

e
t

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5150/2-81

19/x-81

P1-81-529

Т.Д.Блохинцева, Л.Л.Неменов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
НЕЗАВИСИМОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НУКЛОННОГО
И ПИОННОГО ФОРМФАКТОРОВ
ИЗ АНАЛИЗА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ
РЕАКЦИЙ $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$ И $\pi^+ n \rightarrow e^+ e^- p$

Направлено в ЯФ

1981

В работах^{1,2} исследовалась реакция обратного электророж-
дения пионов $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$ с точки зрения определения нуклонно-
го и пионного формфакторов в области времениподобных передан-
ных импульсов.

Дифференциальные распределения анализировались в рамках
дисперсионной модели³, единственными параметрами которой яв-
ляются изовекторный формфактор нуклона F_1^V и формфактор пио-
на F_π . Они определялись при аппроксимации экспериментальных
распределений по углу вылета виртуального фотона θ^Y теорети-
ческой кривой. В области кинематических переменных, где про-
водился эксперимент¹, независимое варьирование двух парамет-
ров оказалось практически невозможным - ошибки в определении
 F_1^V и F_π превышали 100%.

¹ Поэтому при определении формфакторов использовалась допол-
нительная связь между ними в виде $F_1^V = F_\pi + \delta$, где δ опреде-
ляется на основании работ^{4,5}. Величины δ , вычисленные в раз-
ных моделях, мало отличаются друг от друга¹, однако это раз-
личие оказывается существенным при определении электромагнит-
ных радиусов¹.

В связи с этим естественно возникает вопрос о возможности
независимого определения нуклонного и пионного формфакторов
из анализа обратного электророжения.

В настоящей работе исследуется зависимость дифференциаль-
ных сечений реакций

$$\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n, \quad /1/$$

$$\pi^+ n \rightarrow e^+ e^- p \quad /2/$$

от нуклонного и пионного формфакторов и указываются возмож-
ности независимого определения нуклонного и пионного формфак-
торов из анализа данных по этим реакциям.

Расчеты проводились в рамках дисперсионной модели³. На
рис. 1 представлено дифференциальное сечение $d\sigma_1 / d\lambda^2 d\cos\theta^Y$
для реакции /1/. Здесь θ^Y - угол вылета виртуального фотона,
 λ^2 - квадрат его массы. Вычисления проводились при значениях
 $\lambda_1^2 = 0,136 \text{ ГэВ}^2$ и $W_1/\text{полная энергия} = 1,369 \text{ ГэВ}$. Сплошная
кривая соответствует значениям формфакторов, рассчитанным по
работе⁴:

$$F_1^V(\lambda_1^2) = 1,55, \quad /3/$$

$$F_\pi(\lambda_1^2) = 1,33.$$

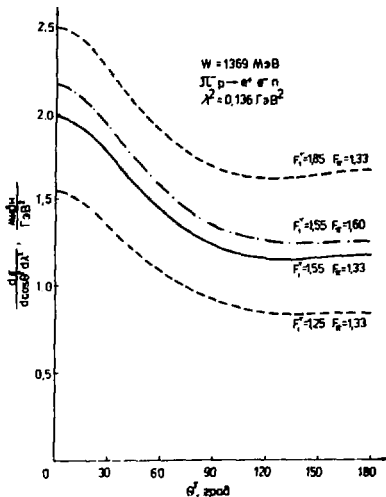


Рис.1. Дифференциальное сечение $d\sigma_1/d\cos\theta\gamma d\Lambda^2$ для реакции $\pi^-p \rightarrow e^+e^-n$. Сплошная кривая соответствует значениям формфакторов из /3/. Пунктирные кривые: F_1^v увеличен или уменьшен на $\sim 20\%$. Штрих-пунктирная кривая: F_π увеличен на $\sim 20\%$.

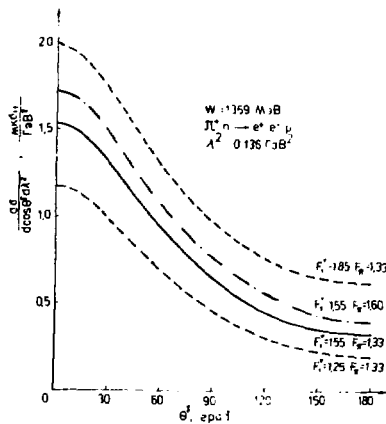


Рис.2. Дифференциальное сечение $d\sigma_2/d\cos\theta\gamma d\Lambda^2$ для реакции $\pi^+n \rightarrow e^+e^-p$. Сплошная кривая соответствует значениям F_1^v и F_π из /3/. Пунктирные кривые: F_1^v увеличен или уменьшен на $\sim 20\%$. Штрих-пунктирная кривая: F_π увеличен на $\sim 20\%$.

Пунктирные кривые представляют дифференциальные сечения, вычисленные при том условии, что значение пионного формфактора остается прежним, а нуклонный формфактор увеличивается или уменьшается приблизительно на 20%. Штрих-пунктирная кривая соответствует вычислениям, где неизменным остается нуклонный формфактор, а значение пионного формфактора увеличивается на 20%. Видно, что для всей области углов вылета фотона $\theta\gamma$ сечение чувствительно к обоим формфакторам, причем более сильным является влияние нуклонного формфактора F_1^v .

Аналогичные вычисления были проделаны для реакции /2/. Соответствующие кривые представлены на рис.2. Как и в случае реакции /1/, дифференциальное сечение $d\sigma_2/d\cos\theta\gamma d\Lambda^2$ зависит от обоих формфакторов и более существенной является зависимость от F_1^v .

Далее исследовалось поведение разности дифференциальных сечений процессов /1/ и /2/:

$$\Delta = d\sigma_1/d\lambda^2 d\cos\theta^y - d\sigma_2/d\lambda^2 d\cos\theta^y. \quad /4/$$

Из общих соображений можно было предположить, что зависимость разности сечений от пионного формфактора значительно слабее, чем для каждого из сечений. Чтобы пояснить это, рассмотрим диаграммы, описывающие процессы /1/ и /2/ в области низких энергий * /рис.3,4/. Первые три диаграммы описывают борновское взаимодействие, а последняя учитывает эффекты перерассеяния, которые в исследуемой области энергий определяются $\Lambda(3,3)$ -резонансом. Из приведенных рисунков видно, что нуклонный формфактор F_1^v по-разному входит в амплитуды реакций /1/ и /2/: в первом случае он влияет через π -канал, а во втором - через γ -канал. В то же время диаграммы, содержащие пионный формфактор, совершенно аналогичны для обеих реакций, так что в разности сечений влияние F_π сохраняется только благодаря интерференционным членам. На рис.5 показано поведение разности сечений реакций /1/ и /2/. Видно, что во всей области углов вылета фотона разность чувствительна к нуклонному формфактору. В то же время Δ практически не зависит от F_π /чтобы увеличить Δ на $\approx 2\%$, необходимо изменить F_π в 2 раза/.

Аналогичные расчеты были проведены для значений $W_2 = 1,296$ ГэВ и $\lambda_2^2 = 0,103$ ГэВ². Характер зависимости сечений реакций /1/ и /2/ и их разности /рис.6/ от нуклонного и пионного формфакторов остается тем же.

Таким образом, измерение разности сечений процессов /1/ и /2/ позволяет однозначно определять нуклонный формфактор F_1^v . Данные по дифференциальным сечениям реакции /2/ могут быть получены в эксперименте по исследованию взаимодействий π^+ -мезонов с легкими ядрами и, в первую очередь, с дейтерием.

Далее были рассмотрены дифференциальные сечения $d\sigma_T/d\cos\theta^y$ и $d\sigma_L/d\cos\theta^y$, соответствующие рождению поперечно- и продольно-поляризованных γ -квантов. Эти сечения могут быть определены из экспериментальных данных модельно-независимым образом /6/. Характер их чувствительности относительно F_1^v и F_π , вообще говоря, различен и зависит от области углов рождения виртуального фотона. На рис.7 приведено поперечное дифференциальное сечение для процесса /1/ при значениях $W_2 = 1,296$ ГэВ и $\lambda_2^2 = 0,103$ ГэВ². Кривая 1 соответствует значениям формфакторов

$$F_\pi(\lambda_2^2) = 1,23; \quad F_1^v(\lambda_2^2) = 1,43. \quad /5/$$

* Экспериментальное и теоретическое исследование обратного электророждения проводилось для области энергий $W = 1,2 \div 1,4$ ГэВ.

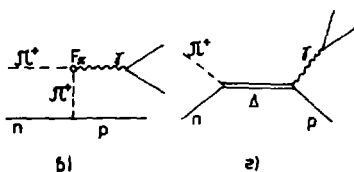
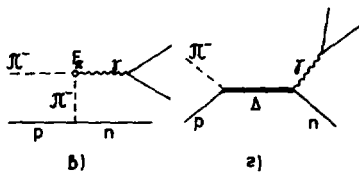
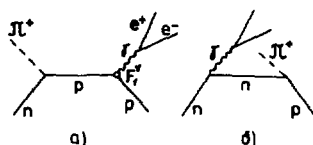
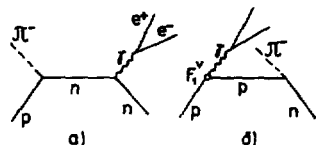


Рис.3. Диаграммы, соответствующие процессу $\pi^- p \rightarrow e^+ e^- n$.

Рис.4. Диаграммы, соответствующие процессу $\pi^+ n \rightarrow e^+ e^- p$.

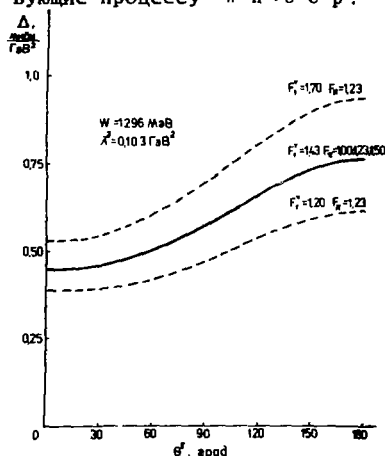
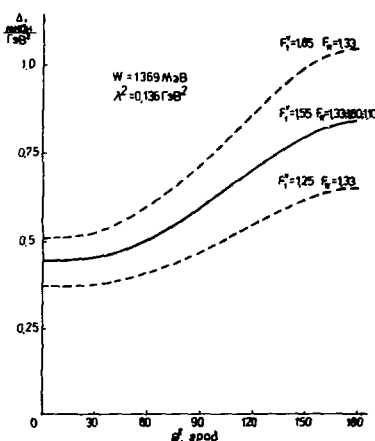


Рис.5. Зависимость величины $\Delta = d\sigma_1/d\cos\theta \gamma d\lambda^2 - d\sigma_2/d\cos\theta \gamma d\lambda^2$ от нуклонного и пионного формфакторов для $W=1,369$ ГэВ и $\lambda^2=0,136$ ГэВ². Сплошная кривая соответствует значениям F_1^V и F_π из /3/. Та же кривая получается при увеличении или уменьшении пионного формфактора на 20%. Пунктирные кривые соответствуют увеличению или уменьшению F_1^V на 20%.

Рис.6. Зависимость величины $\Delta = d\sigma_1/d\cos\theta \gamma d\lambda^2 - d\sigma_2/d\cos\theta \gamma d\lambda^2$ от нуклонного и пионного формфакторов для $W=1,296$ ГэВ и $\lambda^2=0,103$ ГэВ². Сплошная кривая соответствует значениям формфакторов из /5/. Та же кривая получается при увеличении или уменьшении F_π на 20%. Пунктирные кривые соответствуют увеличению или уменьшению F_1^V на 20%.

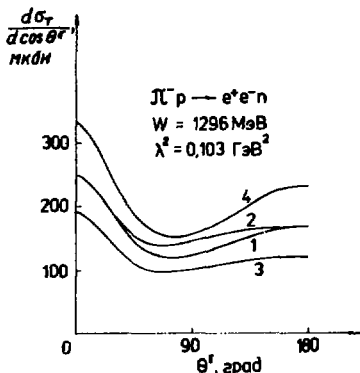


Рис.7. Зависимость поперечного сечения $d\sigma_T/d\cos\theta^Y$ в процессе π^+p от нуклонного и пионного формфакторов. Кривая 1/ соответствует значениям F_1^V и F_π из /5/. Кривая 2: F_π увеличен на 20%. Кривые 4 и 3: F_1^V увеличен или уменьшен на 20%.

вычисленным по работе /4/. Кривая 2 рассчитана для случая, когда F_π увеличен на $\approx 20\%$. Увеличение и уменьшение нуклонного формфактора F_1^V на 20% дает соответственно кривые 4 и 3.

Характерным является тот факт, что в области малых и больших углов θ^Y сечение совершенно не зависит от пионного формфактора. Действительно, рождение поперечно-поляризованного фотона под углом $\theta^Y = 0^\circ$ и $\theta^Y = 180^\circ$ в процессе однопионного обмена /диаграмма 1в/ запрещено законом сохранения момента /7/. Для практических целей важно, что область нечувствительности к F_π оказывается довольно широкой. При малых углах, где значения сечения велики, она составляет $0^\circ \div 35^\circ$ для процесса /1/ и $0^\circ \div 20^\circ$ - для процесса /2/. Продольное сечение также исследовалось с точки зрения чувствительности к нуклонному и пионному формфакторам. Как и следовало ожидать, зависимость от F_π наиболее сильна при малых углах $\theta^Y (0^\circ \div 10^\circ)$, где вклад однозонного обмена наибольший /проекция спина продольно-поляризованного фотона на направление движения равна нулю, поэтому запрет, связанный с сохранением момента, здесь снимается/. Для углов, больших 60° , определяющее значение приобретает нуклонный формфактор, что находится в соответствии с выводами работы /8/. Таким образом, характер зависимости продольного сечения от F_1^V и F_π совершенно различен для разных интервалов углов вылета фотона. Анализ этого сечения в широкой области углов θ^Y , по-видимому, позволит провести независимое определение нуклонного и пионного формфакторов. Здесь следует подчеркнуть то преимущество, что продольное сечение фактически определяется только борновскими членами /3/, так что в этом случае анализ становится модельно-независимым.

В заключение авторы приносят благодарность Т.И.Солохе за проведение ряда расчетов, Ю.С.Суровцеву и Ф.Г.Ткебучаве за плодотворные дискуссии, С.Г.Пластининой и В.Ф.Чуркиной - за помощь при оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1977, 26, с.547.
2. Ализаде В.В. и др. ЯФ, 1981, 33, с.357.
3. Блохинцева Т.Д. и др. ЯФ, 1975, 21, с.850.
4. Vidnev N.M. et al. Phys.Lett., 1976, 64B, p.307.
5. Hohler G., Pietarinen N. Nucl.Phys., 1975, B95, p.210.
6. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1977, 25, с.1240.
7. Суровцев Ю.С., Ткебучава Ф.Г. ОИЯИ, P2-4561, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 июля 1981 года.

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том 12, вып.4. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях Союзпечати, в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.