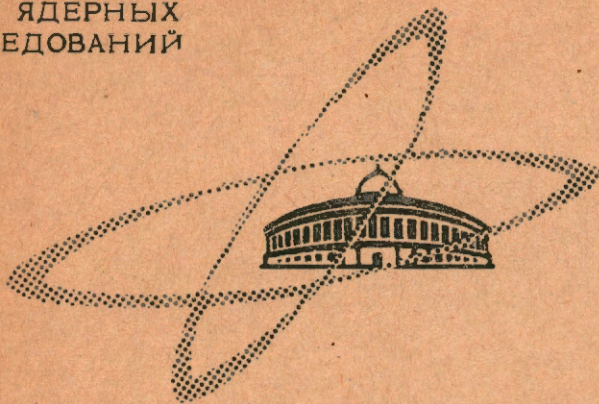


2263

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



2283

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

А.Д. Макаренкова, А.М. Моисеев

ПРОГРАММА ИДЕНТИФИКАЦИИ
КАНАЛОВ РЕАКЦИИ
ДЛЯ ДВУХЛУЧЕВЫХ СОБЫТИЙ (ПИКР-2)

ВЫЩЕКАНТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

2283

А.Д. Макаренкова, А.М. Моисеев

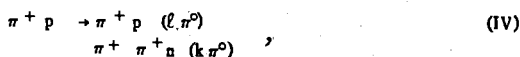
ПРОГРАММА ИДЕНТИФИКАЦИИ
КАНАЛОВ РЕАКЦИИ
ДЛЯ ДВУХЛУЧЕВЫХ СОБЫТИЙ (ПИКР-2)

ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА

Программа идентификации каналов реакции (ПИКР-2) написана для разделения по каналам ядерных реакций, происходящих при взаимодействии заряженных частиц высокой энергии с протоками ядер рабочей жидкости пузырьковой камеры и имеющих в конечном состоянии две заряженные частицы (двулучевые звезды).

Одновременно программа производит уточнение параметров треков измеренных частиц и их ошибок, а если в конечном состоянии имеется также нейтральная частица, программа находит импульс и два угла нейтральной частицы и их ошибки.

В данном варианте программа может разделять следующие реакции:



где $\ell > 1$, $k \geq 1$.

Определение канала реакции каждого двулучевого события производится с помощью МНК на основе кинематических критериев. Считается, что обрабатываемое событие с наибольшей вероятностью относится к той реакции, для которой будет минимальным значение функционала

$$M^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_i^{\text{экс}})^2}{\sigma_i^2}, \quad (1)$$

найденное методом наименьших квадратов, при условии, что выполняются законы сохранения энергии и импульса, $F_\lambda = 0$, $\lambda = 1, \dots, 4$. Для нахождения минимума функционала (1) с уравнениями связи $F_\lambda = 0$ мы не стали использовать метод лагранжовых множителей /1/, применяющийся обычно при решении такого класса задач /2-3/, а с помощью стандартной программы минимизации нелинейных функций (СП-123) /14/ минимизировали функционал вида

$$M^2 = \sum \left(\frac{x_i - x_i^{\text{экс.}}}{\sigma_i^2} \right)^2 + W \sum \left[\frac{F_\lambda(x_i, y_i) - F_\lambda^{\text{экс.}}(x_i, y_i)}{\sigma_{F_\lambda}^2} \right]^2,$$

причем, $F_\lambda^{\text{экс.}}$ были взяты равными 0.

Таким образом, разделение событий по каналам реакции производится по критерию χ^2 , где χ^2 -ом является минимум функционала ^{x)}:

$$M^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_i^{\text{экс.}})^2}{\sigma_i^2} + W \sum_{\lambda=1}^4 \frac{F_\lambda^2(x_i, y_i)}{\sigma_{F_\lambda}^2}, \quad (2)$$

где x_i - измеренная переменная трека; y_i - неизмеренная переменная трека;

W - постоянный множитель.

В качестве переменных x_i , (y_i) взяты импульс частицы и углы трека в вершине взаимодействия: θ - азимутальный угол ($0 < \theta < 2\pi$) и δ - угол "подъема" ($-\frac{\pi}{2} < \delta < \frac{\pi}{2}$). Импульс и ошибки импульса пучковой частицы, найденные специально, заданы в программе в виде констант; импульсы вторичных частиц и их ошибки берутся из стандартных перфокарт выдачи программы 1-16, углы θ и δ с ошибками вычисляются по направляющим косинусам l, m, n и их ошибкам, выдаваемым программой 1-16.

Имеется также вариант ввода данных, в котором исходные данные сразу записываются в определенном порядке на перфокарты и используются программой непосредственно.

Функции F_λ в общем случае имеют вид:

$$F_1 = p_0 \cos \delta_0 \cos \theta_0 + p_1 \cos \delta_1 \cos \theta_1 + p_2 \cos \delta_2 \cos \theta_2 + p_y \cos \delta_y \cos \theta_y,$$

$$F_2 = p_0 \cos \delta_0 \sin \theta_0 + p_1 \cos \delta_1 \sin \theta_1 + p_2 \cos \delta_2 \sin \theta_2 + p_y \cos \delta_y \sin \theta_y,$$

$$F_3 = p_0 \sin \delta_0 + p_1 \sin \delta_1 + p_2 \sin \delta_2 + p_y \sin \delta_y,$$

$$F_4 = (m_p + \sqrt{p_0^2 + m_0^2}) - (\sqrt{p_1^2 + m_1^2} + \sqrt{p_2^2 + m_2^2} + \sqrt{p_y^2 + m_y^2}),$$

где индекс "0" относится к пучковой частице, индексы "1" и "2" - к измеренным вторичным частицам и индекс "y" - к нейтральной частице.

Различные возможные каналы реакций (гипотезы) для каждого события задаются

x) Этот способ использования СП-123 для кинематического анализа событий был предложен И.Н.Силиным.

наборами масс частиц m_1, m_2, m_y , с помощью которых программа формирует для каждой гипотезы функционал вида (2). Например, реакция I задается наборами

масс

$$I.1. m_1 = m_{\pi^+} = 139,58,$$

$$I.2. m_1 = m_p = 938,21,$$

$$m_2 = m_p = 938,21,$$

$$m_2 = m_{\pi^+} = 139,58.$$

реакция II - наборами масс

$$II.1. m_1 = m_{\pi^+} = 139,58,$$

$$II.2. m_1 = m_p = 938,21,$$

$$m_2 = m_p = 938,21,$$

$$m_2 = m_{\pi^+} = 139,58,$$

$$m_y = m_{\pi^0} = 134,97$$

$$m_y = m_{\pi^0} = 134,97$$

и т.д., поскольку каждый трек положительно заряженной частицы может принадлежать как протону, так и π^+ -мезону.

Принятый способ учета связей, накладываемых законами сохранения, при недостаточно большом W неточен, поскольку в этом случае законы сохранения будут выполняться не строго, т.е. будет небаланс энергии и импульса. Такая неточность выполнения законов сохранения энергии и импульса приводит, очевидно, к заниженному значению χ^2 , так как истинное значение χ^2 будет получаться только в пределе $W \rightarrow \infty$, т.е. при строгом следовании законам сохранения, а при $W = 0$, т.е. отсутствии уровней связи, минимальным значением функционала (1) будет 0.

Кроме того, наличие небаланса энергии и импульса приведет к искаженным уточненным значениям переменных ^{x)}. Поэтому, чтобы получить практически достаточно точные результаты, необходимо выбрать такое значение W, при котором:

- величина χ^2 была близкой к истинному значению и
- законы сохранения выполнялись с достаточной точностью.

Поскольку вес W брать очень большим нельзя ввиду потери точности из-за возрастания корреляций, практически приходится ограничиться выходом в область значений W, при которых χ^2 меняется мало. Что касается законов сохранения, то в случае элементарных частиц уравнение F_4 (закон сохранения энергии) никогда не будет строго равно нулю из-за неточного значения масс частиц ($\Delta m_\pi \approx 50$ кэВ).

x) Как указал Г.И.Копылов, в этом случае мы фактически будем обсчитывать не взаимодействие π^+ -мезона со свободным нуклоном, а взаимодействие на нуклоне ядра, обладающем фермиевским импульсом.

Поэтому в нашем случае будет достаточно, чтобы закон сохранения энергии выполнялся с точностью, определяемой ошибками в значениях масс частиц, входящих в уравнение F_4 , т.е. порядка 0,1 Мэв. Расчеты показывают, что при значении W , обеспечивающем такой небаланс в уравнении F_4 , законы сохранения импульса выполняются с еще большей точностью.

На основании изложенных выше требований первая минимизация функционала (2) для каждой гипотезы реакции производится с весом $W_1 = 10^4$. Для реакции 2-3 в целях улучшения сходимости предварительно производится минимизация с весом $W_0 = 5 \cdot 10^2$ и затем минимизация с $W_1 = 10^4$. Если величина χ^2 удовлетворяет требованиям предварительного отбора событий (см. ниже), производится следующая минимизация с весом $W_2 = 10^6$ и проверяется критерий (г).

$$\gamma = \left(\frac{\chi^2_{10^6} - \chi^2_{10^4}}{\chi^2_{10^6}} \right) \cdot n \geq 1, \\ |F_\lambda| \leq 0,1,$$

где $n = 50$,

В случае невыполнения одного из условий критерия (г) берется вес $W_3 = 10^8$, производится еще одна минимизация и проверяется критерий (г').

$$\gamma' = \left(\frac{\chi^2_{10^8} - \chi^2_{10^6}}{\chi^2_{10^8}} \right) \cdot n \geq 1,$$

где $n = 50$.

Если критерии (г) или (г') выполнялись, событие считается обчисленным и на бумажную ленту и перфокарты производится "выдача результатов" (см. Приложение I).

В случае невыполнения критерия (г') обсчет события прекращается, производится "контрольная выдача" (см. Приложение I) на бумажную ленту, и программа продолжает работать согласно логической схеме.

Для того, чтобы возможные большие ошибки в определении импульсов вторичных частиц не приводили к большому разбалансу в законах сохранения, величины рассчитываются с фиксированными значениями σ_{p_1} и σ_{p_2} .

Для сокращения времени полного обсчета события в программу ПИКР-2 введен ряд критериев, позволяющих производить предварительный отбор наиболее вероятных гипотез без обращения к МНК. Для этого при начале обсчета событий находится

квадрат недостающего импульса p_y^2 и его ошибка $\Delta(p_y^2)$ и проверяется критерий (а).

$$p_y^2 > k (\Delta p_y^2), \quad k = 1,5.$$

Если критерий (а) выполняется, программа переходит на обсчет гипотез III.1, II.1 и II.2, соответствующих неупругим взаимодействиям. В случае, когда критерий (а) не выполнен, программа начинает обсчитывать гипотезы I.1 и I.2, если при этом ни одна из этих гипотез не прошла, программа переходит на обсчет гипотез III.1, II.1, II.2.

Для гипотез, отличающихся лишь порядком предписания масс m_p и m_{p^+} заряженным частицам, в ПИКР предварительно выбирается гипотеза, для которой начальные данные точнее удовлетворяют законам сохранения. С этой целью вычисляются суммы $\sum_{\lambda=1}^4 (F_\lambda^2)^i$ и $\sum_{\lambda=1}^4 (F_\lambda^2)^j$ и для меньшей из сумм (j) проверяется критерий (б)

$$\sum_{\lambda=1}^4 (F_\lambda^2)^j < \ell \sum_{\lambda=1}^4 (F_\lambda^2)^i,$$

где j и i - номера гипотез, $\ell = 10$. В случае выполнения критерия (б) далее считается только гипотеза (j), в случае невыполнения - обе гипотезы.

В дальнейшем критерий (б) будет заменен ионизационными признаками.

Далее, после минимизации гипотезы с W_1 производится проверка критерия (в).

$$\chi^2 > N \quad (N = 15 \text{ для упругих взаимодействий и } 3 \text{ для неупругих}).$$

Если критерий (в) выполняется, обсчет данной гипотезы прекращается и производится "контрольная выдача".

В случае, когда $\chi^2 < N$, осуществляется полный обсчет события, производится выдача результатов на бумажную ленту и перфокарты, а далее обсчитываются не все гипотезы, а лишь наиболее близкие к данной. Таким образом, в случае, если полностью обсчитана одна из гипотез реакции (I), дополнительно просчитывается соответствующая гипотеза реакции (II); если полностью обсчитана одна из гипотез реакции (II), то проверяется критерий (д):

$$M_{\text{нед.}}^2 \geq i (\Delta M_{\text{нед.}}^2),$$

где $i = 1$,

и в случае его невыполнения обсчитывается соответствующая гипотеза реакции (I).

Особенно часто могут одновременно проходить реакции (II) и (III). При отсутствии ионизационных признаков это будет случаться всегда, когда импульс нейтральной частицы близок (в пределах ошибок) к импульсу одной из заряженных частиц. Поэтому при переходе на обсчет гипотез для неупругих взаимодействий (соответствующих

реакциям II - III) первой обсчитывается гипотеза III₁ , и в случае ее полного обсчета программа далее всегда переходит на обсчет гипотез III₁ и III₂.

Работа программы была проверена на 60 событиях $\pi^+p \rightarrow \pi^+p\pi^0$, сгенерированных методом Монте-Карло. Распределение χ^2 для этих событий приведено на рис. 2.

В настоящее время с помощью программы ПИКР обсчитано несколько сот двухлучевых событий, полученных на 40-сантиметровой водородной пузырьковой камере в пучке π^+ -мезонов с импульсом 2,3 Гэв/с.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить И.Н.Силина за ряд полезных обсуждений и Г.И.Копылова за составление программы "генерации" событий методом Монте-Карло.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.В.Линник. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. Физматгиз, М., 1958.
2. R. Bock. Preprint CERN, No. 61-29.
3. I.P. Berge, F.T. Solmitz, H.D. Taft. Rev. Sci. Inst. v.32 N=5, 538 (1960).
4. И.Н.Соколов, И.Н.Силин. Нахождение минимумов функционалов методом линеаризации. Преприят ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 июля 1985 г.

Приложение

Размещение вх.
данных на перфо-
картах.

P_0

P_1

P_2

δ_0

δ_1

δ_2

θ_0

θ_1

θ_2

ΔP_0

ΔP_1

ΔP_2

$\Delta \delta_0$

$\Delta \delta_1$

$\Delta \delta_2$

$\Delta \theta_0$

$\Delta \theta_1$

$\Delta \theta_2$

$N_{пл.}$ $N_{кадр}$

$N_{зоны}$

Контрольная
выдача для
упр. соб.
(гил. 1.1, 1.2)

M_i
 χ^2
Numer.
 K_1
 \vdots
 K_g
 Δp_i
 $\Delta \delta_i$
 $\Delta \theta_i$
 p_i
 δ_i
 θ_i
 χ^2
 λ^2
 F_{λ}
 ΔF_{λ}
 χ^2_{λ}
 λ
 $\left\{ \begin{array}{l} p_i \\ \Delta p_i \\ \chi^2_{p_i} \\ i+4 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} \delta_i \\ \Delta \delta_i \\ \chi^2_{\delta_i} \\ i+7 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} \theta_i \\ \Delta \theta_i \\ \chi^2_{\theta_i} \\ i+10 \end{array} \right.$
 p_y
 Δp_y

Полная вы-
дача для
упр. соб.
(гил. 1.1, 1.2)
на бум. лен.

$\left\{ \begin{array}{l} \text{контр. выд.} \\ l_i \\ m_i \\ n_i \\ \Delta l_i \\ \Delta m_i \\ p_y \\ \Delta p_y \\ \varphi \end{array} \right.$

Полная вы-
дача для
упр. соб.
(гил. 1.1, 1.2)
на перфок.

$N_{пл.}$ $N_{квдр}$
 $N_{зон}$
 M_i
 χ^2
 p_i
 δ_i
 θ_i
 Δp_i
 $\Delta \delta_i$
 $\Delta \theta_i$
 l_i
 m_i
 n_i
 Δl_i
 Δm_i
 p_y
 Δp_y
 φ

Контрольная
выдача для
неупр. соб.
(гил. 2.1, 2.2, 3.1)

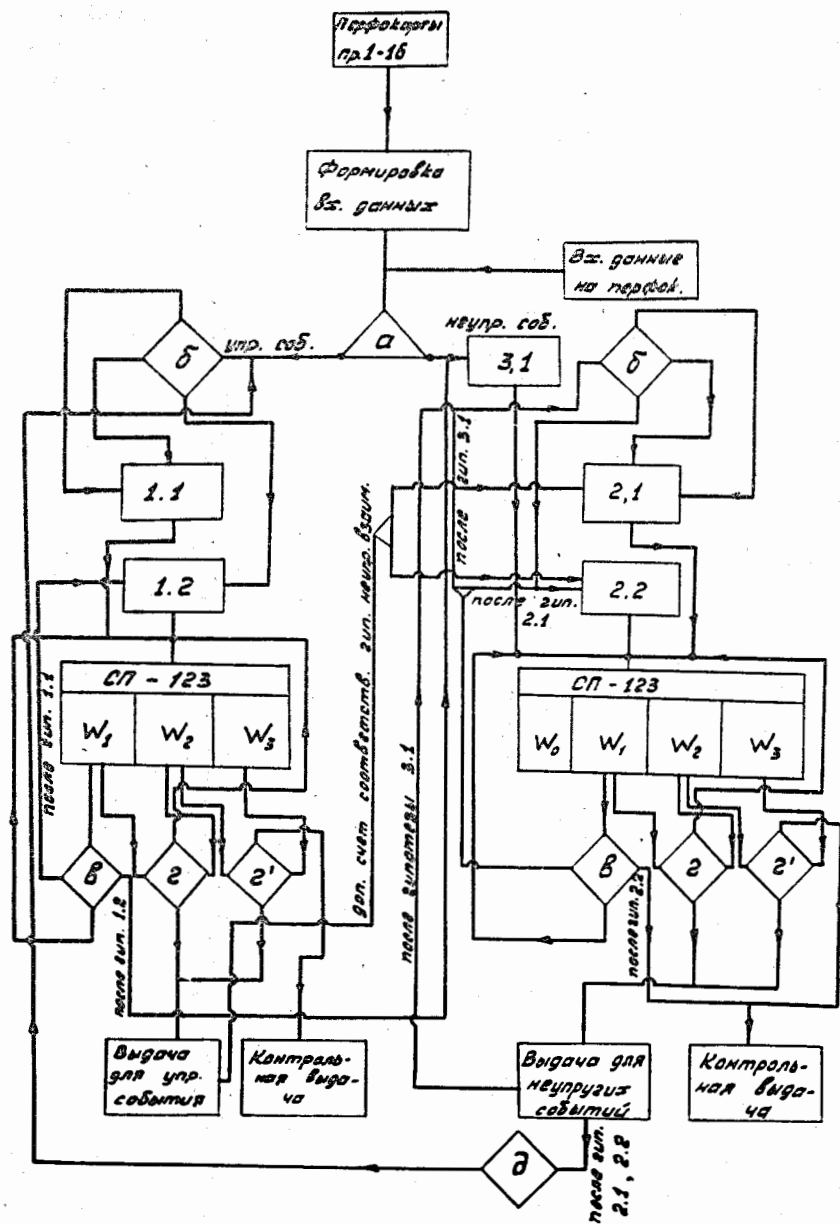
M_i
 χ^2
Numer.
 K_1
 \vdots
 K_{12}
 Δp_i
 $\Delta \delta_i$
 $\Delta \theta_i$
 Δp_y
 $\Delta \delta_y$
 $\Delta \theta_y$
 p_i
 δ_i
 θ_i
 p_y
 δ_y
 θ_y
 χ^2
 λ^2
 F_{λ}
 ΔF_{λ}
 $\chi^2_{F_{\lambda}}$
 K
 p_i
 Δp_i
 $\chi^2_{p_i}$
 $i+4$
 $\left\{ \begin{array}{l} \delta_i \\ \Delta \delta_i \\ J^2_{\delta_i} \\ i+7 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} \theta_i \\ \Delta \theta_i \\ J^2_{\theta_i} \\ i+10 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} p_y \\ \Delta p_y \\ \chi^2_{p_y} \\ i+13 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} \delta_y \\ \Delta \delta_y \\ \chi^2_{\delta_y} \\ i+15 \end{array} \right.$
 $\left\{ \begin{array}{l} \theta_y \\ \Delta \theta_y \\ \chi^2_{\theta_y} \\ i+15 \end{array} \right.$
* см [4] $k=1..4; i=1..3$

Полная выдача
для неупр.
события (гил.
2.1, 2.2, 3.1)
на бум. ленту

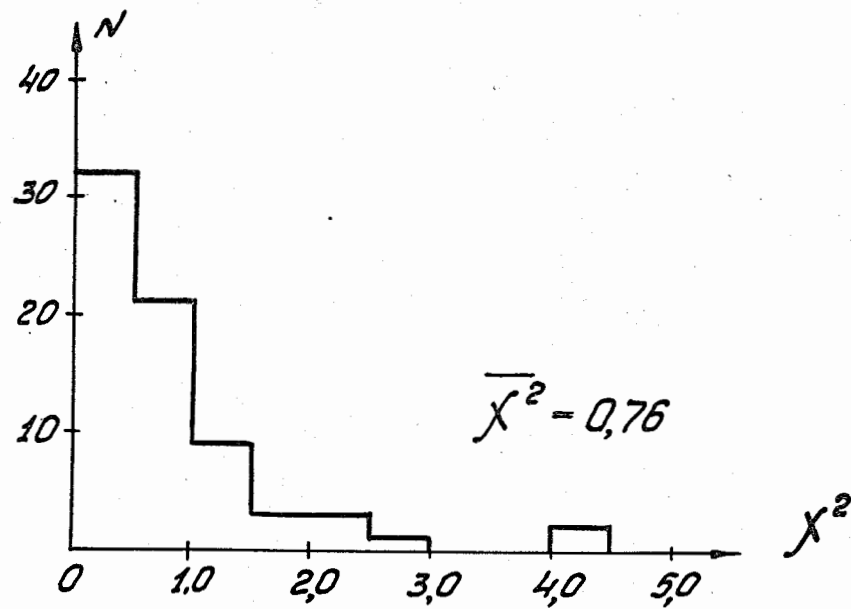
$\left\{ \begin{array}{l} \text{контр.} \\ \text{выдача} \end{array} \right.$
 l_i
 m_i
 n_i
 Δl_i
 Δm_i
 Δp_i
 $|M_y^2|$
 $\Delta(M_y^2)$
 φ
 p_y
 Δp_y
 M_y
 ΔM_y
 l_y
 m_y
 n_y
 Δl_y
 Δm_y
 Δp_y

Полная выдача
для неупр. соб.
(гил. 2.1, 2.2, 3.1)
на перфокарты
 $N_{пл.}$ $N_{квдр}$
 $N_{зон}$

M_i
 M_y
 χ^2
 p_i
 δ_i
 θ_i
 p_y
 δ_y
 θ_y
 Δp_i
 $\Delta \delta_i$
 $\Delta \theta_i$
 Δp_y
 $\Delta \delta_y$
 $\Delta \theta_y$
 l_i
 m_i
 n_i
 Δl_i
 Δm_i
 Δn_i
 M_y
 ΔM_y
 φ
 p_y
 Δp_y
 M_y
 ΔM_y
 l_y
 m_y
 n_y
 Δl_y
 Δm_y
 Δn_y
 Δp_y
где $i=0,1,2$



Р и с. 1. Логическая схема ПИКР.



Р и с. 2