

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



3595/2-75 пр.

P10 - 8945

С.Ф.Бережнев, Г.И.Смирнов

МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
ПО ОБРАТНОМУ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЮ ПИОНОВ  
(Часть 1)

**1975**

P10 - 8945

С.Ф.Бережнев, Г.И.Смирнов

МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
ПО ОБРАТНОМУ ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЮ ПИОНОВ  
(Часть 1)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## 1. Введение

В экспериментах<sup>/1,2/</sup> по определению формфакторов пиона и нуклона из анализа реакции обратного электро-рождения пиона /ОЭП/



используются программы трех уровней.

Программы первого уровня работают в режиме "on-line". Они осуществляют оперативный контроль над работой экспериментальной установки, проводят предварительный отбор полезных событий и записывают на магнитную ленту информацию об отобранных событиях<sup>/3/</sup>.

Программы второго уровня работают в режиме "off-line". Эти программы, используя результаты обмера снимков с оптических искровых камер, результаты калибровочных измерений и данные, записанные на магнитную ленту программами первого уровня, выполняют дальнейший отбор событий и геометрическую реконструкцию отобранных событий<sup>/4/</sup>.

По программам третьего уровня проводится окончательная обработка экспериментальных данных, моделирование эксперимента методом Монте-Карло, определяются формфакторы пиона и нуклона.

В настоящей работе описывается структура системы программ третьего уровня, модель события реакции ОЭП, использованная в этих программах, а также одна из программ третьего уровня - SIMUL 1.

## 2. Организация работы программ третьего уровня

После геометрической реконструкции и предварительного отбора на ЭВМ БЭСМ-4 по программам второго уровня экспериментальные данные, записанные на магнитную ленту CDC, поступают на ЭВМ БЭСМ-6 /рис. 1/, где, после перекодировки, записываются на магнитную ленту БЭСМ-6 - ленту данных.

На ЭВМ БЭСМ-6 по программе EXDATA проводится кинематический анализ и фитирование экспериментальных данных, а также окончательный отбор событий реакции /1/.

Отобранные события записываются на магнитную ленту - ленту результатов, а экспериментальные распределения по основным кинематическим переменным выдаются на перфокарты.

Дальнейший анализ осуществлялся или по методу максимального правдоподобия /программы FORM 1, FORM 2 / или по методу минимума  $\chi^2$  (FORM 3).

И в том и в другом случае мы использовали теоретические дифференциальные сечения, полученные по программам SIMUL 1 и SIMUL 2.

Программа SIMUL 1 моделирует реакцию /1/ с учетом реальных условий эксперимента. Разыгранные по программе SIMUL 1 события записываются на магнитную ленту. Программа SIMUL 2, используя эти события, вычисляет дифференциальное сечение реакции ОЭП в рамках какой-либо теоретической модели /5/. Такое разбиение моделирования на две части позволяет при вычислении дифференциальных сечений в различных моделях не проводить каждый раз розыгрыш реакции /1/ заново.

В программах EXDATA и SIMUL 1 использовалась одна и та же модель события реакции /1/, а фитирование и кинематический анализ осуществлялись, по возможности, при помощи одних и тех же подпрограмм.

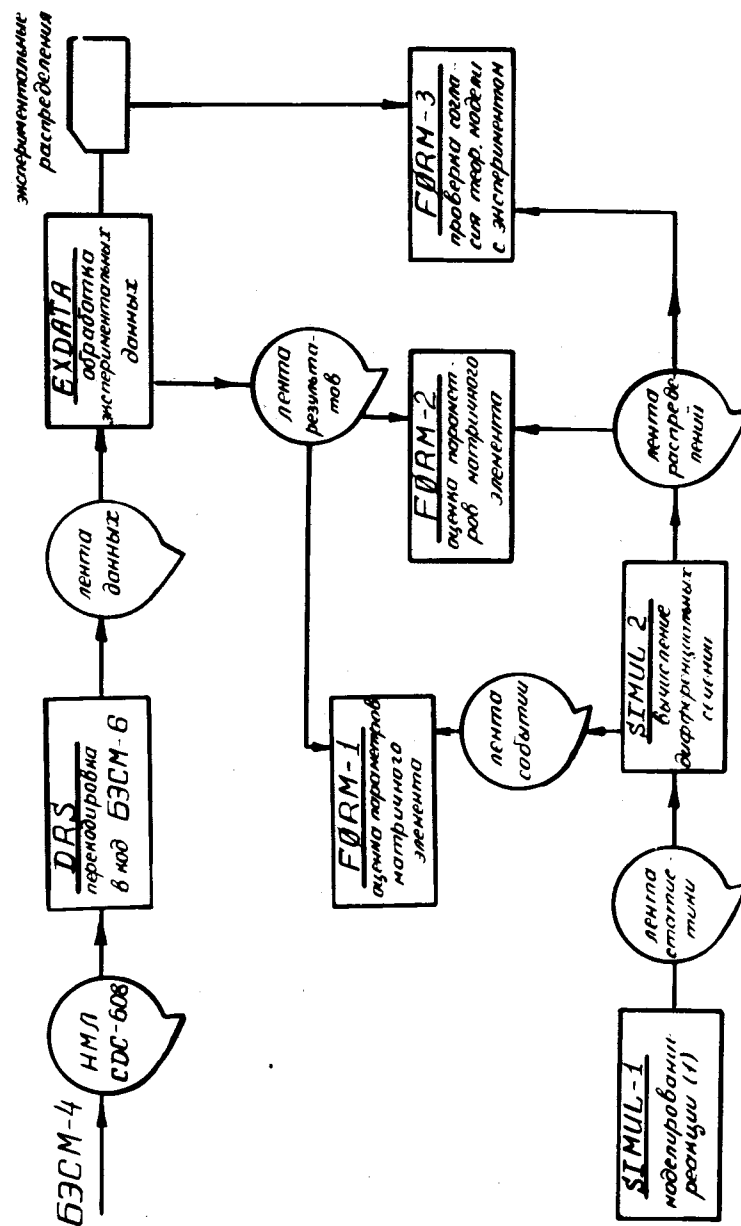


Рис. 1. Блок-схема системы программ третьего уровня.

### 3. Модель события реакции /1/

Событие реакции /1/ генерируется в водороде мишени  $\pi^-$ -мезоном, летящим вдоль оси OX установки /рис. 2/.

Логика экспериментальной аппаратуры выделяет события типа

$$(C_1 \cdot C_2 \cdot \bar{C}_3 \cdot \bar{C}_4) \cdot (ИК_1 \cdot C_5 \cdot \check{C}_1 \cdot \check{C}_3) \cdot (ИК_2 \cdot C_6 \cdot \check{C}_2 \cdot \check{C}_4) \quad /M/$$

Телесные углы счетчиков  $C_5, \check{C}_1$  и  $C_6, \check{C}_2$  перекрывают телесные углы искровых камер и спектрометров. Поэтому в программах SIMUL 1 и SIMUL 2 отбирались события, для которых трек одного из электронов проходит через искровую камеру ИК<sub>1</sub> и спектрометр  $\check{C}_3$ , а трек другого электрона проходит через ИК<sub>2</sub> и  $\check{C}_4$ .

Для восстановления кинематики и пространственной картины события использовались следующие величины:

- импульс  $\pi^-$ -мезона -  $P_\pi$ ;
- энергии электронов -  $E_i$ ;
- проекция углов вылета электронов -  $\theta_{xi}, \theta_{yi}$ ;
- координаты точек попадания электронов в искровые камеры  $r_i$ ;
- /i = 1, 2 - номер телескопа/.

За измеренное значение импульса  $\pi^-$ -мезона  $P_\pi$  принимается среднее значение импульса  $\pi^-$ -мезонов в пучке. В этом случае ошибка в измерении истинной величины импульса  $\sigma_{P_\pi}$  равна среднеквадратичному разбросу по импульсу пучка  $\pi^-$ -мезонов /6/.

Энергии электронов измеряются черенковскими спектрометрами полного поглощения  $C_4, C_3$ . По пути к спектрометрам электрон теряет в веществе телескопа энергию

$$E_\pi(\phi) = E_\pi(0) / \cos \phi, \quad /1/$$

где:  $\phi$  - угол входа электрона в искровую камеру;  $E_\pi(0)$  - средние энергетические потери для случая  $\phi = 0$  /флуктуации потерь не учитывались/. Константы  $E_\pi(0)$  определялись для каждого телескопа из калибровочных измерений /6/.

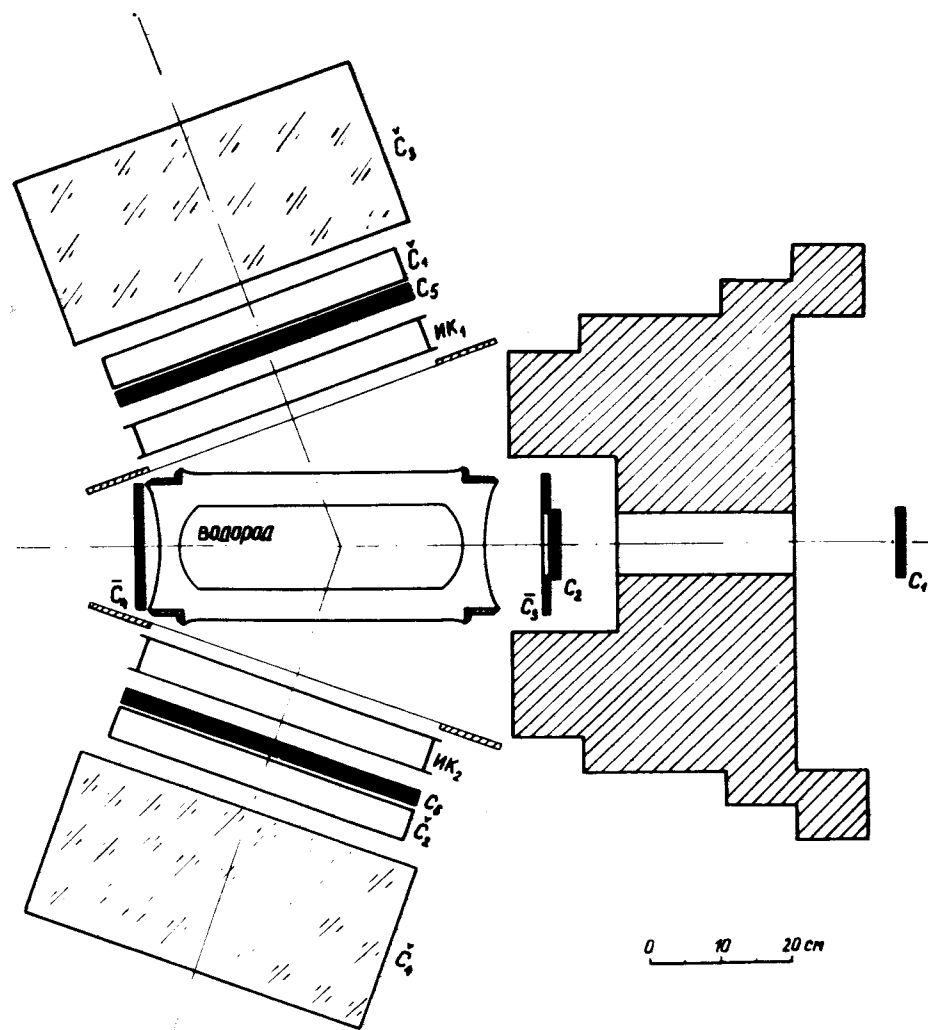


Рис. 2. Экспериментальная установка.  $C_1 \div C_6$  - сцинтилляционные счетчики;  $C_1, C_2$  - пороговые водяные черенковские счетчики;  $C_3, C_4$  - черенковские спектрометры полного поглощения; ИК<sub>1</sub>, ИК<sub>2</sub> - оптические искровые камеры. Детекторы ИК<sub>1</sub>,  $C_5, C_1, C_3$  и ИК<sub>2</sub>,  $C_6, C_2, C_4$  образуют два боковых телескопа.

При анализе калибровочных измерений было получено, что средняя амплитуда сигнала спектрометра связана с углом входа электрона в искровую камеру зависимостью

$$\overline{A_{\text{СП}}} \approx E_e \cos \phi, \quad /3/$$

где:  $\overline{A_{\text{СП}}}$  - средняя амплитуда сигнала в спектрометре;  $E_e$  - энергия электрона, попавшего в спектрометр. Так как информация об угле  $\phi$  поступает только после обработки снимков с искровых камер, то в качестве предварительной оценки энергии электрона генерированного реакций /1/, программы первого уровня вырабатывают величину

$$^{(2)}E = ^{(1)}E + E_{\text{П}}(0). \quad /3/$$

Здесь  $^{(1)}E = kA_{\text{СП}}$  - оценка энергии электрона;  $k$  - коэффициент пропорциональности;  $A_{\text{СП}}$  - амплитуда сигнала спектрометра.

Несмещенная оценка энергии электрона  $\tilde{E}$  вычисляется по формуле

$$\tilde{E} = ^{(2)}E / \cos \phi = ^{(1)}E / \cos \phi + E_{\text{П}}(\phi). \quad /4/$$

Зависимость среднеквадратичных ошибок для этих оценок от энергии аппроксимировалась формулами

$$\sigma_{^{(2)}E} = \sigma_i \sqrt{^{(1)}E_i} = \sigma_i \sqrt{\tilde{E}_i \cos \phi_i - E_{\text{П}i}(0)}, \quad /5/$$

$$\sigma_{\tilde{E}} = \frac{\sqrt{^{(1)}E_i}}{\cos \phi_i} \sigma_i = \sigma_i \frac{\sqrt{\tilde{E}_i \cos \phi_i - E_{\text{П}i}(0)}}{\cos \phi_i}. \quad /5'/$$

Константы  $\sigma_i / i = 1, 2$  - номер телескопа/определялись при калибровочных измерениях, а затем их значения уточнялись путем сравнения экспериментального распределения по недостающей массе в реакции /1/ с аналогичным распределением, полученным методом Монте-Карло при различных значениях  $\sigma_i$ .

Проекции углов вылета электрона  $\theta_{x_1}$ ,  $\theta_{y_1}$  и  $\theta_{x_2}$ ,  $\theta_{y_2}$ , а также координаты  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$  измеряются на фотоснимках с искровых камер ИК<sub>1</sub> и ИК<sub>2</sub>. Ошибки в измерениях этих величин обусловлены как многократным кулоновским рассеянием в веществе установки/соответствующие среднеквадратичные ошибки вычислялись методом Монте-Карло /4,6//, так и ошибкой в определении угла в ИК /8/.

#### 4. Программа SIMUL1

Программа SIMUL1 существует в двух версиях, одна из которых работает на ЭВМ БЭСМ-6/ее блок-схема приведена на рис. 3/, а вторая - ЭВМ CDC-6200 ЛВТА ОИЯИ. Версия, поставленная на ЭВМ CDC-6200, отличается тем, что в ней в качестве дополнительного буфера может использоваться перманентный файл.

Программа SIMUL1 проводит моделирование реакции /1/ с учетом реальных условий эксперимента. Информация о пучке, геометрии установки, разрешении и эффективности регистрирующей аппаратуры задается в подпрограмме READOM.

В программе предусмотрен механизм, позволяющий набирать статистику при многократных запусках задачи. Подпрограмма START читает с магнитной ленты служебную информацию, записанную во время предыдущего запуска и подготавливает программу к продолжению счета: восстанавливает состояние используемых в программе генераторов случайных чисел, подготавливает в памяти машины буферный файл. Информация о разыгранных событиях заносится в буферный файл. После того, как буферный файл заполнится, его содержимое сбрасывается на магнитную ленту. Такая организация накопления позволяет уменьшить число обменов с магнитной лентой.

Розыгрыш каждого отдельного события осуществляется по схеме, приведенной на рис. 4. В подпрограммах GENOM, TARGET разыгрываются координаты точки взаимодействия пучкового  $\pi^-$ -мезона с водородом мишени и четырехимпульсы мишени частиц, участвующих

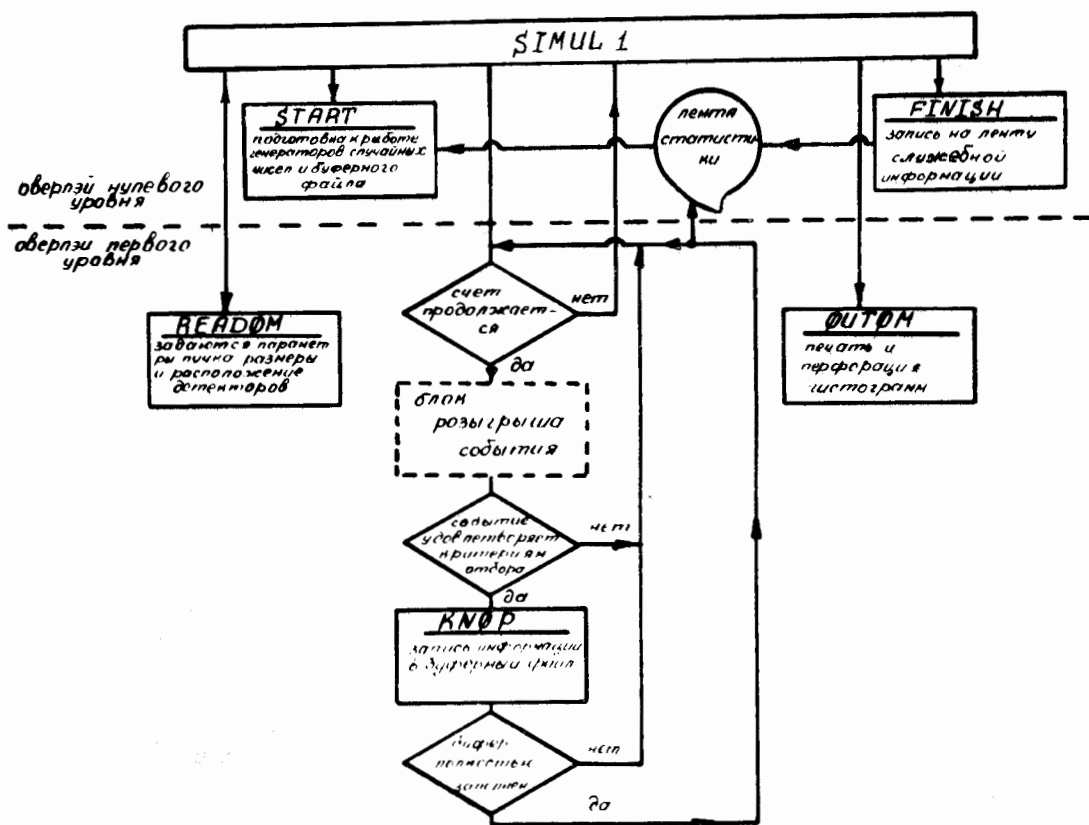


Рис. 3. Блок-схема программы SIMUL 1.

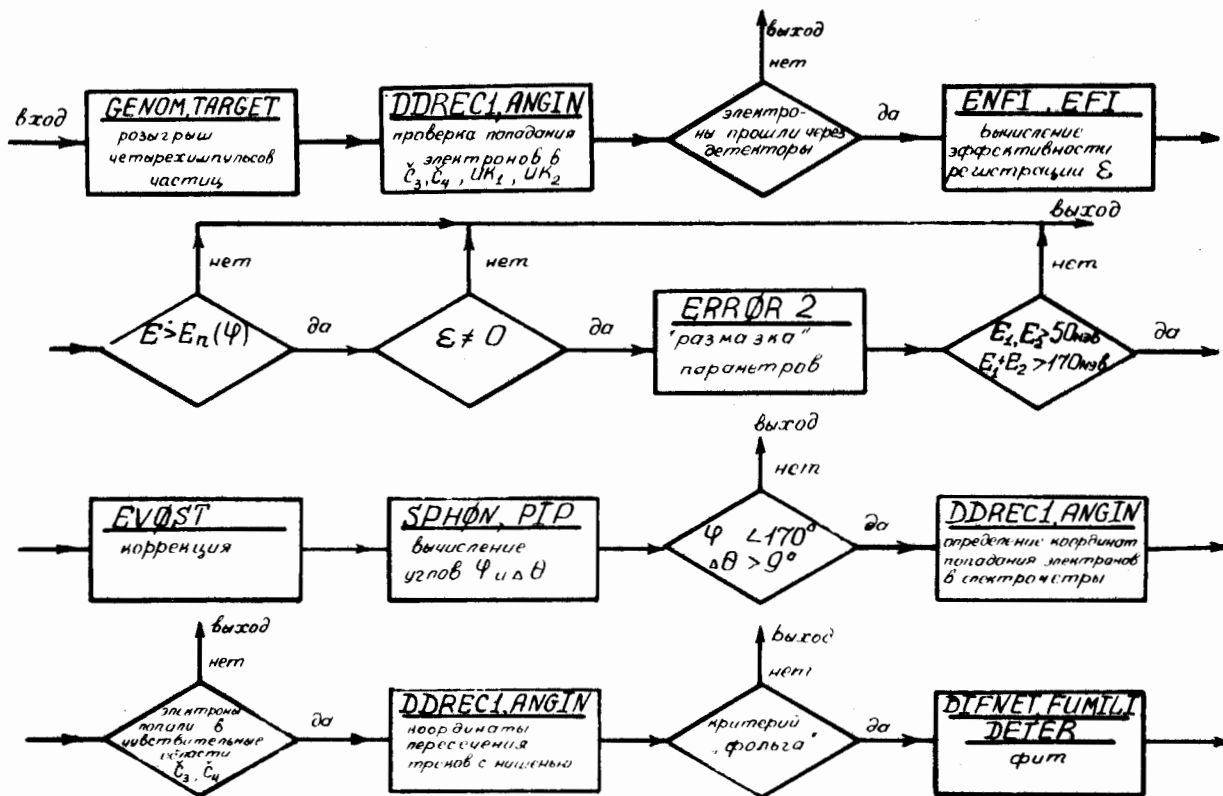


Рис. 4. Структура блока розыгрыша события.

в реакции /1/. При этом используется алгоритм, описанный в<sup>9/</sup> (OMEGA). Координаты точки взаимодействия разыгрывались с учетом реального распределения плотности пучка в мишени<sup>10/</sup>. Розыгрыш искажений, вносимых регистрирующей аппаратурой /“размазка“/, проводился в ERRØR2 в соответствии с описанной выше моделью события. Для получения несмещенных оценок кинематических параметров события “размазанные” таким образом четырехимпульсы корректируются в соответствии с формулой /4/ (EVØST). Для уточнения величин “размазанных” параметров события фитируются (DIFNET, DETER). Оценки параметров находятся из условия минимума квадратичного функционала:

$$\Phi = \frac{(\tilde{P}_\pi - P_\pi)^2}{\sigma_{P_\pi}^2} + \sum_{i=1}^2 \left[ \frac{(\tilde{E}_i - E_i)^2}{\sigma_{E_i}^2} + \frac{(\tilde{\theta}_{x_i} - \theta_{x_i})^2}{\sigma_{\theta_{x_i}}^2} + \frac{(\tilde{\theta}_{y_i} - \theta_{y_i})^2}{\sigma_{\theta_{y_i}}^2} \right] + T \frac{(M_n^2 - M_x^2)^2}{\sigma_{M_x}^2}, \quad /6/$$

где:  $T$  - тяжелый множитель<sup>11/</sup>;  $M_x^2$  - квадрат недостающей массы как функция фитируемых параметров события;  $M_n$  - масса нейтрона;  $\sigma_{M_x}^2$  - среднеквадратичная ошибка в определении квадрата недостающей массы.

Такая форма записи<sup>12/</sup> квадратичного функционала позволила использовать при минимизации стандартную программу FUMILI<sup>13/</sup>. Величина множителя  $T$  подбиралась экспериментально. При этом мы требовали: устойчивости решения<sup>11,14/</sup> /ошибка метода пропорциональна  $1/T$  при  $T \rightarrow \infty$  /; быстрой сходимости задачи /с ростом  $T$  растет время минимизации<sup>15/</sup> /.

Для записи на магнитную ленту отбирались события, удовлетворяющие следующим условиям:

1/ треки электронов, генерированных в реакции, проходят через спектрометры и искровые камеры /событие типа /M//;

2/ энергии электронов больше величины энергетических потерь в веществе установки ( $E > E_{\pi}(\phi)$ );

3/ “размазанные” энергии электронов выше энергетических порогов установки / $E_1, E_2 > 50 \text{ МэВ}$ ,  $E_1 + E_2 > 170 \text{ МэВ}$ /;

4/ угол  $\phi$  между треками электронов меньше  $170^\circ$ ;

5/ угол “неупругости”  $\Delta\theta$  больше  $9^\circ$ ;

6/ электроны попали в чувствительную область спектрометров;

7/ треки электронов не проходят через детали металлического каркаса жидководородной мишени /критерий “фольга“/.

Условия /3/-/7/ вводятся после “размазки”. Они полностью совпадают с критериями отбора, используемыми при обработке экспериментальных данных и, в основном, служат для подавления фона. Критерий /3/ отбрасывает фоновые события, связанные электронами малых энергий<sup>1,2/</sup>, критерий /4/ служит для подавления фона, обусловленного случайными прохождениями через оба боковых телескопа заряженных частиц, не связанных с взаимодействием пучка в мишени. Условие  $\Delta\theta > 9^\circ$  введено для подавления регистрации фонового процесса упругого рассеяния пионов



Для каждого события по известной величине импульса пучкового пиона и по положению трека в  $i$ -той искровой камере /этот трек отождествлялся с протоном отдачи/ восстанавливались кинематические характеристики события реакции /2/ и вычислялся угол  $\Delta\theta_i$  - угол между четырехимпульсом упругого рассеянного пиона и треком в другой искровой камере.

Угол “неупругости”  $\Delta\theta$  определялся по формуле

$$\Delta\theta = \min \{ \Delta\theta_1, \Delta\theta_2 \}. \quad /7/$$

Для каждого отобранного таким образом события на магнитную ленту записываются координаты точки взаимодействия и данные о четырехимпульсах событий до



“размазки”, после “размазки” и коррекции, после фитирования.

Кроме того, для каждого события записывается вес, вычисляемый как произведение двух сомножителей: эффективности регистрации электронов спектрометрами и искровыми камерами и геометрического веса события<sup>9/</sup>. Кинематический вес события, обусловленный неравномерностью розыгрыша реакции /1/ в фазовом объеме<sup>9, 15/</sup>, вычислялся в программе SIMUL2 при дальнейшей обработке событий, разыгранных и записанных на ленту статистики по программе SIMUL1.

В заключение авторы благодарят Л.Л.Неменова за постановку задачи и внимание к работе, и Л.С.Вертоградова, И.Н.Силина за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Ю.К.Акимов, С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов и др. ЯФ, 13, 748, 1971.  
С.Ф.Бережнев, Л.С.Вертоградов, А.В.Демьянов и др. ЯФ, 16, 185, 1972.
2. С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Куликов и др. ЯФ, 17, 85, 1973.  
С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Куликов и др. ЯФ, 18, 102, 1973.
3. А.В.Купцов, и др. ОИЯИ, 13-6275, Дубна, 1972.
4. В.П.Курочкин, Ж.П.Пустыльник, Г.И.Смирнов, Депонированная публ. ОИЯИ, Б1-10-8887, Дубна, 1975.
5. Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. ОИЯИ, Р2-4561, Дубна, 1968.  
Т.Д.Блохинцева, Ю.С.Суровцев, Ф.Г.Ткебучава. ОИЯИ, Р2-8020, Дубна, 1974; ЯФ, 21, 850, 1975.
6. С.Ф.Бережнев, Г.И.Смирнов. ОИЯИ, 1-8944, Дубна, 1975.
7. С.Ф.Бережнев, А.В.Демьянов, А.В.Купцов и др. ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1971.
8. Э.Д.Лапчик и др. ОИЯИ, 10-8172, Дубна, 1974.
9. С.Ф.Бережнев, Л.С.Вертоградов. ОИЯИ, Р11-6175, Дубна, 1971.
10. В.С.Роганов. Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-9-4707, Дубна.
11. В.И.Мороз. ОИЯИ, Р121988, Дубна, 1965.
12. И.М.Иванченко и др. ОИЯИ, Р-2399, Дубна, 1965.

13. И.Н.Силин. Программа Д-520, Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-11-5651, Дубна, 1970.
14. Е.П.Жидков, А.Ф.Лукьянцев. ОИЯИ, Р-1988, Дубна, 1965.
15. И.Н.Силин, С.Н.Соколов. ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1961.
16. Г.И.Копылов. ЖЭТФ, 39, 1091 /1960/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 июня 1975 года.