

СЗ44.1а

А-341

4577/2-76

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



15/xi-76

P1 - 10014

Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.В.Иванов, А.С.Кузнецов,
Г.Д.Столетов

ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
НА МАГНИТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
С ПРОВОЛОЧНЫМИ ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ

1976

P1 - 10014

Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.В.Иванов, А.С.Кузнецов,
Г.Д.Столетов

ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
НА МАГНИТНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ
С ПРОВОЛОЧНЫМИ ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ



1. Введение

Описываемые программы обработки событий являются программами 2-го приоритета системы программ^{/1/}, созданной для работы физической аппаратуры на линии с ЭВМ БЭСМ-4 в реальном масштабе времени при проведении экспериментов по измерению импульсных спектров вторичных частиц, испущенных во взаимодействиях протонов и дейтронов с ядрами^{/2/}, на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Сведения о магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами, о структуре программного обеспечения эксперимента и о программах 1-го приоритета приведены в^{/1/}. Краткое описание некоторых подпрограмм обработки событий приводилось ранее в^{/3/}.

Программы написаны на автокоде "Ассемблер" системы математического обеспечения БЭСМ-4 "Дубна"^{/4/}. Так как общая длина программ 2-го приоритета превышала объем одного куба оперативной памяти ЭВМ, была реализована предусмотренная в системе "Дубна" возможность сегментации программы на разделы, которые хранились на магнитном барабане и последовательно сменяли друг друга в процессе вычислений.

2. Сегментация комплекса программ

Объединение подпрограмм в разделы производилось так, чтобы максимально сэкономить оперативную память ЭВМ и при этом не терять много времени на обращение к МБ для перезагрузки разделов. В результате для работы в реальном масштабе времени распределение

по разделам осуществлялось следующим образом:

Раздел 0-го уровня – управляющая программа подпрограмм 2-го приоритета, подпрограммы распознавания треков, контроля напряжений в установке, формирования массива результатов для каждого события.

Разделы I-го уровня:

1-ый раздел – подпрограмма ввода констант;

2-й, 3-й, 4-й разделы – подпрограммы печати на АЦПУ заголовка и некоторой информации, накопленной в процессе работы программ I-го приоритета;

5-й раздел – подпрограмма контроля правильности работы системы съема, кодирования и передачи информации с искровых камер и канала связи в специальном режиме работы "Тест";

6-й раздел – подпрограмма вычисления импульсов частиц и построения соответствующих гистограмм;

7-й раздел – подпрограмма юстировки искровых камер;

8-й раздел – подпрограмма анализа пробоев искровых камер по "старым" искрам;

9-й раздел – подпрограмма печати на АЦПУ изображений событий в сегментах искровых камер;

10-й, 11-й, 12-й разделы – подпрограммы накопления гистограмм, характеризующих работу искровых камер;

13-й раздел – подпрограмма построения распределений показаний пересчетных схем во времени в пределах длительности импульса ускорителя;

14-й раздел – подпрограмма построения "профилей" пучка;

15-й раздел – подпрограммы печати на АЦПУ таблиц и гистограмм.

Резидент загрузчика и раздел 0-го уровня находились в оперативной памяти в течение всего времени работы системы программ, а

разделы I-го уровня вызывались с МБ в случае обращения к подпрограммам, входящим в эти разделы.

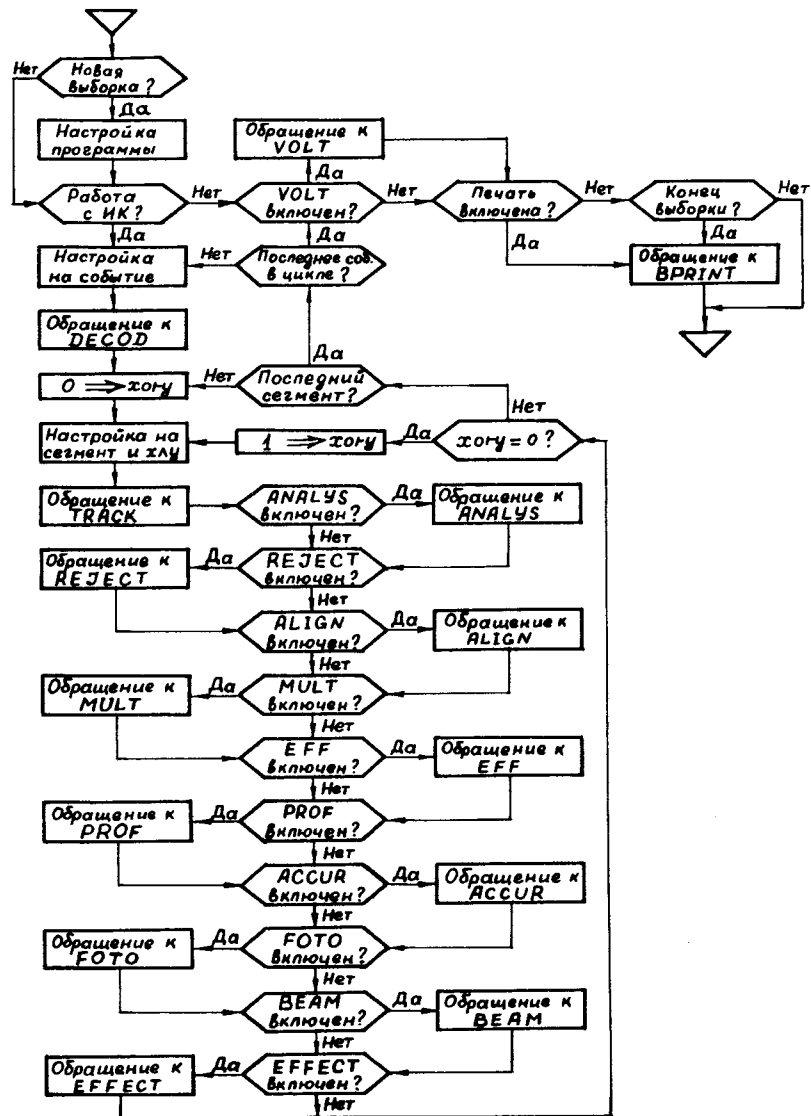
3. Управляющая программа подпрограмм 2-го приоритета

Информация, поступающая в ЭВМ с экспериментальной установки, обрабатывалась по программам 2-го приоритета в промежутках (длительностью ~ 10 с) между импульсами ускорителя; за это время удавалось обработать около 30% регистрируемых событий. Последовательность обработки событий определялась управляющей программой подпрограмм 2-го приоритета SELEC в соответствии с информацией, заданной на клавишных запоминающих устройствах (КЗУ) пульта ЭВМ.

Программа SELEC могла настраиваться на обработку данных с различного числа сегментов (вплоть до четырех), включающих до 16 двухкоординатных искровых камер. В описываемых экспериментах использовалось два сегмента, причем первый сегмент, состоявший из 6 камер, располагался во входной, а второй сегмент из 5 камер – в выходной ветвях магнитного спектрометра. Упрощенная блок-схема SELEC приведена на рис.1. Описание отдельных подпрограмм 2-го приоритета дано ниже.

4. Подпрограммы обработки событий

При обработке событий использовались прямоугольные системы координат, $(X^{\ell}, Y^{\ell}, Z^{\ell})$, связанные с 1-м ($\ell = 1$) и 2-м ($\ell = 2$) сегментами, а также общая система координат (X, Y, Z) . Направления осей X^1, X^2, Y^1, Y^2 совпадали с направлениями проволок, образующих электроды двухкоординатных искровых камер, направления осей Z^1 и Z^2 были выбраны вдоль средних направлений дви-



Р и с. 1. Блок-схема программы SELES.

жения частиц в сегментах, а ось Z была ориентирована вдоль прямоугольного полюса анализирующего магнита. Юстировка установки перед экспериментом производилась таким образом, чтобы оси Y^1, Y^2 и Y были параллельны.

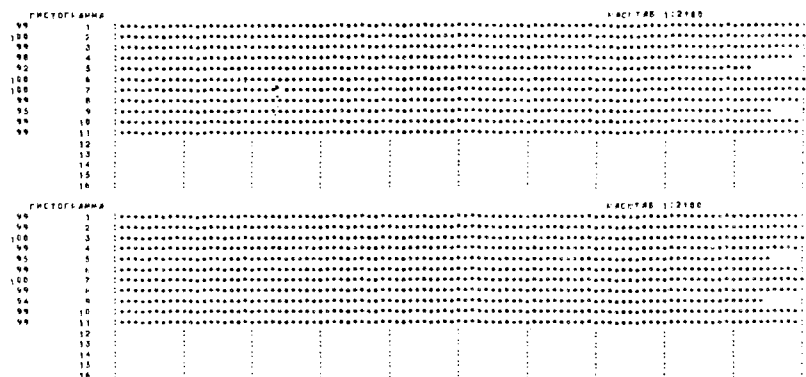
Подпрограмма DECOD декодирует "слова события" и "слова искровой информации" /I/, преобразует адреса искр в пространственные координаты (в системе соответствующего сегмента) с учетом поправок, вычисленных в результате программной юстировки камер, формирует массивы координат, определяет число перемажниченных искрой смежных колец в матрицах памяти камер, подсчитывает число случаев несрабатывания плоскостей камер при запуске. Значения координат искр в x - и y - плоскостях искровых камер определялись по формулам:

$$\begin{aligned} x_i^j &= [n_i + \frac{1}{2}(\pi_i - 1)]\delta + d_x^i, \\ y_j^i &= [n_j + \frac{1}{2}(\pi_j - 1)]\delta + d_y^j, \end{aligned} \quad (I)$$

где n_i (n_j) - номер I -го перемажниченного i -той (j -той) искрой кольца в данной плоскости, π_i (π_j) - число смежных колец, перемажниченных этой искрой, δ - шаг намотки электродов, d_x^i (d_y^j) - смещение I -й проволоочки плоскости в направлении оси X^i (Y^j) от оси Z^i сегмента. В DECOD предусмотрена возможность регистрации до 8 искр в каждой x - или y -плоскости.

Подпрограмма REJECT осуществляет контроль эффективности искровых камер к запуску. Здесь периодически вычисляются усредненные по заданному числу запусков значения эффективностей; если неэффективность какой-либо плоскости превысит заданное значение (обычно 12,5%), то автоматически печатается предупреждение экспериментатору с указанием номера плоскости и значения эффективности. Типичные значения эффективностей камер к запуску показаны на рис. 2.

Эффективность камер к запуску (в процентах)



Р и с. 2.

ОСТИРОВКА КАМЕР, 1247 СОБЫТИЙ

ТРЕКОВ В СЕГМЕНТАХ, X-ПРОЕКЦИЯ 855 1044
ТРЕКОВ В СЕГМЕНТАХ, Y-ПРОЕКЦИЯ 890 997

ПОПРАВКИ К СМЕЩЕНИЯМ КАМЕР, ММ

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,00	0,07	0,03	-0,00	-0,59	0,00	0,00	0,30	0,86	0,11	0,00
0,00	0,00	-0,04	-0,03	0,02	0,00	0,00	-0,43	-0,09	0,00	0,00

СМЕЩЕНИЯ КАМЕР ПОСЛЕ ОСТИРОВКИ, ММ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
96,00	97,36	1,92	2,54	-0,37	0,00	238,19	246,97	-3,48	0,86	0,00
96,00	97,83	-2,06	-3,79	-3,01	0,00	0,00	0,13	1,68	3,08	0,00

ОСТИРОВКА КАМЕР, 1247 СОБЫТИЙ

ТРЕКОВ В СЕГМЕНТАХ, X-ПРОЕКЦИЯ 862 1045
ТРЕКОВ В СЕГМЕНТАХ, Y-ПРОЕКЦИЯ 887 991

ПОПРАВКИ К СМЕЩЕНИЯМ КАМЕР, ММ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	-0,00	0,00
0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00

СМЕЩЕНИЯ КАМЕР ПОСЛЕ ОСТИРОВКИ, ММ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
96,00	97,36	1,92	2,55	-0,42	0,00	238,19	246,60	-3,46	0,86	0,00
96,00	97,83	-2,07	-3,79	-3,01	0,00	0,00	0,13	1,67	3,08	0,00

Р и с. 3.

В подпрограмме ВЕАМ строятся распределения показаний пересчетных схем во времени в пределах длительности импульса ускорителя; подсчитываются и периодически выдаются на печать усредненные по заданному числу циклов показания пересчетных схем и число событий за цикл.

Подпрограмма ТРАСК из массива x - или y -координат искр для текущего сегмента выбирает координаты, принадлежащие одному треку. Координаты считаются принадлежащими треку, если их расстояния от прямой, проведенной через координаты в двух базисных плоскостях, не выходят за пределы заданной дорожки. Поиск трека начинался при некоторой минимальной полуширине дорожки, обычно ± 1 мм, и в процессе поиска дорожка расширялась до заданного максимального значения, обычно ± 4 мм. Трек считается найденным, если число принадлежащих ему искр не меньше заданного. Для сегментов, содержащих 6 и 5 искровых камер, минимальное число точек на треке задавалось равным 4 и 3, соответственно. Алгоритм распознавания трека был реализован применительно к произвольному числу камер в сегменте; при этом использовался динамический выбор базисных плоскостей^{5/}. Была предусмотрена возможность поиска нескольких треков для одного и того же массива координат и выбора из них "лучшего" трека. Однако ввиду того, что по два трека в сегменте находилось не более чем в 5% случаев, при работе в реальном масштабе времени с целью ускорения обработки эта возможность не использовалась.

В подпрограмме ТРАСК также вычислялись параметры a'_x, b'_x, a'_y, b'_y прямых

$$\begin{aligned} \tilde{x}^l &= a'_x z^l + b'_x, \\ \tilde{y}^l &= a'_y z^l + b'_y, \end{aligned} \quad (2)$$

аппроксимирующих проекции трека на плоскости $X'O'Z'$ и $Y'O'Z'$ текущего сегмента. Параметры прямых (2) находились из соотношений

$$\begin{aligned} a_x D &= n \sum_{i=1}^n x_i^l z_i^l - \sum_{i=1}^n x_i^l \sum_{i=1}^n z_i^l, \\ b_x D &= \sum_{i=1}^n x_i^l \sum_{i=1}^n (z_i^l)^2 - \sum_{i=1}^n x_i^l z_i^l \sum_{i=1}^n z_i^l, \\ D &= n \sum_{i=1}^n (z_i^l)^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i^l \right)^2, \quad l=1, 2, \end{aligned} \quad (3)$$

где n — число искр на треке, x_i^l — измеренные значения координат трековых искр, z_i^l — координаты камер. Далее вычислялись среднеквадратичные отклонения координат точек трека от прямых (2).

Подпрограмма ANALYS предназначена для выбора "лучшего" трека из нескольких, найденных для одного события, а также для проверки того, не образован ли трек текущего события в результате пробоев вдоль трека предыдущего события. При выборе "лучшего" трека предпочтение отдается трекам, содержащим больше точек, а в случае равенства числа точек — имеющим меньшую сумму среднеквадратичных отклонений точек трека. В ANALYS строятся распределения событий по числу треков, а также распределения треков по ширине дорожки, при которой они были найдены, по числу точек, по сумме среднеквадратичных отклонений точек трека от аппроксимирующей прямой.

Подпрограмма ALIGN использовалась для программной юстировки искровых камер относительно базовых (расположенных на максимальном расстоянии друг от друга) камер сегмента. В этой подпрограмме вычисляются отклонения координат трековых искр в камерах от прямых, проведенных через координаты в двух базовых камерах, усредненные по заданному числу треков. Найденные таким образом поправки вносятся в смещения a_x^l , d_y^l , используемые в подпрограмме

DECOD. Описанная процедура повторяется несколько раз, пока результирующие поправки не оказываются близкими к нулю. Такая юстировка производилась в начале каждого сеанса работы. Пример результатов, полученных после двух последовательных обращений к ALIGN, приведен на рис.3.

В подпрограмме MULT строятся распределения событий по числу искр в плоскости и распределения искр по числу смежных перемангнитических колец для заданной камеры, а также вычисляются соответствующие средние значения для всех плоскостей. Эти характеристики полезны для контроля интенсивности пучка и режима работы искровых камер. Результаты работы MULT в одной из экспозиций представлены на рис.4.

В подпрограмме EFF определяется эффективность сегментов к треку, эффективность камер к треку, вклад камер в эффективность данного сегмента, зависимость эффективности заданной камеры от числа искр в ней. Эффективность каждой плоскости к треку ϵ_l вычислялась из отношения

$$\epsilon_l = \sum_{i=1}^m C_i / \sum_{i=1}^m d_i, \quad (4)$$

где m — число треков; $C_i = 1$, если число искр на треке больше минимального и в плоскости была искра на треке, и $C_i = 0$ в противном случае; $d_i = 0$, если число искр на треке равно минимальному и в плоскости была искра на треке, и $d_i = 1$ в противном случае. Типичные значения эффективностей к треку показаны на рис.5.

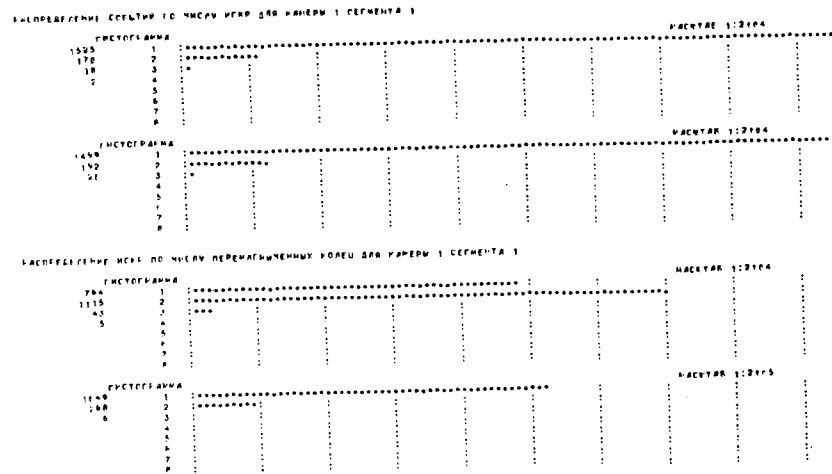
Точность восстановления координат частиц определялась в подпрограмме ASSUR. При этом в качестве величины, характеризующей точность определения координаты K -той плоскостью, в предположении равноточности камер, в соответствии с [6] принималась средне-

СРЕДНЕЕ ЧИСЛО ИСКР НА СОБЫТИЕ В КАМЕРАХ

1,15	1,13	1,09	1,09	1,17	1,19	1,01	1,22	1,07	1,22	1,11	0	0	0	0
1,11	1,14	1,09	1,11	1,17	1,22	1,05	1,26	1,09	1,23	1,18	0	0	0	0

СРЕДНЕЕ ЧИСЛО ПЕРЕМЕЩЕННЫХ КОЛЕС НА ИСКРУ В КАМЕРАХ

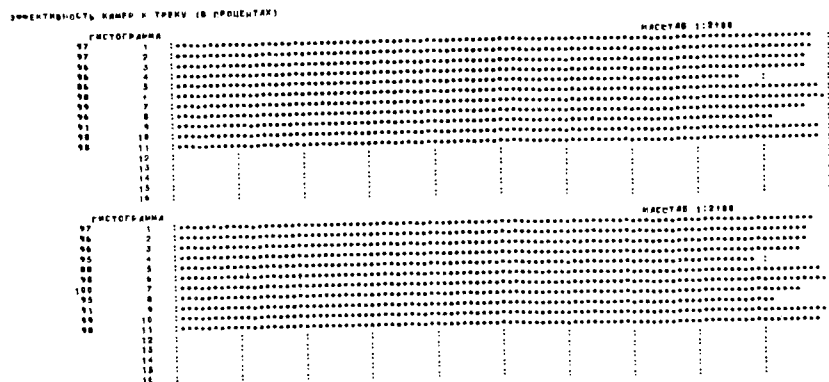
1,62	1,54	1,58	1,48	1,75	1,68	1,99	1,87	1,72	1,78	1,78	0	0	0	0
1,15	1,15	1,17	1,19	1,15	1,15	1,34	1,27	1,41	1,36	1,32	0	0	0	0



Р и с. 4.

ЗНАЧИТЕЛЬНОСТЬ СЕКТОРОВ К ТРЕКУ

0,937	0,991	0	0
0,985	0,998	0	0



Р и с. 5.

квадратичная ошибка σ_x , которая вычислялась из соотношения

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{m} \left\{ \sum_{i=1}^m (x_i - x_i')^2 - \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^m (x_i - x_i') \right]^2 \right\} / \left(\frac{2SZ_k - nZ_k^2 - Q}{nQ - S^2} + 1 \right), \quad (5)$$

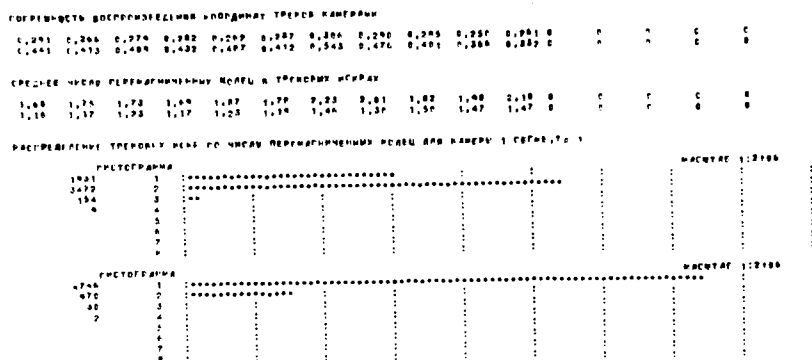
где $S = \sum_{j=1}^n z_j$, $Q = \sum_{j=1}^n z_j^2$,

n - число искровых камер в секторе, z_j - их координаты, m - число треков в выборке, использованной для определения σ_x , x_i' - измеренное в k -той плоскости значение координаты, x_i - значение координаты, вычисленное после аппроксимации проекции трека прямой линией по методу наименьших квадратов. Величины σ_x и σ_y зависят от конструктивных особенностей искровых камер, режима их работы, а также от характеристик регистрируемых частиц. Типичные значения σ_x и σ_y для описываемых экспериментов приведены на рис.6, а на рис.7 показаны распределения отклонений трековых искр от аппроксимирующей прямой для одной из камер I-го сектора.

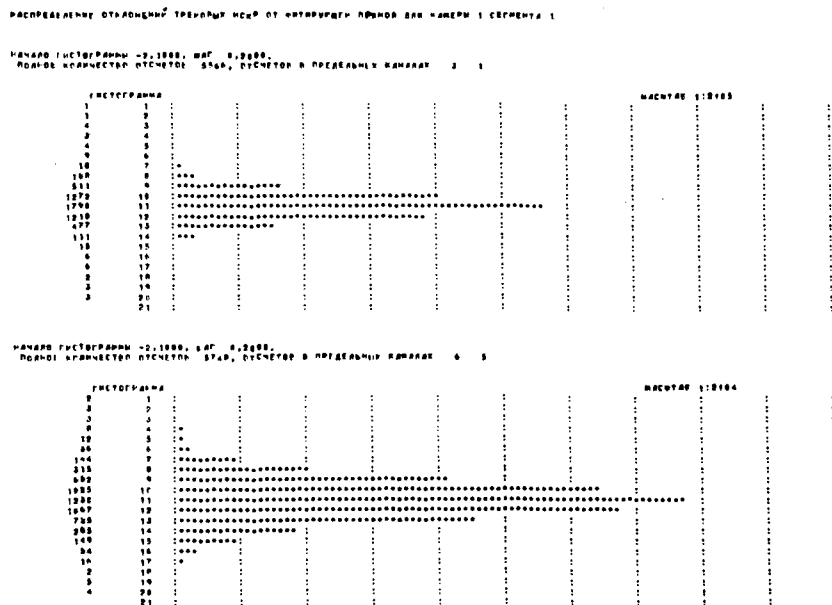
В подпрограмме PROF строятся, при заданной z -координате, распределения x - и y -координат точек пересечения прямых, аппроксимирующих треки, с плоскостью XOY (x - и y -профили пучка). Значения z -координат могли задаваться с КЗУ.

Подпрограмма FOTO распечатывает на АЦПУ графическое изображение события в плоскостях XOZ и YOZ обоих секторов с маркировкой искр, попавших на трек.

В подпрограмме VOLT контролировались напряжения в 16 точках экспериментальной аппаратуры, по одной точке за цикл ускорения. Напряжения измерялись с помощью цифрового вольтметра, подключаемого к контролируемой точке через электронно-механический коммутатор. Номер точки и значение напряжения в ней передавались в одном из "слов цикла"/I/. Измеренные напряжения сравнивались со значениями, заданными в константах, и при наличии отклонений, превышающих заданные, выдавалось на печать сообщение экспериментатору.



Р и с. 6.



Р и с. 7.

В подпрограмме ЭФФЕСТ строились импульсные спектры регистрируемых частиц. С этой целью параметры траекторий частицы α_x^l , β_x^l , α_y^l , β_y^l в l -м сегменте преобразовывались в общую систему координат:

$$\alpha_{xe} = \frac{\Delta \sin \varphi^l + \alpha_x^l \cos \varphi^l}{\cos \varphi^l - \alpha_x^l \sin \varphi^l},$$

$$\beta_{xe} = \frac{\beta_x^l - (\sin \varphi^l + \alpha_x^l \cos \varphi^l) z_0^l}{\cos \varphi^l - \alpha_x^l \sin \varphi^l} + x_0^l,$$

$$\alpha_{ye} = \frac{\alpha_y^l}{\cos \varphi^l - \alpha_x^l \sin \varphi^l},$$

$$\beta_{ye} = \alpha_y^l \frac{\beta_x^l \sin \varphi^l - z_0^l}{\cos \varphi^l - \alpha_x^l \sin \varphi^l} + \beta_y^l + y_0^l; \quad l = 1, 2;$$

здесь x_0^l , y_0^l , z_0^l - координаты начала l -той системы в общей системе координат, а φ^l - угол поворота между этими системами вокруг оси Y . Затем из соотношения

$$\cos \varphi = \frac{\alpha_{x1} \alpha_{x2} + \alpha_{y1} \alpha_{y2} + 1}{\sqrt{(\alpha_{x1}^2 + \alpha_{y1}^2 + 1)(\alpha_{x2}^2 + \alpha_{y2}^2 + 1)}} \quad (7)$$

определялся угол отклонения φ частицы в магнитном поле анализирующего магнита. Импульсы P могли вычисляться либо в приближении однородного поля, либо с учетом пространственного распределения поля в объеме между полюсами магнита. При работе установки на линии с ЭВМ использовался первый вариант:

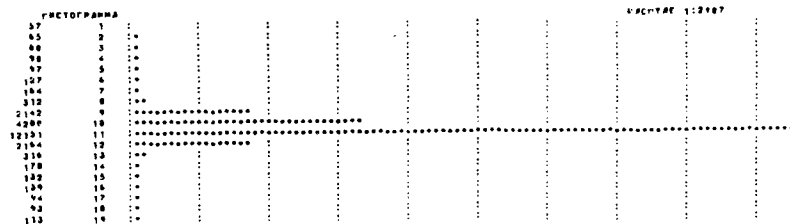
$$P = C / \varphi, \quad (8)$$

который, хотя и дает худшую точность, требует значительно меньше времени для вычислений. Константа C была определена заранее путем расчета траекторий частиц с заданными значениями импульсов в известном магнитном поле.

Перед вычислением импульса производилась проверка того, что

ГИСТОГРАММА DELTA

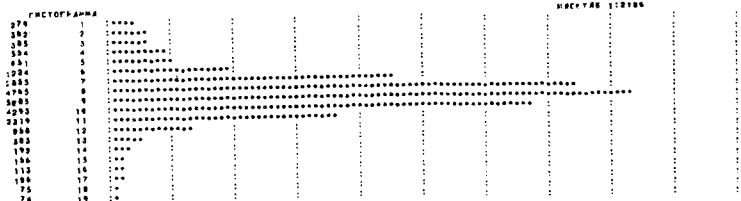
НАЧАЛО ГИСТОГРАММЫ 10,0000, КОНЕЦ 2,0000,
ПОДАНЕ КОЛИЧЕСТВА ОТСЧЕТОВ 25570, ОТСЧЕТОВ В ПРЕДЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ 1917 000



Р и с. 8.

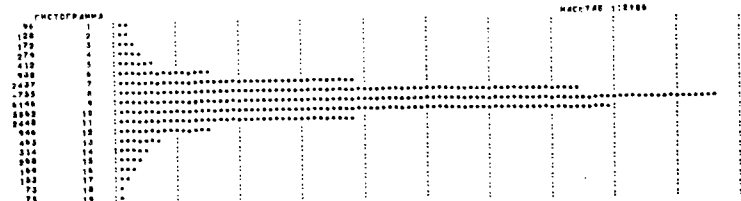
ПРОФИЛЬ ПУЧКА НА МИШЕНИ (X-КООРДИНАТА)

НАЧАЛО ГИСТОГРАММЫ 07,0000, КОНЕЦ 10,0000,
ПОДАНЕ КОЛИЧЕСТВА ОТСЧЕТОВ 25570, ОТСЧЕТОВ В ПРЕДЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ 580 171



ПРОФИЛЬ ПУЧКА НА МИШЕНИ (Y-КООРДИНАТА)

НАЧАЛО ГИСТОГРАММЫ 07,0000, КОНЕЦ 10,0000,
ПОДАНЕ КОЛИЧЕСТВА ОТСЧЕТОВ 25570, ОТСЧЕТОВ В ПРЕДЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ 190 000



Р и с. 9.

трек во 2-м сегменте мог быть продолжением трека в I-м сегменте. Для этого при значении Z -координаты, задающей плоскость, проходящую через середину магнита, вычислялось расстояние Δ между точками пересечения прямых, аппроксимирующих оба трека, с этой плоскостью. При построении импульсного спектра отбирались события, для которых значения Δ не превышали заданной величины, обычно 20 мм. Для более чем 70% событий значения Δ были меньше 6 мм. Гистограмма Δ для одного из сеансов показана на рис.8. В подпрограмме ЕФФЕСТ строились также гистограммы X - и Y -профилей пучка на мишени (рис. 9), на последней камере I-го сегмента, углов отклонений частиц в магнитном поле и углов между направлениями частиц в I-м сегменте и осью Z^1 этого сегмента.

На рис.10 показан импульсный спектр дейтронов, полученный по описанным выше программам в ходе эксперимента при облучении мишени CD_2 дейтронами с импульсом 8,9 Гэв/с.

5. Обработка данных, записанных на магнитных лентах

Описанная в [1] и в настоящем сообщении система программ могла использоваться для полной обработки всего материала, записанного на магнитных лентах, после проведения сеансов работы на ускорителе. При этом с помощью специальных подпрограмм формировались ленты результатов, на которых информация о каждом событии, включающая и вычисленные его характеристики (такие, как импульс, время пролета и др.) записывалась в определенном формате. Ленты результатов могли записываться как на НМЛ ЕС5012, так и на НМЛ CDC-606. Окончательная обработка экспериментальных данных с лент результатов производилась по соответствующим программам либо на ЭВМ БЭСМ-4, либо на ЭВМ CDC -6200.



Р и с. 10.

Л и т е р а т у р а

1. Л.С.Ажгирей и др. ОИЯИ, Р1-10013, Дубна, 1976.
2. Л.С.Ажгирей и др. ОИЯИ, Р1-9265, Дубна, 1975.
3. Л.С.Ажгирей и др. ОИЯИ, Д-6840, Дубна, 1973, стр. 210.
4. В.А.Загинайко. ОИЯИ, П1-6005, Дубна, 1971.
5. P. Zannella. CERN preprint, DD/DP/68/3, July 1968.
6. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, Р5-5397, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 августа 1976 года.