

M-80

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P1 - 3909

В.И.Мороз, А.В.Никитин, Ю.А.Троян

НЕУПРУГИЕ  $np$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ  
ОТ 2 ДО 10 ГЭВ

I. НЕЙТРОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ,  
СПЕКТР НЕЙТРОНОВ И СЕЧЕНИЯ  
РАЗЛИЧНЫХ РЕАКЦИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1968

P1 - 3909

В.И.Мороз, А.В.Никитин, Ю.А.Троян

НЕУПРУГИЕ *np* -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ  
ОТ 2 ДО 10 ГЭВ

I. НЕЙТРОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ,  
СПЕКТР НЕЙТРОНОВ И СЕЧЕНИЯ  
РАЗЛИЧНЫХ РЕАКЦИЙ

Направлено в ЯФ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

7412/3 мф.

1. 24-литровая пропановая пузырьковая камера облучена нейтронами от синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Расположение оборудования в нейтронном канале показано на рис 1. Нейтроны получались при облучении протонами с энергией 10 Гэв беррилиевой мишени размерами  $5 \times 5 \times 2 \text{ см}^3$ , помещенной внутрь синхрофазотрона. Ось пучка нейтронов направлена под углом  $\approx 0^\circ$  к траектории протонов в точке расположения мишени. Пучок проходил через стенку форвакуумной камеры ускорителя ( $\approx 100 \text{ г/см}^2$ ) и формировался двумя стальными коллиматорами длиной 1,5 и 2,2 м, расположенными на расстоянии 10,5 и 23,5 м от мишени, соответственно. Далее пучок попадал в пузырьковую камеру, которая находилась на расстоянии 44,4 м от мишени в зазоре магнита с полем 15, 12 кгс.

Для уменьшения фона от  $\gamma$  - квантов и электронов, присутствующих в канале, перед вторым коллиматором помещался свинцовый поглотитель толщиной  $46 \text{ г/см}^2$ , который обеспечивал почти полную очистку нейтронного пучка от  $\gamma$  - квантов и электронов. Фон других заряженных частиц в канале при выбранных зазорах коллиматоров был пренебрежимо мал. От постороннего фона камера была защищена чугуном и бетоном.

Сформированный таким образом пучок имел на передней стенке камеры прямоугольное сечение размерами  $4 \times 17 \text{ см}^2$  со слабо размытыми краями.

Камера загружалась нейтронами так, чтобы на снимке имелось не более 6 звезд от нейтральных частиц. Контроль за интенсивностью пучка осуществлялся специальным монитором (см. рис. 1), состоявшим из 3-х сцинтилляционных счётчиков, включенных на совпадения. Монитор



помещался вне канала нейтронов и был включен в систему "обратной связи", которая осуществляла быстрый отвод пучка протонов от мишени, когда загрузка камеры оказывалась равной заданной<sup>1/</sup>.

Определение направления пучка по отношению к осям камеры производилось по конверсионным парам от  $\gamma$  - квантов, присутствующих в канале<sup>2/</sup>.

2. Неупругие  $pp$  - взаимодействия в данном облучении изучались на материале 3- и 5- лучевых звезд. Звезды отбирались только в первой половине камеры и так, чтобы их вершины лежали не ближе 2 см от передней и боковых стенок.

Эффективность просмотра была 95%. Для данной работы использовано 4688 кадров, на которых найдено 1822 3- лучевых и 546 5-лучевых звезд<sup>х)</sup>.

Измерения треков производились на полуавтоматах<sup>3/</sup>. Обсчёт велся по геометрическим программам ОИЯИ<sup>4/</sup>.

Из указанного количества 9,6% 3-лучевых звезд отнесено к  $\pi C$  - событиям после кинематической обработки<sup>2/</sup>, а 11,9% оказались неизмеримыми. В 5-лучевых звездах 19,8% звезд отнесено к  $\pi C$  - событиями, а 24,2% неизмеримы, то есть в дальнейшей физической обработке использовано 1426 3-лучевых и 306 5-лучевых звезд.

3. Оценка примеси  $\pi C$  - событий в оставшихся событиях производилась при помощи подсчета звезд всех множественностей, привлечения данных  $pp$ -взаимодействий и соображений изотопической инвариантности<sup>5,8/</sup> и оказалась равной 16% для 3-лучевых и 0% для 5-лучевых звезд.

4. Если принять полное сечение  $pp$  - взаимодействий одинаковым в нашем диапазоне энергий и равным  $42 \text{ мб}^{6/}$ , то поток нейтронов всех энергий на 1 кадр будет равен  $20,4 \frac{\text{нейтронов}}{\text{кадр}}$  при потоке протонов на мишень  $(1+2) 10^8 \frac{\text{протонов}}{\text{пикл}}$ .

5. Средний вес одного  $\gamma$  -кванта в выбранном соответственно эффективном объеме, вычисленный по потенциальной длине и усредненный по азимутальному углу, оказался равным  $\bar{W}_\gamma = 10,22 \pm 0,61$ .

<sup>х)</sup> Для получения сечений использовался материал с 1925 5-лучевых звезд.

6. Методы разделения каналов реакций в данном облучении описаны в работе /2/.

После применения всех методов разделение по каналам реакций получается следующим:

Таблица 2  
3-лучевые звезды

"0" $\chi^2 < 16$	"π <sup>0</sup> "		"π <sup>±</sup> "		"2π"		Всего
93  (6,5%)	всего  128 (9%)	N <sub>π<sup>0</sup></sub>  118,5 -86 +	всего  983 (69,00%)	N <sub>π<sup>±</sup></sub>  514 +170 -	всего  222 (15,6%)	N <sub>π<sup>0</sup></sub>  101 +82 -	
							1426

Таблица 3  
5-лучевые звезды

"0" $\chi^2 < 32$	"π <sup>0</sup> "		"π"		"2π"		Всего
74  (24,2%)	всего  60 (19,6%)	N <sub>π<sup>0</sup></sub>  50,5 +18,7 -	всего  143 (46,7%)	N <sub>π</sub>  69 +35,4 -	всего  69 (9,5%)	N <sub>π<sup>0</sup></sub>  7,3 +12,3 -	
							306

Проценты в таблицах - доля данного канала в событиях указанной множественности; в графе N<sub>π<sup>0</sup></sub> дано число реакций данного канала, содержащих π<sup>0</sup> - мезоны. При этом канал "O" в 3-лучевых звездах может содержать 17% примесей других каналов (и в С в том числе), канал "O" в 5 лучевых звездах содержит 20% примесей от других каналов. Проценты примесей определены по "хвостам"  $\chi^2$  - распределений, построенных с учетом идентификации частиц. Канал "π<sup>0</sup>" в 3-лучевых звездах может содержать большое число примесей из-за наличия значительного ко-

личества событий, имеющих вес, меньший 1 (количество событий этого канала мы оцениваем как  $128+79$ ). Канал "а" в 3-лучевых звездах содержит 10% примесей от других каналов. Канал "2а" в 3-лучевых звездах практически примесей не содержит.

В каналах 5-лучевых звезд " $\pi^0$ ", "а" и "2а" примесей нет при принятом способе разделения.

7. В канале "а" 3-лучевых звезд в 255,5 случаях из наличия  $\gamma$ -кванта или из кинематики в с.ц.м. (требование, чтобы нуклоны летели в разные полусферы) мы знаем, что родились  $\pi^0$  - мезоны. Тогда в оставшихся случаях примесь реакции с образованием  $\pi^0$  - мезонов составляет 35,5%.

Спектр нейтронов, вызвавших эту реакцию, можно построить, определив минимальный импульс нейтронов для случаев без явного образования  $\pi^0$  - мезонов, оценочный импульс нейтрона<sup>/2/</sup> для тех же случаев, взвесив эти два спектра с известным весом, определенным по  $\gamma$ -квантам (0,645 и 0,355 соответственно) и добавляя к полученному спектру оценочный спектр из случаев с образованием  $\pi^0$  - мезонов.

Построив оценочный спектр из случаев, содержащих  $\gamma$ -кванты, можно получить отношение реакций класса "а", содержащих " $\pi^0$ " мезоны, ко всем событиям класса "а":

$$a_3 (P_n) = \frac{a p \pi^+ \pi^- (m \pi^0)}{a p \pi^+ \pi^- (m \pi^0) + a p \pi^+ \pi^-} \quad m = 1, 2, \dots$$

в зависимости от импульса налетающего нейтрона.

Спектры нейтронов, вызвавших другие реакции, получаются из подобных соображений.

8. Для получения общего спектра падающих нейтронов необходимо учесть вклад в полное сечение  $a p$  - взаимодействий однолучевых звезд, которые не обрабатываются в данном эксперименте. Звезды с большой множественностью (7,9 и т.д.) дают вклад, не превышающий 2%.

В дальнейшем принимается, что полное сечение  $p\bar{p}$  - взаимодействий постоянно в области энергий от 2 до 10 Гэв и равно 42 мб/6/. Предполагается также, что  $\sigma_{e\bar{p}p} = \sigma_{e\bar{n}p}$ . Упругое сечение  $p\bar{p}$  - рассеяния мало меняется в этой области энергий и составляет 1/4 от полного/7/.

Выпишем возможные реакции  $p\bar{p}$  - взаимодействий, дающие в результате один заряженный луч:

- 1)  $p\bar{p} \rightarrow p\bar{n}$
- 2) а)  $p\bar{p} \pi^0$  (0,44) 1,57  
 б)  $p\bar{n} \pi^+$  (0,28) 1
- 3) а)  $p\bar{p} \pi^0 \pi^0$  (0,16) 0,84  
 б)  $p\bar{n} \pi^+ \pi^0$  (0,19) 1

и т.д.

Соотношения между реакциями а) и б) в каждой группе рассчитаны из изотопических соотношений/8/ и указаны справа от реакций.

Изотопическая инвариантность дает возможность сопоставить некоторым из этих реакций реакции, регистрируемые в нашем эксперименте, а именно:

$$\sigma_{p\bar{n} \pi^+} = \sigma_{p\bar{p} \pi^-} ; \quad \sigma_{p\bar{n} \pi^+ \pi^0} = \sigma_{p\bar{p} \pi^- \pi^0} ;$$

$$\sigma_{p\bar{n} \pi^+ \pi^0 \pi^0} = \sigma_{p\bar{p} \pi^- \pi^0 \pi^0} \quad \text{и т.д.}$$

Следовательно, число событий типа  $p\bar{n} \pi^+$  равно числу событий  $p\bar{p} \pi^-$  (класс "О" трехлучевых звезд), число реакций  $p\bar{n} \pi^0 = 1,57 N_{p\bar{n} \pi^+}$

и т.д.

9. Для получения спектра нейтронов напишем соотношение:

$$\sigma_{\text{tot}}(P) N_n(P) \rho \ell = \frac{1}{4} \sigma_{\text{tot}}(P) N_p(P) \rho e + \sum_i N_i(P) ,$$



где  $\sigma_{el} = \frac{1}{4} \sigma_{tot}$  ;  $N_1(P)$  - число звезд "1"-го канала при импульсе  $P$  в интервале  $\Delta P$  ,  $N_n(P)$  - число падающих нейтронов с импульсом  $P$  в интервале  $\Delta P$  .

Тогда 
$$N_n(P) \Delta P = \frac{\sum_1 N_1(P) \Delta P}{\frac{3}{4} \sigma_{tot} \rho l} .$$

Относительный спектр падающих нейтронов показан на рис. 2.

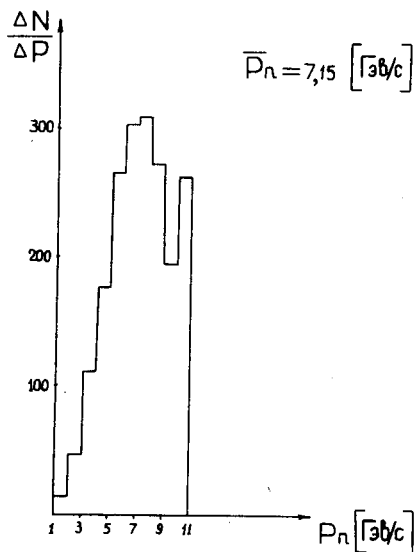


Рис. 2.

Сечение отдельного канала можно получить, используя соотношение:

$$N_i(P) \Delta P = \sigma_i(P) N_n(P) \rho \ell \Delta P = \sigma_i(P) \frac{\sum_i N_i(P) \Delta P}{\frac{3}{4} \sigma_{tot}}$$

Отсюда

$$\sigma_i(P) = \frac{3}{4} \sigma_{tot} \frac{N_i(P) \Delta P}{\sum_i N_i(P) \Delta P}$$

Сечения различных каналов реакций в зависимости от импульса налетающих нейтронов показаны на рисунках 3, 4, 5, 6.

На этих рисунках приведены лишь статистические ошибки измерения сечений. Другие погрешности могут возникать по следующим причинам:

1) недостаточна статистика  $\gamma$  - квантов, что приводит к неточному знанию количества рождающихся  $\pi^0$  - мезонов и, следовательно, к неточному знанию спектров по каналам и общего спектра;

2) оценочный импульс определен как наиболее вероятный, но не точный импульс;

3) имеются ошибки измерения, приводящие к определению импульса нейтрона с точностью  $\approx 10\%$ ;

4) привлечение статической теории для расчёта количества однолучевых звезд может дать неточность порядка 10%;

5) предположение о постоянстве  $\sigma_{tot}$  при взаимодействиях и предположение о том, что  $\sigma_{el} = \frac{1}{4} \sigma_{tot}$ , что даёт ошибку порядка 3% ;

6) предположение о том, что в неизмеримых событиях разделение по каналам то же самое, что и в измеримых.

Отсутствие каких-либо выборок проверялось по угловым и импульсным распределениям частиц разного сорта и было установлено, что никаких выборок, превышающих статистические флуктуации, нет. Поэтому предположение 6) является справедливым.

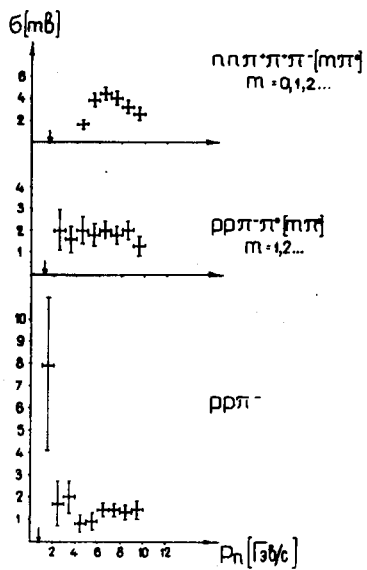


Рис. 3.

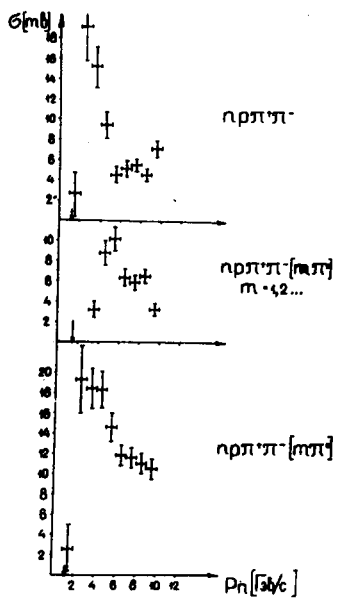


Рис. 4.

N  
 От  
 Се  
 ши  
 чен  
 зна  
 ном  
 то  
 не  
 вы  
 по  
 ка  
 ны  
 ки  
 по



Рис. 5.

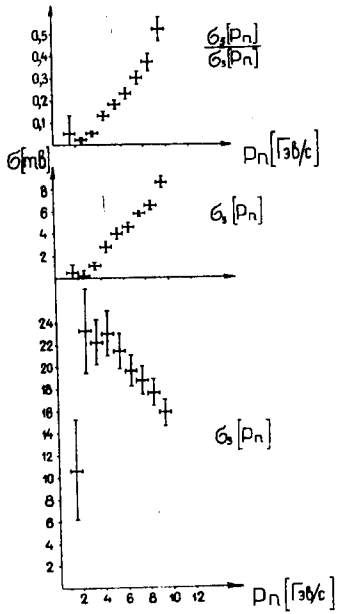


Рис. 6.

Наиболее существенные погрешности возникают из-за пунктов 1) и 2). Оценки показывают, что учет всех погрешностей приводит к тому, что ошибки, указанные в значениях сечений на рисунках 3, 4, 5, 6, необходимо увеличивать в 1,5 + 2 раза в точках, где сечения резко меняются.

В заключение авторы выражают благодарность В.Ф.Вишневному, принимавшему большое участие в начальной стадии работы, группе эксплуатации ПК-4 и всем лаборантам нейтронной группы, производившим обработку материала.

### Л и т е р а т у р а

1. Г.С.Казанский, А.И.Михайлов, В.И.Мороз. ПТЭ, №4, стр. 39-41, 1965.
2. В.И.Мороз, А.В.Никитин, А.И.Родионов, Ю.А.Троян. Препринт ОИЯИ, Р1-3145, Дубна 1967. В.И.Мороз, А.В.Никитин, Ю.А.Троян. Препринт ОИЯИ Р1-3881, Дубна 1968.
3. Ю.А.Каржавин и др. ПТЭ, №5, 54, 1963. В.Я.Алмазов и др. Препринт ОИЯИ 1352, Дубна 1964.
4. В.Ф.Вишневецкий и др. Препринт ОИЯИ Р-1468, Дубна 1963. О.В.Благоправова и др. Препринт ОИЯИ 2005, Дубна 1965. И.М.Иванченко и др. Препринт ОИЯИ Р-2889, Дубна 1966.
5. Н.П.Богачев, С.А.Буятов, И.М.Граменицкий и др. Препринт ОИЯИ Р-356, Дубна 1959.
6. D.V.Bagg, D.C.Salter and Y.H.Stafford. *Phys. Rev.*, 146, p.980 (1966).  
В.С.Пантуев, М.Н.Хачатурян, И.В.Чувило. Препринт ОИЯИ Р-1625, Дубна 1964.
7. Foley K.J., Lindenbaum S.J. et al. *Phys. Rev. Lett.*, 11, 425, 1963.  
Foley K.J., Lindenbaum S.J. et al. *Phys. Rev. Lett.*, 10, 376, 1963.
8. До Ин Себ, Кириллова Л.Ф. и др. ЖЭТФ, 44, №5, 1487-1492, 1963 г.
8. С.З.Беленький, В.М.Максименко, А.И.Никишов, И.Л.Розенталь. УФН, т. VII стр. 1, 1957 г.

9. Ю.Д.Зернин, В.И.Мороз, В.А.Никитин, В.А.Свиридов, Ю.А.Троян. Пре-  
принт ОИЯИ Р-2424, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 июня 1968 года.