

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

Б 447

13-88-342

**И.М.Беляев*, О.П.Гавришук, Л.С.Золин,
В.Ф.Переседов, А.Ю.Суханов**

СПЕКТРОМЕТР КУМУЛЯТИВНЫХ АДРОНОВ
Сбор данных, анализ событий

* Институт теоретической и экспериментальной физики,
Москва

1988

В данной работе продолжено описание спектрометра кумулятивных адронов (СКА), на котором было проведено исследование образования кумулятивных адронов на ускорителе У-70 ИФВЭ (Серпухов) при энергиях свыше 15 ГэВ. Эксперимент выполнялся в инклюзивной постановке

$$p + A \rightarrow h^{\pm} + \dots \quad (1)$$

Ранее^{/1/} была описана конструкция спектрометра, система детекторов, триггерная и регистрирующая электроника спектрометра. Здесь мы проводим описание системы сбора данных, программной обработки данных и процедуры вычисления дифференциальных сечений. Схема спектрометра воспроизведена на рис.1.

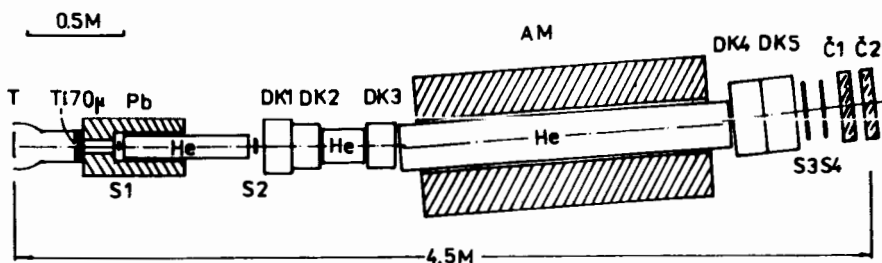


Рис.1. Вид спектрометра СКА (профильная проекция).

1. СБОР ДАННЫХ С УСТАНОВКИ

Система сбора данных с установки СКА является вариантом системы MES^{/2/}. Она включает в себя (рис.2):

а) ЭВМ СМ-4 с подключенными накопителями на магнитной ленте ЕС-5012-03,

б) аппаратуру связи установки с ЭВМ, удаленной на 200 м: параллельный регистр ввода-вывода GIGO^{/3/}, контроллер удаленной связи ССБСНО^{/4/},

в) аппаратуру КАМАК: интерфейс ЭВМ КК-04, контроллеры крейта с фиксированными программами КК-01, связанные с основным крейтом через параллельные регистры КР-07^{/5/}.

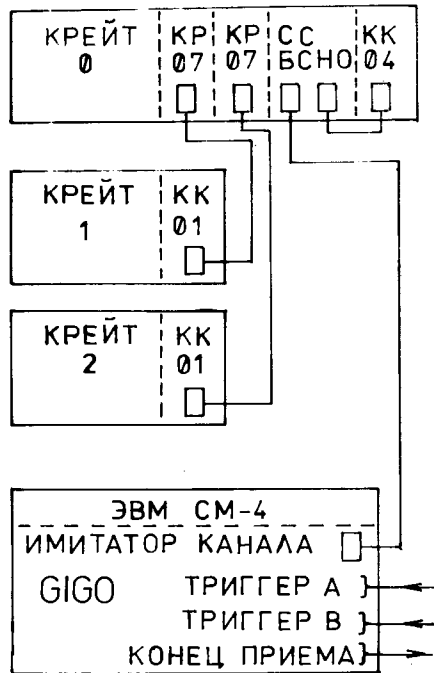


Рис.2. Блок-схема сбора данных.

Для синхронизации работы ЭВМ с установкой используется два источника прерываний: "Триггер В" — конец цикла ускорителя и триггер А — данные установки готовы. После выработки сигнала "Триггер А" установка блокировалась до прихода сигнала ЭВМ "Конец приема".

Программные средства MES обеспечивают:

а) инициализацию приема по прерыванию, время реакции на прерывание (время от поступления триггера до первой операции в крейте) составляет 150 мкс;

б) прием данных в программном режиме с пиковой скоростью 80 кслов/с;

в) запись принятой информации на магнитную ленту со скоростью 100 кбайт/с, причем прием данных и запись происходят одновременно;

г) обработку принятой и записанной информации в интервалах между событиями.

В процессе набора данных контролировались следующие распределения измеренных величин с представлением их на графическом дисплее:

- времяпролетные спектры $t_1(S1 - S4)$, $t_2(S2 - S4)$, $t_3(S3 - S4)$;
- $\Delta E/\Delta x$ -спектры счетчиков $S1 \div S4$;
- амплитудные спектры черенковских счетчиков $\tilde{C}1, 2$;
- временные спектры $\Delta N/\Delta t$ всех каналов регистрации дрейфовых камер;
- форма растяжки сброса пучка на мишень (скорость мониторинга счета $\Delta M/\Delta t$);
- отношение отсчетов мониторов $M1/M2$;
- рабочий интервал значений индукции магнитного поля ускорителя (В-серия);
- X- и Y-распределения отсчетов сигнальных нитей дрейфовых камер (отображение профиля пучка);
- распределение суммы сработавших нитей в одном событии (обобщенный контроль эффективности камер и фоновых загрузок).

Оперативный контроль подобного набора распределений и их функциональных соотношений позволяет осуществлять постоянный интегральный контроль стабильности работы детекторной системы, а в режиме настройки облегчает подбор временных задержек в триггерной системе и системе временного анализа, степени аттенюации в аналоговых каналах и т.д. В процессе накопления находилось не менее 100 гистограмм. Применение графического дисплея обеспечивает также возможность отображения корреляционных матриц типа $T_1 - T_j$, $\Delta E_1 - T_j$ и т.д.

2. ИМПУЛЬСНЫЙ АНАЛИЗ

Для обеспечения импульсного анализа в спектрометре использовался магнит с апертурой 149 x 280 мм и длиной полюсов 1540 мм. Для улучшения однородности поля в пределах рабочей апертуры были установлены полюсные накладки, профиль которых был оптимизирован для этой цели на основании соответствующих расчетов. При данной конфигурации рабочей области магнитного поля роль краевых эффектов была незначительна. Обработка измеренной карты магнитного поля показала, что при вычислении импульса допустимо упрощение расчетов путем использования эффективной длины магнитного поля ($L_{эфф} = 1640$ мм). В каждом сеансе измерений положение трековых детекторов в плоскости магнитного анализа (вертикальной) контролировалось с помощью нивелира с точностью 0,2 мм, что соответствует ошибке в определении импульса 0,5%. С учетом координатной точности дрейфовых камер (0,15 мм) ошибка восстановления импульса, связанная с точностью геометрической фиксации трека заряженной частицы, составляла $\sigma_x \sim 1\%$.

Импульсный спектр однозарядных частиц, регистрируемых спектрометром, лежал в интервале от 250 до 1300 МэВ/с. Для перекрытия этого импульсного диапазона измерения проводились при трех значениях магнитного поля: 0,1, 0,2 и 0,3 Тл. При импульсах 1000 МэВ/с доминирующую роль в импульсном разрешении играет кулоновское рассеяние, обусловленная им ошибка в определении импульса $\sigma_c > \sigma_x$. При этом условии импульсное разрешение для частиц со скоростью β может быть приближенно оценено по формуле

$$\sigma_c = \Delta P/P \approx \sqrt{L_p} / (\beta \cdot \int H d\ell),$$

где L_p — эффективная радиационная длина и $\int H d\ell$ — интеграл магнитного поля. С целью снижения L_p количество вещества в головной части спектрометра было уменьшено путем уменьшения в допустимых пределах толщины светозащитных и электромагнитных экранов и толщины

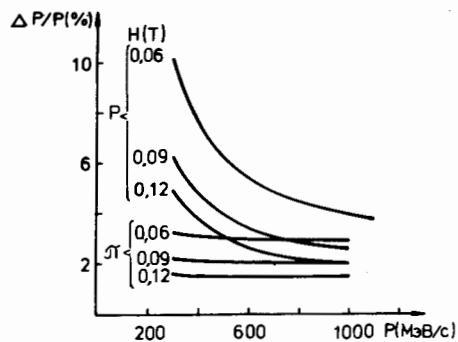


Рис.3. Импульсное разрешение при различных значениях поля в анализирующем магните.

сцинтилляторов, во все протяженные промежутки между отдельными детекторами спектрометра был введен гелий. В итоге количество вещества в радиационных единицах в основных элементах спектрометрического тракта (рис.1) составило:

- $0,35 \cdot 10^{-2}$
- $1,0 \cdot 10^{-2} \cdot (4,0 \cdot 10^{-2})$
- $0,7 \cdot 10^{-2}$
- $0,6 \cdot 10^{-2}$
- $0,5 \cdot 10^{-3}$
- $1,2 \cdot 10^{-3}$.

окно в камере У-70 (Т_i, 70 мкм)
счетчики S1, S2 (S3, S4)
камеры ДК1 ÷ 3
камеры ДК 4,5
боксы с гелием
воздух

На рис.3 приведены результаты расчета импульсного разрешения для пионов и протонов при различных значениях поля в магните спектрометра. При $H \geq 0,1$ Тл импульсное разрешение для пионов находится на уровне 2%, для протонов в мягкой части спектра оно ухудшается до $\bar{\delta} = \bar{\delta}'$.

3. ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

3.1. Обработка мониторинг информации, критерии браковки событий

Особенностью работы спектрометра является регистрация событий взаимодействия в мишени во всем изучаемом интервале энергий первичных частиц в каждом цикле ускорения по мере нарастания энергии внутреннего пучка ускорителя. Для получения энергетической зависимости исследуемого процесса события, зарегистрированные в диапазоне энергий $15 \div 65$ ГэВ, распределились при анализе данных по 7 энергетическим интервалам на основе отсчетов В-серии (индикатора значений магнитной индукции на равновесной орбите ускоряемых протонов). Поскольку соотношение показаний мониторов и сечения взаимодействия ускоренных протонов с ростом энергии непрерывно изменяется, то накопление сумм мониторинговых отсчетов должно вестись отдельно по каждому энергетическому интервалу. Для обеспечения точного соответствия "живого" времени мониторинг и триггерной систем они блоки-

ровались синхронно на время запрета регистрации. При анализе событий часть из них, не удовлетворяющая заданным критериям отбора, бракуется. Для соответствующей коррекции мониторинговых отсчетов нами были выделены две моды бракованных событий. Мода "1" соответствует идентификации событий как "случайных", т.е. обусловленных появлением триггерного сигнала из-за случайного наложения отсчетов в триггерных счетчиках. Частота таких наложений увеличивается с увеличением фоновых загрузок счетчиков. Основным критерием принадлежности события к этой моде было нарушение соотношения

$$t_1 / t_2 = L_1 / L_2, \quad (2)$$

где t_1, t_2 — время пролета частиц на базах L_1, L_2 . Соотношение (2), очевидно, должно выполняться независимо от скорости частиц и их массы. При браковке событий по моде "1" мониторинговые отсчеты сохранялись, т.е. заносились в мониторинговые суммы соответствующих энергетических интервалов.

Браковка по моде "2" относилась к "плохим" событиям, не удовлетворяющим заданным критериям качества. К таковым могли быть причислены события с пропусками отсчетов в нескольких плоскостях дрейфовых камер, неоднотрековые события, события, координаты треков которых лежат за заданными геометрическими границами (например, на крыльях изображения мишени). Подобные события связаны с неоднозначностями и искажениями в работе трековых детекторов и являются основным источником искажений изучаемых импульсных распределений частиц. Они также должны исключаться из анализа. Чтобы избежать искажений абсолютных значений сечений, связанных с браковкой событий такого типа, соответствующие отсчеты мониторов исключались при наборе мониторинговых сумм. Таким образом, при браковках по моде "2" отсчеты мониторов, соответствующие времени "плохого" события, ликвидировались. Абсолютная нормировка мониторов в отдельных энергетических интервалах проводилась в специальных калибровочных измерениях, выполняемых в каждом сеансе набора данных.

3.2. Общая организация обработки исходных данных

Обработка информации, записанной на магнитные ленты, проводилась в три этапа. Основой первого этапа была геометрическая реконструкция событий, т.е. восстановление треков зарегистрированных частиц, определение углов отклонения в анализирующем магните и импульса частиц. Соответственно основой алгоритма обработки данных здесь были: декодировка рекорда записи отдельного события на основе

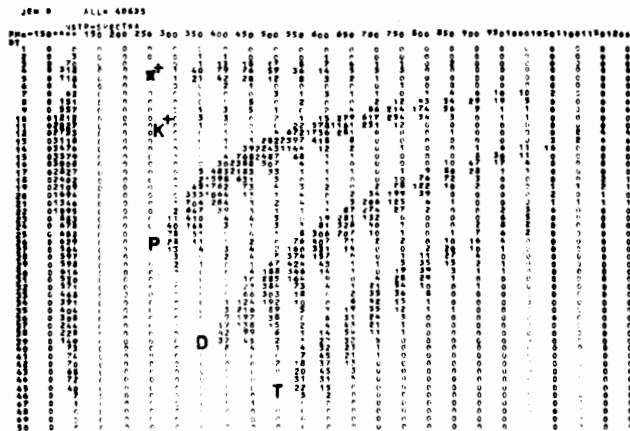


Рис.5. Корреляционная матрица импульс-время пролета для положительных частиц ($H=0,2 \text{ Тл}$).

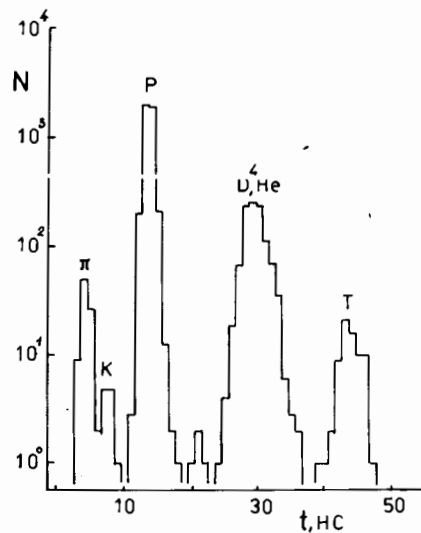


Рис.6. Времяпролетный спектр для положительных частиц с импульсом $(550 \pm 25) \text{ МэВ/с}$.

разделены на основе только (t, p) -анализа. В этом случае общепринятым способом разделения является комбинированный $(t, \Delta E/\Delta x)$ -анализ. Амплитуда E-сигнала приближенно связана с временем пролета

t-спектр для частиц в интервале импульсов $P=525 \div 575 \text{ МэВ/с}$. В жесткой части спектра, где временной анализ из-за перекрытия t-распределений становится неэффективным, для выделения пионов и каонов используется распределение амплитуд A_0 сигналов с С-счетчиков. Для используемого нами водяного радиатора со спектросмещающей добавкой пороговый импульс для каонов и протонов составляет соответственно 550 и 900 МэВ/с (он несколько ниже, чем для чистого водяного радиатора, из-за более эффективного использования ультрафиолетовой части черенковского излучения при наличии сместителя спектра).

Ядерные фрагменты с равным значением отношений p/A и z/A (p — импульс фрагмента, z — заряд, A — число нуклонов) не могут быть

t соотношением

$$\Delta E = C1 \cdot z^2 \cdot t^2 + C2.$$

В корреляционной матрице $(t, \Delta E)$ фрагменты с различным z/A группируются в различных областях и могут быть разделены наложением соответствующих граничных условий.

5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ

Нормированные на один нуклон ядра-мишени инвариантные дифференциальные сечения для реакции (1) связаны с измеренными величинами соотношением:

$$\frac{E}{A} \cdot \frac{d\sigma(E_0)}{d\vec{q}} = \frac{E}{A} \cdot \frac{d^2\sigma(E_0)}{q^2 dq d\Omega} = \frac{E}{A q^2 dq} \cdot \frac{N - N_1 - N_\phi}{M - M_1 - M_\phi} \cdot \frac{M_c(E_0) \cdot K_c \cdot \epsilon}{A_r d\Omega}, \quad (3)$$

где E_0 — энергия первичных протонов, A — атомный номер ядра-мишени, E и q — средние значения полной энергии и импульса частицы в импульсном интервале dq , $d\Omega$ — входной телесный угол спектрометра ($1 \cdot 10^{-3} \text{ ср}$), N — число частиц данного сорта, зарегистрированных в интервале dq , ϵ — эффективность триггера, M — показания монитора, $M_c(E_0)$ — константа монитора (число отсчетов монитора при падении первичного протона с энергией E_0 на мишень с единичной ядерной плотностью), N_ϕ и M_ϕ — число фоновых событий и фоновых отсчетов монитора (при отсутствии мишени), N_1 и M_1 — число событий, бракуемых программой обработки по заданным критериям и соответствующее число отсчетов монитора. K_c — поправка на усреднение сечения по ко-

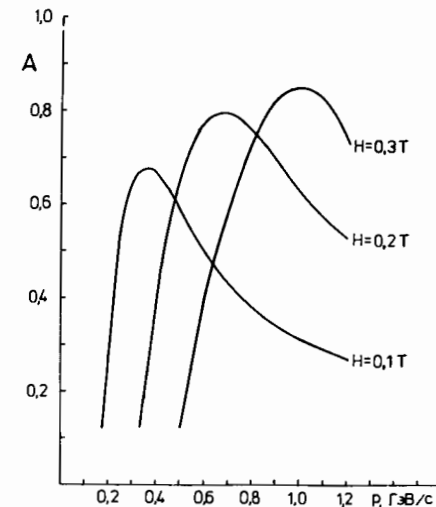


Рис.7. Зависимость геометрической эффективности от импульса для пионов и протонов при трех значениях магнитного поля.

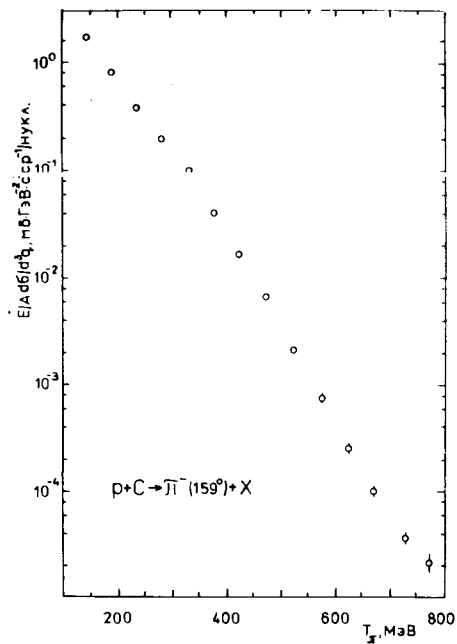
нечному интервалу значений dq и $d\Omega$. Акцептанс спектрометра (геометрическая эффективность)

$$A_T = N'/N_0 = F(\theta, \phi, X_T, Y_T, X_1, Y_1, Z_1, q, m, H, \rho_1, R_1, \tau_m), \quad (4)$$

где N_0 — число частиц с массой m и импульсом q , вылетающих в телесном угле $d\Omega$ с полярным и азимутальным направлением (θ, ϕ) из точки мишени с координатами X_T, Y_T ; N' — число частиц, зарегистрированных триггерной схемой спектрометра при заданном значении поля H в анализирующем магните. Акцептанс спектрометра вычисляется для заданного набора q, m, H посредством моделирования прохождения частицы через спектрометр на основе метода Монте-Карло. В соответствии с позицией и размерами (X_1, Y_1, Z_1) детекторов и конструктивных элементов весь тракт спектрометра был разбит вдоль оси z на 80 элементов. Розыгрыш углов рассеяния, вероятности распада нестабильных частиц с временем жизни τ_m и вычисление ионизационных потерь проводились для каждого i -элемента с учетом его плотности (ρ_i) и радиационной длины (R_i) . На рис.7 показана зависимость A_T от импульса для нескольких значений H . Подробно процедура моделирования геометрической эффективности и учет фоновых процессов описаны в работе ^{16/}. В качестве примера на рис.8 показана измеренная нами зависимость дифференциального инвариантного сечения образования пионов от их кинетической энергии в реакции $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi^- (159^\circ) + \dots$.

зационных потерь проводились для каждого i -элемента с учетом его плотности (ρ_i) и радиационной длины (R_i) . На рис.7 показана зависимость A_T от импульса для нескольких значений H . Подробно процедура моделирования геометрической эффективности и учет фоновых процессов описаны в работе ^{16/}. В качестве примера на рис.8 показана измеренная нами зависимость дифференциального инвариантного сечения образования пионов от их кинетической энергии в реакции $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi^- (159^\circ) + \dots$.

Рис.8. Инвариантное дифференциальное сечение образования пионов в реакции $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow \pi^- + \dots$, измеренное при $E_0 = 57 \text{ ГэВ}$.



Авторы благодарят Б.А.Морозова, Н.В.Горбунова и сотрудников сектора вычислительной техники СЭО ОИЯИ за обеспечение надежной работы системы сбора данных на базе ЭВМ СМ-4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев И.М. и др. Сообщение ОИЯИ, 13-88-341, Дубна, 1988.
2. Горбунов Н.В. и др. Сообщение ОИЯИ, P10-85-954, Дубна, 1985.
3. Горбунов Н.В. и др. Сообщение ОИЯИ, 11-82-711, Дубна, 1982.
4. Вицев В.В. и др. Сообщение ОИЯИ, 11-83-85, Дубна, 1983.
5. Журавлев Н.И. и др. Препринт ОИЯИ, 10-9479, Дубна, 1979.
6. Беляев И.М. и др. Сообщение ОИЯИ, P1-87-429, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 мая 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3.4.17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

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

Беляев И.М. и др.

13-88-342

Спектрометр кумулятивных адронов.
Сбор данных, анализ событий

Описаны система сбора данных, особенности анализа событий и процедура вычисления дифференциальных инклюзивных сечений при обработке данных с установки СКА — спектрометра кумулятивных адронов. Спектрометр размещался в кольцевом зале ускорителя У-70 ИФВЭ (Серпухов) и был использован для изучения процессов кумулятивного образования частиц при энергиях от 15 до 65 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Belyaev I.M. et al.

13-88-342

Cumulative hadron spectrometer.
Data acquisition and data processing

Data acquisition system, specific characteristics of data processing and the procedure of the differential inclusive cross sections calculation for data processing from CHS — cumulative-hadron-spectrometer are described. The spectrometer was placed in the ring hall of the IPHE's U-70 (Serpukhov) accelerator and was used for research of cumulative particle production at energies from 15 to 65 GeV.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988