

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-87-71

В.Н.Батурин<sup>1</sup>, Т.Д.Блохинцева, А.В.Кравцов<sup>1</sup>,  
А.В.Купцов, В.П.Курочкин<sup>2</sup>, Л.Лучан,  
Л.Л.Неменов, Ж.П.Пустыльник

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НУКЛОННОГО ФОРМФАКТОРА  
ИЗ ДАННЫХ ПО РЕАКЦИИ  $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + X$   
ПРИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПИОНОВ 380 МэВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

---

<sup>1</sup> Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики  
Московского государственного университета  
им. М.В.Ломоносова

Исследование обратного электророждения пионов (ОЭП) на ядрах представляет несомненный интерес с точки зрения получения данных об электромагнитном формфакторе ядра во времениподобной области переданных импульсов, где такого рода данных нет. С другой стороны, если процесс рассматривать как сумму реакций на квазисвободных нуклонах, то представляется возможность получить информацию об электромагнитном формфакторе нуклона в той области значений квадрата переданного импульса  $k^2$ , которая недоступна встречаемым  $e^+ e^-$  и  $p\bar{p}$ -пучкам, т.е. до  $k^2 \approx 3,5$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

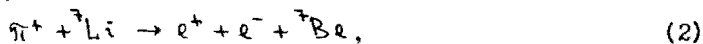
Исследования ОЭП на свободном протоне были проведены в работах <sup>/1+4/</sup>, и на основе анализа дифференциальных сечений в рамках дисперсионной модели <sup>/5/</sup> получены значения изовекторного формфактора нуклона  $F_1^v$  в области  $k^2$  от 0,054 (ГэВ/с)<sup>2</sup> до 0,119 (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

Переход к подобным исследованиям на ядре особенно интересен тем, что позволяет исследовать ОЭП на нейтроне. В принципе именно совместный анализ данных ОЭП на протоне и нейтроне <sup>/6/</sup> позволяет получить наиболее точную информацию о нуклонном формфакторе.

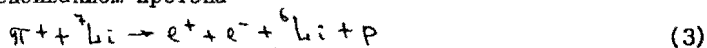
Реакция обратного электророждения  $\pi^+$ -мезонов на ядре  ${}^7\text{Li}$



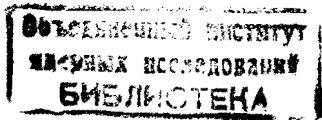
была впервые зарегистрирована в эксперименте <sup>/7/</sup>. Было показано, что хорошее описание данных возможно только в предположении, что процесс может идти как с образованием ядра  ${}^7\text{Be}$  (реакция без развала ядра)



так и с выбиванием протона



или нескольких нуклонов (реакция с развалом ядра).



В работе /8/ приведены результаты обработки нового статистического материала и на основе данных этой работы и работы /7/ определен изовекторный нуклонный формфактор  $F_1^V$  при значении квадрата времениподобного переданного импульса  $\bar{k}^2 = 0,13$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Для определения формфактора использовались только те события ОЭП, которые принадлежат процессам с развалом ядра. Полагали, что среди них доминирующей является реакция (3) и что она описывается диаграммой, приведенной на рис.1.

В этих предположениях и при использовании дисперсионной модели для нуклонной вершины и двух различных моделей для описания ядерной вершины получили следующий результат:

$$F_1^V = 1,63 \pm 0,22 \quad (\text{модель нуклонных ассоциаций}),$$

$$F_1^V = 1,46 \pm 0,22 \quad (\text{модель оболочек}).$$

В настоящей работе из анализа всех событий ОЭП на  ${}^7\text{Li}$  (как с развалом, так и без развала ядра), зарегистрированных в эксперименте /7,8/, определен нуклонный формфактор  $F_1^V$  при трех значениях квадрата переданного импульса  $\bar{k}^2 = 0,09; 0,15$  и  $0,22$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>.

Экспериментальные данные получены на установке /9/, работающей на  $\pi$ -мезонном пучке синхроциклотрона ЛИЯФ АН СССР. Электроны и позитроны процесса (1) регистрировались двумя телескопами, состоящими из дрейфовых камер, сцинтилляционных счетчиков, водяных черенковских счетчиков и стеклянных спектрометров. Телескопы с апертурой 50x50 см были расположены под углами 65° к пучку  $\pi$ -мезонов. Телесный угол установки - 0,2 ср<sup>2</sup>.

Критерии отбора, анализ фоновых событий, определение сечений на  ${}^7\text{Li}$  подробно рассмотрены в работах /7,8/. Здесь приводится лишь краткое описание процедуры выделения процесса ОЭП.

Во время обработки восстанавливалась пространственная картина событий, вводились критерии на амплитуды импульсов в сцинтилляционных и черенковских счетчиках, отбирались события с энергovyделением в каждом спектрометре больше 70 МэВ и суммарным энергovyделением больше 200 МэВ.

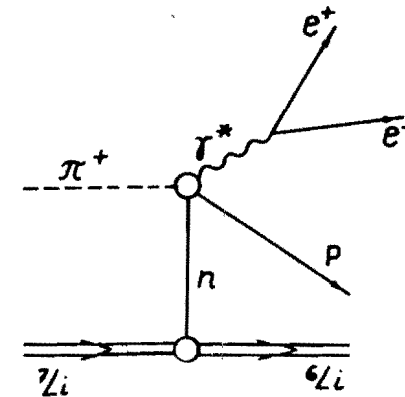


Рис.1. Диаграмма, описывающая процесс  $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + {}^7\text{Li} + p$  в полюсном приближении.

Среди отобранных событий имелись фоновые события, обусловленные процессами с образованием нейтральных и заряженных  $\pi$ -мезонов. Первые из них являются источником электрон-позитронных пар с малым углом разлета. Эти события характеризуются большими амплитудами импульсов в сцинтилляционных счетчиках. События с заряженными  $\pi$ -мезонами характеризуются малыми амплитудами импульсов в черенковских счетчиках. Поэтому для дальнейшего анализа отбирались события, у которых амплитуды импульсов в сцинтилляционных и черенковских счетчиках одновременно удовлетворяют критериям  $A_{\zeta} \leq 1,6 A_{\zeta \text{вер}}$  и  $A_{\zeta} > 0,6 A_{\zeta \text{вер}}$ , где  $A_{\zeta \text{вер}}$  определялась из калибровочных измерений на пучке электронов.

Для определения количества событий ОЭП использовалось рас-<sup>2</sup>пределение отобранных событий по квадрату недостающей массы  $M_x$ . Оно аппроксимировалось моделированными распределениями событий без развала и с развалом ядра и двумя экспериментальными фоновыми распределениями. Для построения фоновых распределений использовались события с  $A_{\zeta} > 1,6 A_{\zeta \text{вер}}$  и  $A_{\zeta} < 0,6 A_{\zeta \text{вер}}$ . Распре-

деление событий без развала ядра фактически определяется решением спектрометров. При моделировании событий с развалом ядра использовался матричный элемент для реакции (3), где ядерная вершина рассматривалась в модели нуклонных ассоциаций <sup>/10/</sup>.

Заметим, что форма распределений с развалом ядра практически не зависит от модели, описывающей ядерную вершину.

В работе <sup>/8/</sup> на основе всего статистического материала было определено количество событий ОЭП без развала и с развалом ядра и полное число событий ОЭП (регистрируемых установкой с порогами в спектрометрах 70 МэВ), а также соответствующие им сечения:

$$\begin{aligned}\Delta \sigma_1 &= (3,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2, \\ \Delta \sigma_2 &= (2,6 \pm 0,7) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2, \\ \Delta \sigma_3 &= (6,5 \pm 0,7) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2.\end{aligned}$$

Отметим, что экспериментальные данные работы <sup>/7/</sup> были обработаны заново в соответствии с описанной в работе <sup>/8/</sup> процедурой выделения ОЭП, что привело к изменению сечения по этой части статистического материала:

$$\begin{aligned}\Delta \sigma_1 &= (6,9 \pm 1,2) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2 \\ \Delta \sigma_2 &= (5,5 \pm 1,4) \cdot 10^{-33} \text{ см}^2.\end{aligned}$$

В настоящей работе все события ОЭП на <sup>7</sup>Li (с развалом и без развала ядра) использовались для определения формфактора нуклона. Они группировались в три интервала по квадрату переданного импульса  $K^2$  (таблица ) таким образом, чтобы количество событий во всех интервалах было приблизительно одинаковым. Во втором и третьем интервалах по  $K^2$  примесь фоновых событий не превышала 7% и учитывалась. Однако в первом интервале фоновые события составляли значительную часть, так что оказалось целесообразным определить число событий ОЭП в этом интервале путем вычитания из полного числа случаев ОЭП тех событий, которые принадлежат второму и третьему интервалам. Величины интервалов, средние значения  $\bar{K}^2$ , количество за-

регистрированных событий  $N$  и экспериментальные сечения  $\Delta \sigma_{\text{экс}}$  приведены в таблице.

При вычислении соответствующих теоретических сечений полагали, что сечение на ядре складывается из сечений на отдельных нуклонах. Поглощение первичных  $\pi^+$ -мезонов в ядре <sup>7</sup>Li приводит к уменьшению числа нейтронов, участвующих в процессе ОЭП. Эффективное число нейтронов для рассматриваемого процесса было определено в работе <sup>/11/</sup>. Оно составляет  $3,6 \pm 0,1$ . Тогда теоретическое сечение для каждого интервала  $K^2$  можно записать в виде:

$$\Delta \sigma_{\text{теор}}^i = 3,6 \Delta \sigma_{\pi^+n}^i, \quad i = 1, 2, 3.$$

Здесь  $\Delta \sigma_{\pi^+n}^i$  - сечение реакции



рассчитанное по дисперсионной модели <sup>/5/</sup> с учетом движения нейтрона (полагали, что распределение нейтронов по импульсу изотропно и равномерно в интервале от 0 до 250 МэВ/с).

Единственным параметром модели является изовекторный формфактор  $F_1^V$ ; электромагнитный формфактор пиона использовался в виде:  $F_\pi = F_1^V - \delta$ , где  $\delta$  рассчитывалось в соответствии с работами <sup>/12/</sup>.

Приравнивая экспериментальные сечения соответствующим теоретическим значениям

$$\Delta \sigma_{\text{экс}}^i = \Delta \sigma_{\text{теор}}^i (F_1^V(K^2)), \quad i = 1, 2, 3,$$

получим величины нуклонных формфакторов  $F_{1,\text{экс}}^V$ , которые приведены в таблице.

Таблица

№	Интервал $K^2$ (ГэВ/с) <sup>2</sup>	$\bar{K}^2$ (ГэВ/с) <sup>2</sup>	$N$ эксп.	$\Delta \sigma_{\text{экс}}^i \cdot 10^{-33} \text{ см}^2$	$F_{1,\text{экс}}^V$	$F_1^V$ теор.
1	0,02±0,12	0,09	93±26	2,43±0,70	1,60 <sup>+0,18</sup> <sub>-0,21</sub>	1,38
2	0,12±0,18	0,15	85±10	2,14±0,29	1,53 <sup>+0,08</sup> <sub>-0,09</sub>	1,60
3	0,18±0,40	0,22	84±10	2,05±0,27	1,88 <sup>+0,10</sup> <sub>-0,10</sub>	1,92

На рис.2 приведены все имеющиеся данные по  $F_1^V$ , полученные в экспериментах по ОЭП на протонах и ядрах. Величины  $F_1^V$  теор в таблице и сплошная кривая на рис.2 рассчитывались в соответствии с работами [12]. Расчеты, приведенные в [13] дают практически такие же результаты в исследуемой области переданных импульсов.

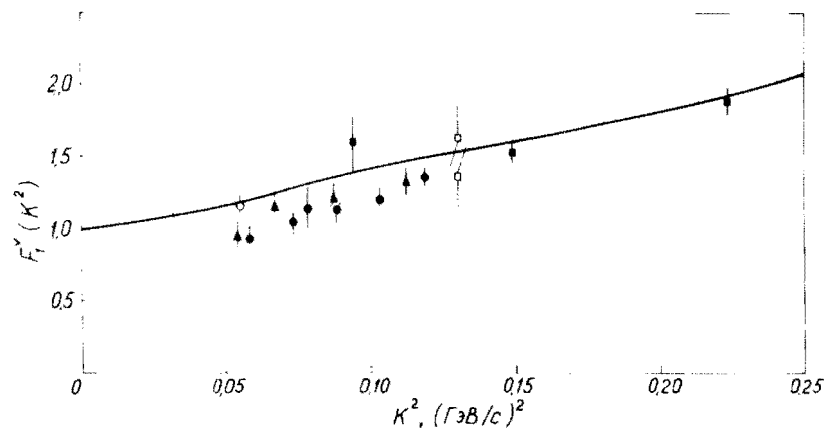


Рис.2. Результаты измерений формфактора  $F_1^V$  в экспериментах по обратному электророзведению П-мезонов на протонах:  $\blacktriangle$  - /1,3/,  $\bullet$  - /2,4/; на ядрах  ${}^7\text{Li}$ :  $\square$  - /8/,  $\blacksquare$  - настоящая работа; на ядрах  ${}^{12}\text{C}$ :  $\circ$  - /14/, /12/. Сплошная кривая - результаты расчетов в модели.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акимов Ю.К. и др.-ЯФ, 1971, 13, с.748.
2. Бережнев С.Ф. и др.-ЯФ, 1973, 17, с.85.
3. Бережнев С.Ф. и др.-ЯФ, 1977, 26, с.547.
4. Ализаде В.Б. и др.-ЯФ, 1981, 33, с.357.
5. Блохинцева Т.Д., Суровцев Ю.С., Ткебучава З.Г.-ЯФ, 1975, 21, с.850.

6. Блохинцева Т.Д., Неменов Л.Л.-ЯФ, 1982, 35, с.971.
7. Алексеев Г.Д. и др.-ЯФ, 1982, 36, с.322.
8. Алексеев Г.Д. и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-86-300, Дубна, 1986.
9. Алексеев Г.Д. и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-81-848, Дубна, 1981.
10. Аваков Г.В. и др. ОИЯИ, Р4-85-950, Дубна, 1985.
11. Курочкин В.П., Купцов А.В. Сообщение ОИЯИ, Р4-87-70, Дубна, 1987.
12. H6hler G., Pietarinen E. - Nucl.Phys., 1975, B95, p.210.
13. Budnev N.M., Budnev V.M., Serebryakov V.V. - Phys.Lett., 1976, 64B, p.307.
14. Алексеев Г.Д. и др. ОИЯИ, Р1-87-72, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 февраля 1987 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования. программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
D11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
D13-85-793	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
D3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

P1-87-71

Батурин В.Н. и др.

Определение нуклонного формфактора из данных по реакции  $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + X$  при кинетической энергии пионов 380 МэВ

Проведен анализ экспериментальных данных по обратному электророжению пионов /ОЭП/ на ядрах  ${}^7\text{Li}$  ( $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + X$ ) при кинетической энергии пионов 380 МэВ. Зарегистрированные ранее ~ 260 событий ОЭП группировались в три интервала по квадрату эффективной массы  $e^+e^-$ -пары  $k^2$  со средними значениями:  $\bar{k}_1^2 = 0,09$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>;  $\bar{k}_2^2 = 0,15$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>;  $\bar{k}_3^2 = 0,22$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. Для каждого интервала  $k^2$  определено число событий ОЭП с энергией электрона и позитрона больше 70 МэВ, вылетающих под углами ~65° к пучку пионов, и вычислены соответствующие сечения:  $\Delta\sigma(\bar{k}_1^2) = /2,43+0,70/ \cdot 10^{-33}$  см<sup>2</sup>;  $\Delta\sigma(\bar{k}_2^2) = /2,14+0,29/ \cdot 10^{-33}$  см<sup>2</sup>;  $\Delta\sigma(\bar{k}_3^2) = /2,05+0,27/ \cdot 10^{-33}$  см<sup>2</sup>. Телесный угол установки 0,2 ср<sup>2</sup>. После учета эффективного числа нейтронов в ядре  ${}^7\text{Li}$ , которое составляет 3,6±0,1, для каждого интервала  $k^2$  был определен изовекторный формфактор нуклона  $F_1^V$ :

$$F_1^V(\bar{k}_1^2) = 1,6^{+0,18}_{-0,21}; F_1^V(\bar{k}_2^2) = 1,53^{+0,08}_{-0,09}; F_1^V(\bar{k}_3^2) = 1,88^{+0,10}_{-0,10}$$

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

P1-87-71

Baturin V.N. et al.

Determination of Nucleon Form Factor on the Basis of Data from  $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + X$  Reaction at 380 MeV Kinetic Pion Energy

Experimental data on inverse electroproduction of pions on  ${}^7\text{Li}$  nuclei ( $\pi^+ + {}^7\text{Li} \rightarrow e^+ + e^- + X$ ) at the kinetic pion energy 380 MeV have been analyzed. Earlier detected ~ 260 events were grouped into three intervals in the squared effective mass  $k^2$  of the  $e^+e^-$  pair, with mean values being  $\bar{k}_1^2 = 0.09$  (GeV/c)<sup>2</sup>;  $\bar{k}_2^2 = 0.15$  (GeV/c)<sup>2</sup>;  $\bar{k}_3^2 = 0.22$  (GeV/c)<sup>2</sup>. For each  $k^2$  interval the number of the events with the electron and positron energy over 70 MeV (those electrons and positrons emitted at angles ~65° with respect to the pion beam) is determined, and the corresponding cross sections calculated:  $\Delta\sigma(\bar{k}_1^2) = (2.43+0.70) \cdot 10^{-33}$  cm<sup>2</sup>;  $\Delta\sigma(\bar{k}_2^2) = (2.14+0.29) \cdot 10^{-33}$  cm<sup>2</sup>;  $\Delta\sigma(\bar{k}_3^2) = (2.05+0.27) \cdot 10^{-33}$  cm<sup>2</sup>. The solid angle of the set-up is 0.2 sr<sup>2</sup>. The isovector formfactor of the nucleon  $F_1^V$  is determined for each  $k^2$  interval to taking into account the effective number of neutrons in the  ${}^7\text{Li}$  nucleus (3.6±0.1):

$$F_1^V(\bar{k}_1^2) = 1.6^{+0.18}_{-0.21}; F_1^V(\bar{k}_2^2) = 1.53^{+0.08}_{-0.09}; F_1^V(\bar{k}_3^2) = 1.88^{+0.10}_{-0.10}$$

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR. Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1987