

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



Ц8408
М-477

10 - 8170

9/11-74

Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

4763/2-74

ПРОГРАММА РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ
В МНОГОКАНАЛЬНОМ ЧЕРЕНКОВСКОМ
МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ "ФОТОН"

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

10 - 8170

Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

ПРОГРАММА РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ
В МНОГОКАНАЛЬНОМ ЧЕРЕНКОВСКОМ
МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ "ФОТОН"

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена описанию и анализу на основе моделированных событий ^{/1/} результатов работы программы, осуществляющей поиск и реконструкцию электрон-позитронных и многофотонных событий, регистрируемых многоканальным черенковским масс-спектрометром "Фотон".

Установка "Фотон" /рис. 1/, создаваемая в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, предназначена для продолжения исследований электромагнитных процессов ^{/4-7/} и включает:

1/ Мониторные сцинтилляционные счетчики и 6 пропорциональных камер размером 150 x 150 мм² для определения направления налетающей частицы.

2/ Жидководородную мишень длиной 1000 мм, диаметром 60 мм и толщиной стенок 0,005 рад. единиц.

3/ 32 магнестрикционные камеры размером 920 x 920 x 8 мм³, группирующиеся по 16 шт. в двух идентичных каналах установки и представляющие собой систему чередующихся прямых и повернутых на 17° камер, которые расположены на расстоянии 60 мм относительно друг друга.

Первые четыре камеры в каждом канале установки предназначены для регистрации заряженных частиц, а для регистрации гамма-квантов после 4-й, 8-й и 12-й камер располагаются конверторы.

4/ 90 черенковских спектрометров полного поглощения с радиатором в форме шестигранной призмы, высотой 350 мм и диаметром вписанной в основание окружности 175 мм, которые группируются по 45 шт. в каждом из двух симметричных каналов установки ^{/2,3/}.

Спектрометры используются в установке для определения энергии гамма-квантов и электронов /позитронов/ в интервале энергий от нескольких сот МэВ до сотен ГэВ.

5/ 16 годоскопических сцинтилляционных счетчиков размером 1000 x 130 x 10 мм³, расположенных по 8 шт. в каждом из двух каналов установки между искровыми камерами и черенковскими спектрометрами.

Результаты данной работы были получены с помощью программы, используемой в $K \rightarrow \pi^0 \pi^0$ - эксперименте^{/8/} и специально адаптированной для установки "Фотон". В работе^{/9/} также использовалась программа из эксперимента^{/8/}.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

На рис. 2 представлена схема программы поиска и реконструкции событий.

В BLOCK DATA описываются общие блоки программы, задаются константы, определяющие геометрию и параметры элементов установки.

Моделированные в FAMEL данные, основными среди которых являются координаты искр в пропорциональных и искровых камерах, а также энергии в каждом из 90 гамма-спектрометров, с помощью подпрограмм BUFFXS и ZEROFR представляются в формате программы поиска и реконструкции событий.

Информация с пропорциональных камер обрабатывается в PROPCH, где определяется направление падающей частицы восстановлением трека по регистрируемым искрам методом наименьших квадратов. В подпрограммах SPASE, VALPAR и DEJA по измеренным координатам искр в двух ортогональных плоскостях определяется пространственное положение искр в камерах. Для этого в каждом модуле-четверке искровых камер, разделенных конверторами, - восстанавливаются прямые треки в пространстве по искрам /если число искр ≥ 3 /, лежащим в пределах 3 мм от рассматриваемой прямой. SWAP переводит координаты искр из системы координат повернутых камер в систему прямых камер.

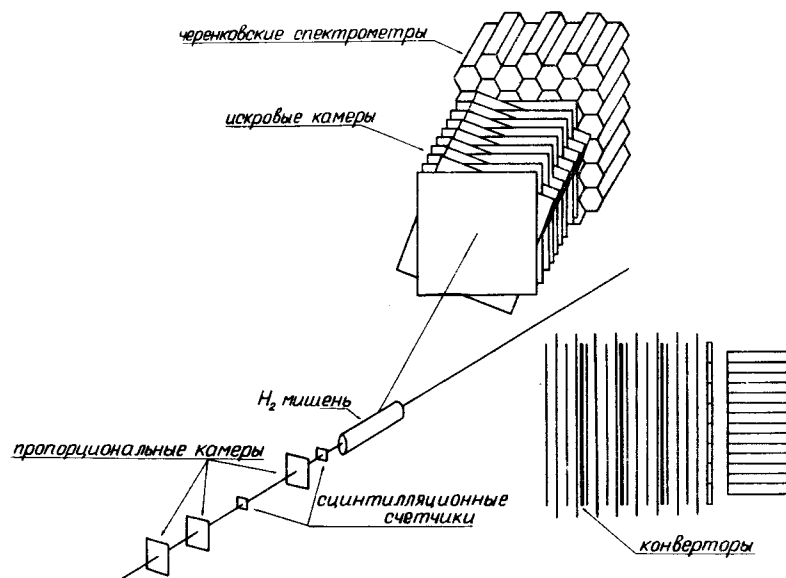


Рис. 1. Схема расположения основных элементов многоканального черенковского масс-спектрометра "Фотон".

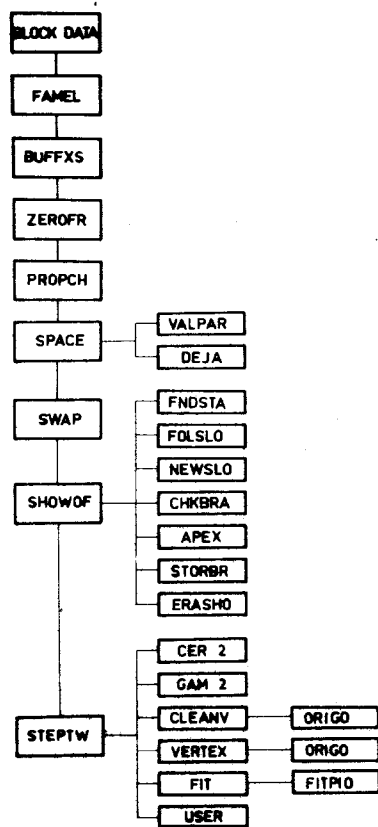


Рис. 2. Схема программы поиска и реконструкции событий.

В подпрограмме SHOWOF осуществляется поиск как ливней заряженных частиц, образованных гамма-квантами в конверторах, так и одиночных заряженных частиц. Затем последовательно рассматриваются все модули искровых камер и в каждом из них, на первом этапе, строятся в FNDSTA прямые треки, удовлетворяющие выбранному условию наклона.

Далее в FOLSLO выделяются все искры, которые отстоят от выбранной в FNDSTA прямой на расстоянии меньше заданного, т.е. в коридоре с шириной $\sim 50 \div 100$ мм. По этим искрам в NEWSLO методом наименьших квадратов проводится прямая.

Полученный таким способом трек экстраполируется в последующий модуль, состоящий из 4-х камер, вновь выделяются /подпрограмма FOLSLO / искры внутри коридора с заданной для данного модуля шириной, и по ним проводится прямой трек /подпрограмма NEWSLO /. Указанная процедура проводится для всех последующих модулей.

Выделенные искры в основном принадлежат заряженным частицам, возникшим в результате конверсии гамма-квантов в конверторах, расположенных между искровыми камерами, и маркируются в ERASHO в соответствии с номером ливня.

Координаты точки конверсии гамма-квантов определяются в APEX.

Используя хранимую с помощью подпрограммы STORBR информацию об отдельных ливнях данного события, CHKBRA исключает те ливни, которые являются ветвью одного из предыдущих, т.е. ливни, имеющие общую точку конверсии в пределах $50 \div 100$ мм /в зависимости от номера модуля искровых камер/.

Энергия E частиц, попавших в спектрометры, определяется в подпрограмме CER2 по сумме энергий E_i в трех смежных модулях черенковских спектрометров, образующих кластер. В CER2 определяется центр тяжести кластера $X = \sum_{i=1,3} (E_i/E) \cdot X_i^c$, где X_i^c - координата

центра i -го модуля в кластере. Энергетическая ошибка определяется по формуле $\Delta E_i \approx E_i^{1/2}$ для каждого модуля спектрометра.

Экстраполируя направления гамма-квантов и заряженных частиц, измеренных в искровых камерах, до передней плоскости черенковских спектрометров и используя координаты центров тяжести кластеров в спектрометрах, в подпрограмме GAM2 устанавливают соответствие между геометрическими и энергетическими параметрами частиц, зарегистрированных установкой. Для непроконвертировавших гамма-квантов точкой конверсии выбираются координаты центров тяжести кластеров.

Энергетическая ошибка для гамма-квантов и электронов вычисляется по формуле $\Delta E = (\sum_{i=1,3} \Delta E_i^2)^{1/2}$, где

ΔE_i - энергетическая ошибка, определенная для отдельного модуля кластера. Угловая ошибка для гамма-квантов вычисляется по формуле $\Delta \theta \approx 1/E$. Для заряженных частиц $\Delta \theta = 3$ мрад.

Продолжая треки из пропорциональных и искровых камер в область мишени, с помощью подпрограмм CLEANV, VERTEX и ORIGO методом наименьших квадратов вычисляются координаты точки взаимодействия частиц в мишени. Последние определяются из условий:

$$\chi^2 = \sum_i [(X_i - X)^2 - (\ell_i (X_i - X))^2] \cdot W_i$$

$$W_i = [1 / (X_i - X) \cdot \Delta \theta_i]^2$$

$$\partial \chi^2 / \partial X = 0$$

$X_i \equiv \{X_i, Y_i, Z_i\}$ - координаты точки конверсии в случае гамма-квантов или координаты точки на треке для заряженных частиц, $\ell_i \equiv \{\ell_i, m_i, n_i\}$ - единичный вектор вдоль направления частицы, $X \equiv \{X, Y, Z\}$ - фитированные координаты точки взаимодействия частиц в мишени, W_i - вес для i -ой частицы, имеющей угловую ошибку $\Delta \theta_i$.

В подпрограммах FIT и FITPIO идентифицируются распады $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, когда число зарегистрированных гамма-квантов ≥ 4 . USER формирует данные, полученные в результате работы программы и представляет их в виде гистограмм.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

С целью проверки правильности работы программы и анализа результатов поиска и реконструкции событий были использованы данные, полученные моделированием /в условиях установки "Фотон"/ процессов:

$$\pi^- + p \rightarrow X + n \quad \left\{ \begin{array}{l} e^+ e^-, M_x = 760 \text{ МэВ} \quad /1/ \\ \gamma \gamma, M_x = 545 \text{ МэВ} \quad /2/ \\ \pi^0 \pi^0 \rightarrow 4\gamma, M_x = 760 \text{ МэВ} \quad /3/ \end{array} \right.$$

Моделирование производилось при следующих условиях:

- 1/ угол между осями спектрометров равен 26° ;
- 2/ импульс π^- -мезона $P_{\pi^-} = 4$ ГэВ/с и $\Delta P_{\pi^-} / P_{\pi^-} = \pm 1\%$;
- 3/ координатная точность пропорциональных камер 1,2 мм, эффективность 100%;
- 4/ координатная точность искровых камер $\pm 0,5$ мм, эффективность $\sim 90\%$;
- 5/ две искры, лежащие в пределах 4 мм, не разделяются;
- 6/ число заряженных фоновых треков в каждом канале установки равно 1;
- 7/ среднее число фоновых искр в камере равно 2;
- 8/ энергетическое разрешение черенковских спектрометров при энергии 4 ГэВ равно $\pm 2\%$;
- 9/ толщина конверторов равна 0,1 и 0,3 рад. ед.

На рис. 3-6 приводятся результаты сравнения моделированных данных с данными, полученными в результате обработки по программе поиска и реконструкции событий, по следующим параметрам:

- 1/ X, Y, Z - координаты точки взаимодействия частиц в мишени / Z направлена вдоль оси мишени /,
- 2/ $E_\gamma, E_{e^+ (e^-)}$ - энергии распадных частиц,
- 3/ E_x - энергия резонанса,
- 4/ $\theta_\gamma, \theta_{e^+ (e^-)}$ - углы вылета распадных частиц,
- 5/ $\theta_{\gamma\gamma}, \theta_{e^+ e^-}$ - угол между распадными частицами,
- 6/ M_x - эффективная масса резонанса.

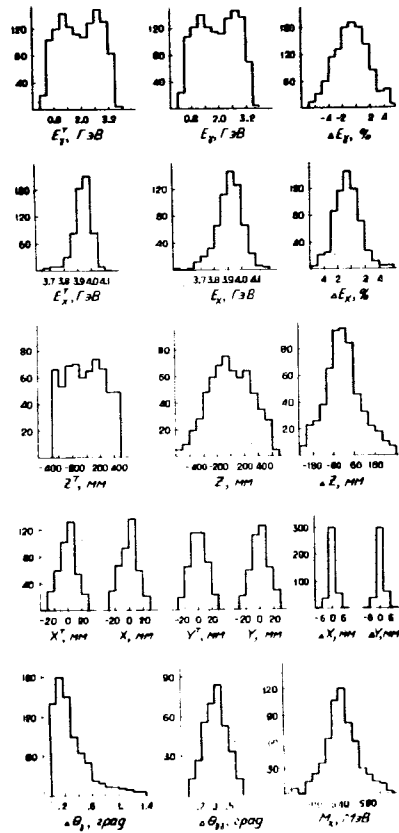


Рис. 3. Сравнение параметров, полученных моделированием /с индексом "Т" и по программе поиска и реконструкции событий для реакции $\pi^- p \rightarrow Xn$, $X(545) \rightarrow \gamma\gamma$. Разность между точными значениями параметров и вычисленными по программе реконструкции обозначены через " Δ ". На гистограммах здесь и далее по оси ординат отложено число событий на интервал. Параметры, приведенные на рисунке, имеют следующий смысл: E_γ и E_X - соответственно, энергии гамма-квантов и резонанса, X, Y, Z - координаты точки взаимодействия частиц в мишени /Z направлена вдоль оси мишени/. $\Delta\theta_\gamma$ и $\Delta\theta_{\gamma\gamma}$ - соответственно, разности между точными и вычисленными значениями углов вылета и углов разлета гамма-квантов, M_X - эффективная масса резонанса, восстановленная по программе реконструкции.

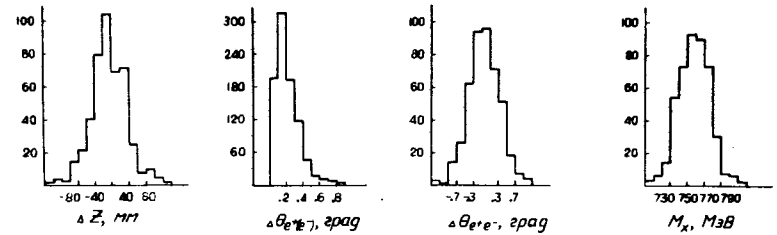


Рис. 4. Распределения событий для реакции $\pi^- p \rightarrow Xn$, $X(760) \rightarrow e^+e^-$ по параметрам: ΔZ - разность между точными и вычисленными значениями Z-координаты точки взаимодействия частиц в мишени /Z направлена вдоль оси мишени/, $\Delta\theta_{e^+e^-}$ и $\Delta\theta_{e^+e^-}$ - разности между точными и вычисленными значениями углов вылета и углов разлета лептонов, соответственно, M_X - эффективная масса резонанса, восстановленная по программе реконструкции.

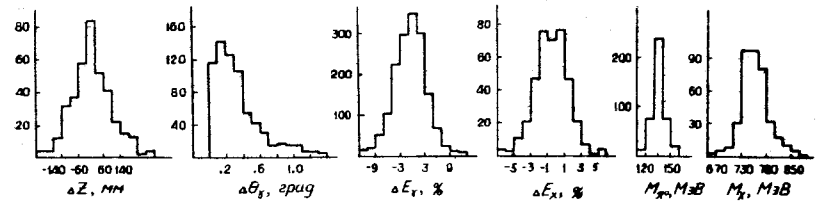


Рис. 5. Распределения событий для реакции $\pi^- p \rightarrow Xn$, $X(760) \rightarrow \pi^0\pi^0 \rightarrow 4\gamma$ /число проконвертировавших гамма-квантов 4/ по параметрам: ΔZ - разность между точными и вычисленными значениями Z-координаты точки взаимодействия частиц в мишени /Z направлена вдоль оси мишени/, $\Delta\theta_\gamma$ - разность между точными и вычисленными значениями углов вылета гамма-квантов, ΔE_γ и ΔE_X - разность между точными и вычисленными значениями энергий гамма-квантов и резонанса. M_{π^0} и M_X - значения масс π^0 -мезонов и резонанса, восстановленные по программе поиска и реконструкции.

Соответствующие точности определения параметров - разности между точными значениями параметров и восстановленными по программе поиска и реконструкции - представлены в табл. 1.

Анализ результатов показывает, что а/ точность определения величин E_γ , E_x , θ_γ , M_x и т.д. обусловлена, в основном, параметрами аппаратуры, т.е. в процесс обработки программа не вносит заметных ошибок;

б/ эффективность поиска событий по программе $> 95\%$; в/ точность измерения углов вылета частиц практически определяется лишь ошибкой Z-координаты точки взаимодействия частиц в мишени /Z направлена вдоль оси мишени/;

г/ в случае $X \rightarrow \pi^0 \pi^0 \rightarrow 4\gamma$, наряду с событиями, в которых проконвертировали все гамма-кванты ($\sigma M_x/M_x = \pm 4\%$), надежно выделяются также события, в которых число проконвертировавших гамма-квантов ≥ 2 ($\sigma M_x/M_x = \pm 6,5\%$); д/ установка "Фотон" позволяет надежно регистрировать физические процессы типа /1/ ÷ /3/ и проводить исследования их характеристик.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить профессора А.М.Балдина за постоянное внимание и поддержку в работе.

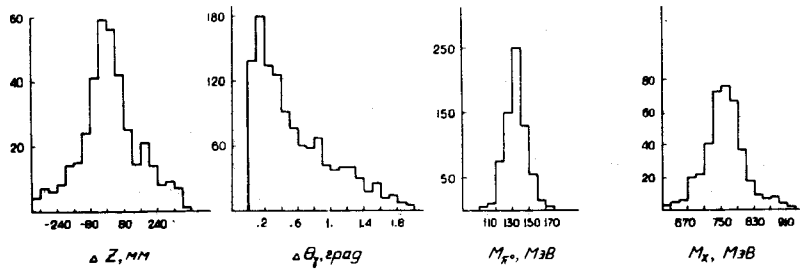


Рис. 6. Распределения событий для реакции $\pi^- p \rightarrow X n$, $X(760) \rightarrow \pi^0 \pi^0 \rightarrow 4\gamma$ /число проконвертировавших гамма-квантов ≥ 2 / по параметрам: ΔZ - разность между точными и вычисленными значениями Z-координаты точки взаимодействия частиц в мишени /Z направлена вдоль оси мишени/, $\Delta \theta_\gamma$ - разность между точными и вычисленными значениями углов вылета гамма-квантов, M_{π^0} и M_x - значения массы π^0 -мезонов и резонанса, восстановленные по программе поиска и реконструкции событий.

ТАБЛИЦА I. $\bar{P} + p \rightarrow X + n$, $P_{\Pi}^{-} = 4$ ГэВ/с

Процесс	t рад.ед.	σ_X мм	σ_Y мм	σ_Z мм	$\sigma_{\theta_y}(\sigma_{\theta_e})$ град.	$\sigma_{\theta_y}(\sigma_{\theta_e})\sigma_{\theta_{\gamma}}(\sigma_{\theta_{e^+e^-}})$ град.	$\sigma_{E_{\gamma}}(\sigma_{E_e})$ %	σ_{E_X} %	σ_{M_X} МэВ	$\sigma_{M_{\pi^0}}$ МэВ	N кочв.
$X(760) \rightarrow e^+e^-$	0.1	± 2	± 2	± 40	0.2	± 3	± 3	± 2	± 20	-	-
$X(545) \rightarrow \gamma\gamma$	0.1	± 2	± 2	± 100	0.4	± 5	± 3	± 2	± 20	-	2
$X(760) \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^-$	0.1	± 2	± 2	± 100	0.5	-	± 4	± 2	± 30	± 6	4
$X(760) \rightarrow \pi^0 \pi^+ \pi^- 4\gamma$	0.3	± 2	± 2	± 140	0.8	-	± 4	± 2	± 50	± 12	≥ 2

Литература

1. Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян. Сообщение ОИЯИ, 10-7960, Дубна, 1974.
2. Р.Г.Асвацатуров и др. Препринт ОИЯИ, P1-7309, Дубна, 1973.
3. R.G.Astvatsaturov et al. Nucl. Instr. and Meth., 107 (1973); Preprint JINR, E1-6633 (1972).
4. М.А.Азимов и др. ОИЯИ, В-7-2070, Дубна, 1964.
5. M.N.Khachaturian et al. Nucl. Instr. and Meth., 51, 309 (1967).
6. M.N.Khachaturian et al. Phys.Lett., 24B, 349 (1968).
7. R.S.Astvatsaturov et al. Phys.Lett., 27B, 45 (1968).
8. M.Holder et al. Phys.Lett., v. 40B, 1, 141 (1972).
9. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 августа 1974 года.