

И-201

10-80-734

ИВАНОВ  
Виктор Владимирович

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО ИЗМЕРЕНИЮ ИМПУЛЬСНЫХ СПЕКТРОВ  
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ  
ОТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРОТОНОВ И ДЕЙТРОНОВ  
С ЯДРАМИ

Специальность: 01.01.10 - математическое обеспечение  
вычислительных машин и систем

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

АЖГИРЕИ

Леонид Степанович.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

СТРУНОВ

Леонид Николаевич,

кандидат физико-математических наук

ЛУКЬЯНЦЕВ

Александр Федорович.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва).

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1980 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 198 г.

в "\_\_\_" \_\_\_\_\_ часов на заседании Специализированного совета Д047.01.04 при Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

*Иванченко*

З.М.Иванченко

Актуальность проблемы. В последние годы все большее число экспериментов в области физики атомного ядра и элементарных частиц, выполняемых на ускорителях, проводится с использованием проволочных камер в качестве координатных детекторов. Высокое временное разрешение и быстрое действие проволочных камер позволяют проводить опыты в интенсивных пучках заряженных частиц, что приводит к необходимости обработки больших потоков экспериментальной информации. Эти задачи не могут быть решены без использования электронно-вычислительных машин. ЭВМ, включенная непосредственно в тракт регистрации экспериментальных данных, становится составной частью экспериментальной установки. Первые эксперименты на линии с ЭВМ, выполненные в середине 60-х годов /10, 11/, положили начало комплексной автоматизации экспериментальных исследований на ускорителях.

На вычислительную машину, как правило, возлагаются задачи по сбору и накоплению первичных данных, контролю за работой экспериментальной аппаратуры и предварительной обработке получаемой информации в реальном времени эксперимента. Развитая система стандартных периферийных устройств позволяет экспериментатору получать результаты обработки первичной информации в удобном для анализа виде и вносить необходимые изменения в условия проведения опыта. Однако реализация потенциальных возможностей, заключенных в использовании ЭВМ на линии с экспериментальной установкой, требует создания соответствующего математического обеспечения.

При работе экспериментальных установок в ЭВМ поступает разнообразная информация, сильно зависящая от специфики эксперимента и используемой в нем регистрирующей аппаратуры (сцинтилляционные и черенковские счетчики, искровые и пропорциональные камеры и т.п.). Это накладывает специфические требования на комплекс программ, обеспечивающих работу конкретной установки на линии с вычислительной машиной. Аппаратуру сбора информации удается в значительной мере стандартизировать, опираясь на специально разработанные правила сопряжения внешних объектов с ЭВМ. В качестве примера можно привести широко используемый в настоящее время стандарт КАМАК. Математическое обеспечение, ориентированное на работу с аппаратурой, изготовленной в стандарте

КАМАК, обладая определенными чертами универсальности, однако, становится при этом все более громоздким. Сложность создания такого математического обеспечения усугубляется также отсутствием стандартного языка программирования для работы с системами КАМАК и необходимостью использования машинно-ориентированных языков.

Весь процесс экспериментальных исследований на ускорителе можно разбить на три последовательных этапа:

- 1) создание и наладка экспериментальной установки;
- 2) проведение эксперимента на ускорителе и накопление данных;
- 3) обработка полученного статистического материала.

Электронно-вычислительные машины используются на всех этапах экспериментальных исследований, и необходимость комплексного решения возникающих при этом задач накладывает дополнительные требования на разрабатываемое математическое обеспечение. Трудности создания универсального математического обеспечения, пригодного для разнообразных экспериментов, вызваны не только сильной зависимостью его от специфики экспериментальной установки и решаемой на ней физической задачи, но и от ряда причин, не связанных с конкретным экспериментом. Среди них можно отметить, в частности, такие, как быстрое развитие экспериментальной и вычислительной техники, применение в различных экспериментах ЭВМ разного типа, ограниченность аппаратных и программных средств малых ЭВМ, что часто приводит к необходимости создания математического обеспечения для работы на линии с установкой на машинно-ориентированном языке.

Процесс постоянного усложнения экспериментальных установок, применяемых в физических исследованиях, приводит к использованию вычислительных средств во все растущих размерах, что влечет за собой необходимость разработок специализированных систем математического обеспечения, ориентированного на экспериментальную физику атомного ядра и элементарных частиц.

Цель работы. Выполнение настоящей работы стимулировалось необходимостью создания математического обеспечения для подготовки и проведения экспериментов по исследованию импульсных спектров вторичных частиц, образуемых во взаимодействиях релятивистских протонов и дейтронов с атомными ядрами. Эксперименты выполнялись на выведенном пучке заряженных частиц синхрофазотрона ОИЯИ. Измерения импульсных распределений вторичных частиц проводились с помощью магнитного спектрометра с системой проволочных искровых камер, содержащих примерно 6000 нитей. В описываемых экспериментах для накопления регистрируемой информации использовалась ЭВМ БЭСМ-4. Разрабатываемое математическое

обеспечение должно было обеспечить накопление экспериментальной информации, ее предварительную обработку, включая геометрическую реконструкцию траекторий регистрируемых частиц, вычисление их кинематических характеристик. Особое внимание уделялось точному определению значений импульсов регистрируемых частиц, так как исследуемые экспериментально эффекты кратных нуклон-нуклонных перерасеяний в протон-и дейтрон-ядерных взаимодействиях можно было выделить, только добившись достаточно высокого ( $\sim 0,3\%$ ) импульсного разрешения спектрометра.

В ходе экспериментов был накоплен статистический материал, содержащий около  $2 \cdot 10^6$  взаимодействий протонов и дейтронов с различными мишенями при трех значениях начального импульса: 4,3; 6,3 и 8,9 ГэВ/с. Для получения результирующих физических распределений потребовалось создание комплекса программ окончательной обработки накопленного экспериментального материала на мощной ЭВМ CDC-6500.

Научная новизна. В диссертационной работе рассмотрен процесс создания математического обеспечения экспериментов на магнитном спектрометре с проволочными камерами с использованием вычислительных машин на всех этапах экспериментальных исследований.

Научная новизна созданного математического обеспечения состоит в разработке и реализации:

- 1) оригинальных алгоритмов обработки событий в процессе экспериментов;
- 2) новых программ статистической обработки результатов измерений импульсных спектров заряженных частиц и построения результирующих физических распределений;
- 3) развитой универсальной системы гистограммирования, ориентированной на малые ЭВМ;
- 4) эффективных алгоритмов аппроксимации траекторий движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле и программ для вычисления импульсов (или углов отклонения в магнитном поле, или координат на выходе из магнитного поля) частиц;
- 5) алгоритмов для проведения настройки и контроля электронной аппаратуры спектрометра, линий связи с ЭВМ, а также системы считывания и кодирования информации с проволочных искровых камер и передачи ее в ЭВМ.

**Практическая ценность.** Все включенные в диссертацию результаты выполненных работ нашли практическую реализацию в экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ, в которых использовался магнитный спектрометр с проволочными искровыми камерами. Часть полученных результатов используется в новой серии экспериментов, выполняемых с помощью двухплечевого магнитного спектрометра. Благодаря своей универсальности, созданный комплекс программ может быть использован в других экспериментах, в которых детектирующая аппаратура связана с ЭВМ.

Созданное математическое обеспечение позволило успешно провести обширный цикл экспериментов на ускорителе и выполнить в краткий срок обработку накопленного экспериментального материала. В результате выполненных экспериментов был получен ряд новых физических данных о механизме взаимодействий высокоэнергичных протонов и дейтронов с атомными ядрами /12-17/.

**Апробация.** Основные результаты работы докладывались на I Всесоюзном совещании по автоматизации научных исследований в ядерной физике (Киев, 1976 г.) /3/, на Международном совещании по программированию и математическим методам решения физических задач (Дубна, 1977 г.) /4/, на XI Всесоюзной школе по автоматизации научных исследований (Минск, 1977 г.), на II Всесоюзной конференции по ЕС-1010 (Рига, 1978 г.) и на научных семинарах ЛВТА ОИЯИ /1, 2, 5-9/.

**Публикации.** В основу диссертации положено 9 опубликованных работ, список которых приведен в конце автореферата.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (116 наименований). Объем диссертации - 128 страниц, включая 26 рисунков.

**Содержание работы.** Физические установки, предназначенные для проведения экспериментов в области физики атомного ядра и элементарных частиц, использующие в качестве координатных детекторов проволочные камеры, во многих случаях представляют собой магнитные спектрометры, работающие в режиме непосредственной связи с ЭВМ. Представление о структуре таких установок, основных принципах получения информации о регистрируемых ими событиях и передачи ее в вычислительную машину можно получить на примере описываемого в начале первой главы одноплечевого магнитного спектрометра с проволочными искровыми камерами (рис.1), с помощью которого был выполнен обширный цикл экспериментов по исследованию протон- и дейтрон-ядерных соударений при 4,3; 6,3 и 8,9 ГэВ/с.

Электронная аппаратура спектрометра позволяла осуществлять отбор полезных событий, съем, кодирование и передачу информации в ЭВМ

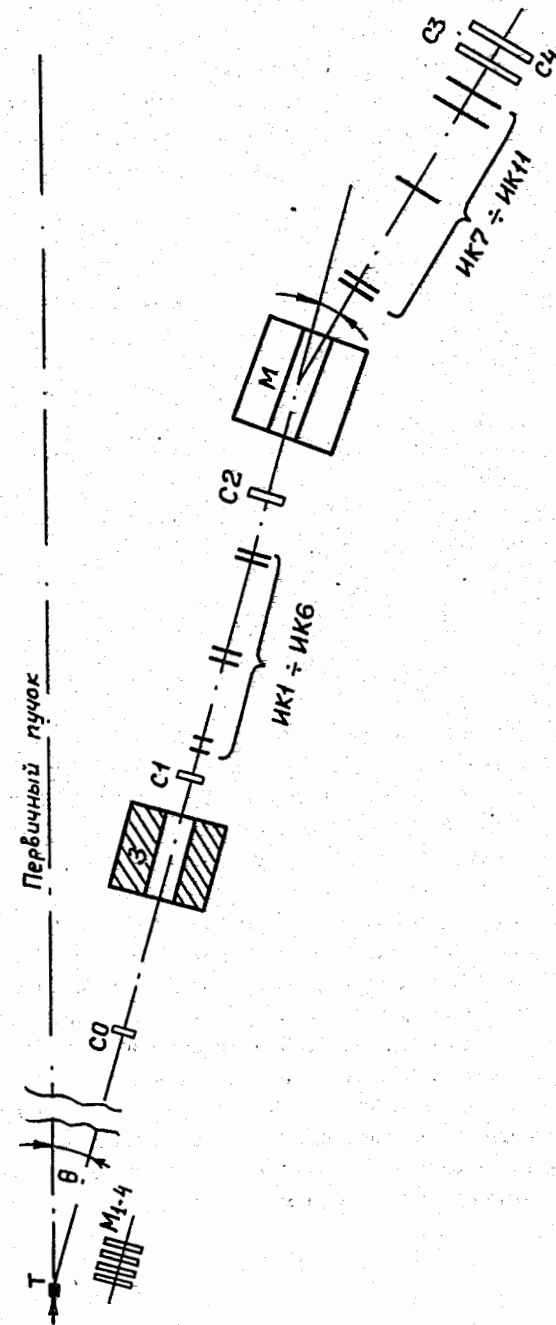


Рис.1. Схема эксперимента. Т - мишень, З - защита, М - анализирующий магнит, С0-С4 - сцинтилляционные счетчики, ИК1-ИК11 - двухкоординатные проволочные искровые камеры, М1-4 - монитор.

с системы проволочных камер и сцинтилляционных счетчиков, а также сбор и передачу данных со схем быстрой электроники, счетчика времени, цифрового вольтметра, тумблерных регистров и других датчиков.

Основное назначение ЭВМ в экспериментах на спектрометре с проволочными камерами - организация сбора и накопления информации и контроль за работой установки. В конце первой главы рассматриваются требования, которым должно удовлетворять соответствующее математическое обеспечение.

Вторая глава диссертации посвящена вопросам, связанным с включением ЭВМ БЭСМ-4 в состав экспериментальной установки и использованием вычислительных машин (БЭСМ-4, СДС-6500) на этапе подготовки спектрометра к экспериментам на ускорителе.

В ОИЯИ первыми ЭВМ, которые нашли широкое применение в физическом эксперименте, были вычислительные машины типа БЭСМ-4. Серийно выпускаемые ЭВМ данного типа не отвечали тем требованиям, которым должны удовлетворять вычислительные машины для работы в реальном масштабе времени на линии с экспериментальными установками. Для использования в этих целях ЭВМ БЭСМ-4 подверглись в ОИЯИ соответствующему развитию.

Помимо непосредственного применения БЭСМ-4 в эксперименте, вычислительные машины БЭСМ-4 и СДС-6500 между сеансами работы на ускорителе использовались для выполнения расчетов, связанных с анализом полученных результатов и уточнением характеристик спектрометра.

Требование достаточно точного определения импульсов регистрируемых спектрометром частиц вызвало необходимость проведения измерений пространственного распределения магнитного поля анализирующего магнита установки и разработки эффективного алгоритма аппроксимации траекторий заряженных частиц в неоднородном магнитном поле.

Измерения поля магнита СП-12 выполнялись на линии с ЭВМ БЭСМ-4, которая служила для записи на магнитную ленту (МЛ) значений индукции магнитного поля в разных точках и проведения контроля правильности работы измерительной аппаратуры и поступающих в вычислительную машину данных. Значения индукции магнитного поля были измерены с точностью  $\sim 0,1\%$  в объеме  $4,5 \times 0,64 \times 0,16 \text{ м}^3$  (всего в  $181 \times 17 \times 5 = 15385$  точках) с помощью датчика Холла, который был прокалиброван путем сравнения его показаний со значениями индукции магнитного поля, измеренными с помощью ядерного магнитометра, для различных токов возбуждения магнита СП-12. Зависимость индукции в от показаний датчика Холла  $u$  аппроксимировалась соотношением:

$$B = c_1 u + c_2 u^2 + c_3 u^3 + c_4 u^4 .$$

Импульсы заряженных частиц вычислялись по измеряемым на опыте величинам: углу отклонения частицы полем магнита, направлению ее движения и месту входа в магнитное поле.

Угол отклонения  $\varphi$  определялся из соотношения:

$$\cos \varphi = \frac{a_{x_1} a_{x_2} + a_{y_1} a_{y_2} + 1}{\sqrt{(a_{x_1}^2 + a_{y_1}^2 + 1)(a_{x_2}^2 + a_{y_2}^2 + 1)}}$$

как угол между прямыми, аппроксимирующими треки частицы, зарегистрированные входным  $(x = a_{x_1} z + b_{x_1}; y = a_{y_1} z + b_{y_1})$  и выходным  $(x = a_{x_2} z + b_{x_2}; y = a_{y_2} z + b_{y_2})$  сегментами искровых камер.

При работе спектрометра на линии с ЭВМ БЭСМ-4 для ускорения процедуры обработки результатов измерений импульс вычислялся в приближении однородного поля:

$$p = \frac{c}{\varphi} ,$$

где константа  $c$  определялась заранее путем расчета траекторий частиц с заданными значениями импульсов в известном магнитном поле. Этот способ позволял вычислять импульсы с точностью  $\sim 0,2\%$ .

Однако, поскольку импульсное разрешение спектрометра составляло  $\sim 0,3\%$ , этой точности было недостаточно, и при окончательной обработке накопленного экспериментального материала импульс частицы представлялся в виде следующего разложения по полиномам Чебышева<sup>[18]</sup>:

$$(PC)^{-1} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} \sum_{k=1}^{N_3} \sum_{l=1}^{N_4} \sum_{m=1}^{N_5} c_{ijklm} T_i(x_1) T_j(y_1) T_k(x_2) T_l(y_2) T_m(\varphi) ,$$

где  $(x_1, y_1)$  и  $(x_2, y_2)$  - координаты точек пересечения прямой, аппроксимирующей трек, зарегистрированный входным сегментом искровых камер, с плоскостями мишени и камеры перед входом в магнитное поле;  $T_n(z) = \cos(n \cdot \arccos z)$  - полином Чебышева, а  $c_{ijklm}$  заранее вычисленный набор коэффициентов из  $N_1 \times N_2 \times N_3 \times N_4 \times N_5$  чисел. Значения  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$  подбирались исходя из требуемой точности вычисления импульсов. Этот способ для выбранного варианта разбиений ( $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 3$  и  $N_5 = 6$ ) позволял вычислять импульс с точностью  $\sim 0,05\%$ .

Один из наиболее трудоемких процессов на этапе подготовки спектрометра к экспериментам - исследование характеристик проволочных искровых камер в пучках заряженных частиц с целью выбора оптимального режима их работы. Использование ЭВМ позволяет значительно ускорить эту процедуру. К основным характеристикам проволочных камер относятся: эффективность, пространственное и временное разрешение, время восстановления, эффективность в случае регистрации нескольких частиц. С целью автоматизации исследования этих характеристик, а также для постоянного контроля некоторых из них в ходе

экспериментов в состав математического обеспечения ЭВМ БЭСМ-4 были включены соответствующие подпрограммы.

Кроме того, в математическом обеспечении системы реального времени спектрометра были предусмотрены специальные (тестовые) режимы работы ЭВМ БЭСМ-4 с установкой, предназначенные для контроля правильности функционирования детектирующей и электронной аппаратуры.

В третьей главе рассмотрено математическое обеспечение БЭСМ-4, позволяющее использовать эту ЭВМ в реальном масштабе времени на линии с физической аппаратурой спектрометра при проведении экспериментов на синхротроне ОИИИ.

Эти программы были созданы с использованием автокода АССЕМБЛЕР, входящего в состав математического обеспечения "Дубна"/19/. Ввиду того, что суммарная длина программ значительно превышала объем оперативной памяти машины, было реализовано предусмотренное в системе "Дубна" разбиение программ на разделы, каждый из которых содержал одну или несколько подпрограмм. Разделы хранились на одном из магнитных барабанов (МБ).

В математическое обеспечение эксперимента была также включена личная интерпретирующая система (ЛИС), содержащая интерпретирующую систему ЭВМ БЭСМ-4 ИС-2, библиотеку стандартных подпрограмм (СП) и набор специализированных подпрограмм/20/. ЛИС позволяла использовать через ИС-2 разработанные специально для экспериментов подпрограммы, оформленные в виде СП.

Комплекс программ состоял из следующих основных частей: организующей программы, программы-диспетчера, подпрограммы ввода констант, программы приема экспериментальных данных, программ первого приоритета (P1P), программ второго приоритета (P2P) и программы печати результатов обработки. Общая блок-схема системы программ реального времени для ЭВМ БЭСМ-4 приведена на рис.2.

Логика работы системы программ заключалась в следующем.

После ввода констант с перфокарт или с МБ и формирования рабочих ячеек управление передавалось программе-диспетчеру, которая синхронизовала работу ЭВМ с работой ускорителя, а также устанавливала порядок выполнения программ в соответствии с их приоритетом. По сигналу прерывания, поступающему в вычислительную машину перед началом цикла ускорения с экспериментальной установки, управление передавалось в фиксированную ячейку, куда заранее записывалась команда запоминания состояния ЭВМ с передачей управления программе приема экспериментальных данных. После окончания приема данных программа-диспетчер передавала управление программам первого приоритета.

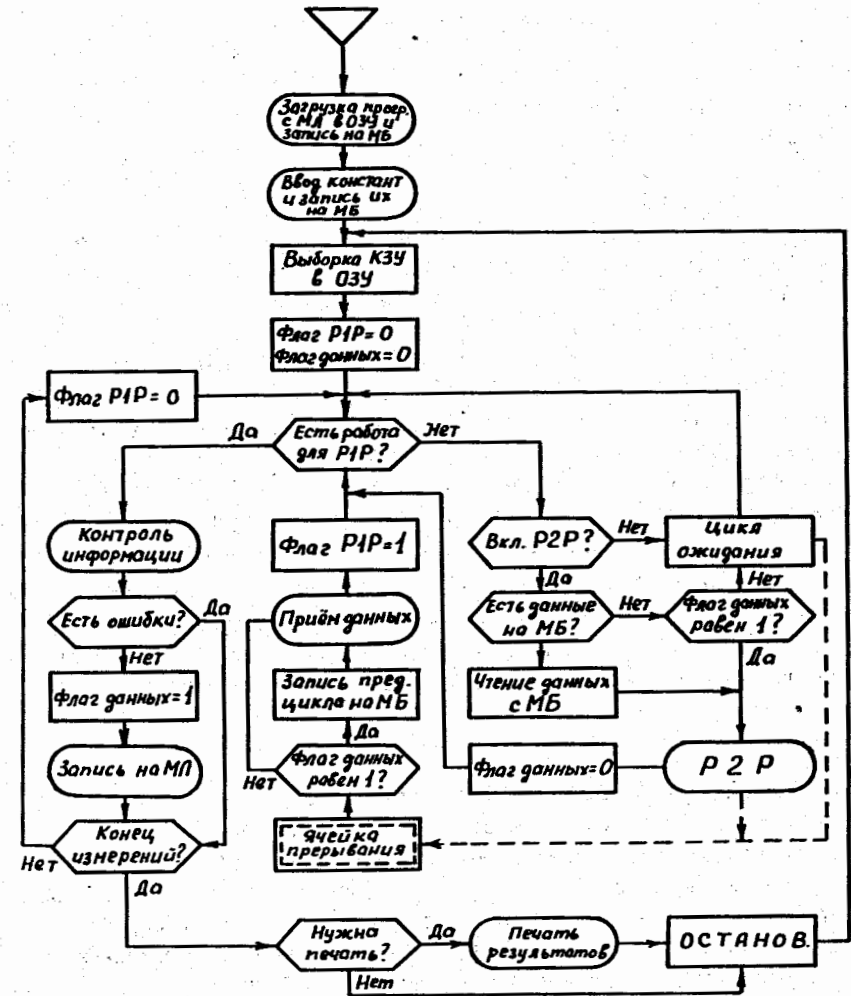


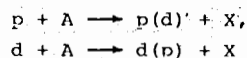
Рис.2. Общая блок-схема системы программ реального времени для ЭВМ БЭСМ-4.

Программы I-го приоритета включали в себя программы контроля по формату принимаемой экспериментальной информации, записи ее на магнитную ленту и анализа плотности поступающей информации; эти программы выполнялись в условиях запрета прерывания. По окончании работы программ I-го приоритета управление возвращалось программе-диспетчеру, которая при наличии данных, подлежащих обработке, вызвала управляющую программу подпрограмм II-го приоритета, работавших в условиях разрешения прерывания. При поступлении сигнала прерывания запоминалось текущее состояние ЭВМ, не обработанный до конца массив данных записывался на МБ, управление передавалось программе-диспетчеру, организующей прием, контроль и запись на МЛ нового массива информации, после чего восстанавливалось прерванное состояние вычислительной машины и продолжалась обработка событий.

После набора заданного количества записей на МЛ могли быть включены программы печати результатов обработки.

Оперативное управление работой системы программ осуществлялось с помощью четырех 45-разрядных клавишных запоминающих устройств на пульте ЭВМ. В частности, каждой подпрограмме обработки соответствовал свой тумблер для ее включения, с пульта задавались режимы работы экспериментальной установки,  $z$ -координаты для построения профилей пучка, включалась (выключалась) запись информации на МЛ, выдача результатов предварительной обработки на печать и т.п.

В четвертой главе рассмотрена система программ обработки экспериментальной информации, накопленной в опытах на одноплечевом спектрометре, описанном в I главе. Эксперименты состояли в измерении импульсных спектров вторичных частиц, испущенных в реакциях



при начальных импульсах падающих частиц 4,3; 6,3 и 8,9 ГэВ/с.

С целью ускорения процесса обработки использовался принцип последовательного сокращения объема анализируемой информации. Это достигалось путем разделения всей процедуры обработки на отдельные этапы с определенными задачами и передачей результатов обработки предыдущего этапа на последующий с помощью наиболее эффективных носителей информации. Разделение процедуры обработки на последовательные этапы позволяло в случае необходимости использовать результаты любого этапа, не проводя при этом всей предыдущей обработки.

Весь процесс обработки накопленной на МЛ информации подразделялся на четыре этапа; при этом первый этап проводился на ЭВМ БЭСМ-4, а последующие - на мощной вычислительной машине СРС-6500.

На первом этапе первичные данные, записанные в ходе эксперимента на МЛ, с целью переноса информации с ЭВМ БЭСМ-4 на СРС-6500 переписывались на ленты суммарных данных с помощью НМЛ СРС-606 (подключенного к ЭВМ БЭСМ-4).

На следующем этапе информация с лент суммарных данных подвергалась предварительной обработке, включавшей контроль по формату, декодировку событий, процедуру распознавания прямолинейных треков в сегментах искровых камер, геометрическую реконструкцию событий. Результаты обработки в упакованном виде записывались на ленты суммарных результатов.

На третьем этапе собирались вместе данные со всех лент суммарных результатов, относящиеся к проведенным в разное время опытам в одинаковых экспериментальных условиях; при этом отбирались лишь те события, которые удовлетворяли установленным критериям отбора, строились импульсные спектры вторичных частиц, полученные при использовании разных мишеней.

На последнем этапе обрабатывались импульсные спектры, полученные при облучении разных мишеней ( $CH_2, CD_2, C, {}^6Li, {}^7Li, Al, Bi$ ) - протонами и дейтронами. Спектры частиц, рассеянных на протонах (или дейтронах), определялись методом вычитания спектров, полученных при работе с мишенями  $CH_2(CD_2)$  и с:

$$\frac{d^2N}{d\Omega dP} = K_T(CH_2) \frac{d^2N(CH_2)}{d\Omega dP} - \frac{d^2N(C)}{d\Omega dP}$$

причем

$$K_T(CH_2) = \frac{\sum N(C)}{\sum N(CH_2)} \cdot \frac{n(C)}{n(CH_2)} \cdot k(CH_2/C),$$

где  $\sum N(C)$  и  $\sum N(CH_2)$  - сумма отсчетов в случае мишеней  $C$  и  $CH_2$ ,  $n(C)$  и  $n(CH_2)$  - число ядер углерода в мишенях  $C$  и  $CH_2$  на  $1\text{см}^2$ ,  $k(CH_2/C)$  - измеренное в отдельных опытах отношение выходов частиц в случае мишеней  $CH_2$  и  $C$ .

Далее с целью расчета кривой геометрической эффективности спектрометра проводилось моделирование прохождения заряженных частиц через экспериментальную установку с учетом многократного кулоновского рассеяния. Геометрическая эффективность спектрометра при некотором заданном импульсе определялась как отношение числа траекторий, прошедших всю установку и попавших в счетчик  $S_3$ , к числу разбеганных траекторий.

В импульсные спектры вторичных частиц вносились поправки на геометрическую неэффективность около границ захватываемого интервала импульсов, проводилась абсолютная нормировка спектров, строились

распределения в зависимости от различных кинематических переменных (импульса, его продольной и поперечной составляющих, скорости, недостающей массы и т.п.). На рис.3 в качестве примера представлены импульсные спектры вторичных протонов ( $\Phi$ ) и дейтронов ( $\Psi$ ) от  $d\text{-}p$ ,  $d\text{-}d$  и  $d\text{-}c$  - взаимодействий при начальном импульсе дейтронов 6,3 ГэВ/с.

Пятая глава посвящена вопросам создания математического обеспечения двухплечевого магнитного спектрометра с проволочными камерами (искровыми, пропорциональными) на линии с малой ЭВМ ЕС-1010, предназначенного для проведения новой серии экспериментов по исследованию взаимодействий протонов, дейтронов и  $\alpha$  - частиц с атомными ядрами на синхротронном ОИИП.

В этих экспериментах передача экспериментальных данных в вычислительную машину осуществляется через модернизированный для этих целей блок ЕР15-02/21/ и /или/ через устройство сопряжения для многокаркасных систем КАМАК (УСМСК). Модернизированный блок ЕР15-02 обеспечивает необходимую скорость обмена информацией при использовании в качестве координатных детекторов проволочных искровых камер, однако при замене их пропорциональными камерами этой скорости обмена недостаточно, и в этом случае связь с ЭВМ осуществляется через УСМСК.

Ввиду того, что ЭВМ ЕС-1010 первоначально оснащались НМЛ типа ЕС-5010, не отвечающих всем требованиям формата ЕС ЭВМ, а накопленную на МЛ экспериментальную информацию нужно было переносить для обработки на мощную ЭВМ, было разработано устройство связи ЭВМ ЕС-1010 с НМЛ ЕС-5012. Сопряжение было выполнено через УСМСК, что позволяет использовать микропрограмму блочной передачи УСМСК и обеспечивает требуемую скорость обмена информацией.

Для наладки и контроля работы устройства связи были написаны две программы, одна из которых служила для проверки всего комплекса ЭВМ ЕС-1010 - устройство связи - НМЛ ЕС-5012; с помощью другой программы осуществлялся контроль правильности выполнения отдельных команд обращения к НМЛ. Программное обеспечение устройства связи реализовано в виде пакета подпрограмм, каждая из которых служит для выполнения отдельной команды обращения к НМЛ.

В процессе экспериментов на линии с ЭВМ контроль работы экспериментальной аппаратуры и качества получаемой информации производится посредством накопления и вывода на АЦПУ или дисплей статистических распределений.

Для этих целей на ЭВМ ЕС-1010 создана система гистограммирования HIRACK (сокращение от HISTOGRAMMING PACKAGE), реализованная в виде пакета независимых подпрограмм на ФОРТРАНе. Подпрограммы

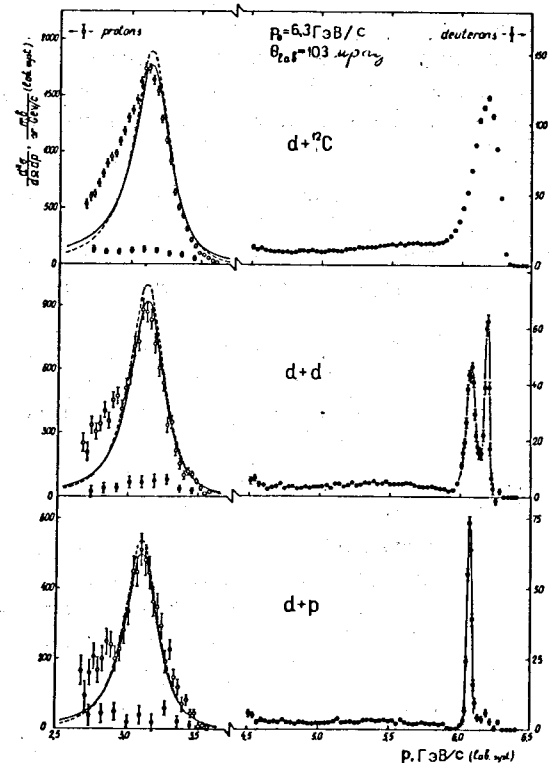


Рис.3. Импульсные спектры вторичных протонов ( $\Phi$ ) и дейтронов ( $\Psi$ ) от  $d\text{-}p$ ,  $d\text{-}d$  и  $d\text{-}c$  - взаимодействий при начальном импульсе дейтронов 6,3 ГэВ/с.



дают возможность производить заведение и уничтожение распределений, их заполнение и очистку, арифметические действия над ними, выделение части распределения или его сжатие, вывод на печатающие устройства с произвольной длиной строки одномерных распределений в виде гистограмм, а двумерных – в виде таблиц и диаграмм рассеяния.

Основные результаты диссертации. I. Создано математическое обеспечение экспериментальной установки – одноплечевого магнитного спектрометра с проволочными искровыми камерами, работающего в режиме непосредственной связи с ЭВМ БЭСМ-4. Комплекс программ и подпрограмм позволял:

- а) проводить контроль за работой регистрирующей аппаратуры спектрометра и канала связи установки с ЭВМ БЭСМ-4;
- б) осуществлять накопление первичной информации на магнитных лентах;
- в) выполнять предварительную обработку получаемых экспериментальных данных;
- г) выдавать результаты обработки в виде, удобном для проведения оперативного анализа;
- д) выполнять переключения ЭВМ на различные режимы работы с установкой;
- е) осуществлять гибкое управление работой системы программ и подпрограмм с пульта ЭВМ.

Математическое обеспечение было разработано на основе операционной системы "Дубна" с использованием личной интерпретирующей системы, что позволило, несмотря на ограниченный объем оперативной памяти ЭВМ БЭСМ-4, создать комплекс программ, обладающий широкими возможностями.

2. Разработаны эффективные алгоритмы аппроксимации траекторий движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле и созданы программы для вычисления импульсов (или углов отклонения в магнитном поле, или координат на выходе из магнитного поля) частиц. Для этой цели искомые кинематические характеристики частиц представлялись в виде разложений по полиномам Чебышева от измеряемых на опыте величин. Коэффициенты этих разложений можно было вычислять заранее. Такой подход позволил существенно сократить как объем требуемой оперативной памяти ЭВМ, так и время вычислений по сравнению с вычислениями по известному методу Рунге-Кутты, используемому обычно для решения уравнений движения заряженных частиц в магнитном поле.

Эти алгоритмы использовались в процессе обработки экспериментальных данных по программе геометрической реконструкции событий при определении импульсов заряженных частиц, а также в программе моделирования прохождения частиц через экспериментальную установку.

3. Создана система программы обработки информации, накопленной в экспериментах на синхрофазотроне ОИЯИ, выполненных с помощью одноплечевого магнитного спектрометра с координатными детекторами в виде проволочных искровых камер.

Организация обработки в несколько этапов с сокращением объема анализируемой на каждом этапе информации и передачей результатов предыдущего этапа на следующий с помощью наиболее эффективных носителей информации позволила в сжатые сроки обработать весь экспериментальный материал, содержащий  $\sim 2 \cdot 10^6$  событий.

Разработаны алгоритмы:

- а) распознавания прямолинейных треков в сегментах искровых камер,
- б) проведения геометрической реконструкции зарегистрированных спектрометром событий,
- в) моделирования траекторий заряженных частиц через экспериментальную установку,
- г) вычисления кривой геометрической эффективности спектрометра,
- д) проведения абсолютной нормировки импульсных спектров и внесения в них поправок,
- е) построения результирующих физических распределений в зависимости от различных кинематических переменных.

Эти алгоритмы могут быть использованы в различных экспериментах, выполняемых на аналогичных установках.

4. Разработаны алгоритмы тестовых программ устройства связи ЭВМ ЕС-1010 с НМЛ ЕС-5012, выполненного в стандарте КАМАК. Программы позволяют проводить как глобальную проверку всего комплекса ЭВМ ЕС-1010 – устройство связи – НМЛ ЕС-5012, так и контроль правильности выполнения отдельных команд обращения к НМЛ ЕС-5012.

5. Создано программное обеспечение устройства связи ЭВМ ЕС-1010 с НМЛ ЕС-5012. Программное обеспечение реализовано в виде пакета подпрограмм, каждая из которых служит для выполнения отдельных команд обращения к НМЛ. В подпрограммах записи и считывания информации, выполняемых в фоновой зоне (т.е. на 0-м уровне прерывания), проводится обработка прерывания 4-го уровня, с помощью которого УСМСК сигнализирует об окончании обмена<sup>16/</sup>. Разработанный метод может использоваться для любого уровня ( $1 \leq n \leq 31$ ) прерывания и позволяет организовать мультипрограммирование высокоприоритетных задач в фоновой зоне.

6. Создана система гистограммирования НІРАСК, реализованная в виде пакета подпрограмм на ФОРТРАНе. Подпрограммы НІРАСК позво-

ляют выполнять различные операции над одномерными и двумерными статистическими распределениями. Предоставляя пользователю более ограниченные возможности по сравнению с известными системами статистического анализа SUMX и NBOOK, пакет подпрограмм NIPASK требует значительно меньшего объема памяти ЭВМ. Кроме того, так как подпрограммы NIPASK независимы друг от друга, то:

- а) легко организовать их выполнение в оверлейном режиме;
- б) можно в зависимости от вида решаемой задачи выбирать и использовать только те подпрограммы, которые нужны пользователю.

Возможность сокращения объема требуемой оперативной памяти для работы с NIPASK существенна при работе на малых ЭВМ, при проведении экспериментов on-line и в тех случаях, когда для получения результатов вычислений и их представления не требуется реализации всех возможностей, которыми обладают SUMX и NBOOK.

Следует отметить также и универсальность пакета NIPASK, поскольку все подпрограммы без каких-либо изменений могут быть использованы на различных ЭВМ, имеющих в своем математическом обеспечении транслятор с языка ФОРТРАН-IV.

Созданное математическое обеспечение может быть использовано при проведении новых экспериментов на ускорителях ОИЯИ (г.Дубна), ИФВЭ (г.Серпухов), ИТЭФ (г.Москва), ЛИЯФ (г.Гатчина), ИЯИ АН УССР (г.Киев). Оно может также найти применение при исследовании структур биологических объектов с помощью нитяных пропорциональных камер и т.п.

#### Работы, положенные в основу диссертации:

1. Ажгирей Л.С., Взоров И.К., Иванов В.В. и др. Программное обеспечение эксперимента на магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами. ОИЯИ, PI-10013, Дубна, 1976.
2. Ажгирей Л.С. и др. Программы обработки событий в эксперименте на магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами. ОИЯИ, PI-10014, Дубна, 1976.
3. Ажгирей Л.С. и др. Программное обеспечение эксперимента на магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами. В кн.: "Всесоюзное совещание по автоматизации научных исследований в ядерной физике". Тезисы докладов. Изд-во ИЯФ УССР, Киев, 1976, с.153.

4. Ажгирей Л.С. и др. Организация обработки информации, накопленной в экспериментах на магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами. Труды Международного совещания по программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, сентябрь, 1977; ДЮ, II-11264, Дубна, 1978, с.441-444.
5. Будкин Л.В., Иванов В.В., Самойлов В.Н. Тестовое программное обеспечение устройства связи ЭВМ ЕС-1010 с НМЛ ЕС-5012 в стандарте КАМАК. ОИЯИ, II-11790, Дубна, 1978.
6. Будкин Л.В., Иванов В.В., Самойлов В.Н. Программное обеспечение устройства связи ЭВМ ЕС-1010 с НМЛ ЕС-5012 в стандарте КАМАК. ОИЯИ, II-12068, Дубна, 1978.
7. Взоров И.К., Иванов В.В. Библиотека подпрограмм для работы с одномерными и двумерными статистическими распределениями на ЭВМ ЕС-1010. ОИЯИ, IO-11452, Дубна, 1978.
8. Ажгирей Л.С., Взоров И.К., Иванов В.В. Система программ обработки информации, накопленной в экспериментах на магнитном спектрометре с проволочными искровыми камерами. ОИЯИ, PI0-12655, Дубна, 1979.
9. Взоров И.К., Иванов В.В. Система гистограммирования для ЭВМ ЕС-1010. ОИЯИ, PI0-80114, Дубна, 1980.

#### Цитированная литература

10. Blezer E. e.a. Nuclear Instruments & Methods, 1(1965), 44.
11. Chuvilo I.V. e.a. Proceedings of International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Stanford, 1966.
12. Ажгирей Л.С. и др. ОИЯИ, I-10342, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, т.27, в.4, с.1027.
13. Azhgirey L.S. e.a. JINR, E1-10831, Dubna, 1977; Nuclear Physics A305 (1978), 404-410.
14. Azhgirey L.S. e.a. JINR, E1-11206, Dubna, 1978; Nuclear Physics A305 (1978), 397-403.
15. Azhgirey L.S. e.a. JINR, E1-11545, Dubna, 1978; ЯФ, 1978, т.28, в.4(10), с.1017.
16. Ажгирей Л.С. и др. ОИЯИ, PI-11455, Дубна, 1978; ЯФ, 1978, т.28, в.4(10), с.1005.

17. Azhgirey L.S. e.a. JINR, E1-12296, Dubna, 1979;  
ЯФ, 1979, т.30, в.6(12), с.1578.
18. Lechanoine C. e.a. Nuclear Instruments & Methods, 69 (1969), 122.
19. Загинайко В.А. ОИЯИ, II-6005, Дубна, 1971.
20. Иванченко З.М. ОИЯИ, IO-6I4I, Дубна, 1971.
21. Взоров И.К. и др. ОИЯИ, II-I0768, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 ноября 1980 года.