

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

В 493

P10-88-210

**В.Б.Виноградов, А.С.Курилин**

**РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ  
С ВЫДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ РЕАКЦИИ  
МЕТОДОМ НЕДОСТАЮЩЕЙ МАССЫ  
НА УСТАНОВКЕ "Гиперон"**

**1988**



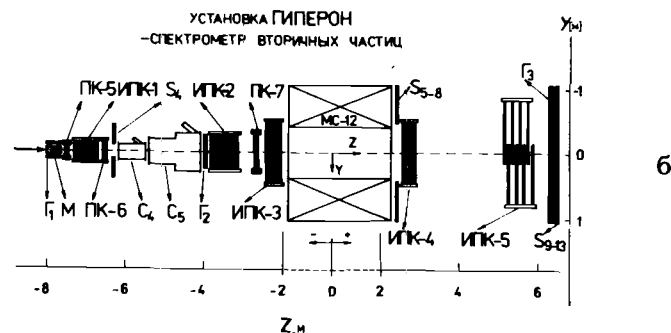
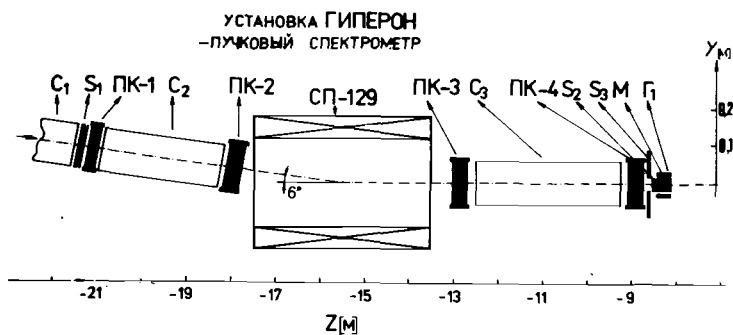


Рис.1

для уменьшения вклада многократного рассеяния, проводилось как по всему блоку, так и для каждого подблока в отдельности <sup>/10/</sup>.

В пучковом спектрометре (рис.1) в X-проекции все ПК объединялись в один блок 4X, в который входил подблок 5X, состоящий из ПК-3 и ПК-4. В Y-проекции ПК-1 и ПК-2 объединялись в блок 6Y, а ПК-3 и ПК-4 в блок 5Y. По проекциям траекторий в блоках 6Y и 5Y определялся угол отклонения частиц пучка магнитным полем электромагнита СП-129. Траектория входа частиц в мишень определялась по проекциям в подблоке 5X и блоке 5Y. В спектрометре вторичных частиц в X-проекции все трековые детекторы, расположенные в области от мишени до электромагнита МС-12, входили в блок 1X. Этот блок был разбит на подблок 2X, состоящий из ПК-5, ИПК-1, ПК-6 и подблок 3X, состоящий из ИПК-2, ПК-7 и ИПК-3. В Y-проекции аналогично определялись блок 1Y, подблоки 2Y и 3Y. В данном случае разбиение на подблоки было сделано для уменьшения влияния искажений траекторий, возникающих при рассеянии на веществе черенковских счетчиков С<sub>4</sub> и С<sub>5</sub> <sup>/10/</sup>. Траектория частицы, вылетающей из мишени, определялась по проекциям в подблоках 2X и 2Y, а траектория ее на входе в магнит-

ное поле электромагнита МС-12 — по проекциям в подблоках 3X и 3Y. Все ИПК, расположенные за электромагнитом МС-12, объединены в блок 4Y. Проекция угла отклонения заряженных частиц магнитным полем электромагнита МС-12 определялась по подблоку 3Y и блоку 4Y.

Как уже отмечалось, в каждом из блоков трековых детекторов регистрируются отдельные прямолинейные участки траекторий заряженных частиц. Траектории частиц в блоках для каждой из проекций аппроксимировались прямыми линиями

$$Y(X) = A \cdot Z + B, \quad (2)$$

где A и B — параметры прямой. После изучения и опробования различных методов и программ поиска траектории <sup>/11-16/</sup> в программе геометрической реконструкции <sup>/17/</sup> был применен следующий алгоритм.

В каждом блоке детекторов выбирались два крайних N<sub>F</sub> и N<sub>L</sub> с координатами Z<sup>F</sup> = Z<sub>min</sub> и Z<sup>L</sup> = Z<sub>max</sub>, соответственно. В детекторе N<sub>F</sub> бралась координата первого сработавшего элемента Y<sub>1</sub><sup>F</sup> и, соответственно, в детекторе N<sub>L</sub> — координата первого сработавшего элемента Y<sub>1</sub><sup>L</sup>. Через эти элементы проводилась прямая (2)

$$Y = A \cdot Z + B, \quad A = \frac{Y_j^L - Y_i^F}{Z^L - Z^F}, \quad B = \frac{Y_i^F \cdot Z^L - Y_j^L \cdot Z^F}{Z^L - Z^F}. \quad (3)$$

Если величины A и B лежали в пределах, определяемых кинематической исследуемого процесса и геометрией установки, то процедура продолжалась. В каждом детекторе, расположенном в данном блоке, проводился поиск сработавшего элемента, координата которого не должна отклоняться от прямой (3) более чем на Δ = 3 мм <sup>/18/</sup>. Если число детекторов с координатами сработавших элементов, удовлетворяющих этому критерию, превосходило N<sub>min</sub>, то считалось, что найденный набор координат сработавших элементов определяет трек. N<sub>min</sub> определялось заранее в соответствии с числом и эффективностью трековых детекторов в блоке <sup>/18/</sup>, во всяком случае N<sub>min</sub> ≥ 3.

После определения трека из дальнейшего поиска удалялись сработавшие на трек элементы и детекторы, на которых не осталось сработавших элементов. Определялось число оставшихся детекторов N<sub>ост</sub>.

Если величины A и B не удовлетворяли выбранным критериям или число сработавших детекторов N < N<sub>min</sub>, то при фиксированном Y<sub>1</sub><sup>F</sup> проводилась прямая через следующий сработавший элемент детектора N<sub>L</sub> - Y<sub>j+1</sub><sup>L</sup>. В случае неудовлетворительного перебора возможностей Y<sub>j+1</sub><sup>L</sup>, Y<sub>j+2</sub><sup>L</sup>, ... происходил переход к следующему сработавшему элементу детектора N<sub>F</sub> - Y<sub>i+1</sub><sup>F</sup> и процедура повторялась, вновь начиная с элемента Y<sub>j</sub><sup>L</sup>. В дальнейшем аналогичным образом происходил перебор и детекторов от краев к центру блока, т.е. от Z<sup>L</sup> к Z<sup>L-1</sup> и затем от Z<sup>F</sup> к Z<sup>F+1</sup>. Подобная же процедура проводилась также после

определения трека и удаления сработавших элементов и детекторов по отношению к оставшимся. В любом случае процедура заканчивалась при  $N_{\text{ост.}} < N_{\text{min}}$ . Несмотря на большое число возможных комбинаций пар сработавших элементов, процедура была достаточно быстрой за счет отбора по критериям для величин А и В и устранения из дальнейшего поиска срабатываний детекторов от уже найденных треков.

Для определения параметров найденных траекторий минимизировался функционал <sup>/17/</sup>

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - A \cdot Z_i - B)^2}{\sigma_i^2}, \quad (4)$$

где  $Z_i$  — значение Z-координаты i-го детектора,  $\sigma_i$  — его пространственное разрешение,  $Y_i$  — координата сработавшего на трек элемента на i-м трековом детекторе; N — число детекторов в блоке, сработавших на трек; А и В — искомые параметры. Если блок содержит в себе подблоки, то параметры и их ошибки вычисляются затем отдельно для каждого подблока.

Перед началом набора данных на установке производилась геодезическая юстировка и привязка трековых детекторов, т.е. плоскости детекторов выстраивались перпендикулярно оси Z, а их элементы параллельно осям X или Y. При этом привязка к магнитному полю электромагнита МС-12 осуществлялась с достаточной точностью ( $\pm 1$  мм). Однако определение X (Y) -координат элементов трековых детекторов с необходимой при проведении экспериментов точностью ( $\pm 0,1$  мм) невозможно для некоторых детекторов при измерении с помощью геодезических приборов <sup>/21/</sup>. Поэтому необходимо определение X-, Y-координат элементов детекторов расчетным методом.

Для этого перед началом набора информации об исследуемых процессах проводилась запись на МЛ и последующая обработка специальных экспозиций, а именно — записывалась информация о частицах, прошедших без взаимодействия через всю установку. С помощью программы геометрической реконструкции записанные МЛ обрабатывались и проводилось предварительное определение положения трековых детекторов с точностью  $\pm 0,3$  мм. Кроме того, в процессе такой обработки определялась трековая эффективность детекторов. Эта обработка проводилась на ЭВМ ЕС-1040 (СНЭО) сразу же после записи МЛ. Среднее время, затрачиваемое на обработку одного такого события, составляло 0,2 с.

В ходе набора данных о процессе (1) для контроля за работой установки программой геометрической реконструкции обрабатывалась часть статистики, записанной на МЛ. В ходе этой обработки контролировалась трековая эффективность детекторов, а также уточнялись их X-, Y-координаты.

Реконструкция событий проводилась сначала в X-, затем в Y-проекции. Поиск треков начинался в области за мишенью с блока 1X,

содержащего подблоки 2X и 3X; при этом требовалось, чтобы трек пересекал мишень и проходил через сработавший элемент на годоскопе  $\Gamma_2$  (рис.1). Трек в блоке 4X (подблок 5X) должен пересекаться в мишени с треком, найденным на блоке 1X.

В Y-проекции для треков на блоке 1Y (подблоки 2Y, 3Y) применялась та же процедура, что и для треков на блоке 1X. В области за электромагнитом МС-12 на блоке 4Y треки должны пересекаться в центре сработавший элемент годоскопа  $\Gamma_3$ . Треки от пучковых частиц на блоках 5Y и 6Y должны пересекаться в центре магнитного поля электромагнита СП-129, а треки на блоке 5Y должны также пересекаться в мишени с треками, найденными на блоке за мишенью (блок 1Y). Обработка события прекращалась, если на каком-либо из блоков не было найдено хотя бы одного трека. Восстановленные по таким критериям проекции траекторий использовались затем в программе для определения кинематических параметров частиц, зарегистрированных установкой. Направление и точка влета частиц в магнитное поле электромагнита МС-12 определялись по проекциям траекторий в подблоках 3X и 3Y. Проекция угла отклонения заряженной частицы магнитным полем на плоскость YOZ вычислялась по проекциям, восстановленным в подблоке 3Y и блоке 4Y. По этим параметрам траектории, с использованием заранее рассчитанного набора коэффициентов при полиномах Чебышева, заменяющего карту магнитного поля, определялся импульс частицы в спектрометре вторичных частиц <sup>/19/</sup>. Импульс частиц пучка определялся по проекциям траекторий, зарегистрированных в блоках 6Y и 5Y. Знание топографии магнитного поля электромагнита СП-129 <sup>/8/</sup> позволило ориентировать магнит таким образом, чтобы пучок проходил через однородную область, и применить для определения величины импульса простой алгоритм

$$P = \frac{1}{C \cdot \theta + D}, \quad (5)$$

где P — импульс;  $\theta$  — угол отклонения частицы в плоскости YOZ; C и D — константы, связанные с интегралом магнитного поля и расположением трековых детекторов. По проекциям траекторий частиц в блоке 5Y и в подблоках 5X, 2X, 2Y вычислялись угол рассеяния и координата вершины взаимодействия. Далее вычислялись переданный импульс и недостающая масса в предположении, что частицей, зарегистрированной за мишенью, был  $K^+$ -мезон, а  $\pi^+$ -мезон пучка провзаимодействовал с протоном. Все восстановленные величины гистограммировались с помощью пакета программ НВООК <sup>/20/</sup>.

Спектр недостающих масс, полученный в результате обработки по приведенным выше критериям части статистики, показан на рис.2. Высокое быстродействие программы геометрической реконструкции <sup>/17/</sup> (0,2 с/событие на ЭВМ ЕС-1040) позволяло сразу же после записи информации на МЛ обрабатывать ее и получать данные не только о рабо-

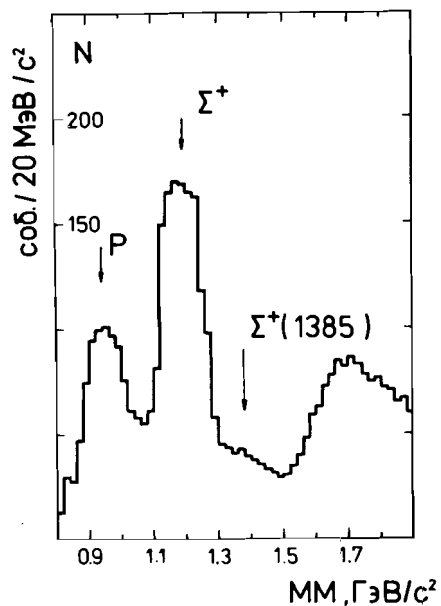


Рис.2

те трековых детекторов, но и убеждаться в наличии четких пиков в спектре недостающих масс, соответствующих исследуемой реакции. В то же время в спектре недостающих масс, приведенном на рис.2, можно видеть заметный пик в районе массы протона. Следует отметить, что ИПК, являющиеся основными трековыми детекторами спектрометра вторичных частиц, обладают большим временем памяти ( $1,8;2$  мкс)<sup>6/</sup>. В этом случае, при достаточно высокой интенсивности пучка ( $\sim 10^6$  част./цикл), кроме сигналов от частиц, относящихся к событию триггера, на ИПК присутствуют сигналы от частиц пучка, прошедших через установку без взаимодействия с мишенью. Если при обработке события восстановить за мишенью траекторию  $\pi^+$ -мезона пучка с импульсом  $12$  ГэВ/с, прошедшего через уста-

новку без взаимодействия, и ошибочно предположить, что восстановлена траектория  $K^+$ -мезона, то недостающая масса будет отличаться от массы протона всего на  $7,2$  МэВ/с<sup>2</sup>. Для улучшения временной привязки траекторий на первом этапе обработки требовалось, чтобы восстановленная за мишенью траектория проходила через сработавший элемент годоскопа  $G_2$ . Это требование оказалось, однако, недостаточным из-за размеров элементов годоскопа ( $35$  мм). Выяснилось, что для  $\approx 30\%$  событий в какой-либо из проекций восстанавливаются две траектории, проходящие через сработавший элемент годоскопа. Выбор одной из них по каким-либо критериям (большее число сработавших на трек детекторов, меньший среднеквадратичный разброс точек относительно трека и т.п.) не давал возможности правильно определить трек, принадлежащий  $K^+$ -мезону. Это приводило к тому, что при вычислении недостающей массы заметная часть реконструированных событий давала пик в области массы протона. При этом терялась часть событий, соответствующих исследуемой реакции. Для улучшения координатно-временной привязки траекторий было введено требование присутствия в треке координаты от сработавшего элемента на ПК-7 (рис.1), расстояние между сигнальными проволоками которой  $2$  мм. Спектр недостающих масс, полученный в результате обработки той же, что и в первом случае, части статистики, приведен на рис.3. Доля событий с недостающей массой, лежащей в области массы протона, уменьшилась на  $75\%$ , в то же время

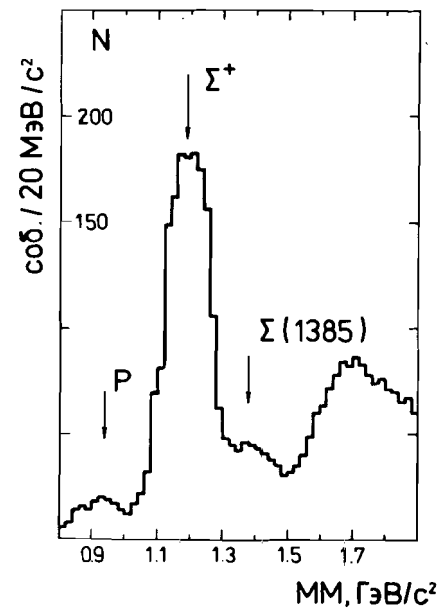


Рис.3

число событий с недостающей массой, лежащей в области масс  $\Sigma^+$  - и  $\Sigma^+(1385)$ -гиперонов, возросло на  $8\%$ . Сравнение спектров рис.2 и рис.3 показывает, что введение требования присутствия в треке срабатывания на ПК-7 позволило исключить из обработки траектории, не относящиеся к событию триггера, но присутствующие на ИПК. Для спектра, приведенного на рис.3, среднеквадратичное отклонение для пика, соответствующего  $\Sigma^+$ -гиперону, составляет  $(72 \pm 2)$  МэВ/с<sup>2</sup>. Такое разрешение в спектре недостающих масс не позволяет хорошо разделить события образования  $\Sigma^+$ - и  $\Sigma^+(1385)$ -гиперонов и, соответственно, получить качественные данные о сечениях их образования. Для выяснения причины несоответствия реальной и расчетной<sup>10/</sup> разрешающих способностей установки по недостающей массе был проведен анализ реконструированных событий. Выяснилось, что сигнальные проволоки некоторых ИПК спектрометра вторичных частиц по конструктивным особенностям камер расположены не параллельно осям X и Y. Углы поворотов некоторых из них относительно оси Y составляли  $5$  мрад. Такое расположение ИПК приводило к неточному определению координат сработавших на них сигнальных проволок и, соответственно, вносило дополнительную ошибку в восстановленные параметры траектории частиц. Необходимо было точно определить координаты сигнальных проволок ИПК и их повороты относительно осей X и Y расчетным методом. С этой целью был разработан метод, позволяющий, используя события записанные на МЛ, определять координаты сигнальных проволок ИПК с точностью  $0,1$  мм и углы их поворотов относительно осей с точностью  $0,1$  мрад<sup>21/</sup>. В программу геометрической реконструкции и схему обработки были внесены соответствующие изменения и обработана та же, что и в предыдущих двух случаях, часть статистики. Полученный в результате спектр недостающих масс приведен на рис.4. Среднеквадратичное отклонение от пика, соответствующего  $\Sigma^+$ -гиперону, составляет  $(56 \pm 2)$  МэВ/с<sup>2</sup>, т.е. улучшается по сравнению со спектром на рис.3 на  $20\%$ . Такое разрешение по недостающим массам согласуется с результатами предварительно проведенного моделирования реальных условий эксперимента<sup>10/</sup>. Этот метод и был проведен для обработки всех событий, записанных на МЛ<sup>2/</sup>. Кроме того, он был использован для обработки событий при

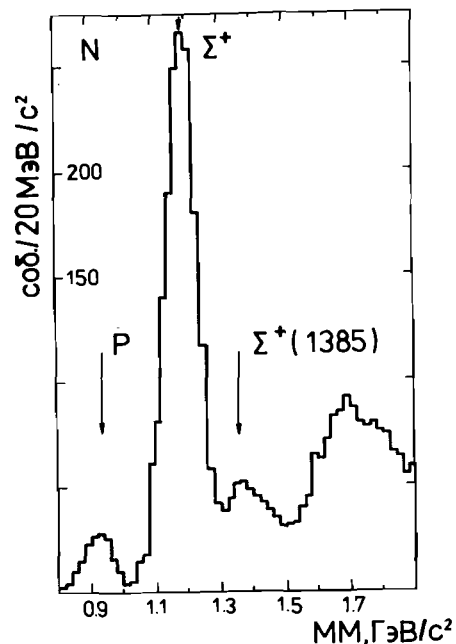


Рис.4

изучении реакции  $\pi^+n \rightarrow K^+\Sigma^0 / \Lambda^{5/}$ . На рис.5 приведено полученное в результате обработки распределение Z-координат вершин взаимодействия для всех обработанных событий, а на рис.6 — распределение Z-координат только для событий с переданным импульсом в интервале от 0,15 до 0,20 ГэВ/c<sup>2</sup>. Узкий пик в распределении соответствует взаимодействиям, происходящим на веществе сцинтилляционного счетчика S<sub>2</sub>, расположенного перед мишенью (рис.1). Явное разделение между вершинами взаимодействий в мишени и на веществе счетчика позволило измерить отношение  $A_{\text{eff}}(t)$  дифференциальных сечений реакции  $\pi^+A \rightarrow K^+Y + A'$  на ядрах углерода и дейтерия <sup>5/</sup>.

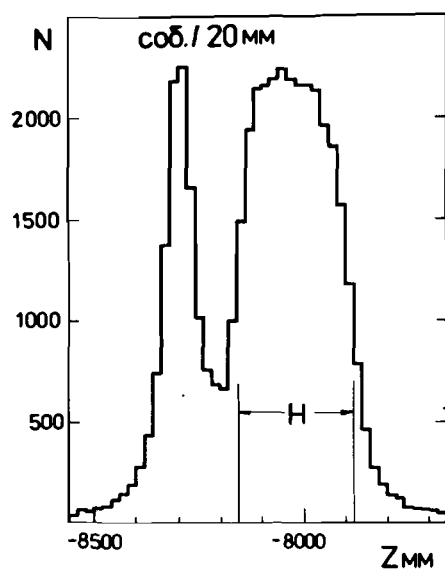


Рис.5

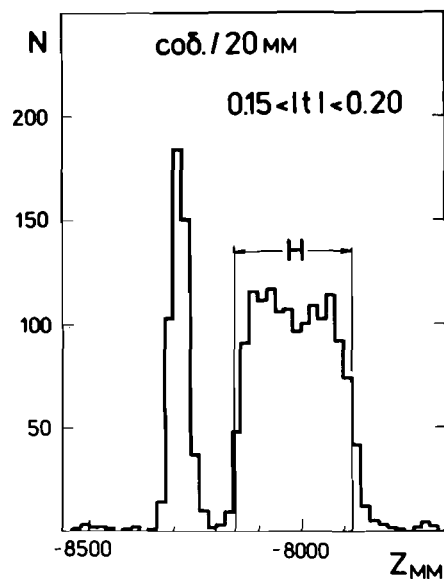


Рис.6

В заключение отметим основные элементы реконструкции событий, которые, на наш взгляд, позволили высококачественно провести обработку набранной статистики и выполнить запланированную программу исследований.

Во-первых, разработанная методика распознавания и реконструкции траекторий и восстановления импульсов заряженных частиц адекватна экспериментальной установке и кинематике исследуемых процессов. Это позволило быстро реконструировать события и обрабатывать значительную часть статистики в ходе ее набора.

Во-вторых, координатно-временная привязка траекторий по ПК позволила правильно распознавать траектории, относящиеся к событиям триггера.

В-третьих, точный учет пространственного положения ИПК дал возможность, используя их лучшее, чем у ПК, пространственное разрешение, достичь необходимой для проведения исследований точности в определении параметров траекторий заряженных частиц.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить Ю.А.Будагова, В.М.Кутына и В.Б.Флягина за постановку задачи и внимание к работе, В.И.Белоусова, А.Г.Володько, Ю.А.Кульчицкого, В.М.Маниева, В.Г.Одинцова и Н.А.Русакевича за многократные полезные обсуждения и ряд ценных советов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антюхов В.А. и др. — ПТЭ, 1985, №5, с.35.
2. Bitsadze G.S. et al. — Nucl.Phys., 1985, B260, p.497.
3. Акименко С.А. и др. ОИЯИ, 1-8948, Дубна, 1975.
4. Маниев В.М., Русакович Н.А. ОИЯИ, 1-84-423, Дубна, 1984.
5. Bitsadze G.S. et al. JINR, E1-86-780, Dubna, 1986.
6. Акименко С.А. и др. ОИЯИ, 13-83-29, Дубна, 1983.
7. Курилин А.С. и др. ОИЯИ, 13-83-774, Дубна, 1983.
8. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, P1-85-761, Дубна, 1985.
9. Акименко С.А. и др. ОИЯИ, P13-80-155, Дубна, 1980.
10. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, 1-13015, Дубна, 1980.
11. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, 10-7303, Дубна, 1973.
12. Вестергомби Д. и др. ОИЯИ, P10-7284, Дубна, 1973.
13. Адылов Г.Т. и др. ОИЯИ, 1-8011, Дубна, 1974.
14. Адылов Г.Т. и др. ОИЯИ, 1-8012, Дубна, 1974.
15. Zanella P. CERN-DD/DP/68-3, 1968.
16. Zanella P. JINR, P10-7245, Dubna, 1968.
17. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, Б-1-10-85-837, Дубна, 1985.
18. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, 1-10997, Дубна, 1977.
19. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, P1-83-390, Дубна, 1983.
20. Brun R. et al. CERN, DD/77/9, Geneva, 1979.
21. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, 13-84-805, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 марта 1988 года.