ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

2 - 8037

С-896

Владимир Алекперович СУЛЕЙМАНОВ

БИНАРНЫЕ АДРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОРМФАКТОР ПИОНА

Специальность 01.04.02 - математическая и теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:
член-корреспондент АН СССР, профессор,
доктор физико-математических наук А.М.БАЛДИН.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук А.В.ЕФРЕМОВ,
доктор физико-математических наук Л.В.ФИЛЬКОВ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Азербайджанский Государственный Университет
им. С.М.Кирова, Баку.

Автореферат разослан " " 1974 г.

Защита диссертации состоится " " 1974 г. на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

М.Ф.ЛИХАЧЕВ

С-896

2 - 8037

Владимир Алекперович СУЛЕЙМАНОВ

БИНАРНЫЕ АДРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОРМФАКТОР ПИОНА

Специальность 01.04.02 - математическая и теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт ядерных исследований БИБЛИОТЕКА

Реферируемая диссертация посвящается исследованию электромагнитного формфактора пиона и состоит из введения, трех глав и заключения.

В начале Введения кратко упоминаются большие теоретические и экспериментальные достижения в изучении неупругих электромагнитных формфакторов адронов, достигнутые благодаря вводу в действие новых высокоэнергетических электронных ускорителей. Однако эти достижения никоим образом не умаляют значения исследования упругих формфакторов адронов, являющихся простейшими математическими объектами. Связано это, прежде всего, с тем обстоятельством, что упругие электромагнитные формфакторы содержат в наиболее экономном виде ценную информацию о сильных взаимодействиях между адронами, определяющих электромагнитную структуру элементарных частиц. Именно эта связь привела Намбу к предположению о существовании векторных мезонов /I/, связанных с электромагнитным током системы нуклон-антинуклон, когда возникла необходимость объяснения экспериментальных данных по формфакторам нуклонов. Роль векторных мезонов в "построении" электромагнитных формфакторов адронов широко обсуждается в настоящее время. Формфактор пиона - особенно интересный объект, поскольку полная ширина наиболее изученного из векторных адронов ρ -мезона практически совпадает с шириной распада на $\pi\pi$ -систему, так что влияние ρ -мезона особенно ощутимо в формфакторе пиона. Поэтому изучение формфактора пиона уже в настоящее время позволяет исследовать отличие его от ρ -доминантного формфактора, экспериментальное проявление этого отличия и его возможное физическое объяснение. Исследованию этих вопросов

и посвящается настоящая диссертация. При этом изучение электромагнитного формфактора пиона проводится как в рамках модельного исследования реакций типа $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$, так и в рамках проверки строго доказанной аналитичности формфактора. Кроме того, в диссертации большое внимание уделяется проблеме универсальности сильных взаимодействий ρ-мезона с различными адронами и предлагается конкретная физическая постановка экспериментов по проверке такой универсальности.

Перейдем к краткому описанию содержания глав диссертации.

ГЛАВА I.

§I главы I посвящен вопросам исследования зависимости матричных элементов бинарных адронных процессов образования электрон-позитронных пар от массы обмениваемого фотона. Сформулировано предложение изучать эту функциональную зависимость при таких кинематических условиях, когда в анализе экспериментальных данных можно использовать простые апробированные модели, не содержащие свободных параметров. Эта программа может найти свое практическое воплощение при изучении реакций $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$, $\pi^+ + n \to e^+ + e^- + p$, $\pi^+ + p \to e^+ + e^- + \Delta^{++}$, $\pi^- + p \to e^+ + e^- + \Delta^0$ и т.д., как это было предложено проф. Балдиным и автором в работах[2,3].

В §2 были выведены выражения, определяющие k^2-распределение сечений реакций типа $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$ через k^2-зависимость матричных элементов соответствующих реакций типа $\pi^- + p \to \gamma^* + n$ (Здесь k^2 - квадрат инвариантной массы e^+e^- - пары и виртуального фотона).

Далее в § 3 эта зависимость матричных элементов от k^2 в рамках реалистической борновской модели[4,5] (ЭБМ) сводится к

k^2-зависимости электромагнитного формфактора пиона F_π и изовекторного дираковского формфактора нуклона F_1^V при положительных k^2. Так изучение k^2-распределения сечений реакций типа $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$ позволило бы изучать непосредственно такие фундаментальные объекты в физике частиц, как формфакторы $F_\pi(k^2)$ и $F_1^V(k^2)$.

В § 4 главы I оцениваются эффекты влияния ρ^0-ω-интерференции на полученные в рамках ЭБМ выражения для элементов матрицы плотности рассматриваемых реакций. Оказывается[6], что при условии $|t| \ll s$, где t и s - обычные мандельстамовские переменные реакции типа $\pi^- + p \to \gamma^* + n$, влияние ρ^0-ω-интерференции на матричный элемент $\bar{\rho}_{00}\frac{d\sigma}{dt}$ пренебрежимо мало. Поэтому можно непосредственно изучать модуль формфактора пиона $|F_\pi(k^2)|$, измеряя элемент $\bar{\rho}_{00}\frac{d\sigma}{dt}$. Ситуация значительно сложнее в случае комбинации матричных элементов $(\bar{\rho}_{11} + \bar{\rho}_{-1-1})\frac{d\sigma}{dt}$, определяющей в ЭБМ модуль $|F_1^V(k^2)|$. При этом оказывается необходимым одновременное исследование изотопически сопряженных реакций типа

$$\pi^- + p \to e^+ + e^- + n \quad \text{и} \quad \pi^+ + n \to e^+ + e^- + p$$

для получения усредненного по ρ-резонансной области значения вершинной функции $f_{\rho N\bar{N}}$. Таким образом, эффекты ρ^0-ω-интерференции в реакциях типа $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$ позволяют проверять соотношение универсальности $f_{\rho\pi\pi} = f_{\rho N\bar{N}}$ лишь в ограниченном смысле, а именно, в смысле соотношения между усредненными по резонансной области вершинными функциями. Однако проверка соотношения универсальности даже в таком ограниченном виде может оказаться чрезвычайно полезной, поскольку в фундаментальной идеологии Янга-Миллса-Утиямы-Сакураи ρ-ме-

зон является одним из калибровочных векторных полей, описывающих всю совокупность сильных взаимодействий[7,8].

В заключительном § 5 приводится оценка сечения реакции $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$, протекающей посредством рождения и распада ρ'^0-мезона, существование которого подтверждено в различных экспериментах. Эта оценка при сравнении с экспериментальными данными может привести к получению верхней границы для ширины распада $\rho'^0 \to \pi^+ + \pi^-$, которая в свою очередь позволила бы непосредственно оценить вклад ρ'-мезона в электромагнитный формфактор пиона.

Попытки извлечения электромагнитного формфактора пиона $F_\pi(k^2)$ при модельном анализе результатов экспериментов по электророждению заряженных пионов на нуклонах известны давно[9,10]. Основная идея во всех модельных подходах заключается в выделении вклада диаграммы, отвечающей обмену пионом в t-канале реакции типа $\gamma^* + p \to \pi^+ + n$. В главе П используется уже упоминавшаяся модель ЭБМ, хорошо описывающая фоторождение заряженных пионов на нуклонах при высоких энергиях налетающих фотонов, для извлечения формфактора $F_\pi(k^2)$ из анализа реакции $e^- + p \to e^- + \pi^+ + n$, исследованной на ускорителе ДЭЗИ (Гамбург)[11].

ГЛАВА II

§I главы II посвящается изучению k^2-зависимости, ожидаемой для различных дифференциальных сечений рассматриваемых реакций электророждения типа $e^- + p \to e^- + \pi^+ + n$, отвечающих той или иной поляризации виртуального фотона γ^*, исходя из общих предсказаний модели векторной доминантности (ВДМ) [12]. В диссертации приводится ряд соображений в пользу справедливости предсказаний ВДМ для значений k^2,

существенно меньших, чем значения энергии начальной $\gamma^* p$-системы.

В § 2 в рамках ЭБМ выводятся выражения для дифференциальных сечений $\frac{d\sigma_T}{dt}$ и $\frac{d\sigma_L}{dt}$, отвечающих реакции $\gamma^* + p \to \pi^+ + n$ для поперечно и продольно поляризованных γ^*, соответственно. В качестве единственных параметров эти выражения содержат формфакторы $F_\pi(k^2)$ и $F_1^V(k^2)$. В заключение параграфа несколько слов посвящено сравнению полученных выражений с предсказаниями ВДМ.

В § 3 Главы П при сравнении полученных в рамках ЭБМ выражений для $\frac{d\sigma_L}{dt}$ и $\frac{d\sigma_T}{dt}$ с экспериментом[11] для $\left(1-\frac{k^2}{m_\rho^2}\right)F_\pi(k^2)$ использовалась следующая параметрическая формула:

$$\left(1-\frac{k^2}{m_\rho^2}\right)F_\pi(k^2) = 1 + c_1\frac{k^2}{m_\rho^2} + c_2\left(\frac{k^2}{m_\rho^2}\right)^2.$$

Такой вид параметрической формулы объясняется желанием сравнить ее с ρ-доминантной формулой $\left(1-\frac{k^2}{m_\rho^2}\right)F_\pi(k^2) = 1$. (В принятой в диссертации метрике в реакциях электророждения $k^2 < 0$; m_ρ – масса ρ-мезона). Метод наименьших квадратов дает $C_1 = 0{,}04$ и $C_2 = -0{,}11$ в интервале $0.26 \leq -k^2 \leq 0.83$ (Гэв)^2 [13]. При этом $\chi^2 \sim 1$, что соответствует 90%-уровню достоверности для шести экспериментальных точек. Включение в анализ значения $F_\pi(k^2)$ в ближайшей к нулю точке $-k^2 = 0.18$ (Гэв)^2 делает невозможным получение фита с разумным уровнем достоверности. Такая выделенность точки $-k^2 = 0.18$ (Гэв)^2 среди других экспериментальных точек [11] отмечена впервые в реферируемой диссертации. Перечислением возможных причин подобной выделенности указанной точки завершается заключительный § 3 главы П.

ГЛАВА III посвящена обсуждению сингулярностей электромагнитного формфактора пиона $F_\pi(k^2)$ как аналитической функции от k^2 и проверке следствий, вытекающих из свойства аналитичности $F_\pi(k^2)$. Аналитичность формфактора $F_\pi(k^2)$ позволяет связывать различные области значений k^2. Недавно Немёновым и др. при анализе реакции $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$, исследованной на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ при пороговых энергиях /I4/, получены экспериментальные значения модуля $|F_\pi(k^2)|$ для малых k^2 : $0.067 \leq k^2 \leq 0.112$ (Гэв)^2.

В § I главы Ш ставится вопрос о ценности подобной информации в столь малом интервале значений k^2, тем более что анализ реакции рождения $e^- + p \to e^- + \pi^+ + n$ и реакции на встречных пучках $e^+ + e^- \to \pi^+ + \pi^-$ позволяет изучать формфактор $F_\pi(k^2)$ в куда бо́льших интервалах положительных и отрицательных значений k^2. Что может дать знание поведения $|F_\pi(k^2)|$ при малых $k^2 > 0$? Находятся ли эти значения $|F_\pi(k^2)|$ в противоречии с данными о значениях $|F_\pi(k^2)|$ при других значениях k^2 или как-то дополняют их? Такая постановка вопросов глубоко обоснованна, поскольку речь идет об аналитической функции $F_\pi(k^2)$.

В § 2 приводятся дисперсионные соотношения для $F_\pi(k^2)$ и $F_\pi'(0)$ и демонстрируется ограниченность их предсказательной силы в рамках современных экспериментальных данных.

В § 3 этой главы приводится ряд соотношений, связывающих экспериментально наблюдаемые значения $F_\pi(k^2)$ при $k^2 < 0$ и значения модуля и фазы $F_\pi(k^2)$ при $k^2 \geq 4m_\pi^2$, полученных на основе аналитичности $F_\pi(k^2)$.

В § 4 обобщаются дисперсионные неравенства Окубо-Левина /I5/, связывающие поведение фазы формфактора $\delta_F(k^2)$ в области $4m_\pi^2 \leq k^2 \leq 16m_\pi^2$ со значениями модуля $|F_\pi(k^2)|$ для $0 < k^2 \leq 16m_\pi^2$. Далее приводится непрерывное семейство фаз $\delta_F(k^2)$, разрешаемых всеми современными экспериментальными данными и описывающих нерезонансное $\pi\pi$ -взаимодействие в состоянии с квантовыми числами $I = J = 1$ в надпороговой области, дополнительное к ρ -резонансному взаимодействию.

В § 5 кратко описывается теоретический анализ результатов по наблюдению реакции $\pi^- + p \to e^+ + e^- + n$, использованный авторами работы /I4/ для извлечения значений $|F_\pi(k^2)|$ при малых k^2.

В § 6 экспериментальные результаты работы /I4/ сравниваются с возможными значениями $|F_\pi(k^2)|$, допускаемыми дисперсионными неравенствами, полученными в § 4 Главы Ш. Показывается, как это сравнение приводит к ограничению на возможное поведение фазы $\delta_F(k^2)$ в надпороговой области $k^2 \gtrsim 4m_\pi^2$ /I6/. А именно, получена верхняя граница для такого важного низкоэнергетического параметра $\pi\pi$ -рассеяния, каковым является длина рассеяния в состоянии $I = J = 1$, равная 0.I6. Замечанием о том, что подобный анализ корреляции фазы и модуля формфактора при малых положительных значениях k^2 является частью обширной программы по использованию аналитических дисперсионных неравенств, завершается глава Ш.

В Заключении диссертации перечислены конкретные предложения, адресованные экспериментаторам, и сделан ряд предсказаний о ~~перспективах~~ поведении электромагнитных формфакторов.

Основные результаты диссертации изложены в работах /2, 3, 6, I3, I6/ и докладывались на семинарах ЛТФ, ЛВЭ и ЛЯП ОИЯИ, международной школе молодых физиков (Гомель, I97I) и международном симпозиуме по высокоэнергетическим взаимодействиям электронов и фотонов (Итака, США, I97I).

ЛИТЕРАТУРА

I. Y.Nambu. Phys. Rev., 106 (1957) 1366.

2. A.M.Baldin, V.A.Suleymanov. Phys. Letters, 37B (1971) 305.

3. A.M.Baldin, V.A.Suleymanov. Contributed Paper N 36 at the Vth International Symposium on High Energy Interactions of Electrons and Photons, Cornell, Ithaca, 1971.

4. Н.Н.Ачасов и др. Письма в ЖЭТФ 6 (I967) 600.

5. C.F.Cho, J.J.Sakurai. Phys. Letters, 30B (1969) 119.

6. А.М.Балдин, В.А.Сулейманов. ОИЯИ Р2-7096, Дубна, I973.

7. C.N.Yang and R.L.Mills. Phys. Rev., 96 (1954) 191.
R.Utyama. Phys. Rev., 101 (1956) 1957.
J.J.Sakurai. Ann. of Phys., 11 (1960) 1.

8. S.Weinberg. Phys. Rev. Letts., 19 (1967) 1264.

9. H.Fraas, D.Schildknecht. Phys. Letters, 35B (1971) 72.

I0. A.Berends, R.Gastmans. Phys. Rev. Letts., 27 (1971) 124.
R.Manweiler, W.Schmidt. Phys. Rev., D3 (1971) 2752.

II. C.Driver et al., Phys. Letters, 35B (1971) 77.

I2. R.E.Taylor. Invited Talk at the IVth International Symposium on High Energy Interactions of Electrons and Photons, Liverpool, 1969.

I3. В.А.Сулейманов. Письма в ЖЭТФ I7 (I973) 6I3;
Препринт ОИЯИ 2-7095, Дубна, I973.

I4. С.Ф.Бережнев и др. ЯФ, I8, (I973) I02).

I5. D.N.Levin, S.Okubo. Phys. Rev., D6 (1972) 3149.

I6. В.А.Сулейманов. Препринт ОИЯИ 4-7643, Дубна, I973.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июня I974 года.