



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1495/83

1-82-896

21/3-83

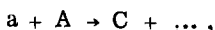
Ю.А.Панебратцев, В.С.Ставинский

ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ
УСТАНОВКИ ДИСК-2 МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

1982

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время экспериментальная информация по кумулятивному рождению частиц ^{1-3/} относится в основном к исследованиям одночастичных инклюзивных распределений. Установка ДИСК-2^{4/}, на которой были получены данные ^{1/} по кумулятивному рождению частиц (π^\pm , K^\pm , p , d , t) в инклюзивной реакции



представляет собой вращающийся одноплечевой магнитный спектрометр. Принципиальная схема установки показана на рис.1. Пучок первичных частиц - протонов или дейтронов с импульсом 8,9 ГэВ/с - фокусировался на мишень /диаметр сфокусированного пучка около 15 мм/. Использовался широкий набор ядер-мишеней, включая H, D, He. Твердые мишени имели диаметр 30 мм и толщину 0,1 - 2 г/см². Криогенные мишени /водородная, дейтериевая и гелиевая/ имели диаметр 50 мм и размер по пучку 50 мм. Сосуды мишеней изготовлены из майлара /120 мкм/.

Вторичные частицы C /фрагменты ядра-мишени/ регистрировались в интервале углов относительно направления первичного пучка от 49° до 180° и в интервале импульсов от 0,15 до 1,6 ГэВ/с. Импульсный анализ вторичных частиц осуществлялся с помощью магнита Н/СП94, угол поворота 22°/. Для повышения светосилы установки использовался дублет квадрупольных линз Q₁ и Q₂ /МЛ15/ с фокусом вблизи счетчика S3.

Идентификация вторичных частиц, выделенных по заряду и по импульсу в магнитно-оптическом канале и прошедших сцинтилляционные детекторы S1, S2, S3, осуществлялась в результате независимого измерения их времени пролета на базе 3,8 м (S1S2) и на базе 1 м (S2S3) с точностью 260 пс. Кроме того, измерялись ионизационные потери в сцинтилляторах S2, S3/они необходимы для выделения двухзарядных частиц/ и амплитуды сигналов с черенковских детекторов $\check{C}_1, \check{C}_2, \check{C}_3$ /необходимые для идентификации пионов и каонов больших импульсов/.

Указанные на рис.1 размеры детекторов соответствуют варианту, в котором была проведена большая часть измерений.

Для подготовки измерений и оперативного анализа информации, получаемой во время измерений, а также при обработке экспериментальных данных необходимо уметь вычислять аксептанс и импульсное разрешение спектрометра, ожидаемые координатные и импульсные распределения частиц, форму и положение ~~времяпролетных~~ спектров для различных импульсов и сортов частиц. Для решения этих задач мы использовали моделирование методом Монте-Карло.

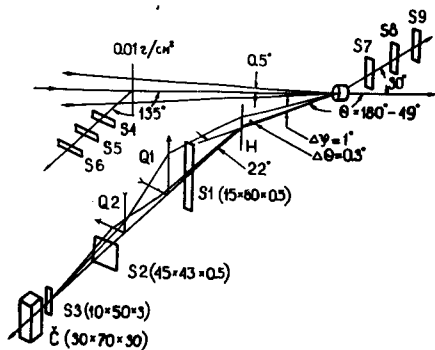


Рис.1. Схема установки ДИСК-2.

Несмотря на простую конфигурацию спектрометра, в доступных нам библиотеках программ нет программы, позволяющей полностью учесть особенности нашей установки. Действительно, в программе "Фокус" /5/ характеристики магнитно-оптических систем вычисляются без учета взаимодействия заряженных частиц в веществе спектрометра. Программа моделирования

"Твист" /6/ отличается высокой скоростью работы, которая обеспечивается применением оригинального метода моделирования многократного рассеяния заряженных частиц при прохождении через вещество, а также специализацией для класса спектрометров, содержащих в качестве элементов магнитной оптики только один анализирующий магнит, поле в котором близко к однородному. Универсальную моделирующую программу GEANT /7/ можно использовать практически для любого спектрометра, применяемого в физике высоких энергий, однако использование универсальных алгоритмов этой программы приводит к необоснованным затратам оперативной памяти и процессорного времени в случае применения к нашему довольно простому случаю /например, трассировка частицы через магнитные поля "стандартных элементов" путем интегрирования уравнения движений методом Рунге-Кутты требует значительно большего процессорного времени, чем при применении матричного метода линейной магнитной оптики/.

В работе описана созданная нами программа для моделирования. Расчеты, выполненные на ее основе, использовались при проведении измерений и обработке экспериментальных данных на установке ДИСК-2.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ И ОПИСАНИЕ ЕЕ РАБОТЫ

Программа была написана на фортране с таким расчетом, чтобы провести все необходимые вычисления на ЭВМ ЕС-1040 /3·10⁵ операций/с, 512Кбайтов/ вычислительного центра ЛВЭ ОИЯИ. Планируемый ресурс оперативной памяти /с учетом оверлейной структуры/ не должен был превышать 180Кбайт. Это связано с принятым на данной ЭВМ распределением памяти.

В программе можно выделить сегменты, имеющие следующее функциональное назначение:

- инициализация, то есть выполнение операций, связанных с образованием структуры данных, присвоением начальных значений переменным и константам, интерпретацией директив, представлением пользователю значений базисных параметров;

- "розыгрыш события" в протяженной мишени и нахождение координат точки выхода частицы из мишени;
- проведение траектории движения заряженной частицы через вещество детекторов и магнитные поля спектрометра;
- построение координатных и импульсных распределений, вычисление необходимых величин;
- вывод результатов на печать или магнитную ленту.

Выбор алгоритма моделирования рождения частиц в мишени является важным моментом, определяющим эффективность работы программы /под эффективностью мы здесь понимаем величину, обратно пропорциональную количеству счетного времени, затраченного на получение результата с данной статистической точностью/. Алгоритм "розыгрыша вылета" частиц /8/ точно в телесный угол детектора, который предложен в работе /8/, в нашем случае не применим по следующим причинам: во-первых, для нас существенно изменение направления движения частицы из-за многократного рассеяния в веществе между точкой рождения частицы и первым счетчиком (S1) спектрометра; во-вторых, между мишенью и первым счетчиком установки расположен магнит. Поэтому нами реализован следующий алгоритм: события разыгрываются в телесном угле, который несколько превышает телесный угол счетчика S1 /величина телесного угла была подобрана эмпирическим путем/. Направление конуса телесного угла ($\phi_i, \cos\theta_i$) для каждого события i выбиралось таким образом, чтобы частица с величиной импульса P_i , испущенная в данном направлении, попадала в центр счетчика S1 /при вычислении ϕ_i и $\cos\theta_i$ магнит заменялся эквивалентной тонкой линзой/. Программа позволяет проводить расчеты с протяженными мишенями цилиндрической формы. По длине мишени события разыгрываются равномерно. Поперечное распределение частиц в пучке считалось гауссовским. Импульс частиц моделируется равномерно /учет изменения формы импульсного спектра из-за экспоненциального изменения сечения рождения кумулятивных частиц будет обсуждаться ниже/.

Рассмотрим трассировку частиц через установку. При проведении траектории движения частицы в магнитном поле мы пользовались матричным методом линейной магнитной оптики /9,10/. Программа позволяла использовать в качестве магнитных элементов секторный и прямоугольный магнит /с учетом и без учета краевой фокусировки/, квадрупольные линзы. Для вычисления ионизационных потерь частицы в веществе спектрометра применялась формула Бете. Многократное кулоновское рассеяние в веществе бралось в гауссовском виде. Формулы для вычислений и необходимые параметры были взяты из работы /11/. Событие считалось имитирующим условия запуска установки в том случае, когда его траектория не выходила из полезного объема установки и проходила через сцинтилляционные детекторы S1, S2, S3.

Для проведения расчетов пользователь программы должен описать установку как последовательность элементов среды, то есть слоев

однородного вещества длиной l /см/. Каждому из этих слоев присвоен цифровой код, по которому выбираются необходимые для расчетов параметры /атомный номер, заряд, плотность, радиационная длина/. Элемент среды можно "разбить" на несколько отрезков равной длины, что позволяет точнее вычислить эффекты взаимодействия заряженной частицы с веществом.

В программе сделано предположение, что плоскости детекторов расположены перпендикулярно к осевой траектории частиц в спектрометре. Сами детекторы в программе являются элементами среды установки, для каждого из которых можно задать апертуру. Некоторые из элементов среды находятся в магнитных полях. Тип магнитного поля задается в виде цифрового кода /код "0" соответствует свободному промежутку/.

Средством управления программой являются директивы пользователя, для ввода которых использовалась программа FFREAD^{/12/}. Директива состоит из ключевого слова и набора параметров, которые вводятся в свободном формате. Информация, вводимая посредством директив пользователя, по своему назначению может быть разбита на следующие группы:

- Управляющая информация. С ее помощью определяется, сколько событий и какого сорта частицы / π , K, p и т.д./ будут промоделированы, нужна ли запись треков событий на магнитную ленту, какие координатные и импульсные распределения необходимо накапливать и строить в процессе работы программы.
- Информация об установке. Она вводится с помощью директив, которые задают размеры установки и детекторов, типы и положения магнитно-оптических элементов спектрометра и магнитных полей в них, размеры и вещество мишени, вещество в канале вторичных частиц и детекторах спектрометра.
- Информация для управления тестированием и отладкой, то есть выводом данных о траектории движения частицы для каждого события, построением двумерных проекций трека на координатных плоскостях системы координат, связанной со спектрометром, и т.д.

Необходимые для расчетов данные об установке, а также информация о параметрах и точке рождения разыгрываемой частицы, ее траектории и импульсе оформлены в виде элементов динамической структуры пакета программ ZBOOK^{/13/}. Динамическая природа совокупности элементов данных определяется тем, что в процессе работы изменяется число элементов и их размеры. В программе был принят тот же формат данных о событии и траектории движения частиц, что и в пакете CEANT. Это позволило использовать ряд сервисных программ этой системы. Отметим, что принятая в нашей программе организация данных будет применима для моделирования экспериментов и при многоплечевом варианте спектрометра.

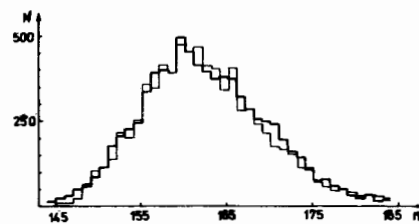
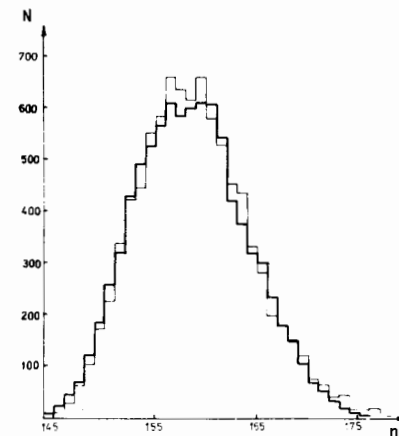


Рис.2. Сравнение времяпролетного спектра дейтронов с импульсом 500 МэВ/с (—) с расчетом (---). Расчет и измерения выполнены для случая, когда дублет линз отключен.

Рис.3. Сравнение времяпролетного спектра дейтронов с импульсом 500 МэВ/с (—) с расчетом (---). Расчеты и измерения выполнены для конфигурации спектрометра, приведенной на рис.1.



Информация о моделированных событиях может быть записана на магнитную ленту с целью дальнейшего анализа. Для представления результатов применялся пакет программ HBOOK^{/14/}. Чтобы избежать потерь на "фрагментацию оперативной памяти", в обоих пакетах /HBOOK и ZBOOK/ использовали один и тот же "непомеченный общий блок" /такую возможность предоставляет программа YBOOK^{/13/}.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Для вычисления инвариантных дифференциальных сечений необходимо знать аксептанс установки, то есть величину $\frac{1}{p_0} \int \Omega(p) dp$, где $\Omega(p)$ - входной телесный угол для импульса p , а p_0 - осевой импульс, на который настроен магнитно-оптический канал спектрометра. Результаты расчета аксептанса /без учета взаимодействия частиц с веществом/ дали значения $1,72 \cdot 10^{-5}$ ср по программе "Фокус" и $1,73 \pm 0,03 \cdot 10^{-5}$ ср по нашей программе.

Метод расчета поправок на многократное рассеяние частиц в экспериментах с использованием скintилляционных детекторов для некоторых простых случаев описан в работе^{/15/}. Мы выполнили аналогичные расчеты по нашей программе, и получили совпадающие результаты.

Были проверены также возможности программы для расчета ожидаемых времяпролетных спектров. Такой расчет для кумулятивного

рождения частиц был выполнен с учетом того, что инвариантное дифференциальное сечение в интервале Δp установки является экспоненциальной функцией от кинетической энергии частицы, то есть $E d\sigma/dp \propto \exp(-T/T_0)$. Следовательно, число частиц с импульсом p пропорционально величине

$$\frac{p^2}{E} \Omega(p) \exp(-T/T_0),$$

где E и T - энергия и кинетическая энергия вторичной частицы, T_0 - параметр. Зная связь между импульсом и временем пролета, а также калибровку времяпролетных измерений, мы рассчитали спектр частиц. На рис.2 и 3 приведены результаты расчета, которые мы сравниваем с измеренными времяпролетными спектрами дейтронов с импульсом 500 МэВ/с. Рис.2 соответствует расчетам и измерениям в случае, когда квадрупольный дублет магнитных линз спектрометра отключен. Рис.3 соответствует расчетам и измерениям в той конфигурации спектрометра, что приведена на рис.1.

Видно, что расчеты спектров, выполненные по программе, в первом приближении согласуются с измерениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана программа моделирования эксперимента, полностью учитывающая особенности спектрометра ДИСК-2. Проверка работы программы была проведена на некоторых простых примерах, допускающих решение другими методами, а также на примере расчета времяпролетных спектров. Расчеты, выполненные по программе, использовались при проведении измерений и обработке экспериментальных данных на установке ДИСК-2.

Авторы выражают благодарность Е.А.Строковскому и М.Пенця за полезные обсуждения, О.Ю.Кульпиной за помощь при подготовке работы к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып. 5, с.949.
Baldin A.M. et al. JINR, E1-82-472, Dubna, 1982.
2. Leksin G.A. Proc. of the XVIII Int.Conf. on High Energy Physics, Tbilisi, 1976, JINR, D1,2-10400, Dubna, 1977;
Nikiforov N.A. et al. Phys.Rev.C, 1980, 22, p. 700.
3. Егиян К.Ш. В кн.: Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1,2-81-728, Дубна, 1981, с. 238.
4. Аверичева Т.В. и др. ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.
5. Миллер В.В. ПТЭ, 1964, 6, с. 3.

6. Тахтамышев Г.Г. ОИЯИ, 1-80-640, Дубна, 1980.
7. Brun R. et al. GEANT, CERN, DD/78/2, Geneva, 1978.
8. Горчаков О.Е. ОИЯИ, P5-10715, Дубна, 1977.
9. Котов В.И., Миллер В.В. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. Атомиздат, М., 1969.
10. Штефен К. Оптика пучков высоких энергий. "Мир", М., 1969.
11. Review of Particle Properties. Rev.Mod.Phys., 1980, v. 52, No. 2.
12. Brun R. et al. FFREAD, CERN, DD/EE/78-2, Geneva, 1978.
13. Brun R. et al. ZBOOK, CERN, DD/78/1, Geneva, 1978.
14. Brun R. et al. HBOOK, CERN, DD/77/9, Geneva, 1977.
15. Sternheimer B.M. The Reveiw of Scientific Instruments, 1954, v, 25, p. 1070.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Панебратцев Ю.А., Ставинский В.С.

1-82-896

Программа для моделирования работы установки ДИСК-2 методом Монте-Карло

Создана программа для моделирования методом Монте-Карло работы одноплечевого вращающегося спектрометра ДИСК-2, который предназначен для регистрации частиц (π^\pm , K^\pm , p , d , t) в интервале углов от 49° до 180° относительно направления первичного пучка и в интервале импульсов от 0,15 до 1,6 ГэВ/с. Значительная часть исследуемых событий относится к случаю кумулятивного рождения. Проверка работы программы была проведена на некоторых простых примерах, допускающих решение другими методами, а также на примере расчета времяпролетных спектров и их сравнения с экспериментальными распределениями. Расчеты, выполненные по программе, использовались при проведении измерений и обработке экспериментальных данных.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Panebratsev Yu.A., Stavinsky V.S.

1-82-896

Program for Monte-Karlo Simulation of DISK-2 Installation Performance

The program for Monte-Carlo simulation of the performance of one-arm rotating DISK-2 spectrometer is described. The spectrometer is intended for measurements of (π^\pm , K^\pm , p , d , t) differential cross sections with the $49-180^\circ$ angle range with respect to the mean direction, and the 0.15 to 1.6 GeV/c momentum interval. Significant part of studied events belongs to the process of particle cumulative production. Checkup of the programs was carried out on a few simple examples, admitting solving by other methods. The time-of-flight spectra were calculated and compared with experimental distributions. The results of calculations were used at data measuring and processing.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energy, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.