

5140

ЭКЗ. ЦИТ. ЗАП.

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1 - 5140



А.У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев

ЛАБОРАТОРИЯ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ПРОГРАММА
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ ГЕОФИТ-1

1970

1 - 5140

А.У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев

**ПРОГРАММА
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ ГЕОФИТ-1**

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

В в е д е н и е

До настоящего времени работающих программ для обчёта событий с пузырьковых камер, наполненных тяжелой жидкостью, для быстродействующих электронно-счётных машин CDC-1604A, БЭСМ-6 не было.

В коде машины БЭСМ-4 написана подходящая система программ^{3,6,7/}. Однако продиктованная малой памятью машины структура этой системы оказалась довольно сложной, обчёты событий по ней происходят медленно. Кроме того, поскольку программы^{3,6,7/} написаны на "кодовом" языке машин, то внесение физиками изменений в них встречает большие затруднения.

Система программ THRESH , GRIND и т.д. в том виде, в каком она освоена у нас, не годится для обчёта событий, зарегистрированных в камере с многообъективной оптикой и тяжелым наполнением.

В Лаборатории высоких энергий создана на языке FORTRAN программа полного обчёта событий - от реконструкции координат точек до получения физических результатов - минуя переписи с ленты на ленту. Первый вариант этой программы ,ГЕОФИТ-1, описан ниже.

Программа ГЕОФИТ-1 предназначена для обчёта взаимодействий, зарегистрированных в пропановой 2-метровой камере^{1/} ОИЯИ^{x/}.

^{x/} Программа ГЕОФИТ-1 может быть легко приспособлена для обработки фотографий с других камер. Вариант этой программы для обработки снимков с 1-метровой пропановой камеры Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ уже работает.

Программа ГЕОФИТ-1 проводит восстановление полной геометрической картины события, определение основных параметров всех следов и их ошибок, проверяет результаты этих расчётов, а также осуществляет кинематическую интерпретацию всего события в целом.

В части программы, рассчитывающей геометрические параметры событий, использованы основные идеи и некоторые алгоритмы программы геометрической реконструкции для больших камер (вариант 1-6)^{/3/}. В некоторых случаях эти алгоритмы несколько изменены. Кинематическая интерпретация событий в программе ГЕОФИТ-1 проводится с помощью минимизации подходящим образом выбранных функционалов. Минимизация происходит с использованием неопределённых множителей Лагранжа методом исключений^{/4/}. Новую программу можно применять для обчётов событий разной сложности и конфигурации. Однако программа ГЕОФИТ-1 выгодно отличается от имеющейся системы программ THRESH-GRIND для подобного типа электронно-счётных машин прежде всего своей компактностью. Вся программа при её почти полной замкнутости^{x/} занимает в памяти машины 17000 слов. Это свойство является очень важным, особенно при работе на машине БЭСМ-6.

Кроме того, универсальность программы ГЕОФИТ-1 даёт возможность избежать существующей во всех известных нам системах программ связи геометрической и кинематической стадий обчёта событий через магнитную ленту. Это сильно ускоряет полный анализ взаимодействий и упрощает систему организации обработки.

Программа ГЕОФИТ-1 обеспечивает большую скорость расчётов, очень удобна и проста в работе. Так, перед началом последующего сеанса счёта нужно заменить в массиве констант программы 3 перфокарты на новые, полученные в конце предыдущего сеанса.

^{x/} Используется библиотека только самых необходимых стандартных функций ($\sin x$, $\cos x$ и т.д.)

§1. Краткое описание алгоритмов

Программа рассчитана на обработку взаимодействий различной конфигурации ("звезда", V^0 -частицы, γ -кванты, Σ -гипероны и т.д.)^{x/} с числом треков не более 20, сфотографированных стереофотоаппаратом с числом объективов не более 6.

Программа ГЕОФИТ-1 может считывать исходные данные как с магнитофонной ленты^{xx/}, так и с перфокарт. Она приспособлена к существующей системе измерения на полуавтоматических установках^{/2/}.

Размещение исходной информации на перфоленте, а затем и на магнитной ленте CDC-1604A, а также кодировка служебных признаков описаны в^{/3/}. Некоторые изменения по сравнению с программой^{/3/} в кодировке номеров следов и признаков идентификации описаны в приложении 1А.

При восстановлении пространственных координат следов в программе ГЕОФИТ-1 предполагается, что оптические оси стереокамер параллельны между собой и перпендикулярны поверхностям раздела оптических сред. В качестве реперных используются кресты, измеренные на прижимных стеклах фотоаппаратов^{xxx/} (допускается до 10 таких крестов). Для перехода от системы координат измерительного прибора к системе координат, связанной с оптическими осями (проекции следов на пленках), в программе использованы формулы, описанные в^{/3,8/}.

После исключения "плохих" точек начинает работать программа восстановления пространственных координат точек треков по двум стереопроjectionам. Формулы, используемые в этой программе, описаны в^{/8/}.

^{x/} Кинематическая обработка V^0 -распадов и γ -квантов в программе ГЕОФИТ-1 не проводится. Готовится вариант ГЕОФИТ-2, в котором будет осуществлен так называемый "многовершинный фит".

^{xx/} Мы пользовались работающей системой^{/5/} передачи информации, закодированной с помощью измерительных полуавтоматов на магнитную ленту CDC-1604A через машину "Минск-22".

^{xxx/} За реперные могут быть приняты кресты, расположенные внутри объема камеры, предварительно пересчитанные на плоскость прижимных стекол.

В программе ГЕОФИТ-1 предусмотрено "сшивание" восстановленного в пространстве трека, сфотографированного первой (проекции №№1,2,3) и второй (проекции №№ 4,5,6) стереоголовками, причем перед этой процедурой проверяется, являются ли данные следы продолжением один другого. Для этого координаты каждой части трека описываются полиномом 3-ей степени и при $Y=0$ разницы координат ΔX и ΔZ этих кривых сравниваются с допустимыми отклонениями (см. §3). Если оказывается, что суммарное число точек на соединенном треке больше 20, то выбрасывается одна из каждых двух точек, наиболее близко расположенных друг к другу (кроме первой и последней точек). В других случаях, когда нет соединения двух частей треков, такого выбрасывания близко расположенных друг к другу точек ("прополка") в программе не предусмотрено. При обработке треков сначала определяются начальные приближения параметров треков путем аппроксимации проекции трека параболой^{/3,10/} с учетом ионизационных потерь. Для оценки величины δX -разброса измеренных точек относительно параболы используется формула

$$\delta X = \sqrt{\frac{X^2}{N-2}},$$

где X^2 характеризует точность подгонки параболы к проекции трека на плоскость (XY), а N - число координат следа. Величина δX в программе ГЕОФИТ-1 не используется в качестве показателя отсутствия изломов на треке, как это делается в^{/3/}.

Из уравнения Лоренца в тормозящей среде получается система дифференциальных уравнений (в следующих переменных: p - импульс, β - азимут и α - угол наклона, S - длина следа):

$$\frac{d\beta}{dS} = \frac{e}{pc} [-H_z + \operatorname{tg} \alpha (H_x \cos \beta + H_y \sin \beta)], \quad (1)$$

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{e}{pc} [H_y \cos \beta - H_x \sin \beta], \quad (2)$$

где H_z , H_x , H_y - компоненты магнитного поля. Для определения добавок к начальным значениям $\operatorname{tg} \alpha_0$ и Z_0 - координаты минимизируется функционал вида

$$\chi_z^2 = \sum_{i,j=1}^n (Z_i - Z_{i,j}) G_{ij}^{-1} (Z_j - Z_{j,j}),$$

где $Z_{i,j}$ - теоретические значения, получаемые из (2), а G_{ij} - полная матрица ошибок измерения и многократного рассеяния^{/11/}. В отличие от^{/3/} при определении угла наклона оптимальная длина трека не рассчитывается. Для определения значений β и кривизны ($1/\rho$) аналогично строится функционал χ_{xy}^2 . Средние величины χ_z^2 и χ_{xy}^2 , нормированные на число степеней свободы f , т.е. χ_z^2/f и χ_{xy}^2/f , должны быть равны единице. Исследования показали, что результаты работы программы поиска оптимальных значений параметров практически не меняются при искусственном изменении в больших пределах начальных значений этих параметров. Основываясь на этом, мы не стали браковать те следы, в которых нет сходимости итерационного процесса при определении начальных значений импульсов. По этой же причине мы не проводили проверки правильности работы блока начальных приближений с помощью критерия g , предложенного в работе^{/3/}.

Следы, для которых невозможно надежно определить кривизну (короткие или направленные по оси Z), считались "короткими" треками. Программа ГЕОФИТ-1 различает 2 вида таких следов: а) признак остановки есть; б) признака остановки нет. Импульсы "коротких" треков в случае а) рассчитываются по пробегу, в случае б) принимаются за константы с большой постоянной ошибкой. Углы и их ошибки считаются по формулам для двух точек, причем в случае б) добавка к углу β за счет кривизны следа не рассчитывается.

В программе ГЕОФИТ-1 измерительные ошибки по осям x и y приняты равными между собой и заданы как константы (см. §3). Дисперсии ошибок - дисперсия поперечного смещения отдельной точки D_{xy} и дисперсия по оси z , D_z - в программе вычислялись для каждой точки следа по формулам, предложенным в^{/3/}. Ошибка в импульсе первичной частицы в программе не вычисляется, а вводится как константа (§4).

Идентификация каналов реакции происходит с помощью минимизации функционала вида

$$M = \sum_{i,j=1}^{3n} (a_{i\theta} - a_{i\theta}) G_{ij} (a_{j\theta} - a_{j\theta}) + \sum_k \lambda f_k, \quad (3)$$

где $a_{i\theta}, a_{j\theta}$ - измеренные, $a_{i,j}$ - искомые значения параметров, G_{ij} - элементы матрицы весов параметров, n - число треков. Требуется найти такой набор параметров p_i , $tg a_i$ и β_i , чтобы функционал M принимал минимальное значение, равное χ^2 при условии удовлетворения уравнений связи $f_k = 0$, являющихся законами сохранения энергии и импульса.

§2. Структура программы ГЕОФИТ-1

Кроме управляющей программы ГЕОФИТ, программа включает в себя 39 подпрограмм, упрощенная схема связи между которыми приведена на рис. 1.

Исходный числовой материал измерений вводится подпрограммой INTAPE с магнитной ленты или же подпрограммой INCARD с перфокарт. Возможны 3 режима считывания материала и обусловленных этим расчетов отдельных событий, групп событий или просчитывание подряд всех событий, начиная с заданного. Режим задается числом NREGIM в числовом материале (см. §3). Рассмотрим работу последовательно всех подпрограмм и связь их друг с другом (рис. 1) DECOD расшифровывает исходный числовой материал, извлекает служебные признаки и координаты крестов и точек, заполняет исходные массивы программы и формирует матрицу измерений. В матрице измерения указано, какими объективами измерен каждый след, число измеренных точек и место данных, относящихся к каждому следу в общем массиве AMES (массив MESMTR (6,20)). SHRINK определяет коэффициенты преобразования от системы координат полуавтомата к системе координат, связанной с оптическими осями с учетом усадки пленки,

и затем подпрограмма TRANSF производит такое преобразование; BADPT проверяет гладкость траектории следа на пленке и исключает плохо измеренные координаты; SPACE восстанавливает пространственные координаты измеренных точек. Эта программа будет работать только для следов, которые сфотографированы не менее чем двумя объективами, и минимум две проекции хорошо измерены. SPACE использует подпрограмму CORESP для поиска соответствующих друг другу точек на разных проекциях одного и того же следа, а также подпрограмму ERROR для вычисления ошибок пространственных координат D_z и D_{xy} , исходя из ошибок измерения точек на пленке. JOINT соединяет треки, состоящие из двух частей, находящиеся в разных половинах камеры, в один трек; MAGFIL находит по таблице, заданной в виде числового материала программы; три компоненты магнитного поля. Компоненты магнитного поля для значений координат X , Y , Z , попадающих в промежутки между заданными значениями, вычисляются путем линейной интерполяции. LENGTH вычисляет всевозможные длины трека: полную длину трека, хорду трека, длину в плоскости xy и др. CHECK выделяет "короткие" треки (§1). В тех случаях, когда невозможно определить кривизну следа, ей присваивается величина ± 1 в зависимости от признака идентификации. Если последнего нет, то кривизна считается равной $+1$. APPANG вычисляет с помощью аппроксимации следа параболой угол наклона ($tg a$), величину которого затем принимаем за начальное значение. Эта программа работает только в случае "обычных" следов, не попавших в категорию "коротких". IDEN, исходя из указанных в исходном числовом материале признаков идентификации, а также из полученного в подпрограммах CHECK и APPANG знака кривизны следа, определяет для каждой частицы набор гипотез о массах этой частицы. Далее все расчеты проводятся для каждой гипотезы о массе частицы отдельно. APPIMP вычисляет для "обычных" следов значение импульса, которое затем принимается в качестве начального приближения в получении оптимальных значений импульсов. При расчете учитываются ионизационные потери частиц в среде, вычисляемые подпрограммой IONIS. RANGE для частиц, имеющих признак остановки, вычисляет импульс по длине их пробега в камере; DIPFIT вычисляет точное значение (оптимальное) угла наклона ($tg a$), а PAZFIT - точные значения азимута β и $1/\rho$.

Вычисления параметров трека α , β , $1/p$ осуществляются численным интегрированием уравнений движения частицы в тормозящей среде в однородном магнитном поле, отдельно для плоскости (XY) и направления Z. В расчётах учитывается полная матрица ошибок, содержащая ошибки измерения и ошибки, обусловленные многократным рассеянием. Матрица многократного рассеяния подготавливается подпрограммой **MATRSC**. В подпрограмму **SHORTR** для определения величин всех параметров направляются после подпрограммы **IDEN** частицы, имеющие в камере следы, которые отнесены к разряду "коротких". **OUTPUT** при формальном параметре $k=0$ накапливает результаты расчётов всех возможных гипотез для каждого из треков. Когда перебраны все треки, тогда вызывается **OUTPUT** при $k=1$. Она печатает некоторые наиболее важные результаты геометрической обработки события (см. §3). Кроме того, если ни один из треков не оказался забракованным, то вызывается программа **OUTAPE**, которая записывает результаты геометрических расчётов на магнитную ленту.

Нужно отметить, что в целях экономии памяти машины результаты этой стадии расчётов помещаются в те же самые массивы (AMES, MESMTR), где находится исходная информация, полученная при измерении. При этом для того, чтобы не уничтожить информацию, относящуюся к еще не рассчитанным трекам, подпрограммы **CHANGE** и **MOVE** сначала располагают числовой материал, относящийся к каждому треку, подряд^{x/}, а сами треки - в порядке возрастания номеров и затем всю исходную информацию сдвигают к концу массива (AMES), так что его начало остается свободным и готово принять результаты обчёта первых треков. **KINFIT** вызывается только при выполнении 2-х условий:

а) соответствующий переключатель не равен 0 (см. приложение 2);
 б) ни один из треков события в процессе расчётов геометрических параметров не оказался забракованным (осталась хотя бы одна гипотеза). Подпрограмма на основании предположений о массах каждой из частиц формирует гипотезы о природе взаимодействия. **LAGRG** по методу неоп-

^{x/} До этой операции разные проекции одного и того же трека могут быть расположены в разных местах общего массива, т.е. в том порядке, как измерены.

ределенных множителей Лагранжа для каждой гипотезы о взаимодействии вычисляет значения параметров частиц и их ошибки. Основные результаты обчёта каждой гипотезы печатаются и записываются с помощью **OUTAPE** на магнитную ленту. Кроме того, для каждой гипотезы выдается одна перфокарта с указанием номера события и номера гипотезы.

В программу **ГЕОФИТ-1** включен также ряд подпрограмм, играющих вспомогательную роль: **NUM2**, **NUM10** прочитывают числа, записанные соответственно в двоичной или десятичной системе исчисления в "упакованном" виде (т.е. в определенной части разрядов одной ячейки); **PRINTR** печатает номера треков; **POLFIT** аппроксимирует набор заданных точек полиномом любой степени; **MCONV** производит инверсию симметричной матрицы; **VM**, **VMV** умножают матрицу на вектор, а также осуществляют тройное умножение: вектора на матрицу и на вектор соответственно; **YAXKB** подгоняет к совокупности точек кривую вида $y = ax^k + b$ с помощью метода наименьших квадратов; **PARAB3** проводит параболу по трем заданным точкам; **AINTG** производит численное интегрирование функций по методу "парабол".

В табл. 1 показана взаимосвязь описанных подпрограмм. Подпрограммы, перечисленные в колонке 1 табл. 1, вызываются управляющей программой **ГЕОФИТ**, подпрограммы, указанные во второй колонке, вызываются соответственно подпрограммами первой колонки и т.д.

§3. Константы. Диагностика. Время обчёта событий.

П. 1. Вместе с программой в память машины вводится массив констант, необходимых для работы программы в условиях конкретного эксперимента. Прежде всего - это таблица H_x , H_y и H_z - компоненты магнитного поля в каждой точке камеры. Шаг изменения x , y , z - координат в таблице принят постоянным. В целях экономии памяти машины все 3 компоненты значений магнитного поля для одной точки, равные

$$H'_{x,y,z} = H_{x,y,z} - H_{x,y,z}^{\min}$$

(где $H_{x,y,z}^{\min}$ - минимальные значения, H_x, H_y, H_z - компоненты магнитного поля), "упакованы" в одно слово.

Таблица 1

Схема вызова подпрограмм в программе ГЕОФИТ-1

I	II	III
INTAPE		
DECOD	NUM10, NUM 2 MOVE	NUM2
SHRINK		
MOVE		
CHANGE		
PRINTR		
TRANSF		
BADPT	PRINTR, POLFIT	NCONV, VM
SPACE	SPAXYZ, PRINTR, CORESP, ERROR	SCALE, PARAB3
JOINT	POLFIT	MCONV, VM
MAGFIL		
LENGTH		
CHECK		
APPANG	YAXKB	
IDEN		
SHORTR	RANGE	
RANGE		
ADDIMP	MAGFIL, PARAB3 IONIS, PRINTR	
DIPFIT	MATRSC AINTG, MCONV VMV	IONIS
PAZFIT	MATRSC AINTG, MCONV, VM, VMV	IONIS
OUTPUT	OUTAPE	
KINFIT	LAGRG	
CLOCKZZ		

Далее следуют наборы параметров для объективов: XO , YO – координаты точек пересечения оптических осей с плоскостью нижней поверхности стекла камеры; AM – масштаб фотографирования; A_1 , A_2 – коэффициенты разложения AM по степеням величины расстояний на пленке от измеренной точки до точки пересечения направления оптической оси с поверхностью пленки; $BN = tg \gamma / r$, где γ – угол преломления в пропане, образующийся лучом, идущим из конца r и направлением оптической оси; XKP , YKP – массивы чисел, соответствующие x -, y – координатам крестов, пересчитанных предварительно на плоскость прижимных стекол объективов.

За константами оптической системы расположены: массив целых констант – переключателей (30 чисел) и массив чисел, используемых в качестве констант в различных формулах программы. Список констант обоих массивов и их назначение описаны в приложении 2А,В.

Таблица всех перечисленных констант (кроме компонент магнитного поля) печатается (см. приложение 2) в начале каждого сеанса расчетов как признак того, что программа и числовой материал правильно введены в память машины.

Далее в числовом материале программы расположены 4 перфокарты, управляющие режимом работы в данном сеансе, которые для каждого сеанса готовятся заново. Информация первых 3 перфокарт^{х/} прочитывается в программе ГЕОФИТ, а информацию последней перфокарты (приложение 2С) принимает подпрограмма INTAPE.

П.2. Просчет свыше 500 событий разной множественности по программе ГЕОФИТ-1 показал, что отказы в работе программы обусловлены в основном двумя причинами:

- несовершенством алгоритмов, заложенных в программу;
- плохим качеством исходного числового материала.

^{х/} На первой перфокарте указана дата сеанса, на второй – числа ранее сосчитанных и записанных на магнитную ленту событий соответственно и номер сеанса, на третьей – номера последнего сосчитанного события и последней логической зоны на магнитной ленте.

Причина а) приводит к тому, что иногда нет сходимости итерационных процессов нахождения минимума функционала при фитировании каналов реакции в подпрограмме LAGRG. В некоторых случаях нет сходимости в итерационных процессах поиска начальных значений импульсов в подпрограмме APPMP. Однако это не создает никаких трудностей в работе программы, и счёт продолжается (см. §2). Сходимость итерационного процесса при минимизации функционалов изучалась в работе /12/.

На основании разделения по гипотезам смоделированных событий было показано, что сходимость для истинных гипотез (т.е. соблюдение законов сохранения) всегда есть, и только для ложных гипотез по отношению к смоделированной часто нет сходимости итерационного процесса. Таким образом, наряду с величиной χ^2 показателем правильности выбора гипотезы является также наличие сходимости итерационного процесса поиска минимума функционала. В таблице приложения 3 приведены характерные надписи, которые печатаются в случае отказов в работе программы, обусловленных причиной б).

П.3. В программе ГЕОФИТ-1 имеется специальная подпрограмма, оценивающая время обсчёта каждого события. Анализ этих данных показал, что 3/4 времени, потраченного на расчёты одного события, уходит на стадию геометрической обработки. Обсчёт одного трека, на котором измерено 10 точек, занимает 4,6 сек на электронно-счётной машине CDG-1604A. Далее время геометрического обсчёта треков растёт как N^2 , где N - число измеренных координат трека ($t \approx 0,046 N^2$ сек).

П.4. Управление окончанием расчётов в данном сеансе осуществляется с пульта машины с помощью подачи специальной команды. При этом досчитывается последнее событие и перфорируются 3 перфокарты, которые нужны для продолжения расчётов в следующем сеансе (см. п1 §3).

§4. Проверка работы программы

П.1. Генератор фиктивных треков

Для проверки программы ГЕОФИТ-1 был написан на языке ФОРТРАН генератор фиктивных треков, подобный описанному в работе /14/, и присоединен к программе.

С помощью этого генератора можно построить в пространстве камеры трек заданных импульса, длины, направления с учётом измерительных ошибок и многократного рассеяния. При генерировании пространственных координат треков учитывалось реальное магнитное поле в камере и тормозная способность пропана.

В табл. 2 приведены параметры, заложенные как начальные условия в генератор, а также результаты расчёта этих параметров по программе ГЕОФИТ-1. Критерием того, что программа работает хорошо (точнее - её блоки начального приближения APPMP и оптимальных значений PAZFIT и DIPFIT) является среднее смещение ΔR полученных параметров по отношению к допустимой ошибке этих параметров Δ . 20 точек на треке располагались равномерно. Дисперсии измерительных ошибок принимались равными $\sigma_x = 0,92$ мм; $\sigma_y = 0,150$ мм; $\sigma_z = 0,700$ мм. Полученные параметры (см. рис. 2а,б,в) имеют нормальные распределения. Как видно из табл. 2, а также из рис. 2, смещения средних величин всех параметров, кроме угла наклона, относительно заданных значений отсутствуют. В случае угла наклона ($\text{tg } \alpha$) это смещение превышает ошибку этого параметра.

П.2. χ_{xy}^2 и χ_z^2

С помощью программы ГЕОФИТ-1 были проведены расчёты более 500 μp - взаимодействий при энергии 2,75 Гэв, ранее прошедших обработку по системе программ /3,6,7/, для машины БЭСМ-4. Сравнение результатов двух расчётов показало, что отличие параметров друг от друга в стадии геометрической обработки в несколько раз меньше ошибок этих параметров. Средние значения величин χ_{xy}^2 / f , χ_z^2 / f при $\sigma_x = 10\mu$ (см. §1), равные $\chi_{xy}^2 / f = 1,67$ и $\chi_z^2 / f = 1,51$ соответственно мало отличаются от ранее полученных /12,13/. Распределения χ_{xy}^2 и χ_z^2 показаны на рис. 3. Повторные обсчёты некоторой части событий при среднеквадратичной ошибке измерения $\sigma_x = 14\mu$ дали средние значения $\chi_{xy}^2 / f = 1,17$ и $\chi_z^2 / f = 1,33$, близкие к теоретическим.

ТАБЛИЦА 2

№ расч.	Параметр	Число частиц и их вид	Результаты			
			Генератор	ГЕОФИТ-1	ΔR	Δ
1	P(Мэв/с)		1000,0	1001,78	+1,78	2,88
	$tg \alpha$	500	0,30934	0,30996	-0,00062	0,00032
	β	π^-	1,57000	1,56988	-0,00012	0,00020
			40,0	40,0		
2	P(Мэв/с)		2750,0	2762,49	+12,5	9,3
	$tg \alpha$	500	-0,30934	-0,30959	-0,00025	0,00015
	β	π^-	1,57000	1,56984	-0,00016	0,00010
	$S (cu)$		40	40		
3	P(Мэв/с)		5 000,0	4998,89	-1,11	6,5
	$tg \alpha$	500	0,00	0,00127	0,00127	0,00009
	β	π^+	1,57079	1,57084	+0,00005	0,00006
	$S (cu)$		160	160		
4	P(Мэв/с)		10,000,0	100002,3	+ 2,29	26,8
	$tg \alpha$	250	0,0	0,00016	0,00016	0,000084
	β	π^-	1,57000	1,57000	0,0	0,000057
	$S (cu)$		100	100		
5	P(Мэв/с)		15000,0	15066,0	+66,0	59,0
	$tg \alpha$	500	0,10033	0,10059	0,00026	0,000056
	β	π^-	1,57079	1,57075	-0,0004	0,0003
	$S (cu)$		50	50		

П.3. Идентификация каналов реакции с помощью программы ГЕОФИТ-1

Результаты идентификации каналов $\pi^- p$ реакции при энергии 2,75 Гэв, полученные по программе ГЕОФИТ-1, были сравнены с аналогичными расчётами по программе 10-30/6/. Средние значения величин χ^2 для отдельных каналов приведены в табл. 3. Ограничение по величине максимальных значений соответствует 1% уровню достоверности. Как видно из таблицы, все полученные значения χ^2 меньше соответствующих величин, рассчитанных ранее, и ближе к теоретическим. Распределения новых χ^2 также лучше соответствуют теоретическим кривым (см. рис. 4).

Таблица 3

Реакция	Число событий	Теоретическое значение χ^2	χ^2	χ^2
			10-30/6/	ГЕОФИТ-1
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p$	56	4	5,90	4,40
$\pi^- p \rightarrow \pi^- p \pi^0$	98	1	2,16	1,60
$\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$	175	1	1,86	1,54

В заключение мы считаем своей приятной обязанностью поблагодарить М.И. Соловьева, Е.Н. Кладническую, Н.П. Вишневскую, Л.Э. Иеник за полезные советы и обсуждения, Г.Н. Тентюкову и В.И. Мороза за консультации по структуре алгоритмов. Мы благодарны Ю.В. Тевзадзе и Х. Супичакову за помощь в обчёте событий по программе ГЕОФИТ-1, а также С.Н. Комаровой и А. Гладкой за подготовку программ.

Приложение 1

1. Номер следа

Если число следов $NTR \leq 15$, то номер следа пробивается в 1-4 разрядах кадра №9 (см./3/). Если же число следов в событии $NTR \geq 16$, то, начиная со следа №16, нумерация следов начинается снова с единицы.

2. Признаки идентификации (см./3/, стр. 23)

Признак первичной частицы пробивать не обязательно;

признак 00 соответствует π^+ -мезону и протону или π^- -мезону

в зависимости от знака кривизны;

признак 77 соответствует частицам: π^+ , p, e^+ (положительная кривизна) или π^- , e^- (отрицательная кривизна);

если пробитый при измерении признак идентификации и вычисленный знак кривизны противоречат друг другу, то программа присваивает данному следу новый признак "00";

признак остановки без наличия признака идентификации в отличие от/3/ не аннулируется.

Приложение 2

Таблица

А. Порядковый номер константы массива целых констант NST (30)	За что отвечает
1	Максимальное число итераций при расчёте начального приближения. Равно 10. Подпрограмма APPIMP
2-4	Свободные
5	Граничное число точек для проведения нормализации ошибок в PAZFIT и DIPFIT $N' = 3$
6	Признак идентификации частиц первичного пучка IDEN, APPIMP
7	Свободный
8	Максимальное число итераций, производимых при поиске минимума функционала в подпрограмме LAGRG
9	При равенстве нулю этой константы будет проводиться запись результатов расчётов на магнитную ленту. В противном случае записи не будет (INTAPE, OUTPUT, LAGRG)

10

Если этот переключатель не равен 0, то будет напечатан исходный числовой материал^{x/} (GEOFIT, INTAPE)

11

При неравенстве 0 дополнительно печатаются матрицы измерения и результаты расчёта коэффициентов усадки пленки^{x/} - подпрограммы SHRINK, GEOFIT, INTAPE

12

Если этот переключатель не равен 0^{x/}, то произойдет вывод на печать результатов работы программы проверки координат и результатов расчёта пространственных координат - подпрограмм INTAPE, BADPT и SPACE
Свободные

13-14

15

При неравенстве^{x/} 0 выдаются промежуточные результаты работы подпрограммы "сшивания" следов JOINT

16-17

18

Свободные
При неравенстве^{x/} нулю выводятся на печать результаты расчёта параметров следов ρ , α , β в первом приближении (подпрограммы APPANG и APPIMP)

19

При равенстве нулю этой константы будут печататься общие результаты геометрической части программы INTAPE, OUTPUT

20-21

Свободные

^{x/} При равенстве указанных переключателей нулю описанные процедуры выполняться не будут.

22	При равенстве переключателя нулю происходит вызов подпрограммы KINFIT для фитирования каналов реакции. Если этот переключатель не равен 0, то будут проводиться только расчёты геометрических параметров треков (GEOFIT, INTAPE)
23	Если переключатель не равен ^{x/} 0, то печатаются промежуточные результаты расчёта в подпрограмме LAGRG (INTAPE, LAGRG)
24-30	Свободные

В. Сводная таблица констант

Порядковый номер в массиве CST(100)	Наименование константы	Величина, принятая сейчас	Подпрограмма
1	Предельная длина короткого следа (в см)	4	CHECK
2	Минимальное расстояние между точками (в см)	0,1	пока не используется
3	Цена деления решетки полуавтомата (в микронах)	0,000249339	GEOFIT, SHRINK
4	Предельная длина короткого следа (в см) на плоскости	0,6	CHECK
5	Величина импульса короткого следа без остановки (в Мэв/с)	500	SHORTR
6	Ошибка импульса короткого следа без остановки (в Мэв/с)	3000	SHORTR
9-12	Свободные		

^{x/} При равенстве указанных переключателей нулю описанные процедуры выполняться не будут.

13	Ограничение на разность для $ Y_{д} - Y_{пр} $ (в см)	0,08	SPACE
14	$(M_{д} - M_{пр}) \times Y_{д} / (Y_{пр} - Y_{д}) \leq 1,5$		SPACE
<i>M_д, M_{пр} - масштабы</i>			
15-18	Свободные		
19	Критерий L_{1N} / R для определения длины следа по 2 точкам	0,2	RANGE
20-21	Свободные		
22	Множитель перед поправкой к углу для "коротких" треков	1,210057	SHORTR
23	Относительная ошибка в формуле для определения импульса по пробегу	0,02	
24	Плотность рабочего вещества в камере (в г/см ³)	0,427	SHORTR
25	Радиационная длина среды (в см)	108	SHORTR, IONIS
26	Максимальные длины (в см) следов, определяющие набор констант при вычислении импульса по пробегу	$\left\{ \begin{array}{l} \pi \ 25 \\ K \ 95 \\ P \ 175 \end{array} \right.$	RANGE
27			- " -
28			- " -
29-40	2 набора констант, используемых для вычисления импульса по пробегу по эмпирической формуле ^{/12/}		
41	Константа, определяющая относительную точность итерационного процесса вычисления начального приближения импульса	0,02	APPIMP
42	Свободен		

43	Константы, характеризующие	0,07747	IONIS
44	ионизационные потери в среде для π , K, P и e соответ- ственно	9,9877	- " -
45		0,0196	- " -
46		42,9	- " -
47	Коэффициент эффективного увели- чения радиационной длины	1,231	- " -
48	Константа в формуле ионизацион- ных потерь	0,014	- " -
49	Импульс первичного пучка частиц со знаком, обратным заряду (в Мэв/c)	2750	APPIMP
50	Ошибка в импульсе первичного пучка	120	PAZFIT
51	Дисперсия ошибки измерения координат на пленке (в см ²)	2,0 · 10 ⁻⁶	ERROR
52-54	Свободные		
55	Свободный		
56	Константа для выброса удален- ных точек	10,0	
57	Константа для выброса плохо измеренной точки (в см)	0,003	BADPT
58	Допустимые разницы $\Delta X, \Delta Z$ при сшивании треков (в см)	0,3	JOINT
59		1,5	
60-62	Максимальные значения X, Y, Z		SPACE
63			
64	Константа в формуле многократ- ного рассеяния	(21,2) ² = =449,44	PAZFIT DIPFIT
65,68	Добавки в $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta(XY)$		ERROR
67,68			
69-100	Свободные		

Приложение 3

Таблица отказов в работе программы ГЕОФИТ-1

№ п/п	Подпро- грамма	Диагностика	Дополнительные пояснения					Результат отказа
			1	2	3	4	5	
1	ГЕОФИТ	BAD TRACK, ONLY 1 VIEW	Для данного трека имеется только одна хорошая проекция					Обсчета трека не происходит x/
2	INTAPE	EVENT, I 0, ERROR IN PARITY	Данное событие не считывается с МЛ					Переход к следующему x/
3	DECOD	EVENT, I 0, MEASUREMENT ERROR, CAMERA NUMBER I 3, GREATER THAN 6	Возможна ошибка в пробивке номера объектива при измерении					Событие не обсчитывается x/
4	DECOD	EVENT, I 0, MEASUREMENT ERROR, TRACK NUMBER I 3, GREATER THAN 20	Возможна ошибка в пробивке номера трека при измерении					Событие не обсчитывается x/
5	SHRINK	CAMERA, I 3, ERROR IN SHIGAYEV PROGRAM, THE MARKS ARE BAD/SIGMA	Ошибки в измерении реперных крестов					Проекция не обрабатывается
6	BADPT JOINT	TRACK, I 4, THE FIRST POINT IS BAD						Трек не обрабатывается x/
7	BADPT JOINT SPACE	THIS TRACK IS BAD, IT RESTS ONLY, I 4, POINTS	Число восстановленных точек трека меньше двух					Трек не обрабатывается x/
8	JOINT	ERROR IN JOINT, NO POLYNOMIAL.FIT	Нет инверсии матрицы ошибок в подпрог- рамме					Не будет проведено "сшивание" 2 частей трека. Если ошибка была не в первой части трека, то расчёт продолжается

x/ Результаты расчётов всего события на магнитную ленту не записываются, и подпрограммы идентификации событий не вызываются.

9 SPACE BIG DIFFERENCE IN Y-LEFT AND Y-RIGHT
(YL=F 9.4, YP=F 9.4, DY=F 8.4, DYTHERO=F 8.4)

Разница $Y_L - Y_P / 1$ для
первых точек превышает допустимую

Счёт продолжается

10 OUTAPE ERROR EVENT AND RECORD NUMBER

Машина не может найти на магнитной ленте результатов последнюю логическую зону, последнее событие, записанное в предыдущем сеансе

Необходимо заменить перфокарты управления работой в данном сеансе (3 последние карты в числовом материале)

11 JOINT FALSE CONTINUATION FOR TRACK, I3/

DX=F 8.4, DZ=F 8.4

Считается в дальнейшем, что след не имеет продолжения

12 MAGFIL } ERROR IN MAGFIL TOO BIG COORDINATES
SPACE } X = E 20.5, Y = E 20.5, Z = 20.5

Координаты точки имеют неверные значения

13 DIFFIT } THE ERROR MATRIX HAS NO INVERSE
PAZFIT }
NCONV }

Ошибка в расчёте матрицы многократного рассеяния или в вычислении ошибок измерения

14 LAGR BAD HYPOTHESIS OR DATA ERROR

Нет инверсии матрицы при решении систем уравнений

Расчёты данной гипотезы отбрасываются, и программа переходит к следующей гипотезе **xx/**

x/ Результаты расчётов всего события на магнитную ленту не записываются, и подпрограммы идентификации событий не вызываются.

xx/ Результаты расчёта для данной гипотезы подпрограммы идентификации каналов реакции не записываются на магнитную ленту.

Л и т е р а т у р а

1. М.Р. Balandin, N.G. Borisov et al. NIM., 20, 110 (1963).
2. Ю.А. Каржавин и др. ПТЭ, №5, 1963.
3. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз, В.И. Никитина, А.П. Стельмах, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ, P10-3768, Дубна, 1968.
4. J.P. Berge, F.T. Solnitz, H.D. Taft. Rev. of sc. ins. 32, N 5 (1961).
5. Н.Н. Говоруи, А.И. Ефимова и др. Препринт ОИЯИ, 11-4366, Дубна, 1969.
6. З.М. Иванченко, А.Ф. Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ, P11-3983, Дубна, 1968.
7. А.В. Лукьянцев и др. Препринт ОИЯИ, P-1982, Дубна, 1965.
8. В.А. Загинайко, В.Н. Шигаев. Препринт ОИЯИ, 2527, Дубна, 1965.
9. И.М. Иванченко, Н.А. Круткова, В.И. Мороз, Г.Н. Тентюкова, Т.Г. Останевич. Препринт ОИЯИ, P-2889, Дубна, 1966; ПТЭ, №6 (1967).
10. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз и др. Препринт ОИЯИ, 10-3545, Дубна, 1967; Г.А. Емельяненко, К.П. Ломов и др. ПТЭ, №6 (1967).
11. И.М. Граменицкий, А.А. Тихонова, П.В. Шляпников. Препринт ОИЯИ, P-2146, Дубна, 1965.
12. А.У. Абдурахимов и др. Препринт ОИЯИ, 1521, Дубна, 1970.
13. А.Д. Макаренкова, В.И. Мороз, А.П. Стельмах, Г.Н. Тентюкова. Препринт ОИЯИ, P10-3526, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел

25 мая 1970 года.

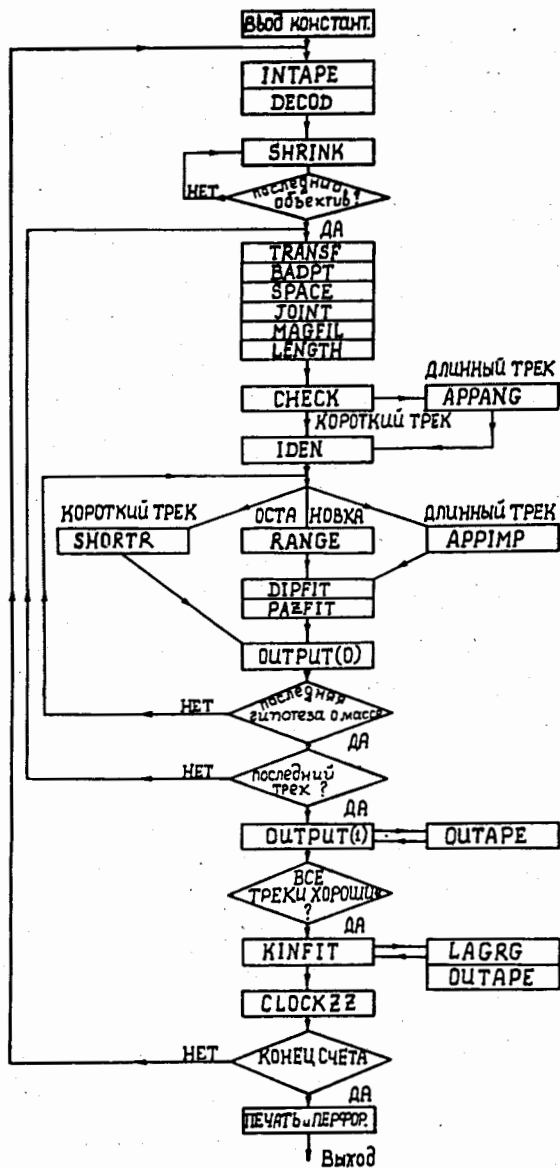


Рис. 1. Упрощенная схема программы ГЕОФИТ-1.

Рис. 2. Распределения параметров смоделированных треков а) импульсов, б) $\text{tg } \alpha$, в) азимута. Были заданы следующие значения параметров: а) $P_0 = 10000 \text{ Мэв/с}$, б) $\text{tg } \alpha_0 = 0,000$, в) $\beta_0 = 1,5700$.

S P E C T R M O M E N T U M

BELOW THE LIMIT,		ABOVE THE LIMIT	
TOTAL NUMBER OF EVENTS	INTERVAL	500	UNIT= 2
		EVENTS	
-1,2200-004	-1,2000-004	7	I
-1,2000-004	-1,1800-004	1	I
-1,1800-004	-1,1600-004	4	IXX
-1,1600-004	-1,1400-004	2	IX
-1,1400-004	-1,1200-004	9	IXXXX
-1,1200-004	-1,1000-004	14	IXXXXXXX
-1,1000-004	-1,0800-004	22	IXXXXXXXXXXX
-1,0800-004	-1,0600-004	28	IXXXXXXXXXXXXX
-1,0600-004	-1,0400-004	46	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-1,0400-004	-1,0200-004	57	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-1,0200-004	-1,0000-004	72	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,9800-003	-0,9600-003	65	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,9600-003	-0,9400-003	70	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,9400-003	-0,9200-003	46	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,9200-003	-0,9000-003	31	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,9000-003	-0,8800-003	25	IXXXXXXXXXXX
-0,8800-003	-0,8600-003	8	IXXX
-0,8600-003	-0,8400-003	3	IXI
-0,8400-003	-0,8200-003	0	I
-0,8200-003	-0,8000-003	0	I

D I S T R I B U T I O N A L P H A

BELOW THE LIMIT,		ABOVE THE LIMIT	
TOTAL NUMBER OF EVENTS	INTERVAL	500	UNIT= 2
		EVENTS	
-4,8000-003	-4,4000-003	7	I
-4,4000-003	-4,0000-003	9	I
-4,0000-003	-3,6000-003	2	IX
-3,6000-003	-3,2000-003	2	IX
-3,2000-003	-2,8000-003	5	IXXI
-2,8000-003	-2,4000-003	3	IXI
-2,4000-003	-2,0000-003	12	IXXXXX
-2,0000-003	-1,6000-003	14	IXXXXXXX
-1,6000-003	-1,2000-003	27	IXXXXXXXXXXX
-1,2000-003	-0,8000-004	41	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,8000-004	-0,4000-004	57	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,4000-004	-0,0000-014	54	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
-0,0000-014	0,0000-004	62	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
0,0000-004	0,4000-004	59	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
0,4000-004	0,8000-003	56	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
0,8000-003	1,2000-003	40	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,2000-003	1,6000-003	32	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,6000-003	2,0000-003	13	IXXXXXXX
2,0000-003	2,4000-003	13	IXXXXXXX
2,4000-003	2,8000-003	3	IXXI
2,8000-003	3,2000-003	5	IXXI
3,2000-003	3,6000-003	7	I
3,6000-003	4,0000-003	9	I

D I S T R I B U T I O N B E T A

BELOW THE LIMIT,		ABOVE THE LIMIT	
TOTAL NUMBER OF EVENTS	INTERVAL	500	UNIT= 2
		EVENTS	
1,3697-000	1,3670-000	0	I
1,3675-000	1,3672-000	7	I
1,3672-000	1,3670-000	9	I
1,3670-000	1,3667-000	2	IX
1,3667-000	1,3660-000	4	IXX
1,3660-000	1,3652-000	7	IXXX
1,3652-000	1,3650-000	12	IXXXXX
1,3650-000	1,3647-000	9	IXXXXX
1,3647-000	1,3640-000	28	IXXXXXXXXXXXXX
1,3640-000	1,3632-000	36	IXXXXXXXXXXXXX
1,3632-000	1,3625-000	43	IXXXXXXXXXXXXX
1,3625-000	1,3617-000	59	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3617-000	1,3610-000	62	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3610-000	1,3602-000	58	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3602-000	1,3595-000	42	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3595-000	1,3587-000	42	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3587-000	1,3578-000	37	IXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
1,3578-000	1,3572-000	17	IXXXXXXX
1,3572-000	1,3570-000	17	IXXXXXXX
1,3570-000	1,3567-000	10	IXXXX
1,3567-000	1,3560-000	3	IXXI
1,3560-000	1,3552-000	4	IXX
1,3552-000	1,3545-000	1	I
1,3545-000	1,3538-000	1	I
1,3538-000	1,3530-000	0	I
1,3530-000	1,3522-000	0	I

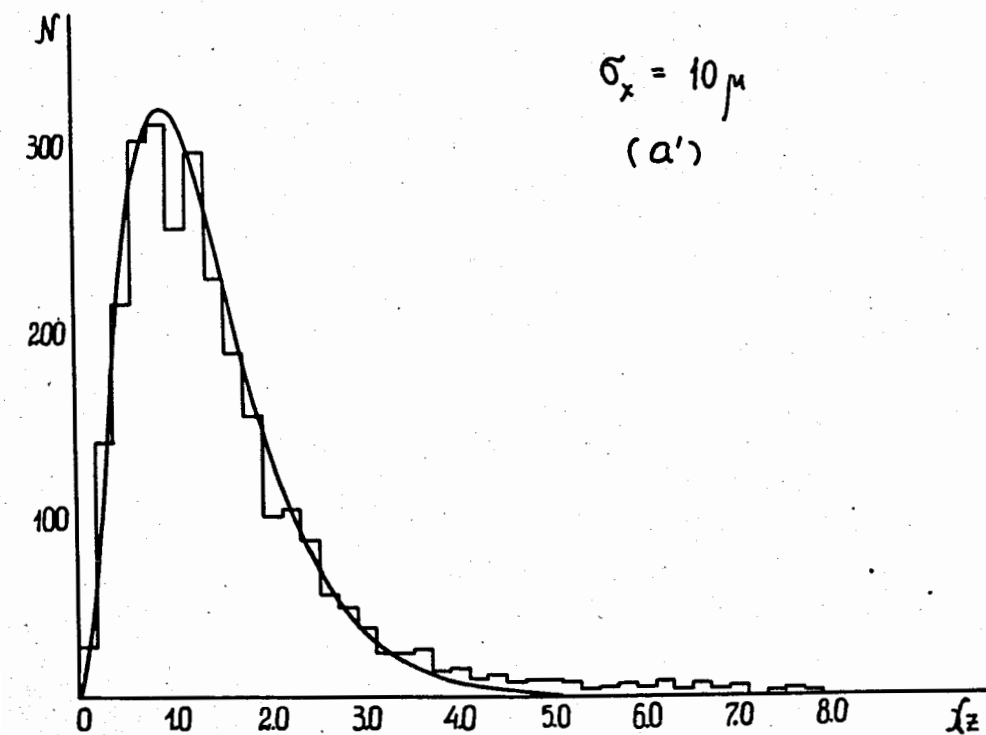
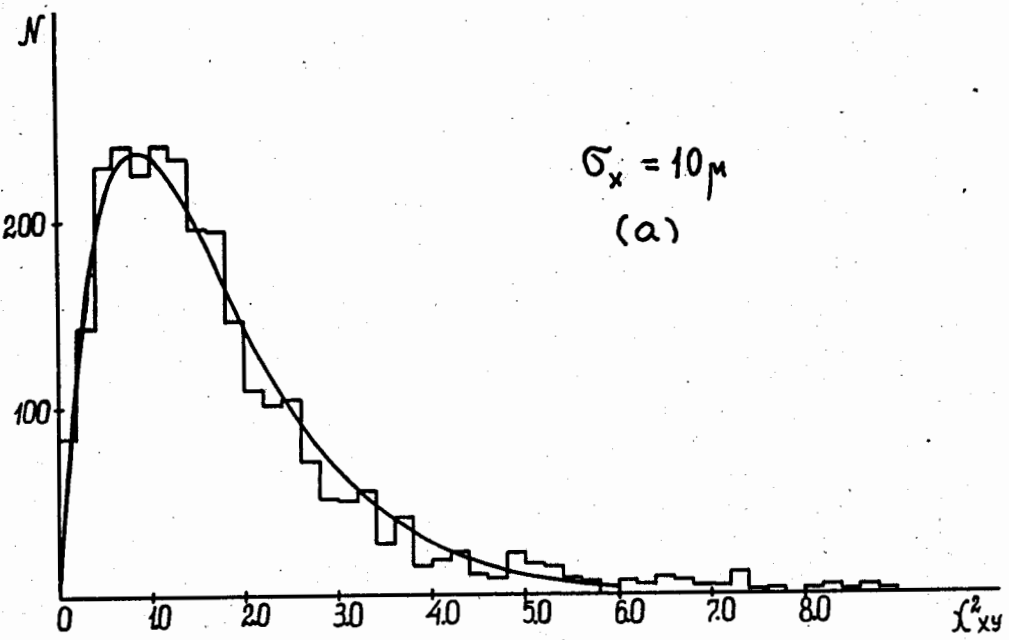
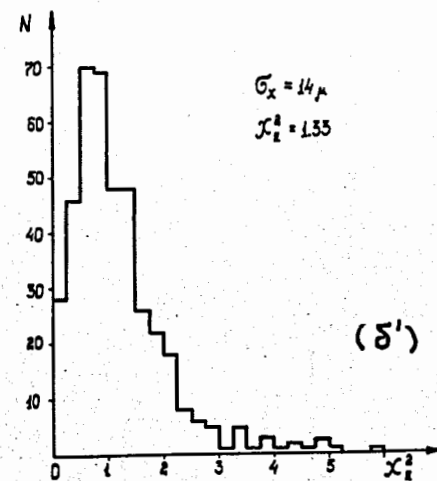
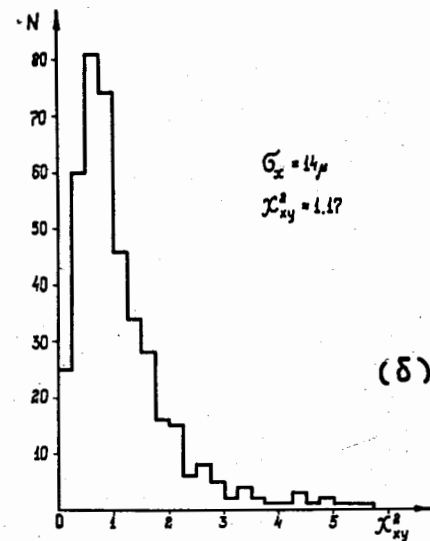


Рис. 3. Распределения величин (а,б) (а',б'). Ошибка измерения на пленке равна в случае а,а') 10μ ; б,б') - 14μ . Нанесены χ^2 -кривые, соответствующие шести степеням свободы.



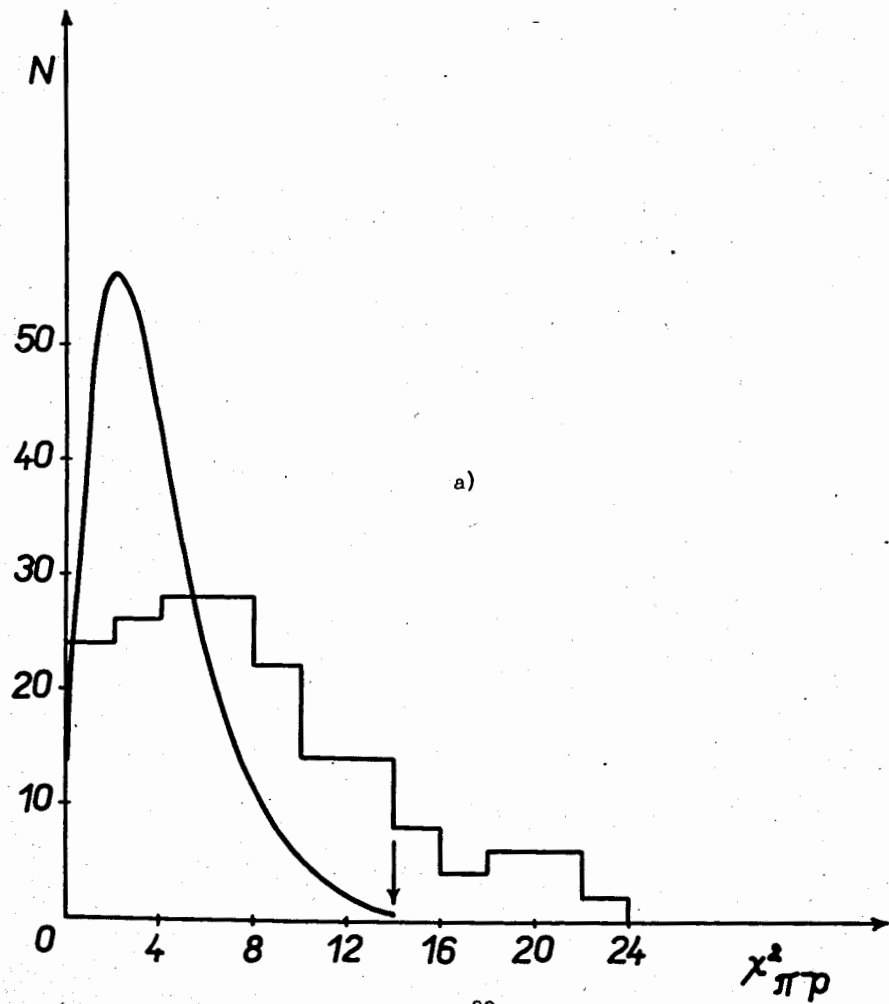


Рис. 4. Распределения величин χ^2 для канала реакции $\pi^- p \rightarrow \pi^- p$.
 Расчёты а) - по программе 10-30, б) - по программе ГЕОФИТ-1. Теоретические кривые соответствуют 4 степеням свободы.

