

10/11  
СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



48406  
B-387

P10 - 7284

3304/2-73

Д. Вестергомби, А.С. Вовенко, Ф. Деак,  
В.В. Кухтин, И.А. Савки

ПРОГРАММА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ  
БЕСФИЛЬМОВОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

**P10 - 7284**

**Д. Вестергомби, А.С. Вовенко, Ф. Деак,  
В.В. Кухтин, И.А. Савин**

**ПРОГРАММА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ ДЛЯ  
БЕСФИЛЬМОВОГО ИСКРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение регенерации нейтральных каонов на водороде /1,2/, дейтерии и углероде в диапазоне импульсов 14-50 Гэв/с осуществлялось с помощью установки, описанной в работах /3,4/. Схема этой установки показана на рис.1. Её основными элементами являются магнит и магнитострикционные искровые камеры /5/. Камеры позволяли регистрировать координаты треков двух заряженных частиц, возникавших от  $V$  - образных распадов нейтральных каонов ("вилка") внутри распадного объема между антисчётчиком и первым рядом годоскопических счётчиков ФЭ. Импульсы распадных частиц определялись с помощью магнита /6/. Наличие в установке детекторов мюонов и электронов позволяло производить идентификацию распадных частиц.

На линии с установкой работала ЭВМ БЭСМ-3М. Информация о каждом событии, отобранном с помощью сцинтилляционных счётчиков /7,8/, записывалась на магнитные ленты (МЛ) для проведения последующей обработки /11/.

В ходе обработки необходимо было по отрезкам прямых линий, вдоль которых в искровых камерах произошли искровые пробои, восстановить траектории движения вторичных частиц и найти координаты вершины распада, а также кинематические характеристики события. Такую реконструкцию осуществляла специальная программа, названная нами "Villa" ("Вилла"), что означает по-венгерски "вилка". В данной работе описывается структура программы "Вилла", логика работы отдельных ее блоков и приводятся результаты исследования эффективности работы программы при поиске событий - распадов нейтральных каонов.

Прежде чем перейти к этим вопросам остановимся кратко на условиях, в которых приходилось осуществлять поиск событий.

В экспериментах по регенерации, где исследуемый эффект имеет малое поперечное сечение, необходимо использовать интенсивный поток падающих частиц. Большая интенсивность приводила к большой загрузке искровых камер. Наиболее загружены были камеры перед магнитом, среднее число искр в которых достигало 4 (две рабочие искры и две - фоновые). Фоновые искры, засорявшие камеры и затруднявшие реконструкцию события, возникали вследствие прохождения через них фоновых частиц и (или) вторичных частиц от взаимодействий падающего пучка с мишенью-регенератором.

Общее представление о характере зарегистрированных установкой событий, геометрию которых должна восстановить программа "Вилла", дают их "фотографии", принятые ЭМ и напечатанные на бумаге с помощью цифрочечатающего устройства (рис.2) <sup>19/</sup>. На фотографиях видно, что для одних событий практически нет фоновых искр, в то время как для других поиск рабочих треков надо осуществлять среди большого количества фоновых искр и треков. Само собой разумеется, что эффективность и скорость поиска и реконструкции событий в этих крайних случаях будут сильно различаться.

На приведенных фотографиях видно, что фоновая загрузка камер, расположенных за магнитом, значительно меньше, чем расположенных перед магнитом. Поэтому процедуру реконструкции события целесообразнее начинать с камер за магнитом.

Логика запуска установки была выбрана такой, чтобы отби-

рать события, когда траектории частиц за магнитом перекрещивались. Однако в небольшой доле случаев установкой регистрировались и такие распады, когда частицы за магнитом расходились еще больше, чем перед магнитом. Программа реконструкции должна находить оба возможных типа распадов.

В общем случае при наблюдении распада каона на две частицы мы должны наблюдать на горизонтальной и вертикальной проекциях по два трека. В некоторых случаях, когда плоскость распада перпендикулярна плоскостям  $XOZ$  или  $YOZ$ , на одной из проекций будет зарегистрирован один трек. Аналогичная картина возникает, когда плоскость распада не перпендикулярна одной из координатных плоскостей, но расстояние между траекториями в проекции меньше разрешающей способности аппаратуры искровых камер (4 мм), определяемой Электроникой. Программа реконструкции должна восстанавливать и такие события.

Реконструкция событий осуществлялась программой в системе координат, начало которой расположено в центре магнита. Направлением оси  $Z$  совпадало с направлением пучка  $K^0$ -мезонов, ось  $Y$  направлена вверх, а ось  $X$  направлена так, чтобы получить правую систему координат. Все 18 искровых камер объединены в шесть блоков по 3 камеры в каждом. Рабочий размер их:  $620 \times 420 \times 8$  мм<sup>3</sup>. Блоки 1, 2, 3 и 4 расположены на оси пучка, а 5 и 6 смещены от оси влево и вправо. Условимся называть одну из распадных частиц частицей А, если она идет через 1, 2, 3, 4 и 5 блоки искровых камер, и частицей В, если она проходит через блоки 1, 2, 3, 4 и 6.

## 2. СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ "Вилла"

Программа "Вилла" состоит из общей части, организующей работу всей программы, и отдельных подпрограмм, выполняющих следующие операции: чтение события с МЛ, декодировку его информации, поиск и реконструкцию события, вычисление кинематических параметров события, запись результатов на вторичные МЛ.

Операция чтения осуществлялась с помощью одной из стандартных программ, входящих в математическое обеспечение ЭВМ, на которой производилась обработка информации.

Подпрограмма декодировки информации в нашем случае довольно сложна, и её необходимость обусловлена спецификой записи первичной информации на МЛ с максимальной плотностью для экономии времени и магнитных лент /9/.

На этапе поиска и реконструкции события в программе используется оригинальный алгоритм. Сначала (см. рис.3) программа осуществляет поиск элементарных треков в блоке. Найденные во всех блоках элементарные треки укладываются на полутраектории до и после магнита. Полутраектории частиц А и В "сходятся" в центре магнита и образуют траектории, и, наконец, ищется пересечение траекторий А и В - вилка внутри распадного объема. До момента поиска вилки реконструкция событий в плоскостях  $XZ$  и  $YZ$  производится независимо.

Использование данного алгоритма основано на особенностях установки, когда камеры расположены блоками, внутри которых расстояние между ними (15 см) много меньше расстояния между блоками.

Успешной работе данного алгоритма способствует также характер рабочих событий, когда направления вторичных частиц от распада каонов высокой энергии составляют малый угол с осью пучка.

## 2.1. Декодировка информации

Подробное описание процедуры декодировки информации дано в /14/. На выходе этой подпрограммы координаты искр занесются в COMMON -поле. X-и Y - координаты искр при этом вычисляются в микронах для того, чтобы почти до конца программы работать с целыми числами, операции с которыми требуют на ЭВМ меньше времени, чем с реальными. Z - координаты искр и элементов траекторий вычисляются в миллиметрах, и, следовательно, углы наклона треков оказываются выраженными в миллирадианах.

## 2.2. Поиск элементарных треков ( подпрограмма SST )

Для нахождения элементарного трека программа требует наличия двух или трех искр, лежащих на одной прямой, угол наклона которой к оси пучка не превышает заданной величины. Угол наклона трека в плоскости YZ определяется расстоянием первой камеры от магнита и высотой его зазора ( $\pm 12,5$  см) и не превышает  $\pm 20$  мрад. Минимальные и максимальные наклоны треков для разных блоков в XZ - плоскости не превышали  $\pm 150$  мрад.

Подпрограмма SST сначала ищет элементарные треки с тремя искрами в блоке.

При поиске таких треков, помимо ограничения по углу, налагается дополнительное условие, которое сводится к тому, что отклонение координат средней искры от прямой, проходящей через координаты двух крайних, должно быть не больше величины  $NLINS$  .

Поскольку эффективность искровых камер около 90%, то необходимо также искать элементарные треки, состоящие из 2 искр. При этом отбираются такие пары, которые не были ещё использованы ни в одном из предыдущих треков и которые удовлетворяют тем же угловым критериям.

После нахождения какого-либо элементарного трека программа не устраняет из массива координат искр те искры, координаты которых легли на найденные треки. Это позволяет, в принципе, находить треки, пересекающиеся в камерах, и повышает эффективность поиска событий, но понижает скорость работы программы.

Подпрограмма SST на выходе представляет информацию об элементарном треке в виде координат его центра тяжести и угла наклона к оси Z.

### 2.3. Поиск полутраекторий ( подпрограмма CONCORDE )

Эта подпрограмма ищет такие прямые, на которые укладываются элементарные треки.

До магнита подпрограмма CONCORDE ищет сначала полутраектории, состоящие из трех элементарных треков. Как и в подпрограмме

SST, тройка точек образует прямую ( под точкой здесь подразумеваем координату центра тяжести в элементарном треке), если она удовлетворяет условию линейности и угла. Условие линейности означает, что отклонение средней точки, представляющей элементарный трек в блоке M, от прямой, проходящей через крайние точки, не больше чем  $NLINE$ . Условие угла формулируется так:



наклоны элементарных треков отличаются не более чем на величину  $\Delta\alpha$  (рис.4).

После того, как подпрограмма нашла всевозможные полутраектории из троек элементарных треков, она переходит к поиску полутраекторий, состоящих только из двух элементарных треков. Поскольку траектории А и В проходят через четвертый блок, то элементарные треки, найденные в этом блоке, сканируются дважды.

Конечные параметры найденных полутраекторий определяются следующим образом. Наклон полутраектории к оси Z равняется наклону прямой, проведенной через точки, представляющие крайние элементарные треки. Уравнения прямых берутся в форме  $X = mZ + b$ ,  $Y = nZ + c$ . Параметр  $b$  определяется при проведении прямой через центры тяжести точек, представляющих элементарные треки. С полученными параметрами  $m$  и  $n$  делается последняя проверка условия линейности, определяется  $ERR$  - среднее отклонение от найденной прямой координат всех искр, лежащих на полутраектории. Полутраектория считается найденной, когда среднее  $ERR$  меньше, чем величина  $MAXERR$ .

Наличие фоновых искр довольно часто приводит к тому, что вместо одной реальной полутраектории находятся дополнительно одна или больше, которые мало отличаются от реальной. Для уменьшения числа таких случаев в программу было введено дополнительное условие отбрасывания полутраектории с большим значением  $ERR$ , если  $|m - m_2| < \epsilon_A$ ,  $|n - n_2| < \epsilon_B$ .

#### 2.4. "Сшивание" полутраекторий треков ( подпрограмма $\mu$ )

При энергиях в десятки Гэв, когда углы траекторий с осью

канала и углы поворота в магните малы и не превышают нескольких градусов, удается сшить полутраектории до и после магнита с помощью простейшего алгоритма. Оказывается, что если продолжить прямые участки полутраектории вне магнитного поля в область внутри магнита, то в горизонтальной плоскости с большой точностью они пересекают друг друга в центре магнита. В вертикальной плоскости, если пренебречь малой дефокусировкой, полутраектории практически лежат на одной и той же прямой, как до магнита, так и после.

Условие сшивания полутраекторий в горизонтальной и вертикальной плоскостях в программе выглядит так:

$$\Delta b = |b_{g_0} - b_{\text{после}}| < X_D \text{ (XZ нр.)}; |m_{g_0} - m_{\text{после}}| < FID \text{ (YZ нр.)}$$

## 2.5. Реконструкция вилки ( подпрограмма YZERO)

Для нахождения вилки и её параметров мы имеем по два уравнения прямых для траекторий частиц А и В в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В принципе, спаривание X-и Y-координат этих траекторий в пространстве неоднозначно, и можно получить два решения. Однако в нашем случае неопределенность устраняется благодаря тому, что траектории А и В разделяются в 5 и 6 блоках камер.

Таким образом, мы имеем

$$X^A = m_x^A Z + b_x^A ; \quad X^B = m_x^B Z + b_x^B ;$$

$$Y^A = m_y^A Z + b_y^A ; \quad Y^B = m_y^B Z + b_y^B .$$

Вследствие экспериментальных ошибок в определении параметров  $m$  и  $b$  эти пары представляют собой уравнения скрещивающихся прямых ( рис.5) даже в том случае, когда найденные траектории действительно принадлежат лучам вилки.

Назовём точкой распада  $K^0$ -мезона, или вершиной искомого вилки, ту точку с координатами  $(X_0, Y_0, Z_0)$ , для которой величина  $S$  — сумма квадратов отклонений точки  $(X_0, Y_0, Z_0)$  от траекторий на  $XZ$ -и  $YZ$ -проекциях — минимальна:

$$S = [X_0 - (m_x^A Z_0 / b_x^A)]^2 + [Y_0 - Y^A]^2 + [X_0 - X^B]^2 + [Y_0 - Y^B]^2 = \min.$$

Если считать, что все 4 уравнения для А и В имеют одинаковый вес, то легко найти решение:

$$Z_0 = \frac{(m_x^A - m_x^B)(b_x^B - b_x^A) + (m_y^A - m_y^B)(b_y^B - b_y^A)}{(m_x^A - m_x^B)^2 + (m_y^A - m_y^B)^2};$$

$$X_0 = \frac{1}{2} [(m_x^A + m_x^B) Z_0 + b_x^A + b_x^B];$$

$$Y_0 = \frac{1}{2} [(m_y^A + m_y^B) Z_0 + b_y^A + b_y^B];$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \frac{[(m_x^A - m_x^B)(b_y^B - b_y^A) - (m_y^A - m_y^B)(b_x^B - b_x^A)]^2}{(m_x^A - m_x^B)^2 + (m_y^A - m_y^B)^2}.$$

При этом оказывается [14], что параметр  $S$  связан с расстоянием минимального сближения  $\lambda$  между двумя скрещивающимися прямыми простым соотношением

$$\lambda = \sqrt{2S},$$

а точка  $(X_0, Y_0, Z_0)$  находится на одинаковых и минимальных расстояниях от пересекающихся прямых.

Мы уже отмечали, что есть события, когда плоскость распада каона перпендикулярна одной из координатных плоскостей. Для таких событий

при свивании полутраекторий в магните возникли трудности в спаривании X-и Y-координат траекторий А и В, а параметры вилки имели систематические ошибки и неоднозначности. При обработке экспериментальных данных по регенерации на водороде <sup>1,2/</sup> и углероде в условиях геометрии 2 <sup>х)</sup> программа в этом случае принимала только одно решение с наименьшим значением параметра  $S$ , если оно было меньше  $10 \text{ см}^2$ . Как мы увидели при более детальном исследовании работы программы, это не совсем корректно. Поэтому при дальнейшей обработке данных на дейтерии и углероде в геометрии I ограничения событий по параметру  $S$  были сняты. При этом на ленте суммарных результатов (ДСТ) записывалось как отдельные события каждое из возможных решений и ставилась специальная метка, указывающая на то, что для этого события решение найдено не однозначно. Последнее возможное решение для данного события показывало число всех возможных решений.

Анализ событий, имеющих несколько возможных решений для координат вилки, а также отбор событий по параметру  $S$  проводились с помощью специальной статистической программы. Метод выбора правильного решения среди множественных решений будет обсуждаться в следующих главах.

## 2.6. Выходные данные программы "Вилла"

После геометрической реконструкции вилки специальная подпрограмма определяла импульсы частиц А и В, суммарный вектор-импульс частиц, эффективную массу и прочие кинематические характерис-

---

х) Геометрия I и геометрия 2 соответствуют длине распадной зоны 6 и 9 метров соответственно.

тики события и записывала результаты на ДСТ ( всего 25 слов на событие). Формат ДСТ дан в /14/.

При определении импульса частиц использовалось приближение эффективной длины для магнита. Измерения магнитного поля показали /6/, что в области  $-45 < X < 45$  см эффективная длина с точностью 1-2% не зависит от X. Поэтому в программе считалось, что величина  $H\ell$  - константа ( H - магнитное поле, а  $\ell$  - эффективная длина. Коррекции импульсов, связанные с этим допущением, могут быть внесены на уровне статистического анализа событий. При обработке информации в условиях геометрии 1 величина  $H\ell$  была равна 20,72 кгс.м. (2,072 вебер/м), в геометрии 2 соответственно 25,344 кгс.м. (2,5344 вебер/м).

При обработке данных по регенерации необходимо вычисление угла вылета регенерированного каона по отношению к направлению падающего каона. Этот угол  $\theta$  можно определить, зная координаты мишени-источника каонов и точки распада в одной системе координат:

$$\cos \theta = \frac{\vec{r} \cdot \vec{p}}{|\vec{r}| \cdot |\vec{p}|} ,$$

где  $\vec{p}$  - вектор-импульс влетающего каона в системе координат "Вилли", а  $\vec{r}$  - вектор, соединяющий мишень-источник каонов в камере ускорителя и точку распада.

Если при вычислении  $\theta$  подставить неправильные значения координат мишени в общей системе координат, то распределение когерентных двухионных события по углу  $\theta$  будет существенно шире, чем при правильной.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ ДЛЯ ПРОГРАММЫ РЕКОНСТРУКЦИИ

Координаты искр, по которым реконструировались события, регистрировались в системах координат, жестко связанных с каждой камерой. Направления осей X и Y в этих системах совпадали с направлениями осей общей лабораторной системы (см. рис. 1).

Для успешной реконструкции событий необходимо было прежде всего определить параметры преобразования для перехода от систем координат, связанных с отдельными искровыми камерами, в общую систему координат, в которой работала программа "Вилла". Непосредственное геодезическое измерение расположения искровых камер по X-и Y-координатам с точностью до десятых долей миллиметра сопряжено со значительными техническими трудностями. Кроме того, в эксперименте происходят планируемые и непланируемые смещения отдельных искровых камер. Поэтому надежный способ получения параметров, характеризующих координатную систему установки, состоит в использовании треков зарегистрированных частиц.

В случае данной установки имеется две системы координат:

- 1) система координат, в которой работает программа "Вилла";
- 2) общая лабораторная система координат, в которой расположен сам спектрометр и мишень ускорителя. Эти две системы координат могут не совпадать друг с другом.

Расположение камер в системе координат программы можно найти отдельно для камер, установленных до и после магнита. Для этого необходимо иметь распределение отклонений искр в каждой камере

от соответствующей полутраектории, найденной программой реконструкции. Наличие магнитного поля затрудняет приведение всех камер до и после магнита в одну систему координат.

Связь между системой координат программы "Вилла" и общей лабораторной системой координат может быть найдена по форме и положениям центров распределений X-и Y - координат вершины вилки, реконструированных программой. Ширина и форма распределений должны соответствовать размерам коллиматора. Центры распределений должны совпадать с осью пучка. Еще один критерий для связи систем координат можно получить, сравнивая распределения X-и Y-координат точек вылета  $K^0$ -мезонов из внутренней мишени ускорителя. Эти распределения получаются путем экстраполяции направления суммарного вектора-импульса частиц A и B от вершины вилки до плоскости внутренней мишени. Центры этих распределений должны совпадать с координатами мишени в общей системе, хорошо известными из геодезических измерений.

### 3.1. Определение сдвигов систем координат

При встировке спектрометра камеры устанавливались перпендикулярно оси пучка и параллельно между собой. Таким образом, считается, что отсутствуют повороты X-и Y - осей координат каждой камеры относительно общей системы координат. С физической точки зрения ясно, что, используя прямые треки, проходящие через N камер, можно найти сдвиги N-2 отдельных камер относительно системы координат, связанной с любой (реперной) парой камер, не входящих в число N-2. Находя эти сдвиги можно осуществить встировку камеры в системе координат "Виллы".

Оказывается, что значения сдвигов определяются средним значением следующей величины :

$$d_k = X_k - X_k^{\text{репер}}$$

Здесь  $X_k$  - измеренное значение  $X$  - координаты точки  $(X_k, Z_k)$  в системе данной камеры, а  $X_k^{\text{репер}}$  - вычисленное значение  $X$  - координаты точки  $(X_k^{\text{репер}}, Z_k)$ , лежащей на прямой, проведенной через координаты пары искр в реперных камерах. Законность такой процедуры определения сдвигов подтверждается точным математическим расчётом /14/.

Процедура определения сдвигов может быть выполнена двумя способами. В первом случае могут быть использованы рабочие события, полученные при наборе статистики по регенерации каонов при включенном магните спектрометра. Сдвиги до и после магнита определяются независимо для блоков камер 1+3; 4-5; 4-6. Затем при сшивании полутраекторий частиц А и В в магните можно совместить системы координат до и после магнита за счёт параллельного переноса, добившись, чтобы величина  $\Delta \mathcal{B}$  (разность параметров " $\mathcal{B}$ " для полутраекторий до и после магнита) равнялась нулю. При этом остаётся возможность, что эти две системы координат (до и после магнита) будут иметь некоторый небольшой угол между собой (по оценкам не более 0,2 мрад).

Нами использовался также и другой способ определения сдвигов. Для этого требовалась специальная экспозиция установки с размагниченным магнитом СП-40 и специальным триггером на прямое прохождение частиц через блоки 1+4,5 или 1+4,6.



В этом случае удастся найти сдвиги всех камер относительно ИК1 и ИК1В. Результаты такого подхода к определению сдвигов изложены в работе<sup>/13/</sup>, и они хорошо совпадают с результатами, полученными первым способом.

### 3.2. Переход в общую систему координат

Переход в общую систему координат по сравнениям X-и Y -распределений точек вылета каонов из внутренней мишени осуществляется за счёт параллельного переноса и поворота осей координат. В XZ-плоскости преобразование к общей системе координат осуществляется по формуле

$$X^{общ.} = (X^{VILLA} - \alpha_x) + Z \cdot \alpha_x ,$$

а в YZ - по формуле

$$Y^{общ.} = (Y^{VILLA} - \alpha_y) + Z \cdot \alpha_y .$$

Значения параметров преобразования для перехода из одной системы координат в другую получаются при условии, чтобы мишень-источник каонов в общей системе имела координаты  $X^{общ.} = +1,0$  см,  $Y^{общ.} = 0,0$  см, как это следует из геодезических измерений.

После этого проверяется совпадение экспериментальных и моделированных методом Монте-Карло X-и Y - распределений вторичных частиц из распадов каонов. Распределения берутся в нескольких плоскостях при разных Z.

### 3.3. Определение других констант

Для работы программы реконструкции необходимо также определение численных значений ряда констант, таких, как FID, XD, MAXERR, NLINC, NLINS и т.д.

Эти константы были определены по экспериментальным распределениям. Численные значения важнейших констант, использованных при обработке данных, приведены в таблице I.

#### 4. ПРОВЕРКА РЕКОНСТРУКЦИИ ПОЛУТРАЕКТОРИЙ

##### 4.1. Программа моделирования

Для проверки эффективности "Вилли" была написана специальная программа моделирования событий *MONLIN*. В этой программе при моделировании полутраекторий учитывалась эффективность искровых камер и точность локализации искры вдоль трека. Для приближения моделированных событий к реальным в программе существовала возможность случайным образом генерировать дополнительно фоновые искры в каждой камере равномерно по всему объему и фоновые треки, идущие из распадной области.

Реконструкция моделированных полутраекторий производилась с помощью подпрограмм *SST* и *CONCORDE*. Проверка эффективности треков производилась только для  $X$  - проекции, поскольку для  $Y$  - проекции ожидалась полная аналогия.

Так как в программе "Вилли" использовался приближенный метод определения параметров полутраекторий  $m$  и  $\delta$  (см. раздел 2.3), то было произведено сравнение результатов, даваемых этим методом, с результатами, даваемыми методом наименьших квадратов. На рис. 6а, б и 7а, б приведены гистограммы разности параметров  $m$  и  $\delta$  соответственно, взятой в случае а) между истинным значением данного параметра, известным при моделировании, и значением, полученным с помощью процедуры "Вилли," а в случае б) - между значениями параметров, полученными

методом "Вилла" и с помощью стандартной процедуры наименьших квадратов.

Эти рисунки показывают, что метод определения параметров полу-траекторий, использованный в "Вилле", даёт практически те же результаты, что и метод наименьших квадратов.

Из рис.8, где приведены средние отклонения искр от прямых, найденных разными методами, ясно видно, что использованная в нашей программе для отбора полутраекторий величина  $ERR = 0,4$  мм ( см.гл.2.3) практически совпадает с величиной, определенной методом наименьших квадратов, и обе они совпадают с экспериментальным значением (рис.8в), если считать, что искры локализируются вдоль трека частицы с точностью  $\pm 0,75$  мм. Отбор событий по величине  $MAXERR = 1600$  мк соответствует  $\chi^2 \approx 24$  при 6 степенях свободы.

#### 4.2. Эффективность поиска элементарных треков

Неэффективность обнаружения элементарных треков определяется в основном неэффективностью искровых камер. В эксперименте эффективность искровых камер составляла величину от 80% до 95% в зависимости от их расположения на пучке, уровня фона и т.д. Как правило, эффективность камер повышается по мере удаления камер от мишени-регенератора. Это увеличение эффективности камер связано с уменьшением фона вследствие очищающего действия магнитного поля и удаления от источника.

Если считать, что отсутствуют корреляции в эффективностях искровых камер, то величина  $q$  - вероятность нахождения элементарного трека, состоящего по крайней мере из 2 искр, - выражается через эффективность искровой камеры  $\varepsilon$  следующим образом:

$$q = \varepsilon^2 + 2\varepsilon^2(1-\varepsilon) . \text{ При } \varepsilon = 0,90 \text{ величина } q = 0,97, \text{ а при}$$

$\epsilon = 0,80$  соответственно  $q = 0,90$ . Таким образом, эффективность регистрации элементарного трека составляла величину от 0,90 до 1,00 в зависимости от номера блока.

Некоторая возможная неэффективность поиска элементарных треков заложена в подпрограмме SST, где имеется формальное ограничение на число элементарных треков:  $N < 25$ . Это ограничение необходимо с программной точки зрения для того, чтобы не происходило переполнения массивов. Нами было исследовано распределение числа элементарных треков в разных блоках искровых камер как в моделированных событиях, так и в реальных. Из моделирования следовало, что при наличии в каждом зазоре двух фоновых искр и трех искр, принадлежащих реальным событиям, максимальное число элементарных треков не превышало 10 (см. /14/). Такая же ситуация имела место и для реальных событий в 1 + 3 блоках камер. Наибольшее число элементарных треков наблюдалось для 4 блока камер в X- проекции. Это обусловлено тем, что расстояние между камерами в блоке довольно велико ( 75 см ) и углы треков достигают 150град. Тем не менее и в этом случае не встречалось событий с числом элементарных треков более 10.

#### 4.3. Эффективность поиска полутраекторий

Эффективность поиска полутраекторий определяется эффективностью поиска элементарного трека в блоке и числом блоков, используемых для определения параметров полутраектории. Вероятность обнаружения полутраектории (P) до магнита связана с вероятностью обнаружения элементарного трека q соотношением  $P = q^3 + 3q^2(1-q)$ . Оценки показывают, что при  $q = 0,90$  величина  $P = 0,97$ , а при

$q = 0,97$  соответственно  $P = 0,99$ .

Таким образом, экспериментальные эффективности искровых камер обеспечивают практически 100%-ную эффективность обнаружения полутраекторий до магнита.

За магнитом, где используется только 2 блока камер, мы имеем соответствующую эффективность  $P = q^2$ . Поскольку после магнита эффективность камер около 95%, то  $q = 0,99$  и  $P = 0,98$ .

Для проверки влияния фона на эффективность реконструкции события были смоделированы траектории, принадлежащие вилке, и дополнительные фоновые траектории, пересекающие одну из первых под углом 2-7 мрад. Результаты реконструкции событий в этих условиях приведены в табл. 2, откуда видно, что эффективность обнаружения полутраекторий близка к расчетной величине.

В таблице 3 приведены данные об эффективности поиска элементарных треков в условиях, когда в каждой камере смоделированы фоновые случайные искры в количестве до 4, и "полезные", принадлежащие трем реальным трекам. Как видно из этой таблицы, случайные искры практически не влияют на реконструкцию линейных треков.

Из таблицы 3 видно, также, что параметры *NLINC* и *NLINS* практически не влияют на эффективность нахождения событий, но заметно влияют на число множественных решений. При более строгих значениях этих параметров число множественных решений уменьшается на одну треть при увеличении загрузки камер до 6-8 искр на зазор.

Совокупность проведенных исследований эффективности поиска событий показывает, что следует ожидать высокой эффективности реконструкции реальных событий, зарегистрированных нашей установкой. Эта эффективность мало зависит от числа реальных треков и фоновых искр при вариации фона в разумных пределах.

## 5. ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ С УЧЕТОМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОШИБОК

### 5.1. Программа "Твист"

Проделанные выше проверки эффективности поиска событий основывались на моделированных событиях, координаты которых не искажались экспериментальными ошибками. При проверке эффективности реконструкции событий, приближающихся к реальным, необходимо было учесть, что распадающиеся частицы при прохождении через вещество испытывают многократное рассеяние, а координаты искр, записанные на МЛ, содержат экспериментальные ошибки. Эти факты в той или иной степени приняты во внимание /15/ в специальной программе "Твист".

Программа "Твист" в качестве входной информации использовала записанные на магнитной ленте случаи распадов каонов, моделированные без учета ошибок. После учета указанных выше фактов, программа включала алгоритм поиска событий программы "Вилла".

Правильность моделирования различных экспериментальных условий в программе "Твист" проверялась путем сопоставления экспериментальных и полученных методом Монте-Карло распределений по отклонению искр от фитированной прямой (см. рис.9), по параметру  $\Delta b$  - шивания треков в магните (см. рис.10), по различию

в наклоне треков в вертикальной плоскости до и после магнита (см. рис. II).

Рассмотрение этих рисунков показывает, что экспериментальные и моделированные распределения достаточно близки, в особенности для случая, когда в программе "Темст" точность локализации искр в камерах разыгрывалась равномерно в пределах  $\pm 0,75$  мм.

#### 4.2. Исследование эффективности реконструкции близких траекторий

При реконструкции вылоков, вторичные частицы которых в одной из проекций дают в искровых камерах близкие треки, встретились наибольшие затруднения. Они обусловлены тем, что искровая камера со отрицательным съёмом информации в нашем случае не разрешает двух соседних искр, если расстояние между ними меньше 3-5 мм. Как показало моделирование, около 10% всех двухпиконных вылоков попадало в этот класс событий, причем большинство из них имело такую конфигурацию, что плоскость распада была параллельна горизонтальной плоскости спектрометра (так называемые "плоские вылоки"). Для таких событий близкие значения координат получались в У-проекции.

Для исследования эффективности реконструкции плоских вылоков можно рассмотреть распределение событий по величине  $\Delta Y$  -разности У-координат двух треков при фиксированном Z. Например, на рис. I2a, б показаны распределения величины  $\Delta Y$  на 9 камере для реальных и моделированных событий. При моделировании считалось, что если две искры имеют  $\Delta Y \in LIMX = 4$  мм, то регистрируется только одна искра с меньшей координатой. Из этих рисунков

видно, что, с одной стороны, практически нет вилок, для которых  $\Delta Y < 4$  мм, а с другой стороны, имеется пик при  $\Delta Y = 0$ . Пик при  $\Delta Y = 0$  обусловлен такими вилками (первый класс плоских вилок), когда в  $YZ$  - плоскости перед магнитом зарегистрирована только одна полутраектория, а за магнитом - две и обе они сшиваются с единственной полутраекторией перед магнитом. В этих случаях решение системы уравнений для определения точки распада всегда даёт  $S = 0$ . Этот класс плоских вилок достаточно хорошо учитывается методом Монте-Карло за счет подгонки параметра  $LIM\chi$ .

Второй класс плоских вилок представляют вилки, полутраектории которых во 2 и 3 блоках камер перед магнитом разрешаются, а в первом блоке - нет. При этом происходит деформация одной из полутраекторий, в результате чего или не удается получить сшивание в магните, или же получается величина  $S > 10$ . В тех случаях, когда применялся критерий отбора вилок  $S < 10$ , то вилки этого класса отсутствовали как в эксперименте, так и при моделировании.

Третий класс плоских вилок соответствует одной полутраектории в  $YZ$  - плоскости до магнита и двум полутраекториям после магнита, как и для первого класса. Но в этом классе полутраектория до магнита сшивается только с одной полутраекторией за магнитом.

#### 4.3. Общая эффективность обнаружения вилок

Если считать, что эффективность искровых камер перед магнитом 90%, а после магнита 95%, то оценки по приведенным выше



формулам показывают, что следует ожидать 6-7% потерь событий из-за недостаточного для реконструкции числа искр на элементарных треках. При эффективности всех искровых камер 90% подобные оценки дают 21-22% потерь событий. Программа "Твист" дала в двух этих случаях эффективность реконструкции событий соответственно 90% и 73%. Эти цифры достаточно хорошо согласуются с теоретическими оценками, если принять во внимание, что часть событий пропадает за счет обрываний по  $S$ ,  $XD$ ,  $FID$ ,  $MAXERR$  и  $\Delta Y$ .

Эффективность программы реконструкции не влияет на физический результат эксперимента по регенерации, поскольку среди событий, зарегистрированных установкой, есть внутренний монитор: трехчастичные распады долгоживущих каонов. При поиске этих распадов используется та же процедура реконструкции, что и для двухпионных распадов. Наконец, при моделировании распадов и вычислении эффективности установки снова применяется алгоритм "Виллы", что позволяет учесть практически все недостатки программы реконструкции и существенно приблизиться к реальной действительности.

##### 5. МНОЖЕСТВЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

При поиске вилок примерно в 15% случаев получается не одно решение для вилки, а несколько. Для примера в таблице 4 приведено полученное для случая регенерации на дейтерии (на статистике около 300000) распределение событий по числу решений. Из таблицы видно, что 83% всех событий имели единственное решение, 11,7% имели два решения и 5,3% - 3 или больше решений.

Для выяснения причин возникновения нескольких решений и нахождения критериев выбора правильного решения было внимательно проанализировано 400 событий, полученных в экспериментах на водороде.

Анализ показал, что в основном имеется 4 типа событий, приводящих к появлению двойных решений (рис.13):

- 1) вилка сопровождается фоновой частицей;
- 2) до магнита имеется 3 полутраектории (из которых две - очень близки), отличающиеся на 1-2 искры;
- 3) после магнита имеется 3 полутраектории, из которых две - очень близки по своим параметрам;
- 4) "плоские" вилки первого класса.

В таблице 5 приведено распределение числа двойных решений для указанных 4 типов событий.

Для двойных решений типа 1 и 2 хорошим критерием выбора правильного решения является величина  $S$ , которая в этом случае имеет меньшее значение. Действительно, неправильное решение для вилки, один из треков которой деформирован, должно давать большую величину параметра  $S$ . При образовании вилки из фонового и рабочего трека вообще маловероятно получение малого значения  $S$ . Мы проверили 33 события с двойными решениями типа 1 и 2 и не нашли ни одного, для которого правильное решение характеризовалось бы большим значением  $S$ .

Для двойных решений типа 3, где имеется деформированный трек за магнитом, оба решения имеют одинаковое  $S$ . В этом случае можно попытаться найти правильное решение, исходя из минимального значения для величины  $XD$ . Если будет выбрано неправильное решение, то оно будет иметь ту же  $Z$  - координату вершины вилки, что и

правильное решение, но несколько отличный от правильного вектор-импульс раславшегося каона и Эффективную массу двух заряженных частиц.

Двойные решения 4 типа возникают только для плоских вилок, когда параметры полутраекторий очень мало отличаются, и при выборе даже неправильного решения параметры вилки мало отличаются от параметров правильного решения.

Различие в эффективной массе, даваемое двумя решениями, когда критерий  $S$  не позволяет выбрать среди них правильное, невелико. Из 13 таких событий<sup>х)</sup> только 4 имели различие в эффективных массах более чем  $2,5 \text{ Мэв}/c^2$ .

Таким образом, для двойных решений типа 3 и 4 можно брать любое из решений, поскольку в 70% случаев любое из них мало отличается от правильного, а из всех событий с неоднозначными решениями в 90% случаях условие минимальности  $S$  приводит к выбору правильного решения.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что оригинальный алгоритм поиска событий, использованный в программе геометрической реконструкции "вилла", обеспечивает их эффективное нахождение.

Программа оптимизирована по времени. Среднее время обработки одного события составляло 0,6 сек на ЭММ СДС-1604А и 0,3 сек на ЭММ СДС-3300. При обработке достигалось уплотнение информации в 5 раз. ( Результаты обработки 5 первичных лент занимали 1 ДСТ

---

х) 7 типа 3 ( таблица 5) и 6 типа 4.

при плотности записи 556 бит/длин). Всего по геометрической программе обработано около  $4 \times 10^6$  событий (400 лент стандарта СДС).

Данный вариант программы может быть с успехом применен в других аналогичных экспериментах.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 июля 1973 года.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. V.K.Birulev et al. Phys.Letters 38B, 452 (1972).
2. V.K.Birulev et al. JINR, B1-6851, Дубна, 1972.
3. С.Г.Басиладзе и др. ОИЯИ, P1-536I, Дубна, 1970.
4. Т.С.Григалашвили и др. ОИЯИ, P3-5324, Дубна, 1970.
5. Г.В.Заневский и др. ОИЯИ, P3-5323, Дубна, 1970.
6. А.С.Вовенко и др. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б1-1-7039,  
1973.
7. В.К.Бирулёв и др. ОИЯИ, 1-6660, Дубна, 1972.
8. В.К.Бирулев и др.ОИЯИ, 1-6665, Дубна, 1972.
9. А.И.Барановский и др. ОИЯИ, 10-648I, Дубна, 1972.
10. В.К. Бирулёв и др.Депонированное сообщение ОИЯИ,  
Б1-1-7053, Дубна, 1973.
11. А.С.Вовенко и др. Депонированное сообщение ОИЯИ, Б2-13-4544,  
1969.
12. И.М.Иванченко и др. Депонированное сообщение ОИЯИ,  
Б1-10-5502, 1971 .
13. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, P-5397, Дубна, 1970.
14. Д.Вестергомби и др. Депонированное сообщение ОИЯИ  
Б1-1-7111 , 1973.
15. В.К. Бирулев и др. ОИЯИ, P1-6872, Дубна, 1973.

Таблица I. Численные значения важнейших констант, использованных в программе "Вилла" при обработке данных по регенерации на дейтерии /10/

Параметр	Подпрограмма	Значение
RLINS	SST	1500 мк
RLINC	CONCORDE	3000 мк
RLCEN	CONCORDE	2000 мк
FA	CONCORDE	1 мрад
Fβ	CONCORDE	5000 мк
HSL	CONCORDE	12 мрад
KSL	CONCORDE	15 мрад
LMAG	PV	12,672 кгаусс
XD	MAGPAIR	4500 мк
FID	MAGPAIR	3 мрад
CHI(σ <sub>max</sub> )	VZERO	100000 мм <sup>2</sup>
ZPBG	FINPAR	-1523.1 см.

Таблица 2. Зависимость эффективности нахождения полутраектории от эффективности искровых камер. Расчёты методом Монте-Карло

Эффективность искровых камер	95%	90%	85%	80%
Число случайных (фоновых) искр	I	I	I	I
Число фоновых треков	I	I	I	I
Эффективность нахождения треков	99,6%	98,9%	98,9%	95,7%
"Теоретическая" эффективность поиска	99,999%	99,77%	98,5%	96,9%
Вероятность множественных решений	I%	I%	I%	I%

Таблица 3. Зависимость эффективности нахождения полутраекторий от числа случайных фоновых искр. Расчёты методом Монте-Карло

Эффективность искровых камер	NLINS = NLINC = 3000 МК			NLINS = 4000 МК	NLINC = 2000 МК	
	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Число случайных искр	I	2	4	0	2	4
Число фоновых треков	I	I	I	2	2	2
Эффективность нахождения треков	98,9%	99,1%	99,1%	98,7%	98,8%	98,8%
Вероятность множественных решений	I%	I,5%	I,5%	0,5%	0,5%	0,5%

Таблица 4. Распределение множественных решений.

Число решений	Вероятность
1	83,05%
2	11,65%
3	1,05%
4	3,04%
5	0
6	0,55%
7	0,03%
8	0,63%

Таблица 5. Типы двойных решений и частота их появления в наборе из 55 экспериментальных событий, просмотренных визуально по распечаткам событий на АЦПУ

Номер типа	Тип события	Число
1	Вилка сопровождается фоновой частицей	11
2	До магнита имеются 3 полутраектории, но 2 из них очень близки, отличаются на 1-2 искры	21
3	После магнита 3 полутраектории, из которых 2 очень близки	17
4	"Плоские" вилки, когда одна (или обе) из вертикальных полутраекторий до магнита сшивается с любой из двух полутраекторий за магнитом	6



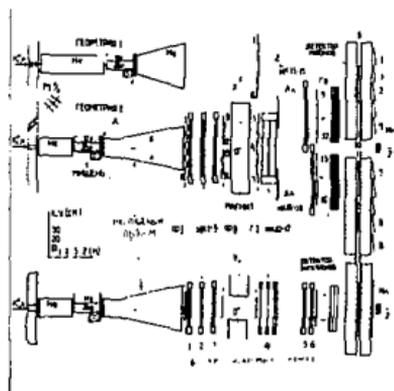


Рис.1. Схема установки для изучения регенерации  $K^0$ -мезонов.

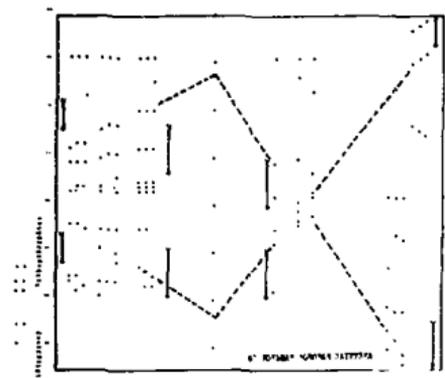
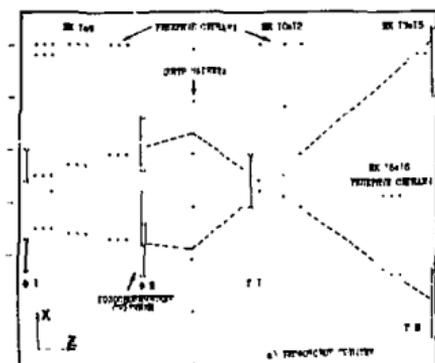


Рис.2а,б. Фотографии типичных событий, зарегистрированных установкой.

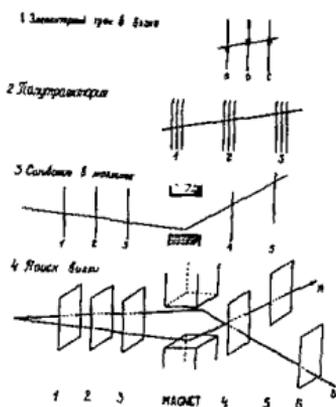


Рис. 3. Этапы работы программы реконструкции.

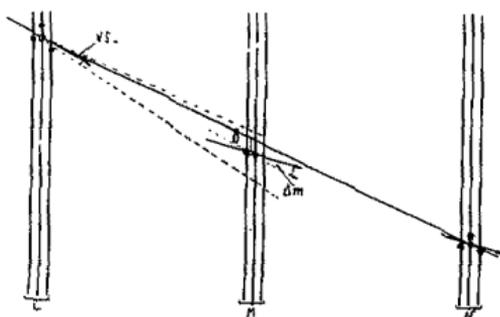


Рис. 4. Схема объединения элементарных треков в полутраектории.

$NSL$  - угла конуса для поиска возможных пар,

$B \notin NLINC$  - условие линейности,  $\Delta m \leq KSL$  - условие  
угла,

\* обозначает зарегистрированные искры,

o обозначает элементарные треки.

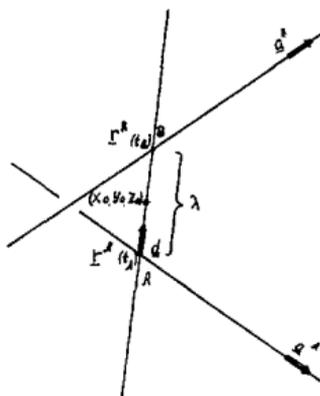
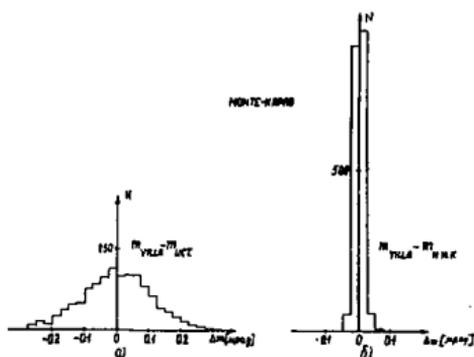


Рис.5. К пересечению (скрещиванию) траектории А и В.



- Рис.6. а) Распределение моделированных событий по отклонению параметра полутраектории  $m_{VILLA}$  от его истинного значения;
- б) То же распределение для параметра  $m$ , определенного методом наименьших квадратов и методом элементарных треков.

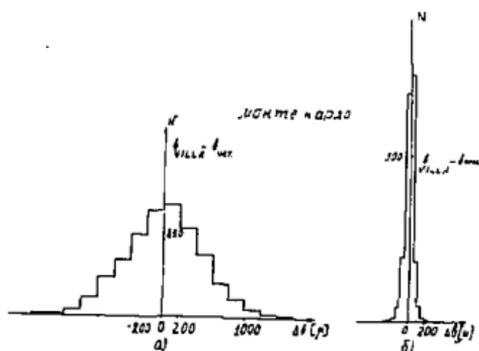


Рис.7. а) Распределение моделированных событий по отклонению параметра полутраектории  $\beta_{VILLA}$  (полученного методом "элементарных треков") от его истинного значения;

б) То же распределение для параметра " $\beta$ ", определенного методом наименьших квадратов и методом "элементарных треков".

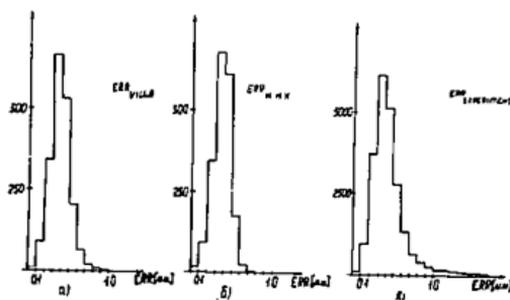


Рис.8. Среднее отклонение (ERR) искр от найденной прямой для моделированных событий, когда реконструкция производилась а) методом "элементарных треков"; б) методом наименьших квадратов, а также для реальных событий, восстановленных программой "Вилла" (в).

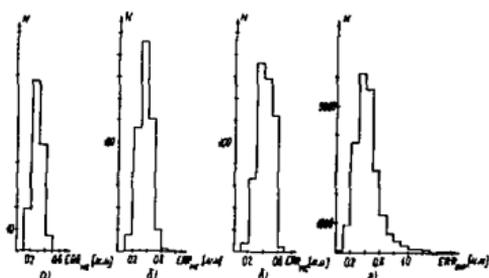


Рис.9. Монте-Карло ( а, б, в ) и экспериментальное ( г ) распределения по среднему отклонению ( $ERR$ ) искр от прямой при разных точностях локализации ( $D$ ) искр в камерах:  
 а)  $D = 0,5$  мм; б)  $D = 0,65$  мм; в)  $D = 0,75$  мм.  
 Моделированные события не содержат фоновых треков и искр, поэтому отсутствует "хвост" распределений.

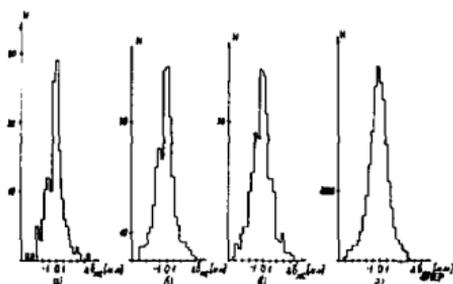


Рис.10. Монте-Карло ( а, б, в ) и экспериментальное ( г ) распределения по параметру  $\Delta\beta$  - сшивания полутраектории в центре магнита:  
 а)  $D = 0,5$  мм; б)  $D = 0,65$  мм; в)  $D = 0,75$  мм.

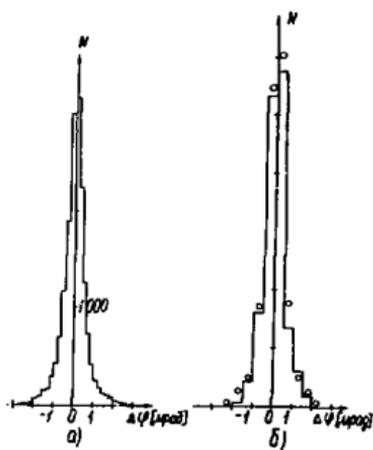


Рис.11. Различия в наклоне полутраекторий в вертикальной плоскости до и после магнита: а) эксперимент; б) эксперимент (о) и результаты моделирования в одинаковых шагах.

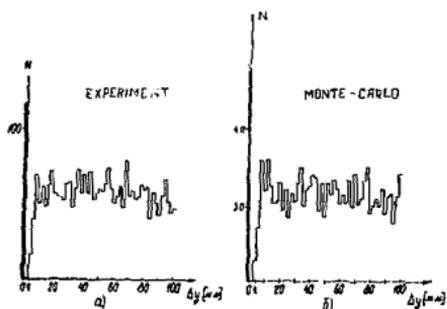


Рис.12. Экспериментальное и моделированное распределения величины  $\Delta Y$  - разности Y - координат треков на 9-ой камере.

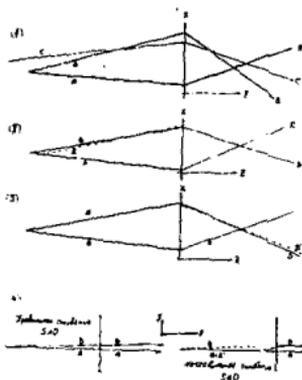


Рис.13. Типы двойных решений.