

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 344, 12
М - 477

19/8-74

10 - 7960

Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

3215/2-74

ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

10 - 7960

Г.Л.Мелкумов, М.Н.Хачатурян

ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЧЕРЕНКОВСКОГО
МАСС-СПЕКТРОМЕТРА

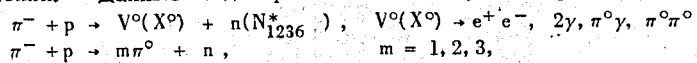
Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н.

10 - 7960

Программа моделирования для многоканального черенковского масс-спектрометра

Описывается программа моделирования процессов с участием гамма-квантов и электронов, регистрируемых установкой, состоящей из 32 бес-фильмовых искровых камер и 90 черенковских спектрометров полного поглощения. Данные моделирования используются при анализе реакций типа:



а также при написании программ, осуществляющих поиск и идентификацию событий.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

ВВЕДЕНИЕ

Разработка сложных экспериментальных установок, планирование экспериментов и анализ результатов исследований в современном физическом эксперименте требуют детального моделирования параметров аппаратуры, оптимальных условий эксперимента и качества ожидаемой информации.

Настоящая работа посвящена описанию моделирующей программы FAMEL, которая была создана для моделирования процессов генерации и распада элементарных частиц, исследуемых с помощью многоканального черенковского масс-спектрометра Лаборатории высоких энергий ОИЯИ^{1,2/}. Установка /рис.1/ представ-

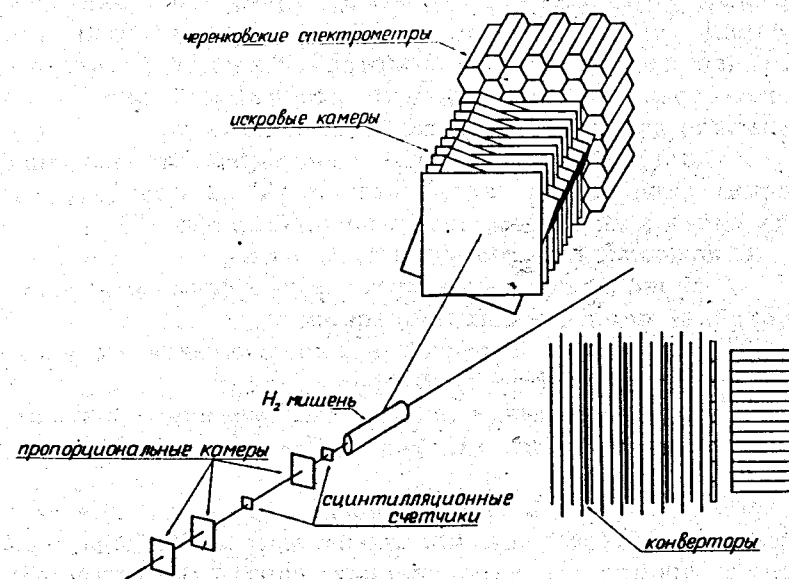


Рис. II. Схема расположения основных элементов многоканального черенковского масс-спектрометра.

ляет собой полностью автоматизированную систему, работающую на линии с ЭВМ, и включает:

1. Десять черенковских гамма-спектрометров полного поглощения из свинцового стекла.
2. Тридцать две искровые камеры с магнитоотрицательным типом съема информации.
3. Шестнадцать годоскопических сцинтилляционных счетчиков.
4. Шесть пропорциональных камер.
5. Сцинтилляционные счетчики различного назначения.
6. Жидководородную мишень.

Первый вариант программы FAMEL был создан в 1968 году для моделирования процессов генерации электронных пар и гамма-квантов в реакции $\pi^- + p \rightarrow V^0(X^0) + n$, $V^0(X^0) \rightarrow e^+e^-, 2\gamma, 3\gamma, 4\gamma$.

Модифицированный вариант программы позволяет генерировать искусственные события, являющиеся аналогом экспериментальных. При моделировании программа учитывает как динамику процессов, так и геометрию установки, размеры детекторов, величины энергетических, угловых и пространственных разрешений, параметры, характеризующие пространственное и импульсное распределения частиц в пучке и др..

В программе FAMEL для генерирования кинематических параметров частиц используется соответствующая часть программы моделирования FAKE /8/.

С помощью программы FAMEL можно:

- 1/ определить геометрическую эффективность регистрации исследуемых процессов;
- 2/ рассчитать геометрию эксперимента по максимуму отношения эффект/фон;
- 3/ получить распределения кинематических параметров процесса /энергий, углов, четырехимпульсов и др./ и их ошибок;
- 4/ имитировать работу основных элементов установки генерированием координат искр в искровых камерах и энергий в черенковских гамма-спектрометрах.

Указанная информация позволяет использовать специфические особенности исследуемых реакций с целью

оптимизации экспериментальной техники и эксперимента в целом.

Возможность имитации работы установки позволяет осуществлять проверку и отладку программ поиска событий и идентификации канала реакций в условиях, максимально близких к условиям реального эксперимента.

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Схема программы представлена на рис.2.

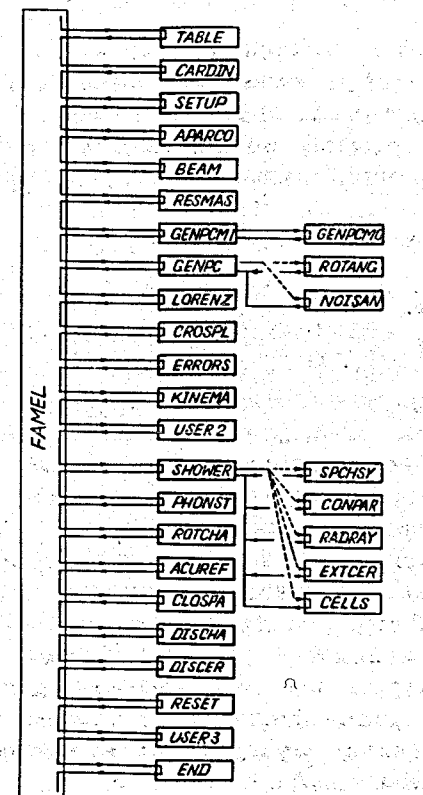


Рис.2. Схема программы

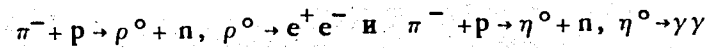
Программа FAMEL состоит из двух функционально отличающихся друг от друга частей П1 и П2. Общими для П1 и П2 являются подпрограммы, в которых генерируются кинематические параметры.

а/ Функциональная схема программы П1

В программе П1 генерируются точные значения кинематических параметров, контролируется попадание частиц в заданные области искровых камер и черенковских спектрометров, варьируются кинематические параметры в соответствии с экспериментальными ошибками.

Результатом работы программы П1 является формирование данных, которые адекватны данным, получаемым при обработке реальных событий.

Для иллюстрации работы программы на рис.3 и 4 приведены распределения, полученные моделированием двух реакций:



при импульсе π^- -мезонов $P_{\pi^-} = 4 \text{ ГэВ/с}$.

При моделировании угол (Θ) между двумя каналами масс-спектрометра был выбран равным 26° , а расстояние (L) от центра мишени до спектрометра - 350 см.

Значения констант, использованных при моделировании и характеризующих импульсный разброс $\Delta P_{\pi^-} / P_{\pi^-}$ пучка π^- -мезонов, ширину резонанса Γ , дифференциальное сечение $d\sigma/dt$, угловые распределения распадных частиц в системе Готтфрида-Джексона $W(\theta^\pm)$ и в системе покоя резонанса $W(\theta^*)$, энергетическое $R(E)$ и угловое $R(\theta)$ разрешения масс-спектрометра при энергии электронов /гамма-квантов/, равной 4 ГэВ, а также геометрическую эффективность регистрации процесса ϵ , приведены в табл.1.

Зависимость ошибки определения четырехмерного переданного импульса Δt от величины t представлены в табл.2.

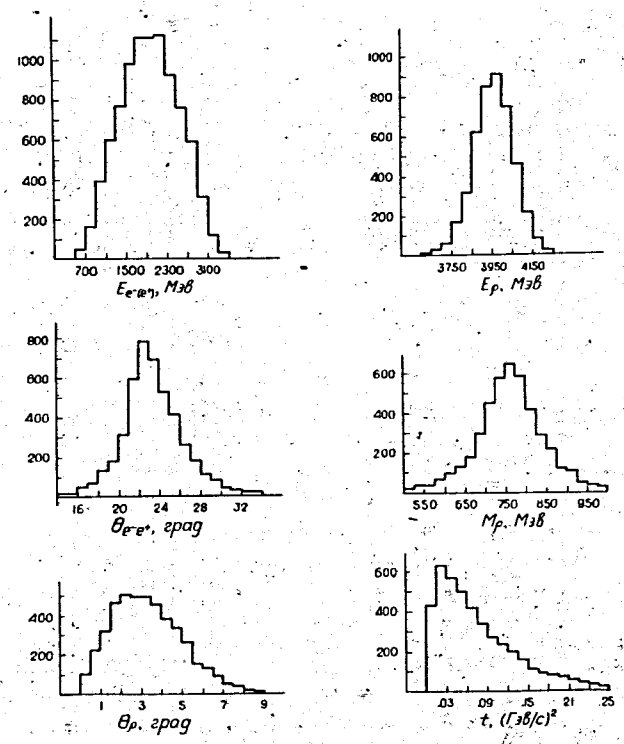


Рис.3. Распределения моделированных событий реакции $\pi^- + p \rightarrow \rho^0 + n, \rho^0 \rightarrow e^+e^-$, по величинам $E_{e^+e^-}$, E_p , $\theta_{e^+e^-}$, M_p , θ_p и t при импульсе $P_{\pi^-} = 4 \text{ ГэВ/с}$.

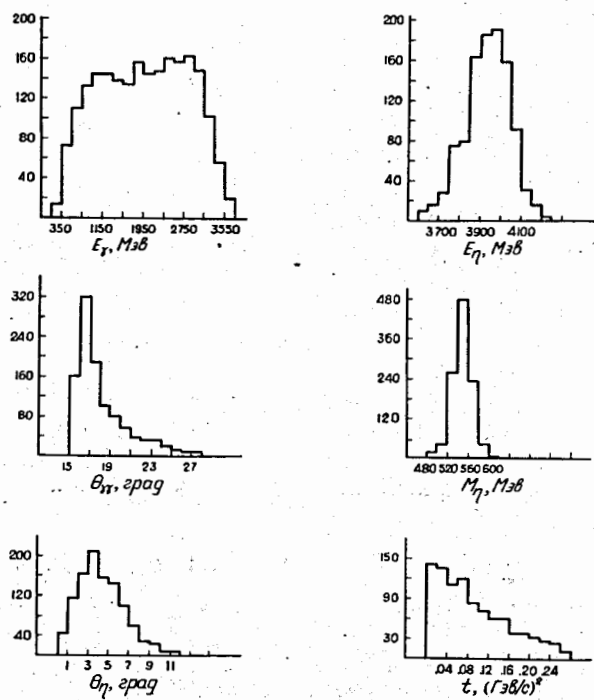


Рис.4. Распределения моделированных событий реакции $\pi^- + p \rightarrow \eta^0 + n$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$, по величинам E_γ , E_η , θ_γ , M_η , θ_η и τ при импульсе $P_{\pi^-} = 4$ ГэВ/с.

Таблица 1

Процесс	$\Delta P_{\pi^-} / P_{\pi^-}$ %	Γ МэВ	$d\sigma/dt$ см ² (ГэВ/с) ²	$W(\theta^+)$	$W(\theta^*)$ %	$R(\theta)$ радиан	ϵ %
$\pi^- p \rightarrow \rho^0 n$ \downarrow $e^+ e^-$	± 1	120	$\exp(8.5t)$	$(3/8\pi) \sin^2 \theta^+$	5.1	$2.3 \cdot 10^{-3}$	12.8
$\pi^- p \rightarrow \eta^0 n$ \downarrow $\gamma\gamma$	± 1		$\exp(4t)$	$\sim d \cos \theta^*$	5.1	$7 \cdot 10^{-3}$	5.6

Таблица 2

$\pi^- p \rightarrow p^0 n,$	$\rho^0 \rightarrow e^+ e^-$	$P_{\pi^-} = 4 \text{ ГэВ/с}$
$ \tau \text{ (ГэВ/с)}^2$	0.004 ± 0.060	0.090 ± 0.130
$\Delta\tau \text{ (ГэВ/с)}^2$	± 0.008	± 0.016

б/ Функциональная схема программы П2

В программе П2 генерируются кинематические параметры, контролируется попадание частиц в заданные области искровых камер и гамма-спектрометров, генерируются рабочие и фоновые "искры" и "электростатические пробы". Программа П2 также учитывает специфику частиц электромагнитной природы при их прохождении через конверторы, которые располагаются между искровыми камерами /образование электромагнитного ливня, многократное кулоновское рассеяние частиц ливня и т.д./, ошибки измерения координат и эффективность регистрации "искр" в искровых камерах. Далее программа моделирует попадание частиц /одной или нескольких/ в гамма-спектрометры и распределение энергий частиц между 90 модулями гамма-спектрометров.

Информация о каждом событии записывается на магнитную ленту и используется в качестве исходной для отладки программ физической обработки экспериментальных данных.

Ниже приводится краткое описание подпрограмм, входящих в П1 и П2. FAMEL - управляющая программа. TABLE - вводит в общие ячейки памяти величины, характеризующие массы, времена жизни, сечения взаимодействия и значения зарядов частиц. CARDIN - читает перфокарты с исходными данными. SETUP - задает количество и нумерацию частиц, участвующих в реакции, проверяет правильность задания их масс путем сравнения с табличными данными /подпрограмма TABLE /, а также определяет сумму масс вторичных частиц, возникших при взаимодействии. ARARCO - вычисляет геометрические константы, определяющие положение искровых камер и гамма-спектрометров и координаты их центров /в системе координат, начало которой совпадает с центром мишени, а ось у имеет направление, совпадающее с направлением налетающей частицы/. BEAM - генерирует для каждого события значение импульса налетающей частицы, вызвавшей взаимодействие и координаты точки взаимодействия в мишени. Значения импульсов частиц

пучка и координат X и Z точек взаимодействия в мишени, лежащих в плоскости, перпендикулярной направлению налетающей частицы, разыгрываются по нормальному закону. Распределение координат Y точки взаимодействия считается равномерным. RESMAS - вычисляет массу резонанса по формуле Брейта-Вигнера. GENV - определяет полную энергию частиц в системе центра инерции, а также импульсы частиц для двухчастичной реакции. GENPCMO и GENPCM1 вместе с подпрограммами ROTANG и NOISAN генерируют многочастичные события ($n > 2$), равномерно распределенные в лоренцианском фазовом пространстве.

Динамика процесса взаимодействия учитывается при розыгрыше полярного угла вылета частиц в подпрограмме ROTANG /в системе координат центра инерции/ или в подпрограмме NOISAN /в системе координат Готтфрида-Джексона/. ROTANG - разыгрывает полярный угол вылета частиц θ^* /в с.ц.и./ для следующих видов углового распределения продуктов реакций:

а/ изотропного $\sim d \cos \theta^*$

б/ неизотропного $(a_0 + a_1 \cos \theta^* + \dots + a_6 \cos^6 \theta^*) d \cos \theta^*$, где a_i - константа,

в/ распределения вида $d\sigma/dt \sim \exp(-At)$, где t - квадрат 4-импульса, A - константа.

г/ равномерного распределения по передаваемому импульсу t . Последнее распределение используется для вычисления эффективности регистрации событий в зависимости от t . NOISAN - разыгрывает полярный θ^+ и азимутальный ϕ^+ углы вылета частиц в системе координат Готтфрида-Джексона по формуле:

$$W(\theta^+, \phi^+) = N(1 - W_{00}(\theta^+, \phi^+)) / 3/8\pi, \quad /1/$$

$$W_{00}(\theta^+, \phi^+) = \rho_{00} \cos^2 \theta^+ + \rho_{11} \sin^2 \theta^+ - \rho_{1-1} \sin^2 \theta^+ \cos 2\phi^+ - \sqrt{2} \operatorname{Re} \rho_{10} \sin 2\theta^+ \cos \phi^+,$$

где N - константа нормировки, ρ_{ij} - элементы матрицы

плотности. LORENZ - осуществляет перевод импульсов частиц из системы координат центра инерции или системы координат Готтфрида-Джексона в лабораторную систему. CROSPL - отбирает события, которые удовлетворяют условию пересечения треков с эффективной областью искровых камер и черенковских спектрометров. ERRORS - вычисляет ошибки энергий и углов вылета частиц. Рассмотрим подробнее работу подпрограммы ERRORS. Ошибки измерения энергий гамма-квантов /электронов/ черенковским гамма-спектрометром вычисляются в подпрограмме на основании измеренной экспериментально зависимости ^{1,2/} по формуле:

$$\sigma E = 3.2 E^{1/2}, \quad /2/$$

где E - энергия гамма-квантов /электронов/, выраженная в МэВ. Ошибки в определении направления вылета гамма-квантов /электронов/ с помощью искровых камер вычисляются по формулам ^{19/}:

$$\sigma \theta = 0.001 / \text{для электронов/ и} \quad /3/$$

$$\sigma \theta = (20/E) T^{1/2} / \text{для } \gamma \text{-квантов/}$$

Здесь T - толщина конвертора /в рад.ед./.

θ - проекции пространственных углов /в радианах/.

Вариация величин энергий и углов в пределах указанных выше ошибок производится методом Монте-Карло. Полученные таким способом новые значения энергий и углов (E', θ') распределены по закону Гаусса:

$$E' = E + \sigma E \cdot R_{N_1} \quad \theta' = \theta + \sigma \theta \cdot R_{N_2}, \quad /4/$$

где R_{N_i} - случайные числа, распределенные по нормальному закону со средним значением 0 и с дисперсией, равной 1. KINEMA - вычисляет кинематические величины, характеризующие рассматриваемый процесс. USER2 - производит выборку событий по кинематическим параметрам и формирует их для гистограммирования. RESET - засылает нули в общие массивы программы, содержащие информацию об отдельном событии. END - выводит на печать величину геометрической эф-

фективности, число генерированных частиц, событий и т.д. USER3 - управляет подпрограммами, формирующими распределения кинематических величин в виде гистограмм и двумерных графиков. SHOWER - разыгрывает координаты искр заряженных частиц в искровых камерах с учетом эффектов многократного рассеяния в конверторах и размножения /для гамма-квантов и электронов//¹⁰/ . Подпрограмма SHOWER работает следующим образом. Координаты точки взаимодействия и углы вылета гамма-квантов /электронов/, попавших в эффективную область спектрометров и искровых камер, преобразуются /в подпрограмме SPCHSY / из основной системы координат /с центром в мишени/ в систему координат, связанную с искровыми камерами. Затем для каждого гамма-кванта вычисляется конверсионная длина T_c по нормали к плоскости конвертора по формуле:

$$T_c = -\ln(1-R) T \cos \theta / 0.777, \quad /5/$$

где θ - угол падения гамма-квантов на плоскость конверторов, T - потенциальный путь гамма-кванта в конверторах до конверсии /в рад.ед./, R - случайное число, равномерно распределенное в интервале (0,1) . Конверсия имеет место при выполнении условия $T_c < T$. Далее определяются координаты точки конверсии и вызывается подпрограмма CONPAR , с помощью которой разыгрываются величины энергий и углов вылета конверсионных пар.

Для электронов /позитронов/ длина, на которой происходит тормозное излучение, вычисляется по формуле:

$$T_R = -\ln(1-R) T \cos \theta, \quad /6/$$

где θ - угол падения электрона /позитрона/ на плоскость конверторов, T - потенциальный путь электрона /позитрона/ в конверторах до возникновения тормозного излучения /в рад.ед./, R - случайное число (0,1) . Тормозное излучение имеет место при выполнении условия $T_R < T$. Далее определяются координаты точки,

в которой произошло тормозное излучение и вызывается подпрограмма RADRAY , с помощью которой разыгрываются энергии и углы вылета тормозного гамма-кванта и электрона /позитрона/.

Так как электроны /позитрона/ при прохождении через конверторы рассеиваются за счет многократного кулоновского рассеяния, то вводятся соответствующие поправки. CONPAR - разыгрывает методом Монте-Карло энергии конверсионных пар по формулам:

$$\psi_{\text{пар}}(v) = v^2 + (1-v)^2 + (2/3 - 2b)v(1-v), \quad /7/$$

$$v = (E' - m_e c^2) / E,$$

где $\psi_{\text{пар}}(v)$ - вероятность того, что в результате конверсии гамма-кванта с энергией E электрон /позитрон/ приобретает энергию E' (E''), b - константа, определяемая веществом конвертора, $E = E' + E''$ - энергия гамма-кванта.

Отклонение e^+e^- - пары от направления гамма-кванта описывается распределением Гаусса со среднеквадратичным отклонением, равным

$$\langle \theta^2 \rangle^{1/2} = q'(v) (m_e c^2 / E) \ln(E / m_e c^2). \quad /8/$$

RADRAY - разыгрывает методом Монте-Карло процесс тормозного излучения электронов /позитронов/ в конверторах по формулам:

$$\psi_{\text{рад}}(v) = (1/v)(1 + (1-v)^2 - (1-v)(2/3 - 2b)), \quad v = E' / U, \quad /9/$$

где $\psi_{\text{рад}}(v)$ - вероятность того, что в результате тормозного излучения электрона /позитрона/ с энергией U образуется гамма-квант с энергией E' , b - константа.

Отклонение тормозного гамма-кванта и электрона /позитрона/ от направления первичного электрона /позитрона/ описывается распределением Гаусса со среднеквадратичным отклонением, равным

$$\langle \theta^2 \rangle^{1/2} = q(v)(m_e c^2 / U) \ln(U / m_e c^2). \quad /10/$$

EXTCER - продолжает треки частиц в искровых камерах до пересечения с передней /по пучку/ плоскостью спектрометров и определяет координаты точки пересечения. CELL - вычисляет энергии, выделившиеся в черенковских спектрометрах. Подпрограмма CELL работает следующим образом. Определяется номер модуля черенковского спектрометра, в который попала частица, расстояние R от точки попадания до центра модуля, а также номера соседних модулей, примыкающих к основному. С помощью экспериментально измеренной зависимости $E_0/E = f(R)$ определяется энергия E_0 , выделенная в основном модуле частицей с энергией E. Энергии E_i , выделившиеся в модулях, примыкающих к основному, вычисляются по формуле:

$$E_i = (E - E_0) \cdot \epsilon_i, \quad /11/$$

$$\epsilon_i = \int_{a_i}^{a_i+3} \exp(-x^2/2\sigma_R^2) dx / \sum_{a_i}^{a_i+3} \exp(-x^2/2\sigma_R^2) dx, \quad i=1,6,$$

где σ_R - среднеквадратичный радиус электромагнитного ливня в свинцовом стекле /в рад.ед./, a_i - кратчайшее расстояние между точкой пересечения частицы с передней плоскостью основного спектрометра и границей спектрометра, смежного с основным /в рад.ед./.

PHONST - генерирует в искровых камерах фоновые треки и ложные искры. Фоновые треки, генерированные подпрограммой PHONST, пересекают все искровые камеры одного из двух каналов. Число ложных искр в каждой камере определяется по закону Пуассона и равномерно распределяется по всей поверхности камеры. ROTCHA - преобразует координаты искр из системы координат горизонтальных камер в систему координат повернутых камер. ACUREF - осуществляет преобразование координат искр в соответствии с заданными величинами пространственного разрешения и эффективности регистрации искр в искровых камерах.

CLOSPA - моделирует эффект регистрации близко расположенных искр в искровой камере. При этом предполагается, что из двух искр, расположенных на расстоянии меньше заданного, регистрируется искра, которая имеет меньшее значение координаты. DISCHA - выводит на печать геометрическую картину, иллюстрирующую относительное расположение искровых камер, конверторов и искр /рис.5/. DISCER - выводит на печать картину, иллюстрирующую относительное расположение модулей черенковских спектрометров и энергию, выделившуюся в них /рис.6/. Программа FAMEL осуществляет запись на магнитную пленку полной информации о генерированных программой событиях:

1. Энергию каждого из 90 спектрометров.
2. Число зарегистрированных частиц.
3. Величину импульса, направление налетающей частицы и координаты точки взаимодействия в мишене.
4. Энергии и углы вылета продуктов реакции, координаты точек конверсии гамма-квантов, а также координаты точек пересечения частиц с плоскостью черенковских спектрометров.
5. Количество искр и их координаты в искровых камерах.

С помощью программы FAMEL был моделирован процесс $\pi^- p \rightarrow \eta^0 p$, $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$ при $P_{\pi^-} = 7 \text{ ГэВ}/c$, и использован для проверки программ поиска событий и идентификации канала реакции.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Я.Гладкого, который внес большой вклад в создание первого варианта программы; профессора А.М.Балдина и доктора физико-математических наук И.А.Савина за постоянное внимание и поддержку.

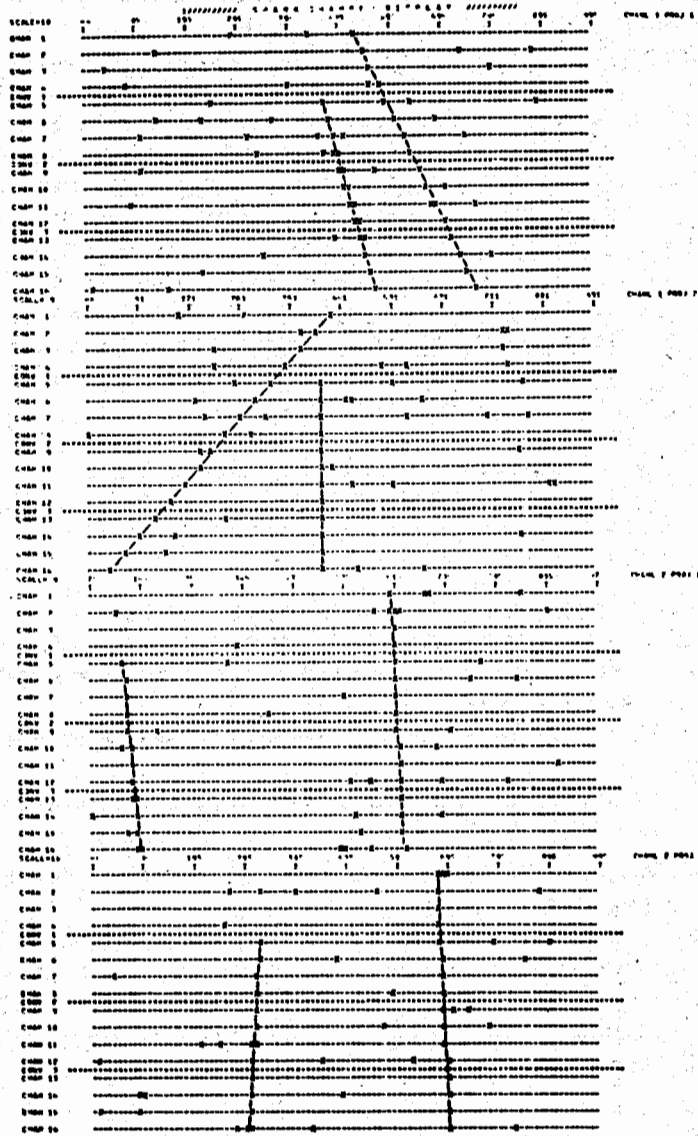


Рис.5. Картина моделированного события в искровых камерах, состоящая из гамма-квантов, фоновых шреков и ложных искр.

C E R L H E G O V D I S P L A Y

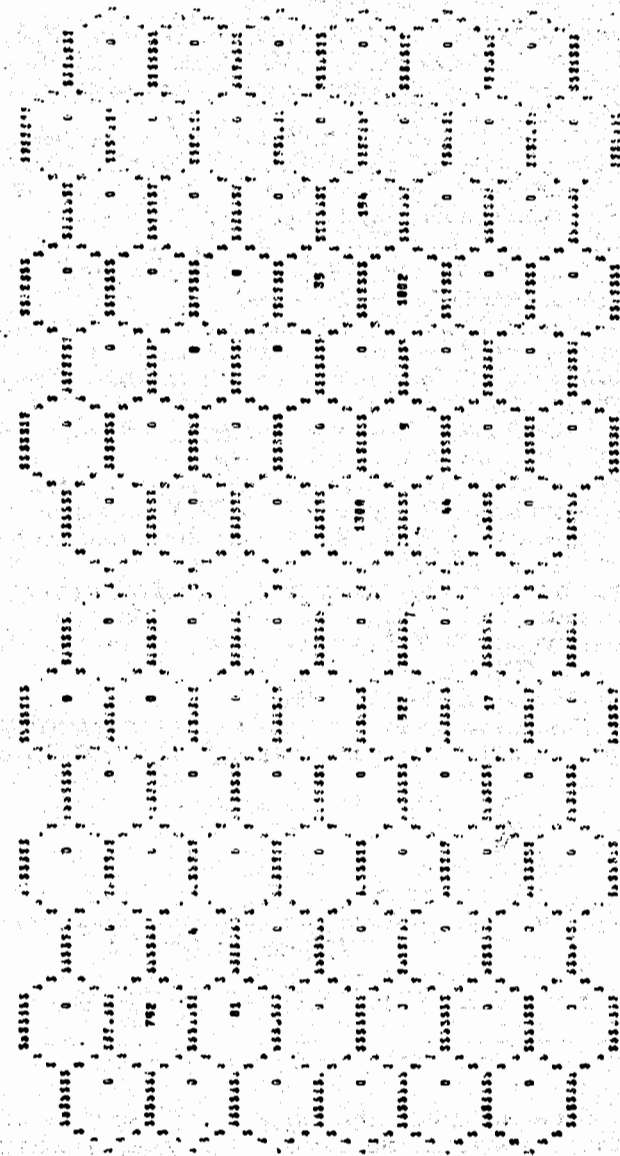


Рис.6. Картина четырехгаммного события в черенковских спектрометрах.

Литература

1. Р.Г.Аствацатуров, В.И.Иванов, Е.Кнапик, В.А.Крамаренко, Б.А.Кулаков, Г.Л.Мелкумов, А.И.Малахов, М.С.Хвастунов, М.Н.Хачатурян. Препринт ОИЯИ, Р1-7309, Дубна, 1973.
2. R.G.Astvatsaturov, V.I.Ivanov, M.N.Khachaturian, V.A.Kramarenko, B.A.Kulakov, A.I.Malakhov and G.L.Melkumov. Nucl.Instr. and Meth., 107, 105 (1973); Preprint JINR, E1-6633, Dubna, 1972.
3. M.N.Khachaturian, M.A.Azimov, A.M.Baldin, A.S.Belousov, I.V.Chuvilo, R.Firkowski, J.Hladky, M.S.Khvastunov, J.Manca, A.T.Matyushin, V.T.Matyushin, G.A.Ososkov, L.N.Shtarkov, L.I.Zhuravleva. Phys.Lett., 24B, 349 (1968).
4. R.G.Astvatsaturov, M.A.Azimov, I.V.Chuvilo, J.Hladky, V.I.Ivanov, M.N.Khachaturian, M.S.Khvastunov, A.T.Matyushin, V.T.Matyushin, L.I.Zhuravleva, A.M.Baldin, A.S.Belousov, L.N.Shtarkov. Phys.Lett., 27B, 45 (1968).
5. J.Hladky, A.M.Baldin, M.N.Khachaturian, M.S.Khvastunov, L.N.Shtarkov. Preprint JINR, E1-4841, Duvba 1969.
6. М.И.Адамович, Р.Г.Аствацатуров, А.М.Балдин, Г.Л.Мелкумов, С.П.Харламов, М.Н.Хачатурян, М.С.Хвастунов, Ф.Я.Ягудина. Краткие сообщения по физике, 1, 48 /1972/.
7. М.И.Адамович, Р.Г.Аствацатуров, А.М.Балдин, Г.Л.Мелкумов, С.П.Харламов, М.Н.Хачатурян, М.С.Хвастунов, Ф.Я.Ягудина. Краткие сообщения по физике, 5 /1972/.
8. G.R.Lynch. Preprint UCRL- 10335 (1962).
9. M.Holder, E.Radermacher et al. Phys.Lett., 40B, 1, 141 (1972).
10. Б.Росси. Частицы больших энергий. ГИТТЛ, Москва, 1955.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 мая 1974 года