

Г- 225

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 6201

А.П. Гаспарян

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $np \rightarrow pp\pi^-$   
ПРИ ИМПУЛЬСЕ НЕЙТРОНОВ  
ОТ 2 ДО 10 ГЭВ/С

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:  
доктор физико-математических наук М.И. Соловьев,  
кандидат физико-математических наук Ю.А. Троян.

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук Ю.А. Будагов,  
доктор физико-математических наук П.С. Исаев.

Ведущее предприятие: Институт физики высоких энергий,  
г. Серпухов.

Автореферат разослан " " 1972 г.

Защита диссертации состоится " " 1972 г. на  
заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий ОИЯИ,  
г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Секретарь Ученого совета

С.В. Мухин

1 - 6201

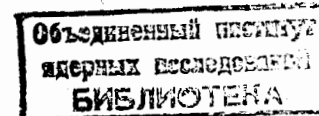
А.П. Гаспарян

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $np \rightarrow pp\pi^-$   
ПРИ ИМПУЛЬСЕ НЕЙТРОНОВ  
ОТ 2 ДО 10 ГЭВ/С

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



В настоящее время имеется большое количество экспериментальных работ /1/ по реакциям



и



Экспериментальная информация по реакции



при  $P_n \geq 2$  Гэв/с к моменту начала физической обработки нашего материала практически отсутствовала. Обзор данных по реакциям (1,2) и рассмотрение различных теоретических подходов при интерпретации экспериментальных результатов позволяет сделать следующие выводы:

### 1. Процессы типа



сечение которых при высокой энергии слабо зависит от ее величины (эффект квазиупругого рассеяния), не наблюдаются в реакциях  $pp \rightarrow pn\pi^+$  и  $pp \rightarrow pp\pi^0$ . Заметим, что в экспериментах, выполненных методикой миссинг-масс спектрометров /2/, квазиупругие процессы

четко проявляются. В камерных работах<sup>/3/</sup> изобары  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  наблюдаются, в основном, в спектре масс комбинации  $N\pi\pi$ . Распределение эффективных масс нуклона с  $\pi$ -мезоном не дает подъема при 1,47 Гэв.

2. ОРЕ модель является наиболее адекватной моделью для описания фона, если эффектом считать дифракционное рождение изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$ . Действительно, образование изобар посредством однопионного обмена не может дать постоянного сечения. Экспериментальные данные по реакциям (1,2) хорошо описываются ОРЕ-моделью. Возможно, что фоновые условия для наблюдения дифракционного образования изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  в реакции  $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^-$  будут более хорошими.

Диссертация состоит из трех глав.

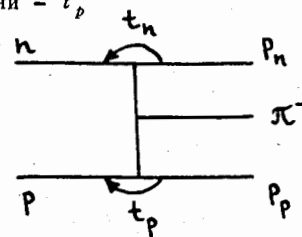
В первой главе рассматриваются вопросы, связанные с методом получения экспериментального материала, и некоторые проблемы, возникающие при восстановлении импульсного спектра первичных нейтронов<sup>/4/</sup>. Экспериментальный материал был получен при облучении 55-сантиметровой пузырьковой пропановой ( $C_3H_8$ ) камеры ЛВЭ ОИЯИ нейтронами сплошного импульсного спектра со средним значением  $\bar{p}_n \sim 6,9$  Гэв/с.

Во второй главе излагаются основные экспериментальные результаты<sup>/5-8/</sup>. Было просмотрено 25,5 тыс. кадров, на которых найдено 16,5 тыс. 3-лучевых звезд, удовлетворяющих просмотрным критериям  $p\bar{p}$ -взаимодействий. Средняя относительная неточность в измерении импульсов частиц  $\frac{\Delta p}{p} \sim 15\%$ , а углов  $\sim 0,5^\circ$ . Выделение реакции основывалось на  $\chi^2$ -методе с тремя степенями свободы (направление нейтронного пучка известно) с последующей визуальной идентификацией. Выбранная система обработки<sup>/6/</sup> обеспечивала быстрый набор статистики.

Подробный анализ возможных примесей<sup>/5/</sup> в изучаемой реакции показал, что примесь, которая может внести некоторые искажения в физические распределения, составляет  $\sim (10-12)\%$ . Примесь от  $n\bar{C}$ -событий не превышает 15%, и знание ее величины важно лишь для определения сечений.

Окончательная статистика, используемая для физического анализа, составила 756 событий реакции  $p\bar{p} \rightarrow p\bar{p}\pi^-$ .

На рис. 1 представлено угловое распределение протонов в с.п.м: реакции по всей статистике. Видно, что протоны вылетают в направлениях, близких к  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , что указывает на сильную периферичность взаимодействия. Обозначим быстрый протон в лабораторной системе  $p_n$ , а медленный -  $p_p$ , четырехмерный переданный импульс от  $p_n$  к нейтрону  $t_n$ , а от  $p_p$  к протону мишени -  $t_p$ .



На рис. 2,3 представлены распределения эффективных масс  $M_{p_n\pi^-}$  и  $M_{p_p\pi^-}$  (Рис. 2 - в распределение входит вся статистика. Рис. 3 - события разбиты на три группы по величине импульса падающего нейтрона). Средняя ошибка в измерении массы  $M_{p_n\pi^-}$  равна 45 Мэв. Заштрихованы распределения для событий с  $t_n < 0,5$  Гэв<sup>2</sup>. Здесь и в дальнейшем штрих-пунктирная линия отвечает реджезованной однопионной модели OPER<sup>/9/</sup>. Сплошная линия соответствует результирующей кривой OPER + изобары  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$ . Из рис. 2,3 видно существенное раз-

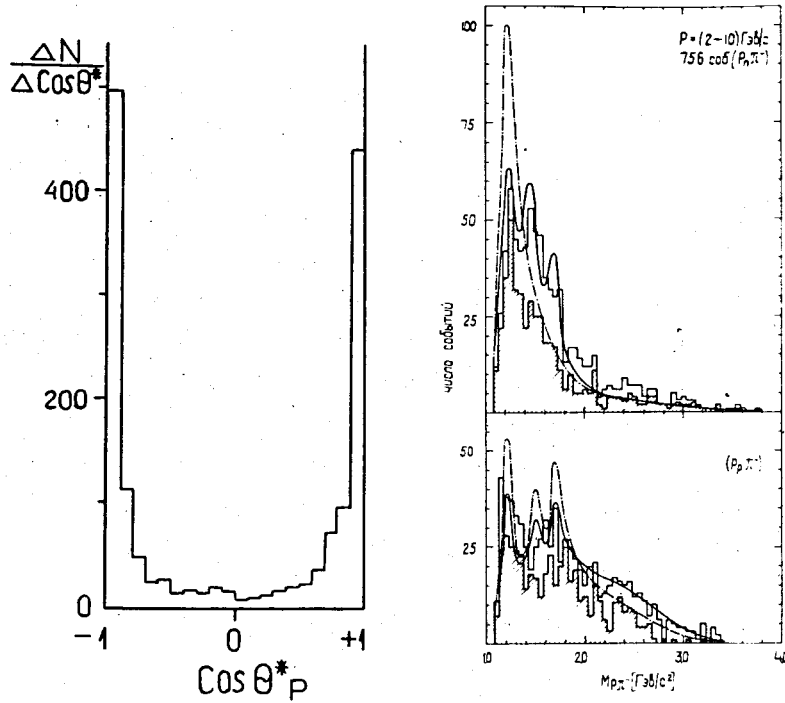


Рис. 1.

Рис. 2.

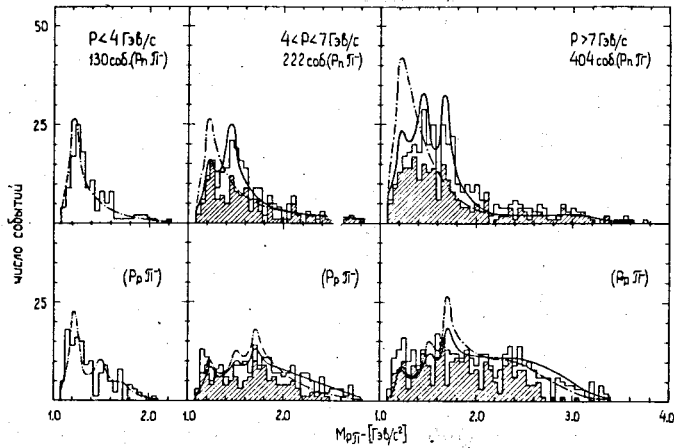


Рис. 3.

личие между распределениями  $M_{\rho_n \pi^-}$  и  $M_{\rho_p \pi^-}$ . Отчетливо видны подъемы в области масс 1,24 и 1,47 ГэВ ( $M_{\rho_n \pi^-}$ ). Имеется плечо в распределении  $M_{\rho_n \pi^-}$  в районе масс изобары  $N^*(1690)$ .

На рис. 4 представлены полное сечение реакции  $n p \rightarrow \rho \pi \pi^-$  и сечения образования изобар  $N^*(1236)$ ,  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  в зависимости от величины импульса падающего нейтрона. Пунктирная линия проведена по многочисленным экспериментальным точкам<sup>/10/</sup> при  $P_n < 1,5$  ГэВ/с. Приведены также данные<sup>/11-15/</sup>, полученные при облучении протонами камер, наполненных дейтерием. Из рисунка видно, что сечение рождения изобары  $N^*(1236)$

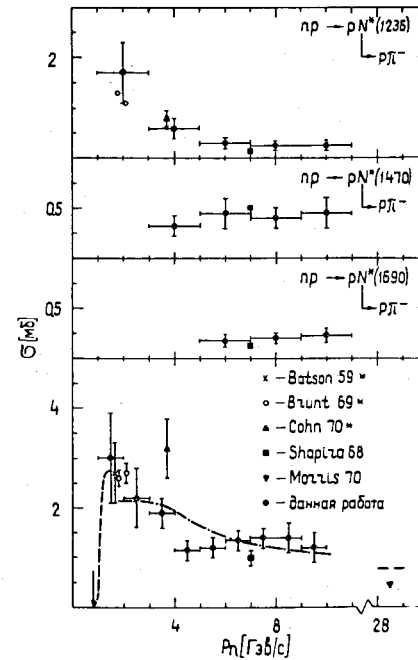
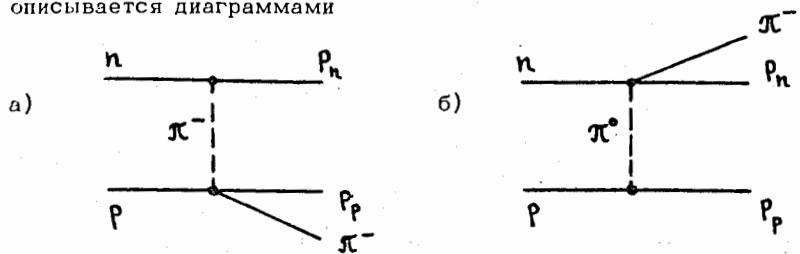


Рис. 4.

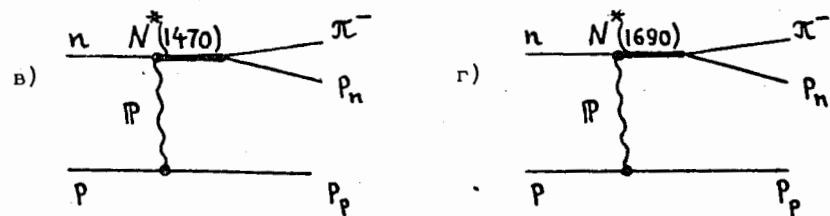
резко падает с увеличением импульса нейтрона, что естественно объясняется обменом  $\pi$ -мезоном. Сечения образования изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  остаются примерно постоянными, что, возможно, указывает на значительную роль вакуумного полюса в их образовании.

В третьей главе приводится анализ реакции  $pr \rightarrow pp\pi^-$  с точки зрения реджезованной OPE-модели<sup>17/</sup>. OPE модель, зависящая от одного параметра, хорошо объясняет существующие экспериментальные данные по реакции  $pp \rightarrow pp\pi^+$  в области энергий от 2 до 30 Гэв. В рамках OPE модели реакция  $pr \rightarrow pp\pi^-$  описывается диаграммами



и двумя диаграммами (не приведены), отличающимися только перестановкой протонов в конечном состоянии. В расчетах диаграмм (а,б) используются экспериментальные данные  $\pi^-p$ -упругого рассеяния и перезарядки  $\pi^-p \rightarrow \pi^0n$ . Суть реджизации заключается во введении понятия обмена  $\pi$ -мезонной траекторией  $\alpha_\pi(t)$ , что позволяет, отчасти, получить теоретический вид формфактора.

В диссертации показано, что существующие данные по реакции  $pr \rightarrow pp\pi^-$  могут быть описаны OPE моделью лишь в случае учета еще и другого механизма - дифракционного рождения изобар  $N^*(1470) \frac{1}{2} \left( \frac{1^+}{2} \right)$  и  $N^*(1690) \frac{1}{2} \left( \frac{5^+}{2} \right)$ . Вклад изобар рассчитывался согласно следующим диаграммам:



Расчет теоретических зависимостей производился методом Монте-Карло с учетом экспериментального разделения протонов на быстрые  $p_n$  и медленные  $p_p$ .

Из рис. 2,3 видно, что, начиная с импульса нейтрона  $P_n \geq 4$  Гэв, однопионный обмен не может описать распределения  $M_{p_n\pi^-}$ . Вклады изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  варьировались так, чтобы наилучшим образом описать распределения  $M_{p_n\pi^-}$ . На рис. 5,6 представлены распределения по величине четырехмерной передачи  $t_n$  и по углу вылета  $\cos \theta_{p_n}^*(p_n\pi^-)$  в системе покоя ( $p_n\pi^-$ ). Видно, что эти распределения также не противоречат включению изобар.

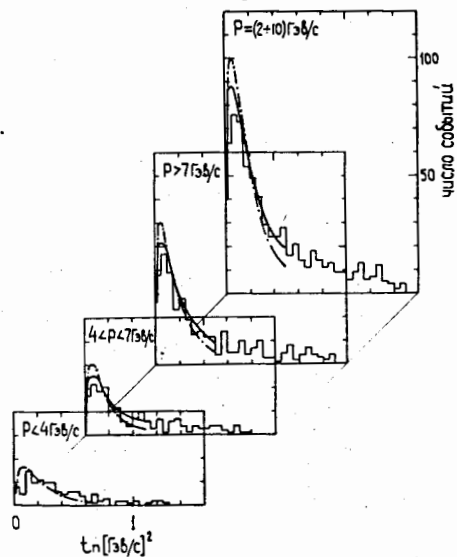


Рис. 5.

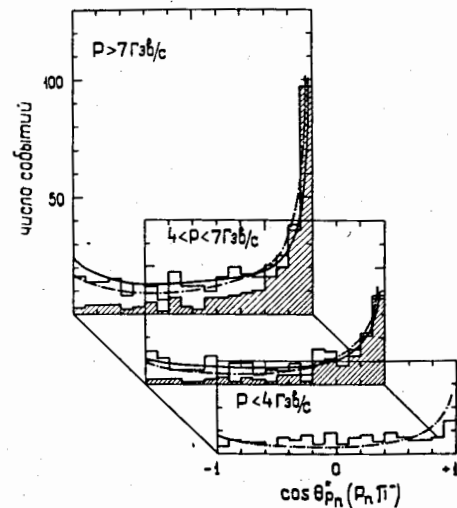


Рис. 6.

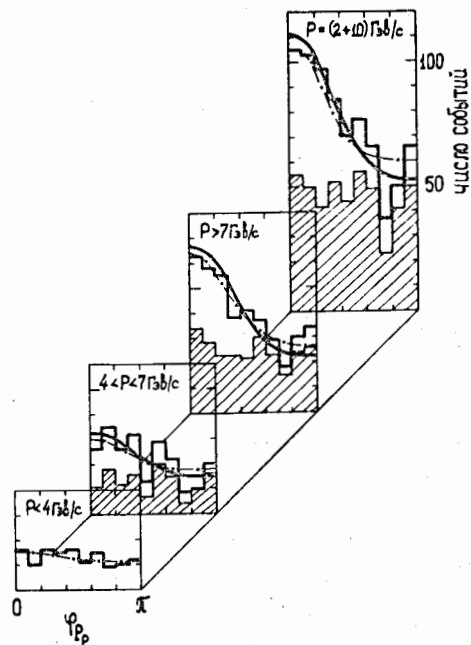


Рис. 7.

На рис. 7 показано распределение по углу Треймана-Янга  $\phi_{pp}$  в системе покоя ( $p_p \pi^-$ ). Видно, что модель *OPER* достаточно удовлетворительно описывает экспериментальную асимметрию в распределении. Диаграмма (б), содержащая амплитуду перезарядки, дает вклад в полное сечение реакции  $pp \rightarrow pp\pi^-$  при  $P_n > 6$  Гэв/с, меньший 20% и резко спадающий с увеличением  $P_n$ . Поэтому основной вклад при  $P_n > 4$  Гэв дает диаграмма (а). Тогда, если отобрать экспериментальные события с малыми  $t_n$ , то они должны лучше описаться однопионной моделью. Из рис. 2,3 видно, что подъем в области масс 1,47 и 1,69 Гэв действи-

тельно уменьшается. Совпадение экспериментальных распределений с теоретическими предсказаниями модели *OPER* при малой энергии и хорошее согласие распределений по величине  $M_{pp\pi^-}$  при больших энергиях говорит в пользу того, что модель *OPER* описывает в значительной степени экспериментальные распределения.

Проведенный анализ имеющихся в настоящее время экспериментальных данных по реакции  $pp \rightarrow pp\pi^-$ , полученных при облучении протонами дейтериевых камер ( $P_p = 1,825$  Гэв/с<sup>/12/</sup>, 2,11 Гэв/с<sup>/12/</sup>, 5,9 Гэв/с<sup>/16/</sup>, 7 Гэв/с<sup>/14/</sup> и 28,5 Гэв/с<sup>/15/</sup>), совместно с нашими данными позволяет сделать вывод о том, что однопионный обмен дает существенный вклад вплоть до энергии ~ 30 Гэв.

Наряду с  $\pi$ -мезонным обменом, начиная с энергии ~ 4 Гэв, проявляется существенно иной механизм образования  $\pi^-$ -мезона, вклад которого слабо зависит от энергии и составляет ~ (30 + 40)% от величины полного сечения реакции.

Подводя итог обсуждению экспериментального материала, делаем следующий основной вывод: квазиупругие процессы дают вклад в реакции типа  $NN \rightarrow NN\pi$ . В реакции  $pp \rightarrow pp\pi^-$  вклад процессов с образованием изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  при  $P_n \gtrsim 4$  Гэв/с составляет ~ 0,5 мб. Из сравнения диаграмм с рождением  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  в реакциях  $pp \rightarrow pp\pi^-$  и  $pp \rightarrow pp\pi^+$  следует, что в реакции  $pp \rightarrow pp\pi^+$  сечение образования изобар должно составить ~ 1 мб. Однако полное сечение  $\sigma_{pp\pi^+} \gg \sigma_{pp\pi^-}$  ( $\sigma_{pp\pi^+} \sim 10$  мб при  $P_p \sim 4$  Гэв/с и  $\sigma_{pp\pi^+} \sim 4$  мб при  $P_p \sim 10$  Гэв). Ясно, что на таком большом фоне от однопионного обмена трудно заметить дифракционное образование изобар. Сечения рождения  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  в реакциях

$pp \rightarrow ppp^-$  и  $pp \rightarrow ppp^0$  должны быть одинаковыми. Хотя полное сечение  $\sigma_{pp\pi^0}$  не намного больше  $\sigma_{pp\pi^-}$  ( $\sigma_{pp\pi^0} \sim 2,8$  мб при  $P_p \sim 6$  Гэв), но из-за симметрии начального и конечного состояний эффект проявления изобар может быть сильно замаскирован ложными отражениями.

В заключении диссертации перечисляются краткие итоги работы:

1. Модернизирована система обработки.
2. Развита метод моделирования с учетом экспериментальных зависимостей.
3. Впервые получены полные сечения реакции  $pp \rightarrow ppp^-$  в широком диапазоне импульсов падающих нейтронов.
4. Проведен анализ всех имеющихся в настоящее время экспериментальных данных по реакции  $pp \rightarrow ppp^-$  в рамках *OPER* модели. Наблюдены квазиупругие процессы и объяснена причина слабого проявления изобар  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$  в реакциях  $pp \rightarrow ppp^+$  и  $pp \rightarrow ppp^0$ .
5. Получены сечения образования изобар  $N^*(1236)$ ,  $N^*(1470)$  и  $N^*(1690)$ .

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /5-7, 8, 17/.

#### Л и т е р а т у р а

1. J.D. Hansen et al. "Compilation of Cross Sections" CERN-HERA 70-1, 70-2 (1970);  
O. Venary et al. "NN and ND Interactions (above 0,5 GeV/c) - a Compilation" UCRL-2000 NN (1970).

2. D. Morrison. "Diffraction Dissociation and Pomeron Exchange". Proc. of the XY Int. Conf. on High Energy Phys. at Kiev, 1970; CERN/D Ph.11/Phys70-64.
3. R.L. Plano. "Nonstrange Baryon Resonances". Proc. of the XY Int. Conf. on High Energy Phys., Kiev, 1970.
4. Ван Ган Чан, М.И. Соловьев, Ю.Н. Шкобин. ПТЭ 1, 41 (1959).  
Т. Бешлиу и др. Препринт ОИЯИ Р-2916, Дубна, 1966.  
В.И. Мороз, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-3909, Дубна, 1968; ЯФ 9, 4, 792 (1969); ЯФ 9, 3, 565 (1969).  
А.П. Гаспарян, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-5665, Дубна, 1971; ЯФ 14, 4, 764 (1971).
5. А.П. Гаспарян, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-4642, Дубна, 1969.
6. А.П. Гаспарян, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-5041, Дубна, 1970; ЯФ 12, 5, 988 (1970).
7. А.П. Гаспарян, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-5052, Дубна, 1970; ЯФ 12, 5, 988 (1970).
8. А.П. Гаспарян, А.В. Никитин, Ю.А. Троян. Материалы ХУ Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970.
9. К.Г. Боресков и др. ЯФ 15, 2 (1972).
10. J.G. Rushbrooke et al. Nuovo Cim., 33, 1509 (1964).
11. A.P. Batson et al. Proc. of the Royal Society of London 251, 233 (1959).
12. D.C. Brunt et al. Phys. Rev., 187, 1856 (1969).
13. H.O. Cohn et al. Nucl. Phys., B21, 505 (1970).
14. A. Shapira et al. Phys. Rev. Lett., 21, 1835 (1968).
15. T.W. Morris et al. Proc. of the XY Int. Conf. on High Energy Phys., Kiev, 1970.
16. W. Gage et al. UCRL-20106, Berkeley, 1970.
17. К.Г. Боресков, А.П. Гаспарян, А.Б. Кайдалов, А.В. Никитин, Л.А. Пономарев, Ю.А. Троян. Препринт ОИЯИ Р1-5975, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 декабря 1971 года.