

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-2001-213

На правах рукописи  
УДК 539.12

**МЕЩЕРЯКОВ**  
Глеб Владимирович

**АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО  $p\bar{p}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ  
И ПРОБЛЕМА СУЩЕСТВОВАНИЯ БАРИОНИУМА**

Специальность: 01.04.23 — физика высоких энергий

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 2001

Работа выполнена в Лаборатории физики частиц Объединенного института ядерных исследований

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук, профессор

Голутвин Игорь Анатольевич

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук, профессор

Граменицкий Игорь Михайлович

доктор физико-математических наук, профессор

Фильков Лев Васильевич

**Ведущая организация:** Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

Защита состоится «    » \_\_\_\_\_ 2001 г.

в            часов на заседании диссертационного            совета

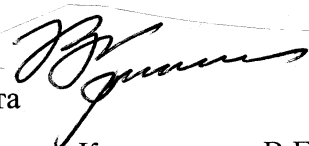
Лаборатории физики частиц Объединенного института ядерных исследований по адресу:

141980 Дубна Московской обл. ОИЯИ ЛФЧ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛФЧ ОИЯИ,

Автореферат разослан «    »            2001 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Кривохижин В.Г.

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы.

История экспериментального изучения  $N\bar{N}$  взаимодействий насчитывает несколько десятилетий. Но еще до обнаружения на опыте антинуклонов, Ферми и Янг поставили вопрос о существовании связанных состояний в  $N\bar{N}$  системе (1949). Несмотря на затраченные усилия до настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос классиков. Большой прогресс в изучении  $N\bar{N}$  взаимодействия был достигнут в CERN на установке LEAR благодаря высокому качеству антипротонного пучка. Хотя на ней был получен большой объем экспериментального материала, убедительных прямых данных о существовании бариониаума – связанного  $N\bar{N}$  состояния – все еще нет.

Этот факт не согласуется с предсказаниями потенциальных моделей  $N\bar{N}$  взаимодействия, которые приводят к большому числу связанных состояний и резонансов в окрестности  $N\bar{N}$  порога. Кроме того, представление о кварковом строении элементарных частиц указывает на возможное существование бесцветных  $2q, 2\bar{q}$  молекул, сильно связанных с бариониаумами. Ввиду вышеупомянутых соображений, поиск бариониаума является актуальной задачей, решение которой важно для построения адекватной картины  $N\bar{N}$  взаимодействия при малых энергиях.

Таким образом, анализ экспериментов с целью установления существования бариониаума и его квантовых чисел представляет интерес с экспериментальной и теоретической точек зрения.

## Цель работы.

Целью работы является интерпретация неожиданных результатов экспериментов по изучению упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед и определению модуля электромагнитного формфактора протона вблизи  $p\bar{p}$  порога на основе гипотезы о существовании бариониума с малой энергией связи.

## Научная новизна и практическая ценность диссертации.

Ранее процессы  $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}$  и  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$  анализировались с помощью потенциальных моделей, дисперсионных соотношений (ДС), модели векторной доминантности (ВДМ) и т.д. В диссертации впервые построены явные формулы, основанные на гипотезе о существовании бариониума, с помощью которых проведен анализ экспериментальных данных экспериментов PS-172, PS-173 и PS-170. Параметры формул имеют ясный физический смысл, а сами они весьма напоминают известные формулы Брейта-Вигнера. Отличие от последних состоит в более полном учете свойств ДС и ВДМ. Эта особенность позволила с помощью одного бариониума объяснить необычное поведение амплитуды упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед и модуля электромагнитного формфактора протона вблизи  $p\bar{p}$  порога. Энергия связи его ( $E_b$ ) и ширина  $\Gamma$  имеют один порядок:  $E_b \sim \Gamma \sim 10 \text{ МэВ}$ . Такие параметры бариониума являются новыми и обусловлены ДС и ВДМ.

На основе полученных параметров бариониума впервые сделаны предсказания для результатов поляризационных опытов в процессе  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$ . Было показано, что изучение поляризации этого процесса может служить надежным тестом существования бариониума и представляет большой интерес.

## **Апробация полученных результатов.**

Результаты работы представлялись на второй и третьей конференции по физике антипротонов низких энергий (LEAP-92, Courmayeur 12-17, Italy September; LEAP-94, Bled Slovenia, September 1994), XIII Международной конференции “Частицы и ядра” (Perugia, Italy, 28 June- 2 July, 1993) докладывались на Международной конференции «Структура адронов-96» (Stara Lesna, Slovak Republik, 1996), на III Совещании молодых специалистов и ученых (Дубна, ОИЯИ, 1999), семинаре ЛФЧ ОИЯИ.

## **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, и заключения и двух приложений. Общий объем диссертации 88 страниц, включая 35 рисунков и 7 таблиц.

## **Содержание работы.**

Во введении дано краткое описание опытов по поиску бариониумов до создания в CERN установки LEAR, приведены схемы экспериментальных установок и аргументы, подтверждающие важность такого рода экспериментов.

В первой главе рассмотрены основные элементы установки, на которой были выполнены опыты PS-172, PS-173 по измерению  $d\sigma/d\Omega$ ,  $\sigma_{tot}$  и  $\rho$  упругого  $p\bar{p}$  рассеяния. Она состоит из оси пучка, собственно установки, включающей мишень, ряд детекторов, среди которых основным является многопроволочная пропорциональная камера. Процедура измерения включала контроль за геометрическими и энергетическими параметрами пучка, идентификацию антипротонов и определение углов рассеяния. Особое внимание уделено определению углового разрешения, которое не превышало  $1^\circ$ . Таким образом, впервые были измерены

дифференциальные сечения упругого  $p\bar{p}$  рассеяния до импульсов 181 МэВ/с и по кулон-ядерной интерференции определено  $\rho$  – отношение

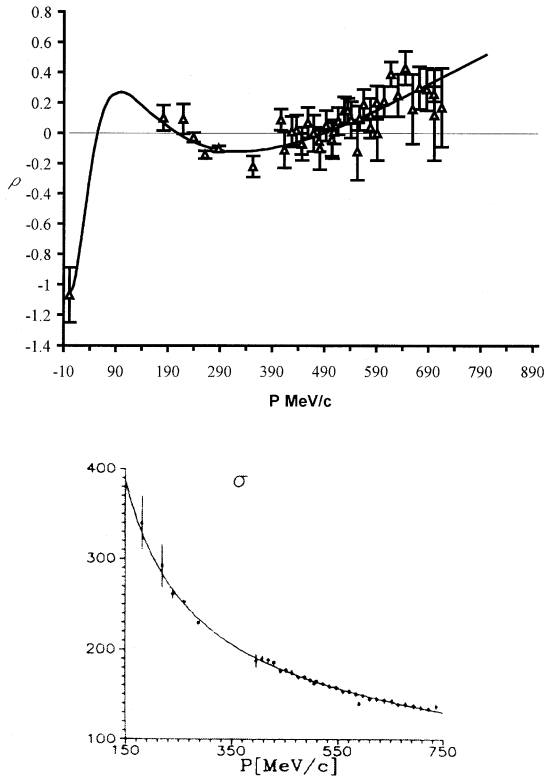


Рис.1 Амплитуда упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед с учетом барионима.

действительной части амплитуды к мнимой при нулевом угле рассеяния. Основные физические результаты состоят в том, что  $\rho(181 \text{ МэВ/с}) > 0$ , а в рассеянии при столь малых импульсах наряду с S-волнами участвуют P и D-волны. Эти факты с трудом поддаются объяснению в потенциальных моделях и в методе дисперсионных соотношений (ДС). В диссертации

использована модель, дающая им естественную интерпретацию. Модель с помощью специально подобранной энергетической переменной  $z$  учитывает основные свойства дисперсионных соотношений. Суммарный вклад  $S$ ,  $P$  и  $D$  волн аппроксимируется плавной функцией в широком интервале импульсов и в сочетании с гипотезой о существовании околопорогового бариониума дает хорошее описание  $\rho$  и  $\sigma_{tot}$ , т.е. упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед (Рис. 1). Энергия связи и ширина бариониума имеют одинаковый порядок  $\Delta E_b \sim \Gamma \sim 10 \text{ МэВ}$ .

Вторая глава посвящена электромагнитному формфактору протона вблизи  $p\bar{p}$  порога. Модуль его  $|G|$  был измерен в эксперименте PS-170 с помощью реакции  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$ , сечение которого мало и составляет  $10^{-32} \text{ см}^2$ . Рассмотренная реакция является фоновой по отношению к  $p\bar{p}$  аннигиляции в адроны, что требует фактора подавления адронных пар на уровне  $10^{-8}$ . Эти требования определяют ее конструктивные особенности. Например, стенки мишени должны быть максимально легкими для подавления электронов, возникающих от распадов  $\pi^0$  мезонов. Мишень и все расположенные вокруг нее детекторы окружены электромагнитным ливневым детектором, обеспечивающим фактор подавления  $10^{-3}$  по отношению к единичному пиону.

Конструктивные особенности установки и высокое качество антипротонного пучка позволили на порядок увеличить статистику во времени- подобной области на интервале от порога  $t=3.52 \text{ ГэВ}^2$  до  $t=4.2 \text{ ГэВ}^2$ . Модуль электромагнитного формфактора протона определялся по формуле Розенблюта. В результате на изучаемом около порога  $p\bar{p}$  интервале  $t$  было получено 8 экспериментальных значений  $|G|$  с малыми ошибками. Новые значения  $|G|$  не противоречат старым значениям ввиду больших ошибок последних, однако они несут качественно иную информацию по сравнению с ранее известной: производная  $d|G|/dt$  возрастает от больших

отрицательных значений в начале изучаемого интервала до нуля или даже положительных значений в конце его. Ее естественно объяснить наличием подпорогового бариониума. Бариониум в упругом  $p\bar{p}$  рассеянии вперед в силу условия унитарности проявится в поведении  $|G|$  в окрестности  $p\bar{p}$  порога. Эта идея реализована во второй главе, а результат представлен на Рис. 2. Специально была исследована устойчивость его по отношению к способам вычисления вкладов других векторных частиц. Механизм однофотонного обмена позволил указать на возможные квантовые числа бариониума, а именно  ${}^3S_1$ ,  ${}^3D_1$ . Проведенный в диссертации анализ формфактора протона дает возможность предсказать ожидаемую

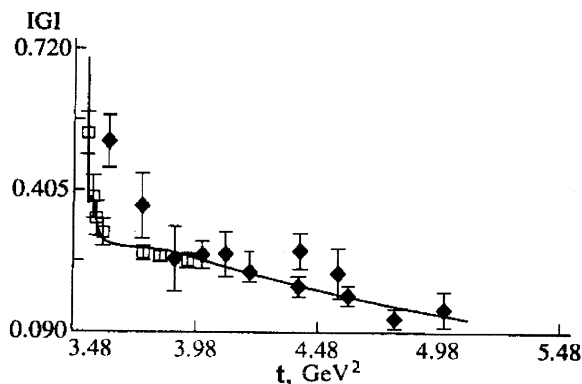


Рис.2 Электромагнитный формфактор протона с учетом вклада бариониума.

поляризацию в реакции  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$  и указывает на большое влияние бариониума на ее энергетическую зависимость.

Третья глава посвящена выяснению непротиворечивости данных о  $p\bar{p}$  взаимодействии вблизи порога, полученных на установках LEAR и ADONE. Выше было показано, что эксперименты PS-170, PS-172, PS-173 выполненные на LEAR указывают на существование бариониума вблизи



порога. В последнее время коллаборация OBELIX, работавшая на установке LEAR, сообщила новые данные по полным сечениям и полным сечениям аннигиляции  $\bar{p}p$  канала и полным сечениям аннигиляции  $p\bar{p}$ . В первом случае в полных сечениях получено указание на бариониум вблизи  $\bar{p}p$  порога, который не наблюдается в полных сечениях аннигиляции.

Полные сечения аннигиляции  $p\bar{p}$  были измерены до импульса 37.7МэВ/с и не содержат никакой резонансной структуры. Основной физический результат этих данных состоит в нарушении известного закона о постоянстве  $\beta \cdot \sigma_{ann}^{tot}$ , которое в данном опыте возрастает с падением импульса. Модель, рассмотренная в первых двух главах позволяет понять отсутствие резонансной структуры в  $\sigma_{ann}^{tot}(p\bar{p})$  при наличии бариониума. В ней влияние полюса бариониума мало в мнимой части амплитуды упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед (т.е. в  $\sigma_{pp}^{tot}$ ) и велико в действительной части. Поэтому в  $\sigma_{ann,p\bar{p}}^{tot} < \sigma_{pp}^{tot}$ , т.е. в данных коллаборации OBELIX оно не наблюдается. С другой стороны в полных сечениях процесса  $e^+e^- \rightarrow$  адроны, измерявшиеся в эксперименте FENICE на установке ADONE, на  $p\bar{p}$  пороге резонансная структура ясно видна, так как полное сечение определяется не только мнимой, но и действительной частью амплитуды. Таким образом, данные экспериментов, выполненных на LEAR, и эксперимент FENICE согласуются между собой и указывают на существование бариониума вблизи  $p\bar{p}$  порога.

## Основные выводы.

Диссертационная работа посвящена анализу экспериментов по изучению  $p\bar{p}$  взаимодействия, выполненных на установке LEAR в CERN и ADONE. Были рассмотрены процессы упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед и процесс аннигиляции  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$ . Предложена модель для описания обоих

процессов, основанная на предположении о существовании околорогового бариониама с параметрами  $E_b \sim \Gamma \sim 10 \text{ Mev}$ . Она позволяет сделать предсказания поведения амплитуды упругого  $p\bar{p}$  рассеяния вперед и поляризаций в процессе  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$ , которые важны для будущих экспериментов и уточнения картины  $p\bar{p}$  взаимодействия.

Показано, что эксперименты коллаборации OBELIX (CERN) по измерению полных сечений аннигиляции  $p\bar{p}$  и FENICE (ADONE) по измерению сечений процесса  $e^+e^- \rightarrow$  **адроны** согласуются между собой и с гипотезой о существовании бариониама.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации.

В основу диссертации легли публикации, в которых вклад автора является определяющим.

1. G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov. Proton electromagnetic form factor near the proton-antiproton threshold and quasinuclear bound state, preprint JINR, E2-93-88, Dubna 1993.
2. G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov. Proton electromagnetic form factor near the proton-antiproton threshold and evidence for quasinuclear bound state, preprint University of Lodz KFTUL 8/93, Lodz, 1993.
3. G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov. Proton electromagnetic form factor near Proton-antiproton threshold. Modern.Phys.Lett. 9 (1994) 1603.
4. G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov. The experiment PS-170 on the proton electromagnetic form factor near  $p\bar{p}$  threshold: interpretations and predictions. Proc. of International Conference "Hadron Structure'96", Stara Lesna, Slovak Republic 1996, p.75.
5. G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov. On the interpretation of results of experiment PS-170. Ядерная физика, 60 (1997), 1400.
6. В.А.Мещеряков, Г.В.Мещеряков, Чан Куанг Туэт. Поляризация в процессе  $p\bar{p} \rightarrow e^+e^-$  и квазиядерное связанное состояние. Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия, 1997, №1, стр. 7
7. M.Majewski, G.V.Meshcheryakov, V.A.Meshcheryakov, On the consistency of LEAR and FENICE experiments in the sector  $p\bar{p}$  interaction near threshold. Acta Physica Polonica 30 (1999) p.987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 октября 2001 года.

Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 12.10.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,45  
Тираж 100. Заказ 52899

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области