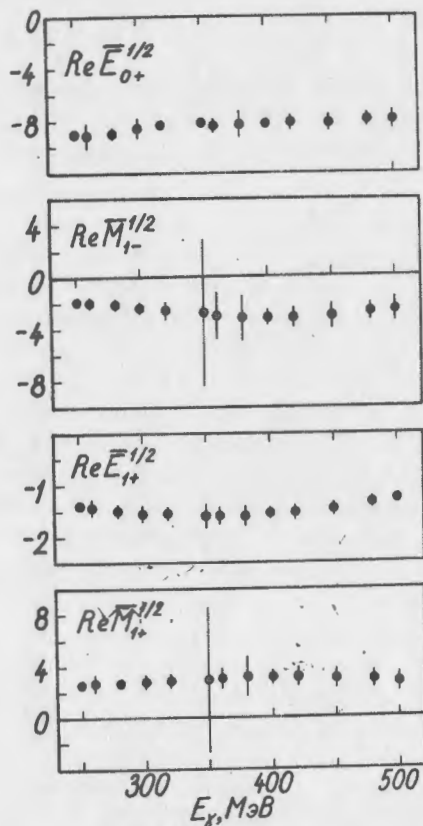


Рис. 2. Регуляризованные оценки нейтронных амплитуд (в ед. $10^{-3} \cdot I / m_{\pi}$)

высокой точностью, чем нерегуляризованные оценки, что позволило уточнить также оценки изоскалярных и изовекторных компонент мультипольных амплитуд.

В основе результатов, изложенных в главе 3, лежат полученные в диссертации регуляризованные оценки мультипольных амплитуд $\rho p \rightarrow N\pi$ и $\gamma p \rightarrow p\pi^-$.

В этой главе проведено детальное сравнение результатов анализа с предсказаниями теоретических расчетов на основе дисперсионных соотношений, развитых в рамках трех различных подходов: метода интегральных преобразований Швела, метода конформных преобразований Берендса, Доннаки и Уивера, и метода Паде-приближения Лебедева и Мангазеева. В целом наилучшее согласие наблюдается с предсказаниями на основе Паде-приближения. Проведенные в диссертации исследования показали, что это согласие улучшается при учете в дисперсионных соотношениях вклада процессов обмена ρ и ω -мезонами в t -канале.

В основе регуляризованных оценок амплитуды M_{1-} , отвечающей возбуждению резонанса P_{11} , в диссертации сделан вывод о том, что доминирующей является изовекторная часть $M_{1-}^{(1)}$ этой амплитуды, имеющая резонансный характер энергетической зависимости. Равенство протонной $M_{1-}^{1/2}$ и нейтронной $\bar{M}_{1-}^{1/2}$ амплитуд позволило сделать вывод об эквивалентном проявлении резонанса P_{11} как на протоне, так и на нейтроне и о принадлежности его к унитарному октету.

Далее в этой главе приведены результаты определения фазы φ_{33} мультипольной амплитуды $M_{1+}^{(3)}$ в мультипольном анализе с применением регуляризации. Полученные в диссертации оценки φ_{33} обладают более высокой точностью, чем нерегуляризованные оценки. Это позволило уточнить среднее значение полученной ранее из нерегуляризованных оценок фазы φ_{33} величины $\Delta\varphi$ - разности фазы амплитуды $M_{1+}^{(3)}$ и фазового сдвига δ_{33} πN -рассеяния в диапазоне энергий от 250 до 500 МэВ. Найденное значение $\Delta\varphi = \varphi_{33} - \delta_{33} = -0,45 \pm 0,8^\circ$. Это значение получено с использованием новейших данных о фазовых сдвигах πN -рассеяния; в указанной величине ошибки учтена возможная неопределенность $\Delta\varphi$, связанная с различием конечных состояний πN -системы в рассматривавшихся нами реакциях фоторождения и в изученных экспериментально реакциях πN -рассеяния. Эта оценка является наиболее точной среди оценок границы справедливости T-инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов, полученных из анализа реакций с участием фотонов.

В главе 3 описаны также результаты определения характеристик резонанса Δ_{33}^+ и расщепления масс и ширин Δ_{33} -изомуплета.

В диссертации получены значения параметров резонансной формулы типа Брейта-Вигнера для амплитуды $M_{1+}^{(3)}$, соответствующей возбуждению Δ_{33}^+ , и параметров нерезонансного фона в $M_{1+}^{(3)}$. Как показывают расчеты, все эти параметры в существенной мере зависят от выбора параметризации энергетических зависимостей полной и радиационной ширин распада Δ_{33}^+ , а также нерезонансного фона в амплитуде.

Как показали исследования πN -рассеяния, фундаментальными, модельно-независимыми являются величины, характеризующие полус амплитуды. В релятивистской теории S -матрицы резонансу

сопоставляется полюс $W_0 = M_0 - i\Gamma_0/2$ амплитуды, расположенный на втором листе римановой поверхности комплексной полной энергии W системы. Параметр M_0 сопоставляется массе резонанса, Γ_0 - его ширине. Тогда в окрестности полюса амплитуда может быть представлена в виде

$$\sqrt{kq} M_{i+}^{(3)} \approx R'/(W - W_0),$$

где $R' = -\gamma_0 e^{i\varphi_0}$ - вычет амплитуды относительно полюса.

В диссертации предложена параметризация, позволяющая в явном виде выделить полюс в амплитуде фоторождения, сопоставляемый резонансу. Использование различных формул для параметризации энергетических зависимостей полной $\Gamma(q)$ и радиационной $\Gamma^\delta(k)$ ширин распада резонанса (k и q - импульсы фотона и пиона в системе центра масс реакции), а также нерезонансного фона в амплитуде $M_{i+}^{(3)}$, позволило исследовать модельную зависимость всех параметров этих формул.

В диссертации получены следующие оценки полюсных характеристик резонанса Δ_{33}^+ (приведенные интервалы возможных значений этих величин учитывают упомянутые выше модельные неопределенности):

масса:	$1210,54 \text{ МэВ} \leq M_0^+ \leq 1212,43 \text{ МэВ}$,
полная ширина:	$103,11 \text{ МэВ} \leq \Gamma_0^+ \leq 108,65 \text{ МэВ}$,
радиационная ширина:	$0,533 \text{ МэВ} \leq (\Gamma_0^\delta)^+ \leq 0,668 \text{ МэВ}$,
модуль вычета:	$3,63 \text{ МэВ} \leq \gamma_0^+ \leq 4,10 \text{ МэВ}$,
фаза вычета:	$-0,76 \text{ рад} \leq \varphi_0^+ \leq -0,68 \text{ рад}$.

Радиационная ширина Γ_0^δ определялась, как значение $\Gamma^\delta(k)$ при $W = M_0$. Это значение меньше, чем радиационная ширина, получаемая из формулы Брейта-Вигнера, и лучше согласуется с предсказаниями различных кварковых моделей. Величины M_0 , Γ_0 , Γ_0^δ значительно меньше зависят от выбора параметризации амплитуды, чем резонансные параметры M_R , Γ_R и Γ_R^δ от выбора варианта формулы Брейта-Вигнера.

В диссертации впервые из результатов мультиполярного анализа процессов $\gamma p \rightarrow N\pi$ с применением регуляризации найдены значения разностей масс и ширин различных зарядовых состояний Δ_{33} -изобар. Для этой цели, наряду с оценками координат полюса Δ_{33}^+ -изобар, найденными в диссертации, использовались оценки координат полюса изобар Δ_{33}^{++} и Δ_{33}^0 , найденные в фа-

зовых анализах πN -рассеяния, выполненных в последние годы. Предложенная в этих работах параметризация энергетической зависимости фазового сдвига δ_{33} использовалась нами для описания энергетической зависимости фазы φ_{33} при определении координат полюса амплитуды $M_{i+}^{(3)}$, отвечающей возбуждению Δ_{33}^+ . Это позволило свести к минимуму модельные неопределенности приведенных

ниже оценок для Δ_{33}^+ :

$$\begin{aligned} -2,05 \text{ МэВ} &\leq M_0^{++} - M_0^+ \leq 0,18 \text{ МэВ}, \\ -9,47 \text{ МэВ} &\leq \Gamma_0^{++} - \Gamma_0^+ \leq -4,64 \text{ МэВ}, \\ -3,05 \text{ МэВ} &\leq M_0^0 - M_0^+ \leq -0,14 \text{ МэВ}, \\ -3,84 \text{ МэВ} &\leq \Gamma_0^0 - \Gamma_0^+ \leq 3,99 \text{ МэВ}. \end{aligned}$$

Точность полученных оценок достаточно высока, что позволило в диссертации провести сравнение их с теоретическими предсказаниями. Полученные оценки согласуются с предсказаниями в кварковой модели с потенциалом гармонического осциллятора, возмущенного потенциалом Ферми-Брейта.

В диссертации сделан вывод о совпадении фаз вычетов относительно полюса амплитуд $M_{i+}^{(3)}$ фоторождения и f_{33} πN -рассеяния. Показано, что причины такого совпадения могут быть выяснены при исследовании свойств амплитуды $E_{i+}^{(3)}$, характеризующейся большим вкладом нерезонансного фона.

В заключительной части главы 3 рассмотрены вопросы планирования эксперимента и проверки применимости разработанных в диссертации методов отбора и регуляризации решений. Показано, что новейшие результаты поляризационных экспериментов в реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$, выполненных в ХФТИ, хорошо согласуются с результатами выполненных в диссертации анализов; использование этих данных в анализе приводит к решениям, совпадающим в пределах ошибок с найденными нами ранее. Эти факты могут рассматриваться как подтверждение обоснованности применения разработанных в диссертации методов отбора и регуляризации решений в мультиполярном анализе реакций фоторождения пионов.

В диссертации показано также, что для дальнейшего уточнения решений следует проводить измерения поляризации протонов отдачи и асимметрии на поляризованной мишени в реакции $\gamma p \rightarrow p\pi^0$.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Впервые задача энергонезависимого мультипольного анализа рассматривается как некорректно поставленная, и для ее решения впервые разработаны конкретные алгоритмы регуляризации решений мультипольных анализов реакций $\gamma p \rightarrow n\pi^+$ и $\gamma N \rightarrow N\pi$, а также метод отбора решений мультипольного анализа реакций $\gamma p \rightarrow N\pi$.

2. Создана система феноменологического анализа экспериментальных данных относительно фоторождения пионов на нуклонах на базе ЭМ БЭСМ-6, включающая разработанные в диссертации методы регуляризации и отбора решений мультипольного анализа. С помощью этой системы впервые были выполнены мультипольные анализы реакций $\gamma p \rightarrow n\pi^+$, $\gamma p \rightarrow N\pi$ и $\gamma n \rightarrow p\pi^-$ с применением разработанных методов регуляризации и отбора решений. Полученные регуляризованные решения обладают высокой точностью, однозначны, устойчивы и не имеют скачков и аномалий в энергетических зависимостях мультипольных амплитуд, в отличие от результатов прежних анализов. Эти свойства решений позволили сделать надежные выводы из сравнения результатов анализа с предсказаниями теории дисперсионных соотношений:

- выбрать вариант теории, предсказания которой относительно амплитуд фоторождения наилучшим образом согласуются с результатами мультипольного анализа, а именно, метод Паде-приближения;

- показать, что согласие с результатами анализа улучшается при учете в дисперсионных соотношениях (в рамках выбранной модели) вклада процессов обмена ρ и ω -мезонами в t -канале;

- сделать надежный вывод о доминирующей роли изовекторной части амплитуды M_{1-} и резонансном характере ее энергетической зависимости;

- сделать вывод об эквивалентном проявлении резонанса P_{11} как на протоне, так и на нейтроне, о принадлежности его к унитарному октету.

3. Получены регуляризованные оценки фазы и модуля амплитуды $M_{1+}^{(3)}$, на их основе найдена оценка границы справедливости Т-инвариантности электромагнитных взаимодействий адронов, выражаемая средним значением разности фаз амплитуд фоторождения и πN -рассеяния, равным $\Delta\varphi = -0,45 \pm 0,8^\circ$.

4. Впервые для процессов фоторождения предложена параметризация резонансной амплитуды $M_{1+}^{(3)}$, в которой явным образом выделен полюс, соответствующий резонансу Δ_{33}^+ , и на основе этой параметризации из регуляризованных оценок $M_{1+}^{(3)}$ получены новые оценки полюсных характеристик резонанса Δ_{33}^+ : координат полюса и вычета относительно полюса амплитуды $M_{1+}^{(3)}$, а также ширины радиационного распада Δ_{33}^+ ; впервые из результатов мультипольного анализа реакций фоторождения и фазовых анализов πN -рассеяния получены точные оценки разностей масс и ширины изобар Δ_{33}^{++} , Δ_{33}^+ и Δ_{33}^0 .

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Мирошниченко И.И., Никифоров В.И., Санин В.М., Сорокин П.В., Шалацкий С.В. Мультипольный анализ одиночного фоторождения пионов в области P_{33} -резонанса. - Ядерная физика, 1977, т. 26, вып. 1, с. 99-109.
2. Мирошниченко И.И., Санин В.М., Шалацкий С.В. Мультипольный анализ реакции $\gamma p \rightarrow n\pi^+$ с применением метода регуляризации. - Ядерная физика, 1977, т. 26, вып. 3, с. 580-586.
3. Мирошниченко И.И., Никифоров В.И., Санин В.М., Сорокин П.В., Шалацкий С.В. Мультипольный анализ реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$ с применением метода регуляризации. - Ядерная физика, 1980, т. 32, вып. 3(9), с. 659-666.
4. Мирошниченко И.И., Никифоров В.И., Санин В.М., Сорокин П.В., Шалацкий С.В. Положение полюса и вычет амплитуды $M_{1+}^{3/2}$ реакций $\gamma p \rightarrow N\pi$. - Ядерная физика, 1979, т. 29, вып. 1, с. 183-193.
5. Мирошниченко И.И., Никифоров В.И., Санин В.М., Сорокин П.В., Шалацкий С.В. Положение полюса амплитуды $M_{1+}^{3/2}$ реакции $\gamma p \rightarrow N\pi$. - Ядерная физика, 1978, т. 28, вып. 2(8), с. 389-391.