

Иванов С. И. и др.
1448/90

344.1ш⁺

БЗ-10-90-82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

БЗ-10-90-82

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 90

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

БЗ-10-90-82

Багдасаров С.Л.⁺, Виноградов В.Б., Кульчицкий Ю.А.*,
Литов Л.Б., Сергеенко М.Н.*, Токар С.

Математическое обеспечение для обработки событий, регистрируемых
спектрометром ГИПЕРОН в эксперименте по инклюзивному образованию
странных мезонов.

Дубна, 1989 г.

⁺ Ереванский Государственный университет

* Институт физики АН БССР, г. Минск

А Н Н О Т А Ц И Я

Описаны программы анализа событий, регистрируемых с помощью установки ГИПЕРОН в экспериментах по инклюзивному образованию странных векторных и псевдоскалярных мезонов.

В В Е Д Е Н И Е

На установке ГИПЕРОН/1/ проведен эксперимент по инклюзивному образованию K^0 - и K^{0*} - мезонов в адрон-ядерных взаимодействиях при 11.2 ГэВ/с.

Установка ГИПЕРОН (рис.1) состоит из пучкового спектрометра и спектрометра вторичных частиц и расположена на 18 канале серпуховского ускорителя. Установка включает в себя 52 трековых детектора, систему искровых (ИПК) и пропорциональных (ПК) камер, черенковские (С) и сцинтилляционные (S) счетчики, фотоскопы (Г), электромагниты (СП-129, МС-12). Для идентификации вторичных заряженных частиц используется 8-канальный газовый пороговый черенковский счетчик C_6^{12} .

В работе описывается программное обеспечение анализа событий в реакциях



($h = \pi^+, K^+, p$; $A = H_2, Be, Cu, Pb$)

Объем экспериментальной информации составляет более 5 млн. событий.

Анализ экспериментальной информации состоит из следующих основных этапов (рис.2): геометрической реконструкции треков, восстановления событий в пространстве, вычисления кинематических параметров частиц, построения спектров эффективных масс и других физических величин, аппроксимации полученных спектров, расчета дифференциальных сечений.

Рассматриваемый ниже комплекс программ производит обработку событий после геометрической реконструкции треков и записи ленты

суммарных результатов (ЛСР). С помощью программы MESON восстанавливается топология события, определяются импульсы частиц, строятся спектры эффективных масс. Программа FITRES предназначена для фита спектров эффективных масс. В программе CROSEC рассчитываются дифференциальные сечения. Все программы написаны на языке FORTRAN и хранятся в ЭВМ CDC-6500 в виде перманентных файлов непрямого доступа.

1.1 ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОГРАММЕ MESON.

Результатом работы программы геометрической реконструкции треков является банк треков:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = A_{x_1} z + B_{x_1} \\ y_1 = A_{y_1} z + B_{y_1} \\ \dots \dots \dots \\ x_n = A_{x_n} z + B_{x_n} \\ y_n = A_{y_n} z + B_{y_n} \end{array} \right. , \quad (1.1)$$

В программе MESON определяется, какие из них принадлежат одной вершине и путем минимизации функционала^{/3/}

$$\chi^2 = (Fx - B)^T W (Fx - B) \quad (1.2)$$

определяются координаты вершины события \bar{x} (x_V, y_V, z_V):

$$\bar{x} = [F^T W F]^{-1} F^T W B \quad (1.3)$$

В формулах (1.2) и (1.3) W-весовая матрица,

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -A_{x_1} \\ 0 & 1 & -A_{y_1} \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & -A_{x_n} \\ 0 & 1 & -A_{y_n} \end{bmatrix} , \quad (1.4)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{x_1} \\ B_{y_1} \\ \dots \\ B_{x_n} \\ B_{y_n} \end{bmatrix} . \quad (1.5)$$

Ошибками координатного вектора \bar{x} являются диагональные элементы ковариантной матрицы

$$\delta(x) = \frac{1}{\nu} (Fx - B)^T W (Fx - B) [F^T W F]^{-1}, \quad (1.6)$$

где $\nu = 2n - 3$ — число степеней свободы

Критерием принадлежности треков одной вершине является условие

$$\langle n \rangle = \left(\sum r_i^2 / n \right)^{1/2} < r_{\text{макс.}}, \quad (1.7)$$

$$r_i = [x_v - (A_{x_i} z_v + B_{x_i})]^2 + [y_v - (A_{y_i} z_v + B_{y_i})]^2 \quad (1.8)$$

— расстояние от i -го трека до вершины события.

Величина $r_{\text{макс.}} = 6$ мм. получена эмпирическим путем из анализа выхода K^0 -мезонов в зависимости от величины $r_{\text{макс.}}$.

Импульс пучковой частицы определяется по углу отклонения θ в магните СП-129^{4/}

$$p = \frac{1}{A(\theta - \theta_0) + B}, \quad (1.9)$$

где $A = \frac{1}{0.03} \int H dl$; H — напряженность магнитного поля, l — эффективная длина магнита; θ — угол отклонения частицы после прохождения магнита СП-129; θ_0 — угол отклонения частицы с импульсом p_0 (p_0 — средний импульс пучка).

Восстановление импульсов вторичных заряженных частиц осуществляется с помощью метода, предложенного в работе /5/. Адаптированный к условиям установки ГИПЕРОН этот метод^{6/} позволил достичь точности восстановления импульсов $\frac{\Delta p}{p} \approx 0.1\%$.

Для отбора событий с ленты суммарных результатов (ЛСР), полученной в результате геометрической реконструкции события, используются следующие критерии:

- а) соответствие числа треков вторичных заряженных частиц топологии события
- б) соответствие z -координаты точки распада частицы (из области

мишени, либо из распадной базы) исследуемому процессу.

При выделении процесса (2) требуется отсутствие сигнала от K^+ -мезона в соответствующем сегменте черенковского счетчика $C_6^{1/2}$.

Для отобранных событий определяются значения фейнмановской переменной x_F , поперечного импульса p_T и эффективной массы исследуемых частиц. Эта информация используется при построении спектров эффективных масс заряженных частиц как функций переменных x_F и p_T для каждого изучаемого процесса. Гистограммирование отобранных событий проводится с использованием пакета программ HBOOK^[7]. Вместо большого количества одномерных гистограмм (более 100 штук) используются двумерные гистограммы (20 штук).

Эффективности работы камер вычисляются по формулам

$$\varepsilon_i = \frac{N - N'}{N_0 - N'} \quad , \quad (1.10)$$

$$\delta\varepsilon_i = \sqrt{\frac{\varepsilon_i(1 - \varepsilon_i)}{N_0 - N'}} \quad , \quad (1.11)$$

где N_0 — число треков, пересекающих рабочую область i -ой камеры, N — число треков, на которые эта камера сработала, N' — те из N треков, которые восстановлены по минимальному числу сработавших камер.

1.2 ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ MESON.

Блок-схема программы MESON приведена на рис.3.

Потоки входных и выходных данных организованы в девятифайловую структуру. Первичная информация вводится с файла TAPE-5, коэффициенты магнитного поля (карта поля) вводятся с файла TAPE-10, файл TAPE-6 предназначен для работы с гистограммами,

геометрические константы вводятся с файла TAPE-7, в файл TAPE-15 заносятся параметры, необходимые для фитирования спектров (если производится взвешивание событий), в файле TAPE-30 содержится информация о моделированных событиях, которая используется для определения эффективности алгоритма реконструкции событий.

Границы параметров, критерии отбора событий, массы частиц, границы кинематических переменных, константы, определяющие различные режимы работы программы вводятся с файла INPUT. Эта информация заносится в COMMON-блоки модуля STARTIN.

В подпрограмме START считывается, заносится в COMMON-блоки и распечатывается следующая информация: общее число детекторов в спектрометре, число файлов, помеченных меткой EOF, которое должно быть считано с ленты, число пропускаемых записей при чтении и записи, параметры типа обрабатываемых событий и другие данные.

Далее управление передается в подпрограмму DSTREAD, наиболее важные модули которой выполняют следующее:

RECDST2 - читает и декодирует информацию, записанную на ЛСР, сортирует считанную информацию и заносит в массивы.

MOMBEAM - определяет импульс пучковой частицы в магните СП-129 по формуле (1.9).

MOMCALC - вычисляет импульсы вторичных заряженных частиц в поле магнита МС-12^{6/}.

COMBIN - управляет процессом реконструкции вершины события в пространстве.

FORKCHI^{8/} - минимизирует функционал (1.2) и по формуле (1.3) определяет координаты вершины события. Из сравнения вычисленного значения χ^2 с критерием отбора событий на сшивку в вершине

Производит сортировку событий по топологиям, либо отбраковку.

В подпрограмме ANGLPAR определяется угол между парой треков в пространстве, а EFMASS и RESOMOM вычисляют эффективную массу и импульс соответствующей пары частиц.

В подпрограмме FEYNMAN вычисляются кинематические переменные M_T и p_T для исследуемого резонанса, проверяются границы параметров треков, учитывается информация с черенковского счетчика и другие критерии.

KDECAY - предназначена для выделения распадов $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$. Из подпрограммы KDECAY вызывается подпрограмма CALCCH, предназначенная для определения эффективностей трековых детекторов. В ней заполняются массивы, которые затем используются (при окончании счета) в подпрограмме HYPEFF для вычисления эффективностей трековых детекторов (пропорциональных и искровых проволочных камер), блоков камер (с учетом всех условий off-line триггера на подблоках) и всей установки.

По окончании работы программы MESON с помощью программы OUT на печать выводится итоговая информация о количестве обработанных событий, о числе событий, отбракованных на разных этапах обработки, таблица эффективностей детекторов, блоков камер и установки.

Полученные в результате работы программы распределения физических величин, необходимые для дальнейшей обработки, записываются на диск памяти ЭВМ CDC-6500.

2.1 АППРОКСИМАЦИЯ СПЕКТРОВ ЭФФЕКТИВНЫХ МАСС

Для определения выходов K^0 - и $K^{*0}(892)$ -мезонов анализируются спектры эффективных масс в гипотезах $(\pi^+ \pi^-)$ и $(K^+ \pi^-)$ в

кинематической области $x_F \geq 0.3$, $p_T \leq 0.5$ ГэВ/с.

Аппроксимация спектров производится формулой /9,10/

$$\frac{dN}{dM} = BG(M) + \beta R(M) \varepsilon(M) \quad (2.1)$$

где $R(M)$ — функция Гаусса для $(\pi^+\pi^-)$ -мезонов или релятивистская функция Брейта-Вигнера для $(K^+\pi^-)$ -мезонов; BG — функция, описывающая фон; β — нормировочный коэффициент; $\varepsilon(M)$ — эффективность установки по массе.

Функция Брейта-Вигнера /10/ берется в виде:

$$BW(M) = \frac{M \cdot M_N \cdot \Gamma(M)}{(M^2 - M_N^2)^2 + M_N^2 \cdot \Gamma^2(M)} \quad (2.2)$$

с шириной, представляющей формулой:

$$\Gamma(M) = \Gamma_N (q/q_0)^{2l+1} [\rho(M)/\rho(M_N)] \quad (2.3)$$

где M_N , Γ_N — табличные значения /11/ массы и ширины частицы; l — угловой момент; q — 3-импульс продуктов распада резонанса в его системе покоя, $q_0 = q(M_N)$; $\rho(M)$ — относительно медленно меняющийся множитель.

Было использовано следующее представление множителя $\rho(M)$:

$$\rho(M) = [q_0^2 + q^2]^{-1}, \quad (2.4)$$

Функция Гаусса имеет вид:

$$GA(M) = \exp \left\{ - \frac{2(M - M_N)^2}{\Gamma^2} \right\} \quad (2.5)$$

где M_N — масса резонанса, $\Gamma = 2\sigma$ (σ — стандартное отклонение).

Фон обычно хорошо описывается произведением двух множителей, с 4 свободными параметрами /12/, которые учитывают возможные пороговые эффекты и квазиэкспоненциальный фон вдали от пороговой массы $M_{пор}$:

$$BG(M) = a_2(M - M_{\text{пор.}})^{a_3} \cdot \exp(-a_4M - a_5M^2) \quad (2.6)$$

где a_i — параметры.

Выходы исследуемых частиц определяются по формуле:

$$N = \beta \int_{M_{\text{мин.}}}^{M_{\text{макс.}}} \varepsilon(M) R(M) dM \quad (2.7)$$

где $M_{\text{мин.}}$ и $M_{\text{макс.}}$ представляют минимальное и максимальное значения области фитирования.

Для спектров ($\pi^+\pi^-$) использовались границы $M_{\text{мин.}} = 434$ МэВ, $M_{\text{макс.}} = 554$ МэВ, а для спектров ($K^+\pi^-$) — $M_{\text{мин.}} = 640$ МэВ, $M_{\text{макс.}} = 1240$ МэВ. На рис. 5 представлены спектры эффективных масс систем ($\pi^+\pi^-$) и ($K^+\pi^-$), полученные на различных ядрах-мишенях, и их аппроксимация функцией вида (2.1).

Погрешности в значениях выходов частиц определяются с учетом корреляции между параметрами аппроксимации по формуле:

$$\delta N = \sqrt{\sum_{ij} \frac{\partial N}{\partial a_i} (\Delta a_{ij})^2 \frac{\partial N}{\partial a_j}} \quad (2.8)$$

где $i, j = 1, \dots, k$; k — число параметров; $\frac{\partial N}{\partial a_i}$ — частные производные от функции (2.7); Δa_{ij} — корреляционная матрица.

Для фитирования распределений используется программа FUMILI /13/

2.2 ПРОГРАММА АППРОКСИМАЦИИ СПЕКТРОВ.

Программа аппроксимации спектров эффективных масс FITRES предназначена для фита массивов спектров эффективных масс (по 100–200 спектров). Программой используется 8 файлов. Первичная информация вводится с файла INPUT. С файлов TAPE-5 и TAPE-10

считываются параметры гистограмм и записываются на файл TAPE-20. На файл TAPE-25 записываются параметры аппроксимации. Информация, предназначенная для хранения на диске с целью проведения дальнейшей обработки, заносится на файл TAPE-30. Печать осуществляется с файла OUTPUT.

Программа FITRES включает в себя, 6 основных подпрограмм: READW, CONSFIT, IDOPERA, IDPAK, IDFIT, WRIPAR. Блок-схема программы представлена на рис. 6.

В подпрограмме READW считывается служебная информация об используемых гистограммах: номер проекции, тип выделяемой частицы, вид аппроксимирующей функции, которая заносится в COMMON - блоки /NPROJ/, /NTIP/ и /IFUN/ соответственно.

В подпрограмме CONSFIT определяются константы, необходимые для аппроксимации спектров эффективных масс для выделения K^0 - и $K^{*0}(892)$ -мезонов.

В подпрограмме IDOPERA производятся арифметические операции над гистограммами. Для того, чтобы учесть взаимодействие с веществом канала, производится вычитание из спектра эффективных масс, полученного на мишени, спектра, полученного при так называемой "пустой мишени" (мишень отсутствует). Вычитание производится по формуле:

$$r = N_1 - k N_2 \quad (2.9)$$

где N_1 и N_2 - идентификаторы соответствующих гистограмм, а $k = \frac{J_T}{J_E}$, J_T - поток на ядерную мишень, J_E - поток частиц в экспозиции без мишени.

В подпрограмме IDPAK выделяются из двумерных гистограмм одномерные гистограммы, содержащие спектры для определенного интервала

(x_F, p_T). В рамках этой подпрограммы производится обращение к подпрограммам CONTMAX, CONTERR, ERRBIN.

Подпрограмма CONTMAX осуществляет контроль за заполнением гистограмм.

Подпрограммой CONTERR определяется величина погрешности в каждой ячейке гистограммы, заносимая затем в массив ERRORS.

В подпрограмме ERRBIN вычисляется статистическая ошибка в каждом бине гистограммы по формуле:

$$E = \sqrt{m_i + k^2 n_i} \quad (2.10)$$

где m_i и n_i — содержимое i -го бина гистограмм H_1 и H_2 , соответственно.

Далее производится обращение к подпрограмме IDFIT, в которой осуществляется аппроксимация полученных спектров эффективных масс. Предварительно с файла TAPE-15 считывается число параметров фита, их начальные значения, шаг изменения и данные величины заносятся в COMMON-блоки /NPAR/, /BOUNDS/ и /STEP/.

Аппроксимация проводится при помощи функции вида (2.1), где $BG(M)$ имеет вид (2.6), а $R(M)$ представляется формулами (2.2) или (2.5).

Затем в подпрограмме IDPRINT результаты фита выводятся на печать в виде суммарной гистограммы, а также гистограмм для эффекта и для фона.

Определяется уровень достоверности полученного описания экспериментального распределения как вероятность $P(\chi^2)$.

Для определения погрешностей в значениях выходов изучаемых частиц в подпрограмме COVMAT заполняется корреляционная матрица параметров.

В подпрограмме NDERIV вычисляются частные производные функции (2.7) по параметрам аппроксимации.

Погрешности в величине N (2.7) определяются по формуле (2.8) в подпрограмме ERRORN.

Далее подпрограммой WRIPAR осуществляется запись значений параметров, полученных в результате аппроксимации, на файл TAPE-25.

В подпрограмме SPARTA из COMMON-блоков извлекаются необходимые для анализа результаты аппроксимации, поступающие затем в подпрограмму TPRINT, которая представляет данные результаты в виде таблиц.

В программе широко используется пакет программ NBOOK^{/7/}. Объем программы составляет более 2 тыс. операторов.

3.1 ПРОГРАММА РАСЧЕТА СЕЧЕНИЙ

Программа CROSEC служит для расчета сечений образования частиц в адрон-ядерных взаимодействиях на различных ядрах-мишенях и аппроксимации полученных дифференциальных сечений.

Двойное дифференциальное сечение рождения изучаемых частиц определяется по формуле:

$$\frac{d^2\sigma_A}{dx_F dp_T^2} = \frac{dN/dx_F dp_T}{2p_T \frac{P N_A I}{A} J_K BR_R \varepsilon_M \varepsilon_2 a_R} \quad (3.1)$$

где $dN/dx_F dp_T$ — число частиц в отдельных интервалах по x_F и p_T , полученное из аппроксимации суммарного по толщинам мишени и сеансам спектра эффективных масс; J_K — поток падающих на мишень K^+ -мезонов; ε_M — поправка на поглощение в мишени; ε_2 — эффективность установки на двухлучевое событие; a_R — геометрическая эффективность регистрации исследуемого процесса; BR_R — доля распада по изучаемой

моде; ρ — плотность вещества мишени; l — толщина мишени; A — атомная масса ядра; N_A — число Авогадро.

Блок-схема программы представлена на рис. 7.

Входная информация считывается с файла INPUT. Значения выходов и их погрешности извлекаются с файла TAPE-5. С файла TAPE-10 считывается геометрическая эффективность спектрометра.

Программа состоит из 3 основных подпрограмм: INFORM, COEF, CRSEC.

В подпрограмме INFORM входные данные извлекаются из файлов INPUT, TAPE-5, TAPE-10, TAPE-15, и заносятся в таблицы.

В подпрограмме EFFMEAN определяется усредненная по толщинам и мишеням эффективность $\langle \varepsilon_2 \rangle$. Затем в подпрограмме COEF для отдельных толщин мишеней в различных экспозициях вычисляется коэффициент, входящий в формулу расчета сечения:

$$C = \frac{N_A \rho l}{A} J_K \varepsilon_2 \varepsilon_M \quad (3.2)$$

В подпрограмме CRSEC вычисляется двойное дифференциальное сечение $d^2\sigma/dx_F dp_T^2$ по формуле (3.1).

Рассчитывается инвариантное сечение:

$$F(x_F, p_T) = \frac{E^*}{\pi p_{\max}^*} \frac{d^2\sigma}{dx_F dp_T^2} \quad (3.3)$$

где E^* — полная энергия в С.Ц.И., p_{\max}^* — максимальный импульс частицы в С.Ц.И.

Затем в подпрограмме FITXF производится аппроксимация распределения двойного дифференциального сечения $d^2\sigma/dx_F dp_T^2$ по фейнмановской переменной x_F для отдельных интервалов по p_T^2 по формуле:

$$F_1(x_F) = A_1 (1 - x_F)^n \quad (3.4)$$

где A_1 — нормировочный параметр, для каждого интервала по p_f^2
 n — параметр наклона.

В подпрограмме FITXFPT осуществляется аппроксимация
двумерного распределения $d^2\sigma/dx_F dp_f^2$ по формуле:

$$F_2(x_F, p_f^2) = A_2 (1 - x_F)^n e^{-b p_f^2} \quad (3.5)$$

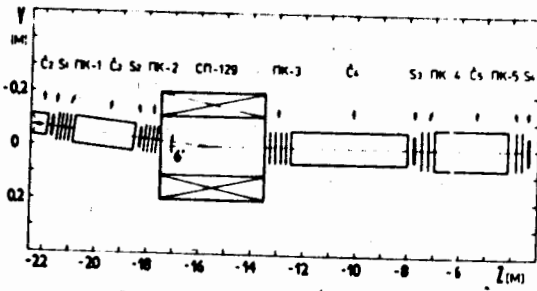
где A_2 , n , b , — параметры.

Программа написана с использованием комплекса программ
библиотеки NBOOK^{/7/} и реализована на ЭВМ CDC-6500. Объем программы
составляет свыше 1500 операторов.

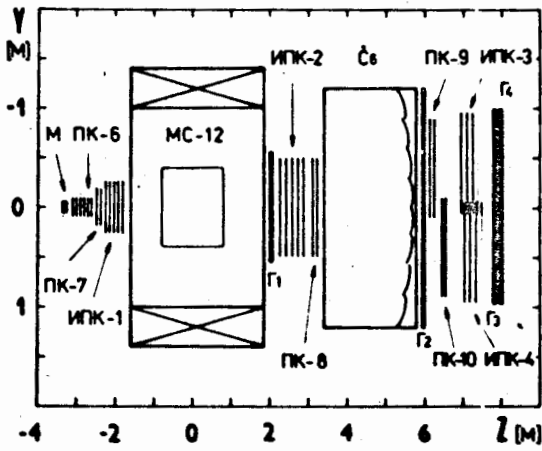
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан комплекс программ, входящий в математическое обеспечение системы анализа экспериментальной информации с установки ГИПЕРОН. Данный комплекс программ использовался для получения физической информации по инклюзивному образованию K^0 - и K^{*0} (892)-мезонов в $K+A$ -взаимодействиях^{/14/}. С помощью описанного математического обеспечения обработано свыше 5 млн. событий. Созданное программное обеспечение может быть использовано при обработке данных с экспериментальных установок, подобных спектрометру ГИПЕРОН.

Авторы благодарны Ю.А.Будагову и В.Б.Флягину за постоянное внимание и поддержку.

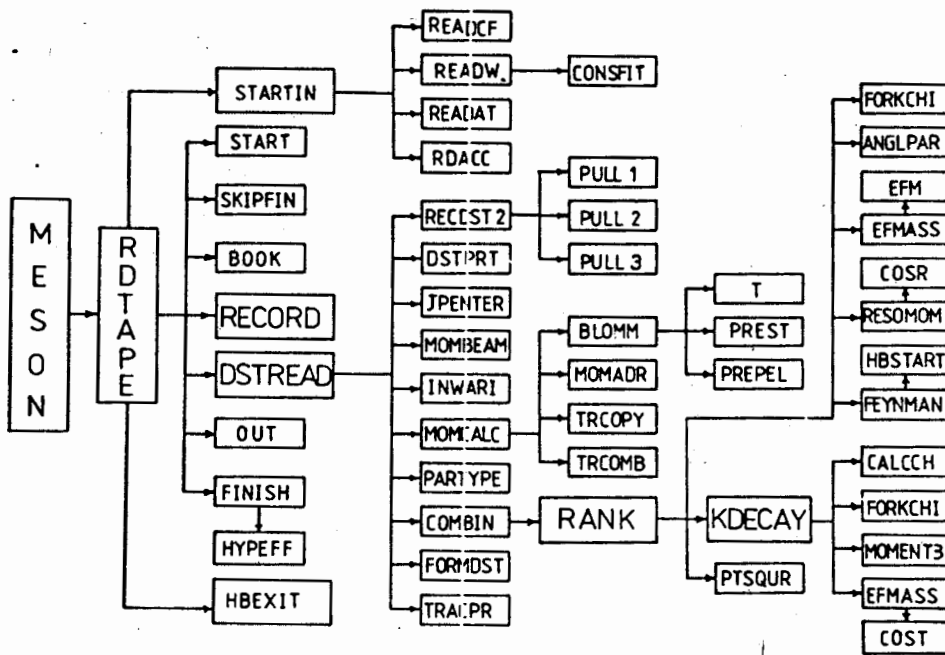


а)



б)

Рис.1



Puc.3

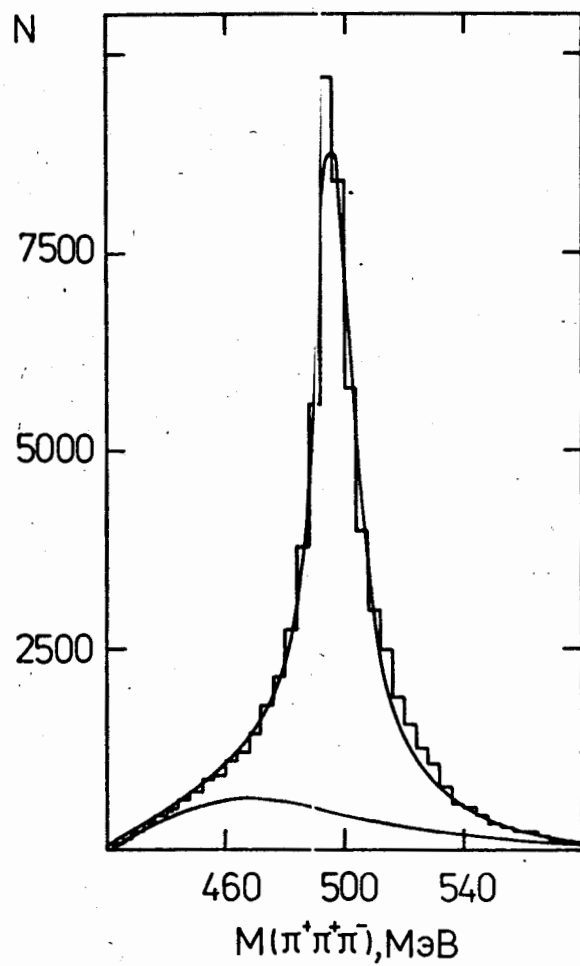


Рис.4

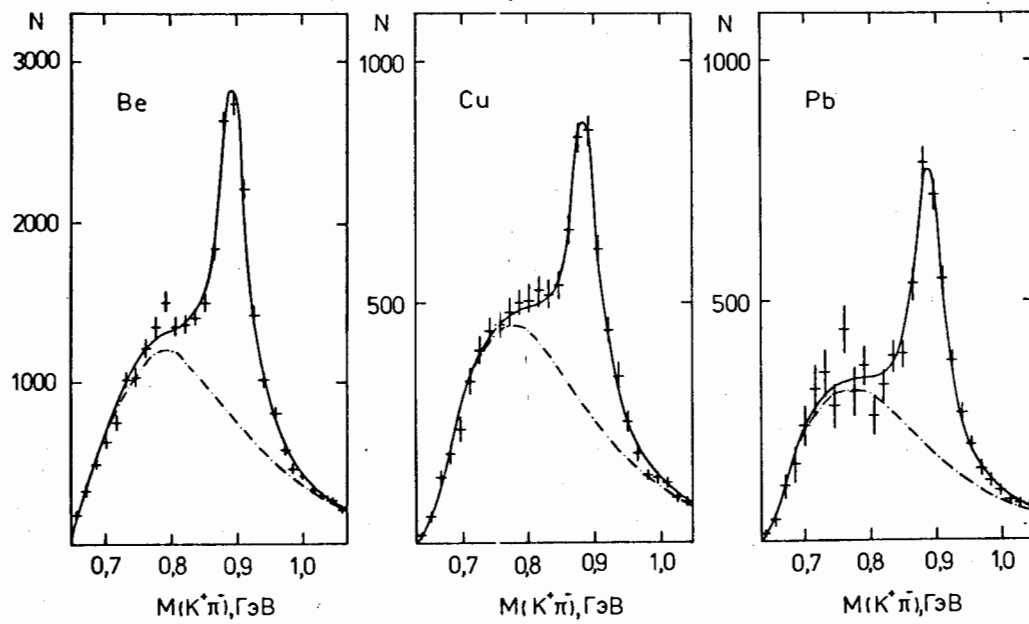
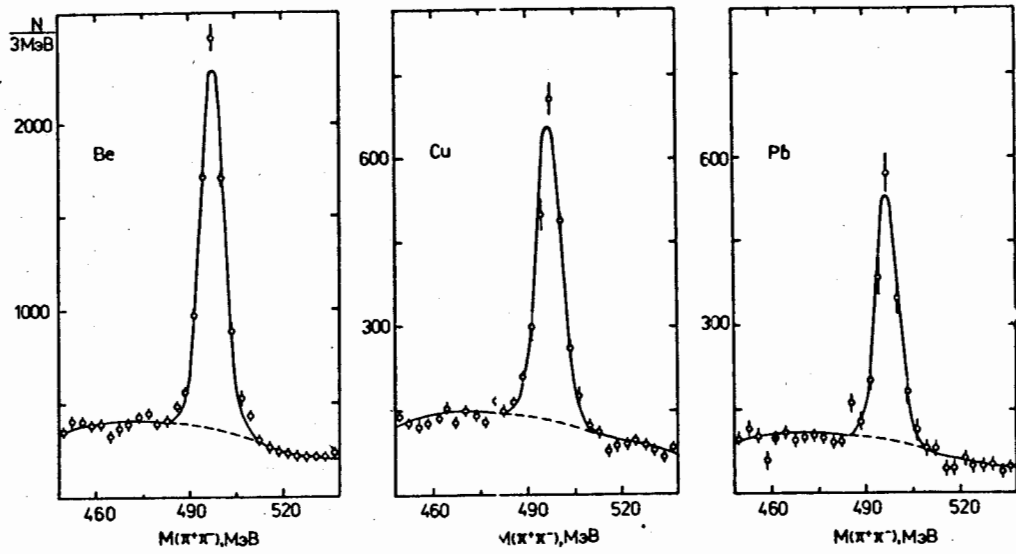
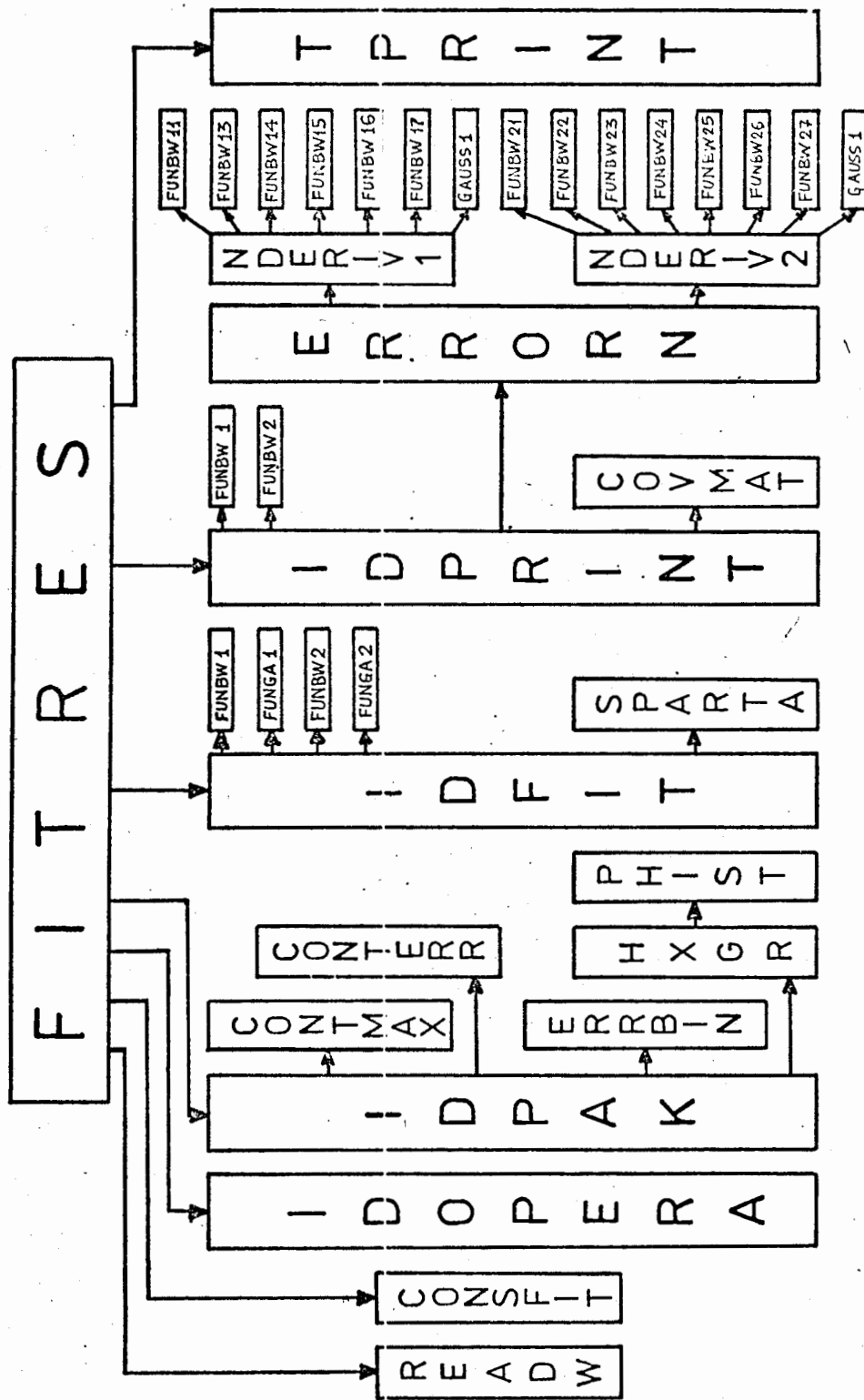


Рис. 5



Puc.6

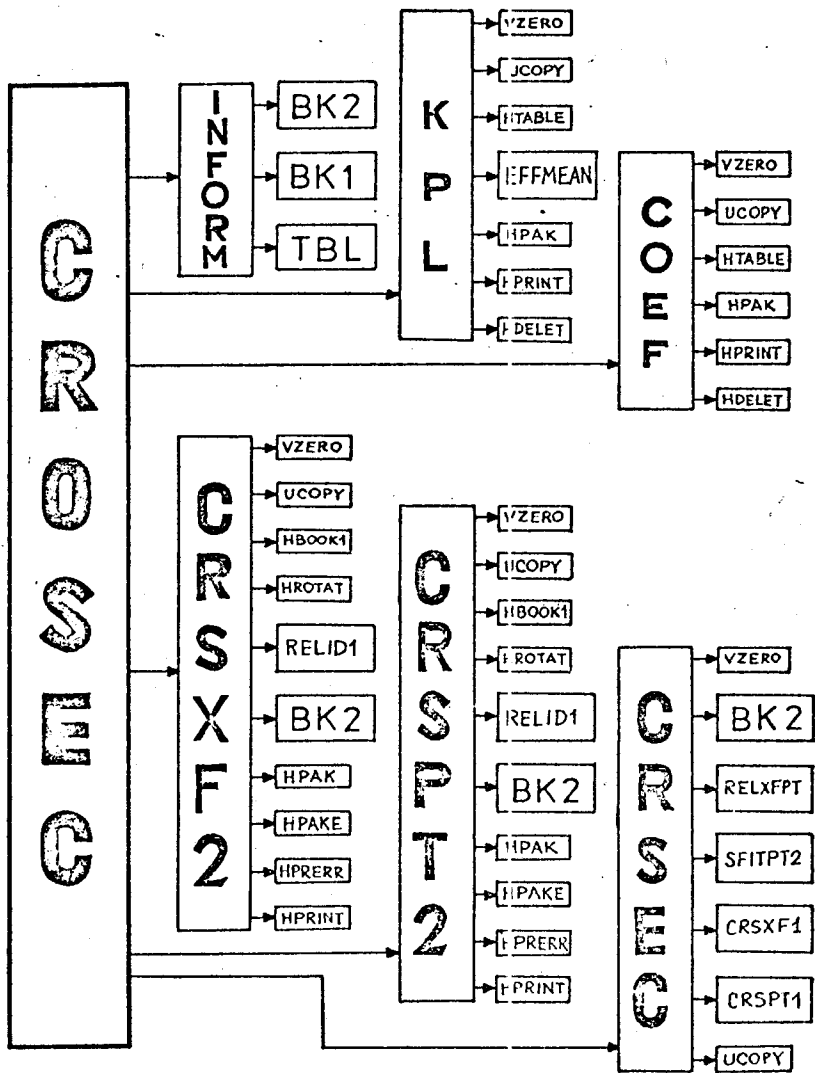


Рис. 7

Р И С У Н К И

- Рис. 1 Установка ГИПЕРОН.
а) пучковый спектрометр
б) спектрометр вторичных частиц
- Рис. 2 Схема обработки экспериментальной информации.
- Рис. 3 Блок-схема программы MESON.
- Рис. 4 Спектр эффективных масс ($\pi^+\pi^+\pi^-$).
- Рис. 5 Результаты фита спектров K^0 и K^{0*} мезонов,
полученных на различных ядрах.
- Рис. 6 Блок-схема программы FITRES.
- Рис. 7 Блок-схема программы CROSEC.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Антюхов В.А. и др. ПТЭ, №5, 1985, с. 35; ОИЯИ, P13-84-562, Дубна, 1984
2. Бицадзе Г.С и др. ПТЭ, №3, с. 81, 1986.
3. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, Б1-10-86-27, Дубна, 1986.
4. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, P1-85-761, Дубна, 1985.
5. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, 83-390, Дубна, 1983.
6. Акименко С.А. и др., ОИЯИ, P13-80-155, Дубна, 1980.
7. Brun R., Ivanchenko I., Palazzi P., HBOOK, CERN, DD/77/9, Geneva, 1977.
8. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, Б1-10-86-27, Дубна, 1986.
9. Granet R. et al. Nucl. Phys., 1978, B140, p. 389.
10. Jackson L.D. Nuovo Cimento, 34, 6 (1964).
11. Particle Data Group. Rev. of Part. Prop., Phys. Lett., 170B, April 1986.
12. Богущ А.А. и др. ИФ АН БССР, Препринт №341, Минск, 1984.
13. Silin I.N. FUMILI, LIKELM CERN program Library, D510, 1971.
14. Акименко С.А. и др. Препринт ИФВЭ, 89- , Серпухов, 1989.