

Ц 8406

Б-904

7191

ЛЯП

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3214/4-73

10 - 7191

Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА
ДЛЯ ЖИДКОВОДОРОДНЫХ ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР
НА ЭВМ БЭСМ-6

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

10 - 7191

Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов

**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА
ДЛЯ ЖИДКОВОДОРОДНЫХ ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР
НА ЭВМ БЭСМ-6**

Геометрическая программа для жидководородных пузырьковых камер ОИЯИ /1,2/ на ЭВМ БЭСМ-6 является соответствующим образом модифицированной версией программы *THRESH* /3,4/.

Программа предназначена для реконструкции событий, снимки с которых обмеряются как на полуавтоматических /5/, так и автоматических /6,7/ измерительных установках.

При определении параметров треков учитываются потери энергии и топография магнитного поля /8,9/.

Поиск изображений одних и тех же треков на различных стереоснимках /идентификация проекций/ производится программным путем в процессе реконструкции событий, обмеренных на двух или трех снимках /10/.

Специальные подпрограммы проверяют качество реконструкции треков и отбирают из них только те, которые могут принадлежать к данному событию, сравнивают топологию восстановленного события с заданной. На ленту результатов записываются только те события, топология которых совпадает с заданной.

Информация о параметрах камеры, системы фотографирования, топография магнитного поля, разнообразные константы и т.п. задаются на перфокартах в виде набора блоков информации. Управляющие карты задают режим работы программы, данные, которые могут меняться от одного сеанса счета к другому, количество выдаваемой на печать информации, указывают число записей, которые нужно пропустить на лентах с исходными данными и результатами счета.

Эта программа также может использоваться для реконструкции событий и в других трековых камерах, системы фотографирования которых удовлетворяют следующим условиям:

1. Фотографирование рабочего объема камеры производится не более чем четырьмя объективами, причем каждый объектив "видит" весь снимаемый объем.

2. Оптические оси объективов перпендикулярны поверхностям раздела сред, через которые производится съемка.

3. Для реконструкции события достаточно измерить его изображения на двух или трех стереоснимках.

§1. Исходные данные

Исходными данными для реконструкции событий являются измеренные на стереоснимках координаты изображений реперов, точек /вершин/ и треков, снабженные соответствующими метками.

Меткой репера является его номер, состоящий из одной или двух десятичных цифр, точки-буква, трека-буква и цифра или две разные буквы. Первый символ метки трека определяет точку, из которой он выходит, второй - конечную точку, если она измерена как вершина, или порядковый номер трека в событии. Например, трек АК соединяет две вершины события А и К, а треки А1, А2, А3 и т.д. образуются в точках А и выходят за пределы камеры. Второй символ пучкового трека обычно полагается равным единице.

Результаты обмера стереоснимков каждого события после предварительной обработки ^{/11-13/} записываются на магнитную ленту в форме стандартных массивов, внешне отличающихся только названием ^{/14/}. Информация в этих массивах располагается в следующем порядке:

название массива / *HZGEOM* или *PRGEOM* /,
длина массива,
банк события,
банки реперов,
банка точек,

банки треков,
банк измерений /координатных пар/.

Банк события состоит из шестнадцати слов, в которых задается основная служебная информация о событии: номер эксперимента, номер события, шифр оператора, номер измерительного устройства, номер соответствующего набора блоков информации, номера измеренных снимков, число обмеренных элементов /реперов, точек, треков/, общее количество координатных пар.

Банки реперов и точек состоят из шести слов, в которых содержится метка элемента /первое слово/ и адреса измерений этого элемента в банке координатных пар на первом /третье слово/, на втором /четвертое слово/, на третьем /пятое слово/ и четвертом /шестое слово/ снимках. Второе слово этих банков не используется.

Банки треков состоят из десяти слов, в которых указывается метка трека /первые два слова/, число измерений и адрес первого измерения его проекции на первом снимке /третье, четвертое слова банка/, втором /пятое, шестое/, третьем /седьмое, восьмое/ и четвертом /девятое, десятое/.

Название массива определяется типом измерительной системы.

Записываемая на ленту информация отличается не только названием, но и рядом других данных. Так, например, при обмере событий на полуавтоматах оператор находит изображения одних и тех же треков и измеряет их в определенной последовательности. В результате трековые банки содержат информацию о проекциях одних и тех же треков события. При измерениях стереоснимков на автоматах /НРД, спиральный измеритель/^{6,7}/ проекции треков события, как правило, измеряются подряд по часовой стрелке /или против часовой/, начиная с проекции пучкового трека. В этом случае трековые банки содержат информацию о проекциях реальных треков только в тех случаях, когда номера их проекций на разных стереоснимках совпадают. Кроме того, в результатах измерений на автоматах могут содержаться лишние треки, обусловленные наличием фона и несовершенством программ фильтрации /10/.

Для успешной реконструкции исходные данные должны удовлетворять следующим условиям:

1. На каждом стереоснимке должно быть измерено не менее четырех реперных точек.

2. Проекции точек и треков должны быть измерены не менее чем на двух снимках.

3. Число обмеренных снимков события не должно превышать трех. События, измеренные на четырех снимках, программой не обрабатываются.

4. Порядок обмера проекций треков на снимках, за исключением пучкового, не имеет значения. Пучковый трек желательно измерять на всех снимках первым. Это связано с тем, что при больших энергиях точность определения параметров пучкового трека недостаточна для его идентификации программным путем с помощью стандартной процедуры.

5. Число измеряемых на проекции трека точек должно лежать в интервале от 5 до 25.

6. Для реконструкции коротких останавливающихся треков достаточно измерить точку остановки как вершину и снабдить ее соответствующей меткой. Треки, длина которых больше 10-15 см /в пространстве камеры/, могут измеряться обычным способом, т.к. учет потерь энергии позволяет правильно определять их параметры.

§2. Обработка результатов измерений на стереоснимках

Координатная система камеры, в которой производится реконструкция события, задается блоками информации при условии, что ось Z направлена в сторону фотообъективов, а плоскость XU совпадает с плоскостью разделительного стекла, соприкасающегося с рабочей жидкостью. Именно в этой плоскости задаются "кажущиеся" координаты реперных точек ^{13/}.

Координаты измеренных на снимках реперов, точек и треков сначала пересчитываются в эту плоскость. Матрица преобразования состоит из шести коэффициентов и вычисляется по заданным и измеренным на снимке

значениям координат реперных точек методом наименьших квадратов. Для использования этого метода на каждом снимке необходимо измерять не менее четырех реперов. Если на снимке измерено только три репера, то программа вместо шести коэффициентов вычисляет четыре, предполагая ортогональность преобразования.

Матрица преобразования используется в первую очередь для проверки качества обмера реперных точек. Для этого измеренные значения их координат переводятся в плоскость XU и вычисляются разности между измеренными и заданными значениями реперов. Когда эти разности превышают заданный допуск, то реперная точка с максимальной разностью выбрасывается из рассмотрения и вычисляется новая матрица преобразования, если число оставшихся реперов ≥ 3 . Если число оставшихся реперов < 3 , то весь снимок исключается из дальнейшего рассмотрения.

Для хорошо измеренных снимков, т.е. снимков, на которых достаточно точно измерено не менее трех реперов, координаты точек и треков пересчитываются в плоскость XU . В этой плоскости вводятся поправки на нелинейные искажения и другие погрешности системы фотографирования. Процедура учета погрешности задается подпрограммой *DISTOR* и блоком информации *CORREC*.

Проверка качества обмера проекции треков на стереоснимках производится в плоскости, которая в дальнейшем будет называться рабочей плоскостью. При переводе координат из плоскости XU в рабочую они умножаются на отношение толщины среды с показателем преломления, равным единице, к сумме толщин всех сред, через которые производится съемка, за исключением рабочей. После умножения на это отношение координаты точек и треков из координатной системы снимка переводятся в координатную систему камеры.

Проекция треков в рабочей плоскости подвергаются следующие испытаниям:

1. x - и y -ые координаты точек проекции сравниваются с заданными пределами изменения. Если одна или обе координаты точки трека выходят за заданные пределы, то измерение отбрасывается.

2. Через измеренные точки проекции методом наименьших квадратов проводится окружность, и вычисляются ее параметры, а также угловые отклонения θ_i измерений от начальной точки проекции, их разности $\Delta\theta_i$ между парами последовательных точек и их среднее $\overline{\Delta\theta}$ без учета максимальной разности.

Программа исключает проекцию из дальнейшего рассмотрения, если на ней обнаружено две и более разностей $\Delta\theta_i$, значения которых больше $n * \overline{\Delta\theta_i}$, или имеется одна такая разность, которая не принадлежит крайним точкам проекции. Значение n задается в блоке информации *CONS*.

3. Вычисляется стрела прогиба проекции. Если ее значение больше заданного максимального значения, проекция делится на две части, подгонка которых под окружность делается независимо. Начальная часть изображения используется в дальнейшем для определения параметров трека в первом приближении. При окончательном определении параметров учитываются все измеренные точки.

Программа вычисляет отклонения измеренных точек от окружности. Если проекция разделена на две части, то обе окружности обрабатываются отдельно. Наибольшее отклонение сравнивается с допуском, величина которого зависит от радиуса кривизны окружности.

Если максимальное отклонение измерения от окружности превышает заданный допуск, то оно временно отбрасывается и производится новая подгонка под окружность. Если повторная подгонка не дает положительного результата, то первое отброшенное измерение восстанавливается, а выбрасывается одна из конечных точек трека. После этого через оставшиеся точки снова проводится окружность. Если ни один из рассмотренных вариантов не дает положительного результата, то проекция исключается.

4. На заключительном этапе программа вычисляет расстояние начальной точки проекции /изображения вершины/ от окружности и сравнивает его с заданным допуском. Проекция отбрасывается, если расстояние начальной точки от окружности больше заданного.

§3. Идентификация проекций треков

Используемая в программе методика идентификации проекций треков на стереоснимках события^{/10/} была разработана для измерительных систем, в которых оператор вручную измеряет только вершину события. Проведенные исследования^{/15,16/} показали, что эта методика также применима для анализа событий, измеряемых на полуавтоматах и сканирующем автомате типа НРД.

Исходные для идентификации данные вычисляются при обработке результатов обмера стереоснимков и запоминаются в специальных массивах. Каждая проекция и ее параметры /углы, кривизна, стрела прогиба, длина и т.д./ определяются двумя индексами: номер снимка и номер проекции на этом снимке.

Идентификация проекций треков, выходящих из данной вершины события, производится в следующей последовательности:

1. Из всех возможных пар проекций на снимках обмеренных стереопар отбираются такие пары/ дублиеты/, знаки кривизны которых совпадают, а касательные в начальных точках траекторий направлены в одну сторону относительно базы стереопары. Из этих пар составляются списки дублиетов проекций, прошедших предварительные испытания.

2. Из списков дублиетов выбираются все возможные триплеты проекций, которые могут принадлежать реальным трекам события. Эти триплеты подвергаются следующим испытаниям:

А. По значениям углов, которые касательные в начальных точках проекций образуют с одной из осей координатной системы, вычисляется пространственный угол трека и его проекция на третьем снимке. Если разность между вычисленным и измеренным значениями углов превышает заданный допуск, то триплет исключается из списка.

Б. Для каждого триплета, прошедшего предыдущее испытание, вычисляется качество^{/17/}. Чем меньше качество триплета, тем вероятнее, что его компоненты

являются проекциями реального трека. Заметим, что в случае идеальной оптики и отсутствия измерительных ошибок качество триплета проекций реального трека равно нулю.

Если качество триплета превышает заданный допуск, триплет исключается из списка.

В. Для триплетов, качество которых велико, а радиусы кривизны проекций меньше заданной величины, производится проверка кривизн. Для этого по двум проекциям триплета вычисляется радиус кривизны трека в пространстве и его проекция на третий снимок. Если вычисленное и измеренное значения радиуса кривизны проекции трека на этом снимке совпадают в пределах заданного допуска, триплет остается в списке.

3. Все триплеты списка, прошедшие указанные испытания, включаются в список предварительно согласованных триплетов и располагаются в нем в порядке возрастания их качеств.

Из этого списка выбирается набор триплетов для реконструкции треков события, который удовлетворяет двум условиям:

А. Любая проекция должна встречаться в наборе только один раз /критерий единственности/.

Б. Суммарное значение качества набора имеет минимальное значение.

4. Реконструкция треков набора производится в соответствии с описанной в следующем параграфе процедурой.

Если один или несколько триплетов отбрасываются в процессе реконструкции, то программа исключает их из списка предварительно согласованных триплетов и составляет новый набор в соответствии с указанными выше критериями и т.д. до тех пор, пока не будут восстановлены все треки события или не будет исчерпан весь список.

При наличии нескольких решений программа по задаваемым критериям отбирает из них наилучшее.

5. Завершив обработку списка триплетов, программа сравнивает топологию восстановленного события с заданной.

6. Если восстановлены не все треки события, то начинается анализ списков дублетов. Из списков дублетов отбираются пары проекций, которые не вошли в восстановленные триплеты и удовлетворяют следующим критериям отбора:

А. Координаты конечной точки трека, образованного компонентами дублета, не выходят за пределы фотографируемого объема камеры.

Б. Качество дублета не превышает заданного допуска. Под качеством дублета здесь понимается разность пространственных кривизн двух проекций, деленная на их полусумму. Для вычисления качества проекции кривизны в рабочих плоскостях проектируются в пространство камеры. Положение трека в камере определяется координатами начальной и конечной точек.

Из списка предварительно согласованных дублетов выбирается набор с минимальным качеством, удовлетворяющий критерию единственности, и начинается его реконструкция.

Эта методика идентификации проекций треков события применима также для анализа событий, проекции треков которых измеряются только на двух снимках^{116/}. В этом случае все треки события либо измеряются на двух снимках, либо событие измерено на трех снимках, но проекции каждого трека события обмеряются только на двух снимках.

Рассмотренная методика не всегда дает хорошие результаты для энергичных пучковых треков и треков, образующих большие углы с горизонтальной плоскостью. Для того чтобы избежать потерь хороших событий, в этих случаях в процедуры идентификации необходимо вносить соответствующие изменения. Так, например, для реконструкции случаев упругого pp -рассеяния при 36 Гэв/с стандартная процедура не позволяла из-за экспериментальных ошибок надежно выделять и идентифицировать пучковые треки. В связи с этим в ряд подпрограмм были внесены изменения, позволившие находить проекции пучкового трека по их номеру в предположении, что они на всех снимках измеряются первыми.

§4. Определение параметров треков

Параметры треков событий определяются с учетом потерь энергии и неоднородности магнитного поля /8/ в следующей последовательности:

- Вычисляются пространственные координаты точек трека (X, Y, Z) с помощью стандартной процедуры поиска соответствующих точек /3/.

- Через пространственные координаты точек трека методом наименьших квадратов проводится винтовая линия и вычисляются ее параметры /радиус кривизны, глубинный и азимутальный углы/, которые затем уточняются с учетом всей экспериментальной информации. Определяется характер трека /пучковый, положительный, отрицательный и т.д./ и для него выбирается набор массовых гипотез.

- Параметры треков вычисляются с учетом потерь энергии и топографии магнитного поля для каждой массовой гипотезы /8/.

Пренебрегая многократным рассеянием, траекторию заряженной частицы в рабочем объеме пузырьковой камеры можно определить, задав ее массу и пять параметров в начальной точке трека. Этими параметрами являются:

λ_0 - глубинный угол /в радианах/;

β - угол, который нормаль к треку в горизонтальной плоскости XU образует с осью X -ов /в радианах/.

A, B и C - пространственные координаты начальной точки трека /в сантиметрах/.

$1/P_0$, где P_0 - импульс частицы /ГэВ/с/.

Суть используемого в программе метода определения указанных параметров заключается в следующем:

/1/ Находится выражение для расстояния /по перпендикуляру/ от измеренной на снимке точки до проекции траектории трека на этот снимок.

/2/ Приближенные значения параметров, описывающих траекторию частицы, предполагаются известны-

ми. Они вычисляются при подгонке спирали под пространственные координаты точек трека.

/3/ Выражение для d определяется как линейная функция поправок к значениям каждого из пяти параметров.

/4/ Наилучшие значения поправок к параметрам вычисляются путем минимизации суммы d_i^2 , взятой по всем измерениям трека на всех снимках.

/5/ Процедура подгонки повторяется до тех пор, пока сумма значений поправок, вычисленных в данной итерации, не станет меньше заданной величины. В качестве критерия сходимости итерационного процесса используется следующее выражение:

$|\Delta\lambda| + |\Delta\beta| + |\Delta P_0| + |0.2 \times \Delta C| + \Delta A$ /или $|\Delta B|$ / $< 0,001$.
Здесь: $\Delta\lambda$, $\Delta\beta$ и т.д. - поправки к значениям параметров.

При расчете траектории частицы с помощью численного интегрирования уравнений движения вычисляются пространственные координаты (X, Y, Z) точек трека на данном расстоянии S от его начальной точки и частные производные этих координат по каждому из пяти параметров.

Для получения достаточной точности при вычислении интегралов интервалы между двумя последовательными точками трека в случае необходимости делятся на несколько подинтервалов. Максимальная величина интервала между двумя точками трека задается в блоках информации.

В процессе интегрирования уравнений движения в каждой пространственной точке трека вычисляется импульс частицы из соотношения импульс-пробег и компоненты магнитного поля H_Z и H_R с помощью соответствующих функций.

Если итерационный процесс для заданного значения массы сошелся за семь или меньшее число итераций, вычисляется средний разброс измеренных точек относительно проекций траектории трека на стереоснимки. Эта величина в дальнейшем используется для оценки качества реконструкции трека.

Массовый фит не производится в тех случаях, когда

длина трека в пространстве значительно превышает его пробег для заданного значения массы.

§5. Проверка результатов реконструкции события

Качество реконструкции каждого восстановленного трека оценивается по следующим данным:

- Величине среднего разброса измерений относительно проекций траектории частицы на стереоснимки события.

- Минимальному расстоянию траектории частицы от соответствующей вершины события.

Для каждого трека вычисляется специальный параметр, характеризующий его "ненадежность". Величина этого параметра зависит от разброса, расстояния от вершины и числа проекций /триплет или дублет/. Чем больше значение этого параметра, тем хуже результаты реконструкции трека.

Специальные подпрограммы проверяют соответствие топологии восстановленного события заданной. Если не все треки события восстановлены, то в обычном варианте программы такое событие не записывается на ленту результатов. Если же программа восстановила больше треков, чем задано, то она отбирает наилучшие треки каждого типа.

Кроме того, программа также выделяет подозрительные треки, то есть треки, для которых величина среднего разброса или минимального расстояния, хотя и меньше заданного предела, но все же достаточно велика. И это следует иметь в виду при дальнейшем анализе события. Критерии для классификации треков на хорошие, подозрительные и плохие задаются в блоках информации.

Обнаруженные программой ошибки заносятся в специальное слово /одинадцатое/ соответствующего трекового банка в виде цифрового кода, определяющего тип ошибки.

§6. Схема сегментации программы

В связи с тем, что объем программы превышает выделенный для пользователей участок оперативной памяти ЭВМ БЭСМ-6, программа разделена на несколько разделов /сегментов/, сменяющих друг друга в процессе счета.

Программа состоит из главного сегмента и вызываемых им сегментов нескольких уровней. Главный сегмент постоянно находится в оперативной памяти ЭВМ, содержит общие блоки для обмена информацией между остальными сегментами и организует их работу. В настоящее время программа состоит из главного сегмента и девяти сегментов трех различных уровней. Схема сегментации программы имеет следующий вид:

MGTMP (TUSER, TSTART, THEV1, TRACKS, THOUT)
TRACKS (TRACK1, FINDPT)
FINDPT (VRMAT, QNETRK)

Рассмотрим кратко назначение каждого сегмента.

- MGTMP* - главный сегмент.
- TUSER* - предназначен для ввода управляющих карт, блоков информации и их обработки.
- TSTART* - считывание результатов обмера события с ленты исходных данных и проверка, нужно ли обсчитывать это событие.
- THEV1* - перевод результатов измерений из плоскости пленки в рабочую плоскость и реконструкция вершин события.
- TRACKS* - организация процесса реконструкции треков.
- TRACK1* - обработка результатов обмера треков события в рабочей плоскости, вычисление исходных данных для идентификации проекций.
- FINDPT* - организация идентификации проекций, реконструкция треков и уточнение координат вершин события.
- VRMAT* - идентификация проекций в заданной вершине.
- QNETRK* - реконструкция треков и определение их параметров.

THOUT - формирование массива результатов реконструкции и запись его на ленту результатов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Н.Н.Говоруну, Р.М.Лебедеву, А.Ф.Лукьянцеву, В.П.Ширикову и Г.Л.Мазному за помощь в работе и полезные обсуждения.

Литература

1. A.V.Belonogov et al. *Nuclear Instrum. and Methods*, 20, 114 (1963).
2. Н.В.Богуславский и др. *ОИЯИ*, 13-4466, Дубна, 1969.
3. W.G.Moorhead, CERN, 60-33, Geneva, 1960.
4. J.Altaber et al., ANL-7515, Argonne, 1968.
5. В.В.Ермолаев, З.М.Иванченко и др. *ОИЯИ*, ЛЮ-6442, 342-351, Дубна, 1971.
6. В.Я.Алмазов и др. *ОИЯИ*, 10-4513, Дубна, 1969.
7. А.Я.Астахов и др. *ОИЯИ*, РЮ-4943, Дубна, 1970.
8. W.G.Moorhead. CERN DD/DH/67/6, Geneva, 1967.
9. V.G.Ivanov, W.G.Moorhead. CERN DD/DH/69/12. Geneva, 1969.
10. J.M.Gerard et al. CERN DD/DP/68/8, Geneva, 1968.
11. Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов. *ОИЯИ*, 10-6956, Дубна, 1973.
12. Л.А.Владимиров и др. *ОИЯИ*, 10-6837, Дубна, 1973.
13. З.М.Косарева и др. *ОИЯИ*, 10-6695, Дубна, 1972.
14. Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун и др. *ОИЯИ*, РЮ-5785, Дубна, 1971.
15. V.G.Ivanov, D.O.Williams. CERN DD/DP/69/11, Geneva, 1969.
16. Н.А.Буздавина, В.Г.Иванов, Р.М.Лебедев. *ОИЯИ*, ДЮ-6442, стр. 394-397, Дубна, 1971.
17. Vera Pless. ANL 17346, Argonne, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 мая 1973 года.