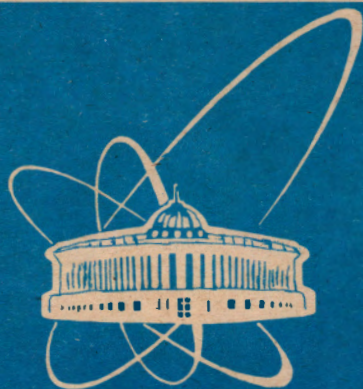


913681



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-96-56

А.Ю.Бонюшкина, В.В.Иванов, Ю.К.Потребеников,  
Т.Б.Прогулова, Г.Т.Татишвили

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОБЫТИЙ  
СО ВТОРИЧНОЙ ВЕРШИНОЙ  
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ЭКСЧАРМ

1996

## Введение

Установка ЭКСЧАРМ предназначена для исследования механизмов рождения и распада очарованных частиц и для поиска экзотических многокварковых состояний на ускорителе У-70 в пучке нейтронов со средней энергией 50 Гэв<sup>1</sup>. Поскольку сечения таких процессов малы, для их идентификации требуется разработка быстрых и эффективных алгоритмов, учитывающих специфику конкретной физической установки (см., например, [4, 5, 6]), а также создание специализированной триггирующей аппаратуры, позволяющей проводить классификацию регистрируемых событий в реальном времени эксперимента [7].

Характерной особенностью указанных процессов является наличие разделенных в пространстве первичной и вторичной (от распада нейтральной частицы) вершин. Используя координатную информацию о треках и переходя к переменным  $D$  – промах трека<sup>2</sup> и  $\phi$  – угол наклона трека по отношению к направлению первичного пучка, авторы работы [4] предложили вычислять моментные функции по всей выборке  $D$  и  $\phi$  в отдельном событии, а затем подавать их значения на вход трехслойного перцептрона для дискриминации фоновых событий.

Данный подход с различными модификациями оказался весьма эффективным в ряде экспериментов [4, 6, 8]. Однако попытки применить его в эксперименте ЭКСЧАРМ не дали положительного результата (см. п. 2). В настоящей работе рассматривается новый алгоритм идентификации событий, содержащих вторичную вершину, а также предлагается метод для выделения треков заряженных частиц, испущенных из вторичной вершины.

<sup>1</sup> Конструкция нейтронного канала У-70 и установка ЭКСЧАРМ описаны в работах [1, 2, 3].

<sup>2</sup> Величина рассеяния трека относительно плоскости, проходящей через центр мишени и перпендикулярной к направлению пучка.

## 1. Эксперимент

Основу спектрометра ЭКСЧАРМ [1, 2, 3] составляет спектрометрический магнит, используемый для импульсного анализа вторичных заряженных частиц. Центр межполюсного зазора магнита принят за начало "правой" декартовой системы координат  $(XYZ)$ , в которой ось  $OZ$  направлена по пучку, а ось  $OY$  параллельна направлению основной компоненты магнитного поля. В качестве координатных детекторов используются пропорциональные камеры, регистрирующие прямолинейные участки траекторий заряженных частиц до и после спектрометрического магнита.

На рис.1 показана схема размещения мишени, анализирующего магнита и координатных детекторов, расположенных между мишенью и магнитом (в  $XOZ$ -проекции).

Для разработки алгоритмов классификации полезных и фоновых событий использовались данные, полученные с помощью программы SSIMUL [9]. Она создана на основе пакета GEANT3 [10] и позволяет моделировать на ЭВМ физические процессы, протекающие на установке ЭКСЧАРМ в ходе реального эксперимента. В частности, с ее помощью моделировались процессы взаимодействия первичных нейтронов с нуклонами мишени, проводилась трассировка вторичных частиц через детекторы установки и известное магнитное поле с учетом кулоновского рассеяния и потерь энергии и т.д. Рождающиеся при этом нестабильные частицы распадались в соответствии с временами их жизни и вероятностями распада по различным каналам, а частицы от их распада также трассировались через установку.

С помощью программы SSIMUL генерировались реакции двух типов, информация о которых записывалась в соответствующие файлы. Первый файл содержал данные о 2300 событиях, связанных с рождением  $\Lambda_c^+$  и имеющих вторичную вершину (сигнальные события): рассматривались 5-трековые события. Второй файл содержал 2300 фоновых событий, отвечающих реакциям без рождения короткоживущих частиц с числом вторичных частиц не меньше 4.

## 2. Алгоритм классификации событий

Рассматриваемый здесь алгоритм так же, как и в подходе [4], основан на координатной информации о траекториях вторичных заряжен-

ных частиц, регистрируемых системой пропорциональных камер, которые расположены перед анализирующим магнитом.

Используя параметры прямолинейных треков, определим переменные  $D$  – промах трека в плоскости, проходящей через центр мишени и перпендикулярной направлению пучка, и  $\phi$  – угол наклона трека относительно оси  $OZ$  (см. рис. 1). Согласно работе [4] будем вычислять значения моментных функций по всей выборке переменных  $D$  и  $\phi$  в отдельном событии, используя следующие выражения:

$$\eta_{02} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (D_i - \bar{D})^2,$$

$$\eta_{11} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})(D_i - \bar{D}).$$

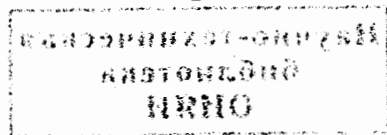
Здесь  $N$  – число треков в событии,  $\bar{D}$  и  $\bar{\phi}$  – средние значения по выборкам  $\{D_i\}$  и  $\{\phi_i\}$  [4].

Эти переменные хорошо себя показали, в частности, при изучении процессов, связанных с рождением и распадом  $B$ -мезонов [4, 8] и  $\Lambda^0$  [6]. Однако в нашем случае из-за больших поперечных размеров мишени (ее радиус составляет 3 см) и из-за того, что пучок нейтронов нефокусирован, распределения величин  $\eta_{02}$  и  $\eta_{11}$  для фоновых и сигнальных событий практически не различаются (см. рис. 2). Поэтому были предприняты поиски нового подхода для решения рассматриваемой задачи.

Сравнение топологии фоновых и сигнальных событий в пространстве переменных  $\phi$  и  $D$  показало, что для всех треков фонового события промахи  $D$  сгруппированы в достаточно узком коридоре, в то время как у сигнального события отдельные треки имеют промахи, сильно отличающиеся от остальных значений  $D$  из выборки  $\{D_i\}$ . На рис.3 в качестве примера представлены двумерные распределения  $(\phi, D)$  для типичных сигнального (а) и фонового (б) событий.

В связи с этим для отбора событий со вторичной вершиной можно использовать такую случайную величину, как размах выборки  $\{D_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ , представляющей собой разность между наибольшим  $D^{max}$  и наименьшим  $D^{min}$  значениями промахов в выборке. Для  $XOZ$ - и  $YOZ$ -проекций эти величины соответственно равны:

$$R_x = D_x^{max} - D_x^{min},$$



$$R_y = D_y^{max} - D_y^{min}.$$

На рис. 4 а приведены полностью распределения случайных величин  $R_x$  для фоновых событий (чистая гистограмма) и для событий, связанных с рождением  $\Lambda_c^+$  (штрихованная гистограмма). Из рисунка видно, что соответствующие распределения существенно различаются<sup>3</sup>. На рис. 4 б показаны те же распределения в области малых значений  $R_x$ .

### 2.1. Классификация событий нейронной сетью

Для классификации событий использовалась многослойная нейронная сеть с прямоочной архитектурой из пакета JETNET3 [11]. В качестве рабочей модели был взят трехслойный перцептрон, содержащий два входных нейрона, десять нейронов в скрытом слое и один выходной нейрон. На входные нейроны подавались случайные величины  $R_x$  и  $R_y$ , предварительно приведенные к диапазону  $[-1; 1]$ . На этапе обучения сети для минимизации функционала ошибок использовался алгоритм back-propagation [12].

Все события – 2300 фоновых и 2300 событий с  $\Lambda_c^+$  – были перемешаны и разбиты на две равновеликие выборки, одна из которых использовалась для обучения нейронной сети, а вторая – для оценки ее способности классифицировать события.

При тестировании сети тип события определялся по величине выходного сигнала  $y$ : если он не превышал заданного порогового значения  $y_g$ , то событие считалось фоновым, в противном случае – с  $\Lambda_c^+$ . На рис. 5 а показан результат тестирования сети; на рис. 5 б приведены зависимости накопленной вероятности  $F(y_g) = P_r(y < y_g)$  для событий с  $\Lambda_c^+$  и зависимости  $1 - F(y_g)$  для фоновых событий от величины выбираемого порога.

Для порога  $y_g = 0$  доля правильно идентифицированных событий из смеси составила 90%; при этом ошибка первого рода – доля фоновых событий, интерпретированных как сигнальные, – равнялась 7%, а ошибка второго рода – доля событий с  $\Lambda_c^+$ , интерпретированных как фоновые, – составила 12%.

<sup>3</sup>Распределения случайных величин  $R_y$  имеют аналогичный характер.

### 3. Выделение треков от вторичной вершины

Как отмечалось выше, в сигнальных событиях отдельные треки имеют промахи, существенно отличающиеся от остальных значений  $D$  выборки  $\{D_i\}$ . На рис. 6 приведены распределения величин промахов  $D_x$  (а) и  $D_y$  (б) для одного из типичных сигнальных событий. Анализ событий с "выпадающими"  $D$  показал, что такие треки образованы в результате распада нейтральной частицы ( $K^0, \Lambda^0, \bar{\Lambda}^0$ ).

Исходя из этого, для отбора указанных треков можно использовать величину асимметрии выборки  $\{D_i\}$ , отвечающую текущему событию:

$$G_1 = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}}, \quad (1)$$

где  $m_2$  и  $m_3$  – выборочные центральные моменты рассматриваемого распределения:

$$m_r = \overline{(x - \bar{x})^r} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^r, \quad r = 2, 3, \quad (2)$$

а  $N$  – число треков в событии.

В соответствии с (1) и (2) вычислялись асимметрии выборок  $\{D_x^i\}$  и  $\{D_y^i\}$ , отвечающих отдельному событию, в проекциях  $XOZ$  ( $G_x^i$ ) и  $YOZ$  ( $G_y^i$ ). На рис. 7 а представлены распределения асимметрий для сигнальных (заштрихованная гистограмма) и для фоновых (чистая гистограмма) событий в  $XOZ$ -проекции. Из рисунка видно, что события со вторичной вершиной характеризуются ярко выраженной асимметрией<sup>4</sup>.

Очевидное различие в характерах данных распределений позволяет применить следующую процедуру идентификации треков, составляющих вторичную вилку.

Асимметрия  $G_x^i > 0$  указывает на то, что распределение  $\{D_x^i\}$  сильно вытянуто вправо. Поэтому трек, имеющий максимальную величину промаха, вероятнее всего принадлежит вторичной вилке. В случае  $G_x^i < 0$  трек, отвечающий вторичной вершине, определяется по минимальному значению промаха. Таким образом, используя  $G_x^i$ , выделяется  $XOZ$ -проекция первого трека, принадлежащего вторичной вилке.

<sup>4</sup>Распределения случайных величин  $G_y^i$  имеют аналогичный характер.

Применяя аналогичную процедуру для анализа асимметрии  $G_1^y$ , выделяется  $YOZ$ -проекция искомого трека. Если отображенные  $XOZ$ - и  $YOZ$ -проекции отвечают разным трекам, то поставленная задача решена, и мы имеем пару треков, составляющих вторичную вилку. В противном случае из выборки  $\{D_i\}$  исключается величина  $D$ , отвечающая выделенному треку, и дальнейший анализ проводится на усеченной выборке  $D_i'$ .

На рис. 7б представлено распределение случайных величин  $G_1^z$ , построенное на основе выборок  $D_i'$ . Из рисунка видно, что после исключения из рассмотрения первого трека, характер указанного распределения в целом не меняется. Это позволяет повторить процедуру анализа асимметрии. При поиске второго трека вилки предпочтение отдается той проекции, для которой абсолютная величина асимметрии больше.

При анализе 2653 событий с  $\Lambda_b^+$  в 2514 случаях правильно был выделен первый трек, а в 2336 случаях – второй трек вторичной вершины. Таким образом, правильно были идентифицированы треки для 88% событий.

## Заключение

Разработан простой алгоритм идентификации событий со вторичной вершиной. Для классификации событий используются случайные переменные  $R_x$  и  $R_y$ , представляющие собой размахи выборок  $\{D_i\}$  промахов треков в  $XOZ$ - и  $YOZ$ -проекциях. Применение нейронной сети для отбора сигнальных событий в пространстве указанных переменных позволяет добиться существенного подавления фоновых процессов. Предложен эффективный метод выделения треков, отвечающих вторичной вершине, основанный на различиях асимметрий выборок  $\{D_i\}$  для сигнальных и фоновых событий.

Рассмотренные алгоритмы апробированы на модельных данных. Определенный интерес представляет сравнение новых алгоритмов с алгоритмами, используемыми в настоящее время в коллаборации ЭКС-ЧАРМ, а также их апробация на данных реального эксперимента.



Рис. 1. Схема размещения мишени  $M$ , анализирующего магнита и координатных детекторов ( $XOZ$ -проекция). Схема распада короткоживущей частицы

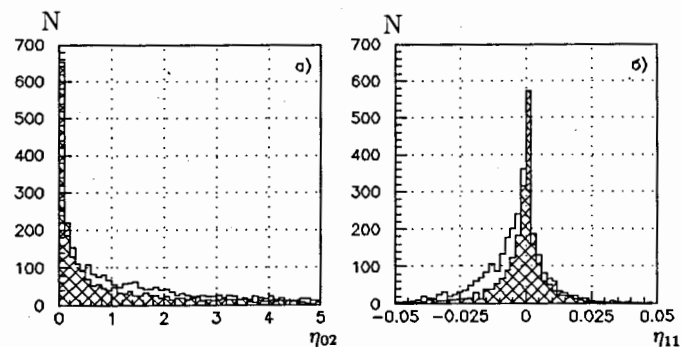


Рис. 2. Распределения случайных величин  $\eta_{02}$  (а) и  $\eta_{11}$  (б) для фоновых (штрихованная гистограмма) и сигнальных (чистая гистограмма) событий

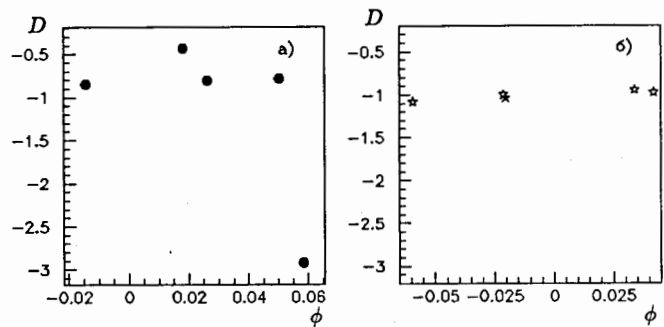


Рис. 3. Двумерные распределения  $(\phi, D)$  для типичных сигнального (а) и фоновых (б) событий в проекции XOZ

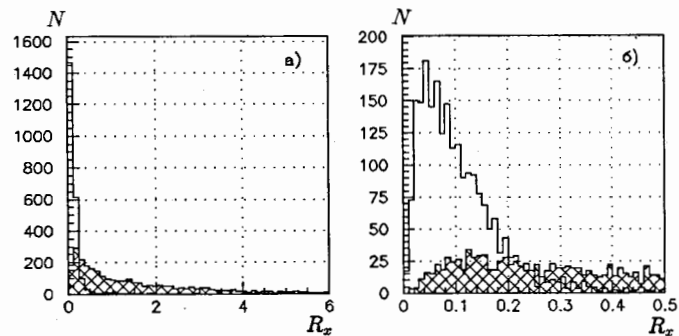


Рис. 4. Распределения случайных величин  $R_x$  (а) для фоновых (чистая гистограмма) и сигнальных (штрихованная гистограмма) событий; (б) - те же распределения в области малых  $R_x$

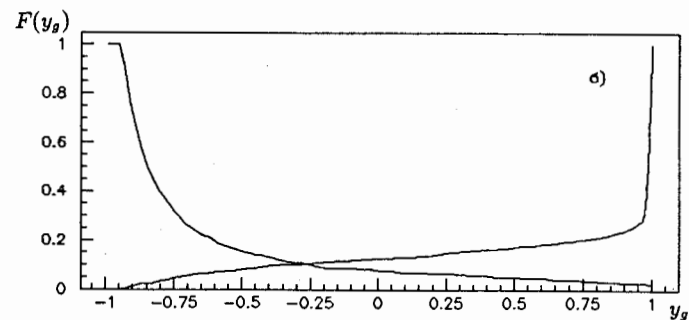
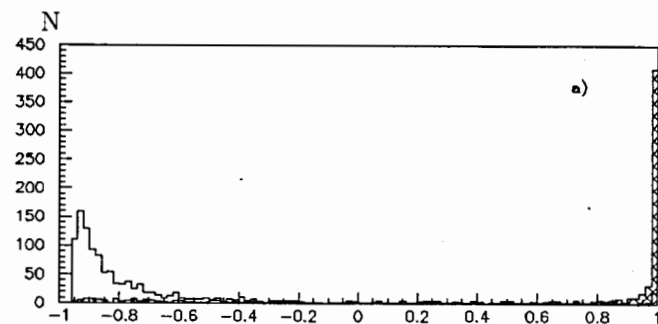


Рис. 5. Результат тестирования сети на смеси из сигнальных и фоновых событий (а); зависимости накопленной вероятности  $F(y_g) = P_r(y < y_g)$  для событий с  $\Lambda_r^+$  и вероятности  $1 - F(y_g)$  для фоновых событий от величины задаваемого порога (б)

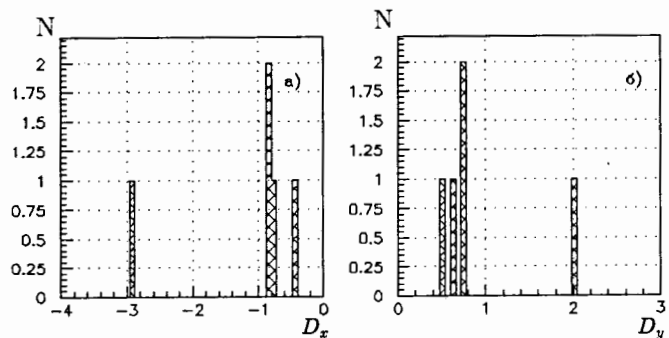


Рис. 6. Распределения случайных величин  $D_x$  (а) и  $D_y$  (б) для одного из событий со вторичной вершиной

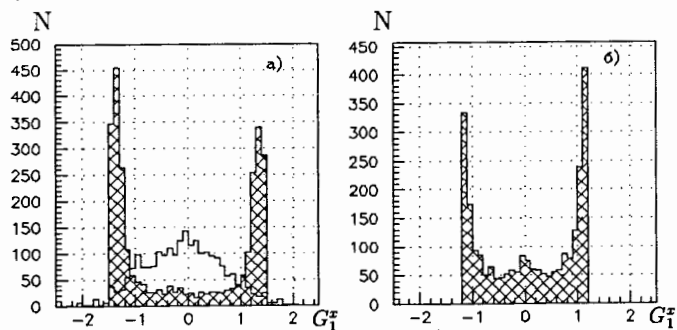


Рис. 7. Распределения случайных величин  $G_1^z$  (а) для фоновых событий (чистая гистограмма) и для событий со вторичной вершиной (штрихованная гистограмма); распределение величин  $G_1^z$  (б) для событий со вторичной вершиной после исключения из выборки трека с максимальной абсолютной величиной  $G_1^z$

## Литература

- [1] А.Н. Алеев и др. "Измерение энергетического спектра нейтронного пучка канала 5Н серпуховского ускорителя". Препринт ОИЯИ, Р13-94-312, Дубна, 1994.
- [2] А.Н. Алеев и др. "Пропорциональные камеры с размером рабочей области 2 x 1 м спектрометра ЭКСЧАРМ". Препринт ОИЯИ, Р13-94-124, Дубна, 1994.
- [3] А.Н. Алеев и др. "Пороговый газовый 32-канальный черенковский счетчик спектрометра ЭКСЧАРМ". Препринт ОИЯИ, Р13-94-520, Дубна, 1994.
- [4] L. Gupta et al. "Neural Network Trigger Algorithms for Heavy Quark Event Selection in a Fixed Target High Energy Physics Experiment". FERMILAB-Pub-91/17, FNAL, Batavia, 1991.
- [5] Г.А. Ососков, Н.А. Русакович, Н.И. Чернов. "Быстрый алгоритм анализа многотрековых событий с образованием короткоживущих частиц". Препринт ОИЯИ, Р10-90-367, Дубна, 1990.
- [6] В.В. Иванов, Д.Б. Понтекорво. "Простой и эффективный метод поиска вторичной вершины". Препринт ОИЯИ, Р10-93-271, Дубна, 1993; In: Proc. of Inter. Conf. on "Programming and Mathematical Methods for Solving Physical Problems". Edited by Yu.Yu.Lobanov and E.P.Zhidkov, World Scientific, 1994, p.283-286.
- [7] B. Denby. "Tutorial on Neural Networks Applications in High Energy Physics: 1982 Perspective". In Proc. of the Second International Workshop on "Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems in High Energy Physics". January 13-18, 1992 L'Agelaude France-Telecom La Londe-les-Maures (France). New Computing Techniques in Physics Research II, edited by D.Perret-Gallix, World Scientific, 1992, p.287.
- [8] В.В. Иванов, Н.О. Порошин, И.В. Пузынин, Б. Пурэвдорж. "Алгоритмы отбора событий в вершинном детекторе спектрометра МЧС". Препринт ОИЯИ, Р10-94-300, Дубна, 1994.

- [9] Г.А. Аралбаева и др. "Комплекс программ, расширяющий возможности формализованного описания экспериментов в системе GEANT3". Сообщение ОИЯИ, P1-93-85, Дубна, 1993.
- [10] R. Brun et al.: GEANT Long Write-up, CERN Program Library, W5013 (1989).
- [11] C. Peterson, Th. Rönvaldsson "JETNET-3.0 - A Versatile Artificial Neural Network Package", LU TP 93-29, 1993.
- [12] D.E. Rumelhart et al.: "Learning Internal Representations by Error Propagation", in D.E.Rumelhart and J.L.McClelland (eds.) "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition", (Vol.1), MIT Press, Cambridge, MA (1986).

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 февраля 1996 года.

Бонюшкина А.Ю. и др.

P1-96-56

Идентификация событий со вторичной вершиной.  
в эксперименте ЭКСЧАРМ

Предлагается простой алгоритм идентификации событий со вторичной вершиной (сигнальных событий). Для классификации сигнальных и фоновых событий используются переменные  $R_x$  и  $R_y$ , представляющие собой размах выборки  $\{D\}$  промахов треков в XOZ- и YOZ-проекциях. Разработан эффективный метод выделения треков, составляющих вторичную вершину, основанный на различиях асимметрий выборки  $\{D\}$  для сигнальных и фоновых событий. Указанные алгоритмы апробированы на модельных данных.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

Перевод авторов

Bonushkina A.Yu. et al.

P1-96-56

Identification of Events with Secondary Vertex  
in the Experiment EXCHARM

A simple algorithm for identifying events with secondary vertices (signal events) is suggested. The differences  $R_x$ ,  $R_y$  between largest and smallest impact parameters  $D_i$  of the tracks belonging to each of the events analysed are used in establishing the identification criteria of signal and background events. An effective method for identifying the tracks associated with a particular secondary vertex in an event is developed. The method is based on the differences between the asymmetries exhibited by the sets  $D_i$  of individual signal events and background events. These algorithms were tested for simulated data.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1996