



ИТЭФ-69

А. Ф. НИЛОВ, Г. В. БЕКЕТОВ, К. Г. БОРЕСКОВ, Т. А. ГАРАНИНА,  
В. М. ГУЖАВИН, С. М. ЗОМБКОВСКИЙ, А. Б. КАЙДАЛОВ, Г. К. КЛИГЕР,  
В. З. КОЛГАНОВ, Б. С. КОНОВАЛОВ, С. П. КРУЧИНИН, А. В. ЛЕБЕДЕВ,  
Г. С. ЛОМКАЦИ, Я. М. СЕЛЕКТОР, В. Т. СМОЛЯНКИН, Л. А. ПОНОМАРЁВ  
В. Ф. ТУРОВ, В. Н. ШУПЛЯЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $\pi^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$   
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 Гэв/с В РАМКАХ  
МОДЕЛИ РЕДЖЕЗОВАННОГО  
ОДНОПИОННОГО ОБМЕНА

МОСКВА 1973

А.Ф.Чиллов, Г.В.Бакетов, К.Г.Боресков,  
Г.А.Гаранина, В.А.Гухавин, С.М.Зомбоковский,  
А.Б.Каидалов, Г.А.Клигер, В.З.Колганов,  
Б.С.Коновалов, С.Л.Кручинин, А.В.Лебедев,  
Г.С.Лоикава, Я.М.Селектор, В.Т.Смолякин,  
А.А.Пономарев, В.Ф.Туров, В.Н.Пуляченко

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $\pi^0 - \pi^+ \pi^-$   
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 ГэВ/с В РАМКАХ МОДЕЛИ  
РЕДКОЗОВАННОГО ОДНОИМЕННОГО ОБМЕНА

Обработано и проанализировано 4619 событий реакции  $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^-$  при импульсе падающего  $\pi^-$ -мезона 4,5 ГэВ/с. Для сечений образования  $\rho^0$  и  $f^0$ -мезонов получены значения  $\sigma_{\rho^0} = (0,64 \pm 0,10)$  мб и  $\sigma_{f^0} = (0,29 \pm 0,08)$  мб. Показано удовлетворительное согласие экспериментальных распределений с предсказаниями модели резонансного однопионного обмена.

## ABSTRACT

We have measured and analyzed 4619 events of the reaction  $\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^-$  at the incident momentum 4.5 GeV/c of  $\pi^-$ -mesons. The values  $\sigma_{\rho^0} = (0.64 \pm 0.10) \text{ mb}$  and  $\sigma_{f^0} = (0.29 \pm 0.08) \text{ mb}$  were obtained for  $\rho^0$ - and  $f^0$ -meson production. The experimental distributions are in a good agreement with the Regge one pion exchange model.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению реакций с многочастичными конечными состояниями. Имеется значительное число экспериментальных работ, посвященных исследованию характеристик таких реакций. Однако, в отличие от двухчастичных процессов, пока не существует ни одной общепризнанной модели, позволяющей дать единое количественное описание совокупности данных о неупругих процессах.

Определенный успех при описании трехчастичных реакций достигнут с помощью модели реджезованного однолионного обмена (OPER) [1,2]. В настоящей статье приводятся результаты исследования процесса

$$(1) \quad \pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$$

при импульсе 4,5 ГэВ/с и проверяются предсказания указанной модели.

## 1. Матричный элемент

В рамках OPER модели матричный элемент процесса записывается в виде [2]

$$M(s, s_1, s_2, t_1, t) = \frac{G_{\pi NN}}{t - \mu^2} f(t) \times \quad (1)$$

$$\times \exp \left\{ \left[ \alpha'_{\pi} \ln \frac{s(\mu^2 + x^2)}{s_1 s_2} \right] / (t - \mu^2) \right\} M_{\pi\pi}(s_1, t_1) \bar{U}_3 \gamma_5 U_4$$

где

$$s = (P_1 + P_2)^2, \quad s_1 = (P_1 + P_2)^2, \quad s_2 = (P_2 + P_3)^2;$$

$$t_1 = (P_1 - P_3)^2, \quad t = (P_2 - P_3)^2; \quad (P_i - \text{импульс } i\text{-й частицы})$$

$$S_0 = 1 \text{ гэв}; \quad \frac{G_{\pi NN}^2}{4\pi} = 14,6 - \text{константа связи } \pi\text{-мезона с нуклоном}$$

$$\mu^2 - \text{квадрат массы пиона};$$

$$x^2 - \text{квадрат поперечной составляющей импульса}$$

медленного вторичного пикона ;

$$f(t) = e^{\tilde{R}^2(t - \mu^2)} \text{ — фактор ;}$$

$\tilde{R}^2$ , вообще говоря, является параметром модели, который можно определить из данного эксперимента. Но мы отказались от такой свободы и воспользовались значением  $\tilde{R}^2 = 2,75 \text{ ГэВ}^{-2}$ , полученным Боресковым и др. [1,2] при описании реакции  $pp \rightarrow p\pi\pi^+$

Для  $P$ -волновой амплитуды в фактор вводится дополнительный пороговый множитель  $\frac{Q(s_1, t, \mu^2)}{Q(s_1, \mu^2, \mu^2)} e^{\tilde{R}^2(t - \mu^2)}$  где  $Q(a, b^2, c^2)$  — трехмерный импульс частиц с массами  $b$  и  $c$  в с-ц.и., и лежащий квадрат полной энергии равный  $a$ . Параметр  $\tilde{R}^2$  необходимо подобрать таким образом, чтобы множитель  $e^{\tilde{R}^2(t - \mu^2)}$  компенсировал рост множителя  $\frac{Q(s_1, t, \mu^2)}{Q(s_1, \mu^2, \mu^2)}$  при больших переданных импульсах. Он может быть определен из описания дифференциального сечения рассеяния  $p$ -мезон. Величина  $\tilde{R}^2$  была определена из экспериментальных данных и оказалась малой, поэтому при расчетах значение  $\tilde{R}^2$  было принято равным нулю.

$L_{\pi\pi}^1$  — эффективный наклон  $\pi$ -мезонной траектории в наших расчетах был взят равным  $1 \text{ ГэВ}^{-2}$ .

В формуле (1),  $M_{\pi\pi}(s_1, t_1)$  — амплитуда  $\pi\pi$ -рассеяния. Ее значение до  $\sqrt{s_1} = 1,4 \text{ ГэВ}$  берется из экспериментальных данных по факторному анализу  $\pi\pi$ -рассеяния, а при больших значениях  $\sqrt{s_1}$  вычисляется с помощью формулы  $R, \rho, \rho[2]$ .

## II. Методические вопросы

Данная работа выполнена с помощью ускорителей дуэньковских камер размером  $35 \text{ [с]}$  и  $50 \text{ [д]}$  см, экспониро-

ванных на пучках  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 4,6 и 4,5 Гэв/с соответственно. В результате просмотра стереофотографий было найдено около 50 000 двухлучевых событий, удовлетворяющих критериям отбора [5,6]. Осмер событий производился на измерительных устройствах АМУ и ПУОС. Восстановление пространственной геометрии событий, кинематический анализ и уравнивание параметров в соответствии с выбранной гипотезой производились по программе АСН [7]. Нами было отобрано 4819 событий реакции (I). Примесь других реакций в процессе (I) составляет менее 20%.

Для получения абсолютной нормировки были использованы данные [6,8,9] о величине сечения реакции (I) в интервале импульсов налетающего  $\pi^-$ -мезона от 3 до 8 Гэв/с. В результате интерполяции было получено значение сечения рассматриваемой реакции при импульсе 4,56 Гэв/с

$$\sigma(\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n) = (2,62 \pm 0,24) \text{ мб}.$$

### III. Анализ экспериментальных результатов

На рис. Iа представлено распределение по эффективной массе системы  $\pi^+ \pi^-$ . Как видно из рисунка, наблюдаются отчетливые пики, соответствующие образованию  $\rho^0$  и  $f^0$ -мезонов. Сечения образования этих резонансов были найдены равными:

$$\sigma_{\rho^0} = (0,64 \pm 0,10) \text{ мб},$$

$$\sigma_{f^0} = (0,29 \pm 0,08) \text{ мб}.$$

Следует отметить, что в области масс  $\rho^0$ -мезона практически не наблюдается избытка событий.

На рис. I б и I в приведены спектры эффективных масс

системы  $\pi\pi^-$  с ограничениями по квадрату переданного четырехмерного импульса от нуклона к нуклону  $|t| \leq 1,0$  и  $|t| \leq 0,3 (\text{ГэВ}/c)^2$  соответственно. Приведенные кривые как на этих, так и на последующих рисунках рассчитаны согласно матричному элементу (1) и имеют абсолютную нормировку. Сплошные кривые получены с использованием фаз  $\pi\pi$ -рассеяния, взятых из работы Оуа и др., [9] штрих-пунктирные — Хэрролла и др. [10] x). Использование двух различных наборов фаз связано с тем, что они получены в различных физических предположениях и отличаются друг от друга. Указанные ограничения по  $t$  обусловлены следующим. С одной стороны фазовый анализ  $\pi\pi$ -взаимодействия, как правило, выполняется с обрезанием по  $|t| \leq 0,3 (\text{ГэВ}/c)^2$ . С другой стороны интересно посмотреть, насколько хорошо  $OPER$  модель описывает экспериментальные данные при достаточно больших  $t$ . Из сравнения расчетных кривых с экспериментальными распределениями видно, что в пределах неопределенности фазового анализа  $OPER$  хорошо воспроизводит спектр масс системы  $\pi\pi^-$  даже в расширенном интервале переданных импульсов  $|t| \leq 1,0 (\text{ГэВ}/c)^2$ .

На рис. 2а,б,в и 3а,б,в приведены распределения по массам  $\pi\pi^+$  и  $\pi\pi^-$ -систем без ограничений (а) и с ограничениями по  $t$ :  $\delta - |t| \leq 1,0 (\text{ГэВ}/c)^2$  и  $\varepsilon - |t| \leq 0,3 (\text{ГэВ}/c)^2$ . Расхождение между теоретическими и экспериментальными спектрами масс  $\pi\pi^-$  и  $\pi\pi^+$ -систем в области масс 1,4–1,8  $\text{ГэВ}/c^2$  может быть обусловлено образованием нуклонных изобар, не учитываемых данной моделью.

х) Нами были проведены расчеты и с результатами фазового анализа, опубликованными в работе Прохоренко и др. [11]. Полученные распределения до значений масс  $\pi\pi^+\pi\pi^-$ -системы 1150 МэВ/с<sup>2</sup> практически совпадают с приведенными.

Кроме распределений по эффективным массам мы проанализировали распределения числа событий по квадрату переданного 4- импульса от нуклона к нуклону, азимутальному углу ( $\varphi$ ) и полярному углу ( $\theta$ ) вылета вторичного  $\pi^-$ -мезона в системе Готтфрида-Джексона ди-пиона. На рис. 4а, б, в представлены распределения по квадрату переданного четырехмерного импульса от нуклона к нуклону ( $t$ )

для всех событий и для событий из областей масс

$\rho^0 - (0,7 \pm m_{\pi\pi} - \pm 0,9 \text{ ГэВ}/c^2)$  и  $f^0 - (1,14 \pm m_{\pi\pi} - \pm 1,42 \text{ ГэВ}/c^2)$  мезонов. Из рисунка видно, что используемая модель хорошо описывает зависимость дифференциального сечения от  $t$  до  $|t| \leq 0,3 \text{ (ГэВ}/c)^2$ .

Наблюдаемое расхождение при больших  $t$  предсказаний модели с экспериментальными результатами может быть устранено введением более сложного форм-фактора, например, добавлением более пологой экспоненты.

На рис. 5 приведены распределения числа событий по величине  $\cos \theta$  для полного канала и областей масс  $\rho^0$  и  $f^0$  мезонов соответственно (а, б, в -  $|t| \leq 1,0 \text{ (ГэВ}/c)^2$ ; г, д, е -  $|t| \leq 0,3 \text{ (ГэВ}/c)^2$ . Здесь также можно видеть, что лучшее согласие модели с экспериментом достигается при меньших значениях  $t$  (рис. 5 г, д, е). Однако, при обоих отборах наблюдается только качественное согласие модели с экспериментальными распределениями. Заметное расхождение теоретических кривых с распределениями, наблюдаемыми на опыте, возможно связано с тем, что угловые распределения наиболее чувствительны к интерференции матричного элемента (I) с амплитудами фоновых процессов.

Интересной особенностью рассматриваемой модели является возможность описания азимутальной анизотропии, наблюдаемой на опыте. Заметим, что существующие модели с форм-



фактором предсказывает изотропность таких распределений. Распределения по азимутальному углу (углу Треймана-Инга) представлены на рис.6. Последовательность распределений такая же как и на рис.5. Видно, что OPER модель удовлетворительно воспроизводит экспериментальные распределения по углу  $\psi$ .

В заключение можно отметить, что OPER модель практически без свободных параметров, в основном, удовлетворительно описывает основные черты реакции  $\pi p \rightarrow \pi \pi n$  при импульсе  $\sim 4,5$  Гэв/с. Наблюдаемое расхождение предсказаний модели с экспериментальными результатами может быть объяснено присутствием других мезонных изобар (например, образованием нуклонных изобар в  $\pi n^+$ - и  $\pi n^-$ -системах), не учитываемых в рассматриваемой модели.

Считаем приятным долгом выразить благодарность И.А.Ветлицкому, В.Л.Крылову и А.П.Соколову за участие в начальной стадии эксперимента. Л.А.Захаровой, Ю.В.Королёву, Л.С.Кибальниковой, Л.И.Деловальниковой и О.И.Погорелко за помощь в работе.

## Л и т е р а т у р а

1. К.Г.Боресков, А.Б.Кайдалов, В.И.Лясин, Е.С.Николаевский, Л.А.Пономарев, ЯЭ 15, 361 (1972).
2. К.Г.Боресков, А.Б.Кайдалов, Л.А.Пономарев, Препринт ИТЭФ № 950 (1972).
3. И.А.Ветлицкий, В.М.Гужавин и др. ПТЭ, 4, 43 (1967).
4. М.С.Айнутдинов, Г.В.Бекетов и др. ПТЭ, 2, 47 (1968).
5. И.А.Ветлицкий, В.М.Гужавин и др. ЯФ 5, 603 (1967).
6. В.М.Гужавин, И.А.Ветлицкий и др. ЯФ 14, 354 (1971).
7. Ф.М.Филлер, ДАН СССР, 177, 1058 (1967).
8. R.L. Eisner, P.B. Johnson et al. Phys. Rev 154, 1699 (1967)  
 Y.Y. Lee et al., Phys. Rev 159, 1156 (1967)  
 A-B-B-H-L-M Collabor., Nuovo Cim. 31, 730 (1964)  
 А.А. Картамышев, К.Н. Мухин и др., ЯФ 17, 81 (1973)  
 А.П. Соколов, В.М. Гужавин и др.  
 Препринт ИТЭФ № 931 (1972).
9. B.Y. Oh, A.F. Gartsinkel et al., Phys. Rev D1 1599 (1970).
10. J.T. Carroll, R.N. Diamond et al., Phys Rev. Lett., 28, 318 (1970)
- II S.D. Protopopescu et al., Phys. Rev., D1, 1279 (1973)

# Подрисуночные подписи

Рис.1. Распределение числа событий по эффективной массе

$\pi^+\pi^-$ -системы: а - без ограничений по  $t$ ,  
б -  $|t| \leq 1$ , в -  $|t| \leq 0,3$  (Гэв/с)<sup>2</sup>

Кривые представляют собой распределения, рассчитанные по модели *OPER*; сплошная кривая соответствует фазам Оха и др.; [9] штрих-пунктирная-Кэррола и др. [10].

Рис.2. Распределение числа событий по эффективной массе

$\pi^+\pi^-$  системы. Ограничения по  $t$  и обозначения кривых те же, что и на рис.1.

Рис.3. Распределение числа событий по эффективной массе

$\pi^+\pi^-$  системы. Ограничения по  $t$  и обозначения кривой те же, что и на рис.1.

Рис.4. Распределение числа событий по квадрату переданного

4-импульса от нуклона к нуклону ( $\frac{dN}{dt}$ ):  
а - всего канала, б - область масс  $\rho^0$ -мезона ( $0,7 \leq m_{\pi\pi} \leq 0,9$ ), в - область масс  $f^0$ -мезона ( $1,14 \leq m_{\pi\pi} \leq 1,42$  Гэв/с<sup>2</sup>). Обозначение кривых те же, что и на рис.1.

Рис.5. Распределения числа событий по косинусу полярного

угла вылета вторичного  $\pi^-$ -мезона в системе Готтфрида-Джексона: а,г - всего канала; б,д - область масс  $\rho^0$ -мезона; в,е - область масс  $f^0$ -мезона с  $|t| \leq 1,0$  и  $|t| \leq 0,3$  (Гэв/с)<sup>2</sup> соответственно. Обозначение кривых те же, что и на рис.1.

Рис.6. Распределения числа событий по азимутальному углу

$\varphi$  (углу Треймана-Янга). Последовательность распределений и обозначения кривых те же, что и на рис.5.

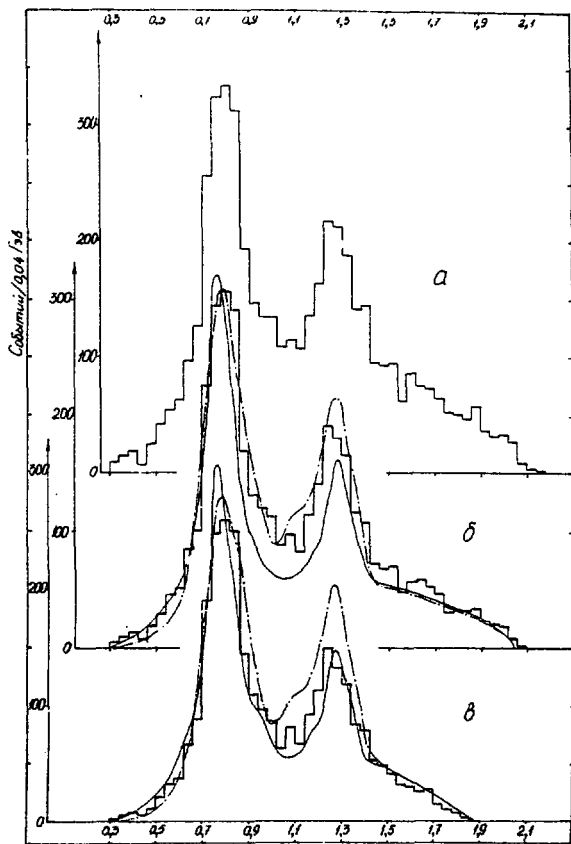


Рис. 1

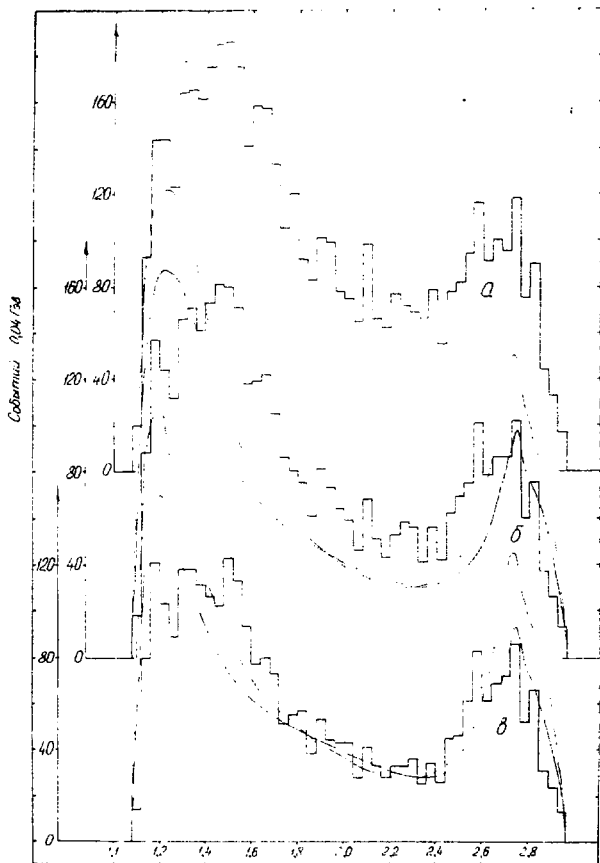


Рис 2

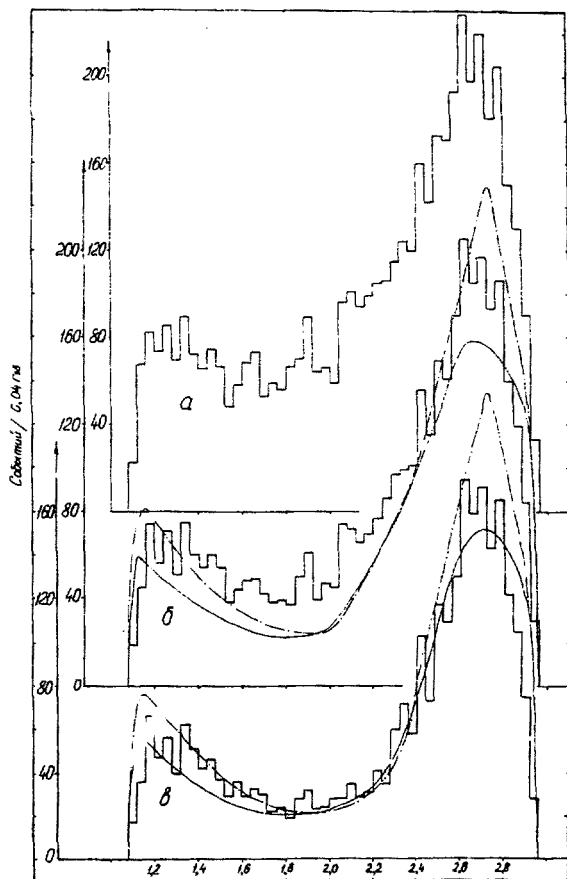


Рис. 3

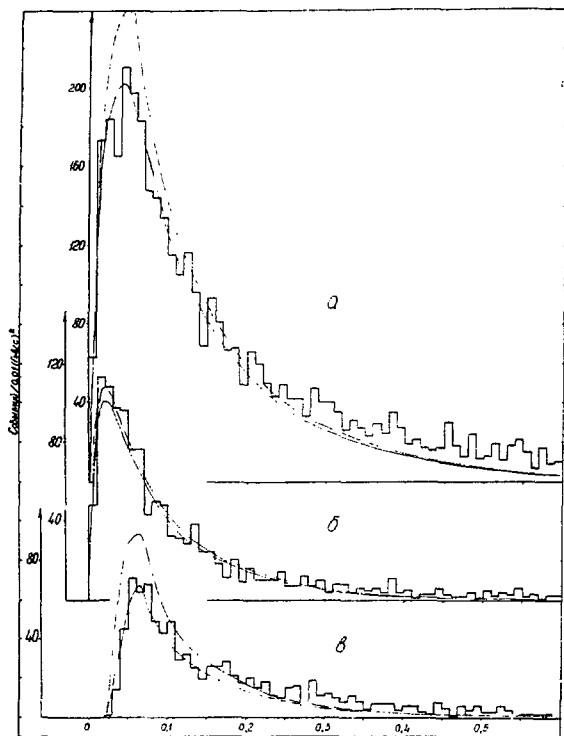
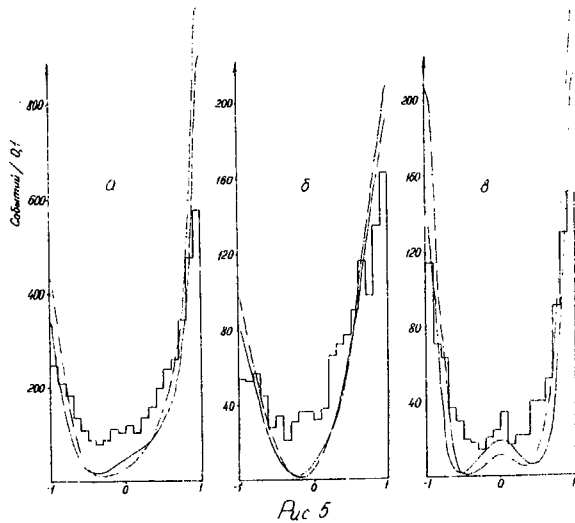
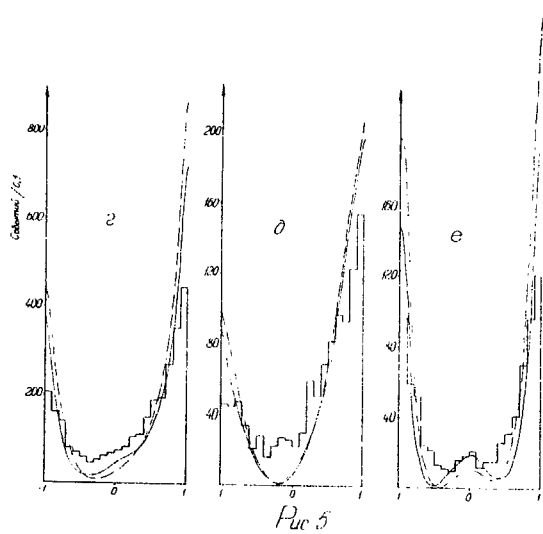


Рис. 4







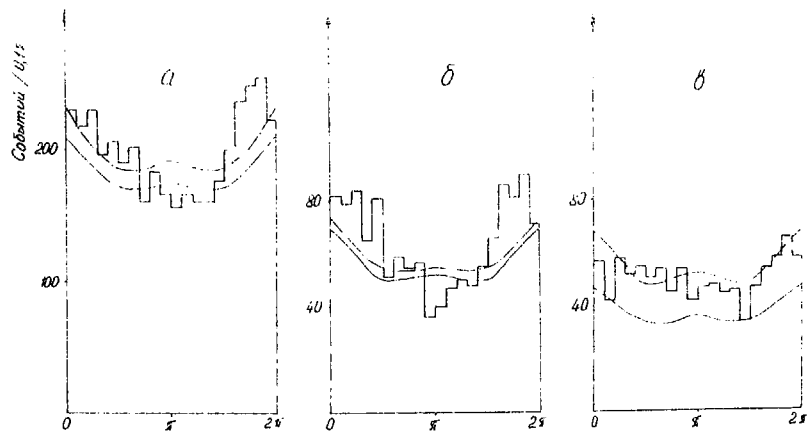


Рис. 6

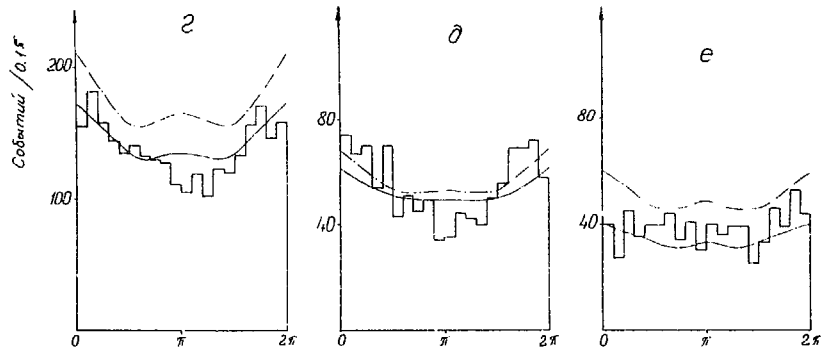


Рис. 6

---

Подписано к печати 24/III-73 г. Т - 12659. Печ. л. 1,25.  
Формат 70 х 108 1/16. Тираж 300 экз. Заказ 69. Цена 7 коп.

---

Отдел научно-технической информации, ИТЭИ, Москва, 117259

Цена 7 коп.