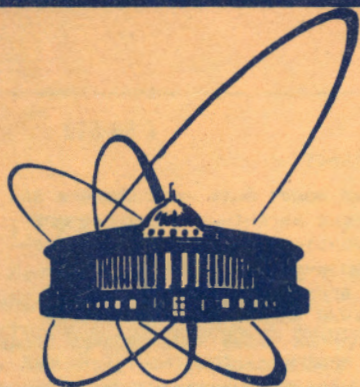


80-640



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

ЭКЗ. НИТ ЗАЛА

1-80-640

Г.Г.Тахтамышев

ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ "ТВИСТ"

**1980**

Тахтамышев Г.Г.

1-80-640

Программа моделирования "Твист"

Дается описание программы, которая может быть использована для определения характеристик широкого класса магнитных спектрометров и проверки программ геометрической реконструкции. Программа трассирует треки, принадлежащие некоторому физическому процессу, через спектрометр и формирует единый массив всех сработавших проволок. При трассировке используется оригинальный алгоритм моделирования многократного рассеяния частиц, проходящих через неоднородную среду. Для построения алгоритма использованы предположения, что рассеяние в однородном слое вещества носит гауссовский характер и что частицы движутся в сравнительно узком конусе углов. Показано, что реализация такого алгоритма на современных ЭВМ обеспечивает высокое быстродействие и не требует большого объема памяти. Программа, построенная на основе этого алгоритма, адаптирована на ЭВМ CDC-6500 и ЕС-1040. Показано, что результаты расчетов по этой программе хорошо согласуются с экспериментом.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Takhtamyshev G.G.

1-80-640

TWIST Simulation Program

A simulation program is described which can be used for obtaining magnetic spectrometer parameters and for testing geometrical recognition and reconstruction programs. The program finds tracks of some physical process particles passing through the spectrometer. As a result, an output array containing all triggered wires is provided. An original algorithm is used for simulating a multiple Coulomb scattering of particles passing through heterogenic materials. The algorithm is based on assumptions that all the particles are moving within small angle cone and that scattering angle and displacement after thin homogeneous lay of matter can be described by the Gaussian distribution. It is shown that a high speed of simulation at moderate core memory consumptions can be achieved by realization of the algorithm on modern computers. A short description of program based on the algorithm and tested on the CDC-6500 and ES-1040 computers is also presented. It is shown that the results of calculation are in good agreement with the experimental data.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.  
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1980

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Магнитный спектрометр с искровыми, пропорциональными или дрейфовыми камерами является одним из наиболее популярных детекторов в современной физике элементарных частиц. Как правило, такой спектрометр имеет один анализирующий магнит, поле которого близко к однородному. Примерами магнитных спектрометров в ОИЯИ являются "Альфа", БИС, "Гиперон".

Основные характеристики спектрометра - это его эффективность к регистрации определенного физического процесса и разрешающая способность.

Геометрическая эффективность определяется расположением и размерами камер, а также динамикой регистрируемого процесса. Кроме этого, эффективность зависит от таких факторов, как условие триггера и последующая геометрическая реконструкция события. На разрешающую способность детектора влияют в первую очередь кулоновское многократное рассеяние, шаг катушки камер и их эффективность.

Точное измерение этих характеристик важно как на стадии подготовки эксперимента, так и при обработке экспериментальных данных. Обычно эффективность и разрешающая способность детекторов определяются методом Монте-Карло. Для этого необходимо моделировать параметры треков, соответствующих изучаемому физическому процессу, трассировать их через установку и определить номера сработавших проволок в камерах, а затем восстановить с помощью программ геометрической реконструкции параметры исходного события. Помимо того, что такая процедура служит для определения характеристик спектрометра, она также весьма полезна для проверки программы геометрической реконструкции.

Известны стандартные программы, облегчающие проведение таких расчетов, например программа "Гигант"/1/К этому же классу относится предлагаемый пакет "Твист". Однако это программы, выступающие в разных "весовых категориях". "Гигант" представляет собой мощный, разветвленный комплекс программ, обеспечивающий пользователю самый разнообразный сервис. С его помощью можно проводить расчеты для установок практически любой конфигурации и учитывать более тонкие эффекты, чем позволяет пакет "Твист". С другой стороны, "Твист" работает быстрее и занимает намного меньше места в оперативной памяти ЭВМ.

Высокая скорость работы "Твиста" обеспечивается не только его более узкой специализацией, но и применением оригинального метода моделирования многократного рассеяния заряженных частиц при прохождении через вещество. Впервые этот метод был описан в работе /2/. В настоящей публикации мы его изложим с использованием более простых формул /которые практически и реализованы в программе/. Исправлены также ошибки и неточности, допущенные в первой публикации.

Затем будут приведены описание программ пакета "Твист" и некоторые его характеристики.

В последнем параграфе обсуждаются результаты сравнения расчетов по программе с экспериментальными данными.

## 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВЕЩЕСТВЕ

Одним из приближений, принятых в алгоритме "Твист", является предположение о том, что распределение углов рассеяния и смещений имеет гауссовский вид.

Двумерная плотность распределения для проекции угла рассеяния  $\theta$  и проекции смещения  $y$  имеет вид /3/

$$P(y, \theta) dy d\theta = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cdot \frac{1}{\Theta_s^2 \ell^2} \exp\left[-\frac{4}{\Theta_s^2} \left(\frac{\theta^2}{\ell} - \frac{3y\theta}{\ell^2} + \frac{3y^2}{\ell^3}\right)\right] dy d\theta, \quad /1/$$

где  $\Theta_s^2 = \frac{1}{X_0} \left(\frac{E_s}{\beta_{ср}}\right)^2$ ,  $E_s = 21$  МэВ,  $X$  - радиационная длина вещества,  $p$  - импульс частицы, а  $\ell$  - толщина слоя вещества.

Удобно заменить переменную  $y$  на безразмерную величину  $\eta = y/\ell$ . Вводя обозначение  $\lambda = \Theta_s^2 \cdot \ell$ , имеем

$$P_1(\eta, \theta) d\eta d\theta = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\lambda} \exp\left[-\frac{4}{\lambda} (\theta^2 - 3\eta\theta + 3\eta^2)\right] d\eta d\theta. \quad /2/$$

Это обычное двумерное гауссовское распределение с коэффициентом корреляции  $\rho = \frac{\sqrt{3}}{2}$  и дисперсиями

$$\sigma_\theta^2 = \lambda/2, \quad \sigma_\eta^2 = \lambda/6.$$

Легко видеть, что замена

$$\eta = \xi \cos \phi - \tau \sin \phi,$$

$$\theta = \xi \sin \phi + \tau \cos \phi$$

приводит нас к паре некоррелированных переменных  $\xi$  и  $\tau$ , если выполняется условие

$$\operatorname{tg} 2\phi = -\frac{3}{2}$$

/при этом  $\sin \phi = -\sqrt{\frac{1}{2} - 1/\sqrt{13}}$ ,  $\cos \phi = \sqrt{\frac{1}{2} + 1/\sqrt{13}}$ /. Плотность распределения этих некоррелированных величин может быть представлена в виде

$$P_2(\xi, \tau) d\xi d\tau = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\lambda} \exp\left[-\frac{4}{\lambda} \left(\xi^2 \left(2 + \frac{\sqrt{13}}{2}\right) + \tau^2 \left(2 - \frac{\sqrt{13}}{2}\right)\right)\right] d\xi d\tau. \quad /3/$$

Дисперсии величин  $\xi$  и  $\tau$  равны

$$\sigma_\xi^2 = \frac{\lambda}{4 \cdot (4 + \sqrt{13})}, \quad /4/$$

$$\sigma_\tau^2 = \frac{\lambda}{4(4 - \sqrt{13})}.$$

Теперь предположим, что частица прошла блок вещества, т.е. набор из  $n$  однородных сред, каждая из которых имеет длину  $\ell_i$  и радиационную длину  $t_i$ . Попробуем ответить на вопрос о том, каков будет вид распределения суммарного отклонения  $Y$  и суммарного угла  $T$ .

Если частица движется в направлении, близком к оси  $z$ , и углы рассеяния  $\theta_i$  малы, то

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n \theta_i (L - z_i),$$

$$T = \sum_{i=1}^n \theta_i, \quad /5/$$

где  $z$  - координата конца  $i$ -го блока, а  $L = \sum \ell_i$  - полная длина блока.

Введем опять вместо  $Y$  безразмерную величину  $H = Y/L$  и заменим в формулах /5/ переменные  $y_i$  и  $\theta_i$  на  $\xi_i$  и  $\tau_i$ .

$$H = \sum_{i=1}^n \xi_i (\ell_i \cos \phi + (L - z_i) \sin \phi) / L - \sum_{i=1}^n \tau_i (\ell_i \sin \phi - (L - z_i) \cos \phi) / L, \quad /6/$$

$$T = \sum_{i=1}^n (\xi_i \sin \phi + \tau_i \cos \phi).$$

Т.е. величины  $H$  и  $T$  являются линейными комбинациями  $2n$  независимых гауссовских величин:

$$H = \sum_{i=1}^{2n} a_i w_i, \quad T = \sum_{i=1}^{2n} b_i w_i, \quad /7/$$

где

$$a_i = \begin{cases} \frac{1}{L} (\ell_i \cos \phi + (L - z_i) \sin \phi), & 1 \leq i \leq n, \\ \frac{1}{L} (-\ell_{i-n} \sin \phi + (L - z_{i-n}) \cos \phi), & n+1 \leq i \leq 2n. \end{cases} \quad /8/$$

$$b_i = \begin{cases} \sin \phi, & 1 \leq i \leq n, \\ \cos \phi, & n+1 \leq i \leq 2n, \end{cases}$$

$$w_i = \begin{cases} \xi_i, & 1 \leq i \leq n, \\ r_{i-n}, & n+1 \leq i \leq 2n. \end{cases}$$

Естественно поэтому, что Н и Т также являются гауссовскими величинами и их дисперсии равны

$$\sigma_H^2 = \sum_{i=1}^{2n} a_i^2 \sigma_i^2, \quad /9/$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^{2n} b_i^2 \sigma_i^2.$$

$\sigma_i$  здесь обозначает стандартное отклонение величины  $w_i$ . Можно найти пару независимых величин  $f$  и  $g$ , взаимно-однозначно связанных с Н и Т. Будем искать их в виде

$$f = H \cdot \cos \gamma - T \sin \gamma, \quad /10/$$

$$g = H \sin \gamma + T \cos \gamma.$$

Очевидно, условие независимости  $f$  и  $g$  может быть записано следующим образом<sup>/4/</sup>:

$$\sum_{i=1}^{2n} (a_i \cos \gamma - b_i \sin \gamma) (a_i \sin \gamma + b_i \cos \gamma) \sigma_i^2 = 0,$$

или

$$\operatorname{tg} 2\gamma = - \frac{2 \sum_i a_i b_i \sigma_i^2}{\sum_i (a_i^2 - b_i^2) \sigma_i^2}. \quad /11/$$

Дисперсии величин  $f$  и  $g$  также легко могут быть вычислены:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^{2n} (a_i \cos \gamma - b_i \sin \gamma)^2 \sigma_i^2, \quad /12/$$

$$\sigma_g^2 = \sum_{i=1}^{2n} (a_i \sin \gamma + b_i \cos \gamma)^2 \sigma_i^2.$$

Алгоритм моделирования рассеяния в блоке вещества включает в себя предварительные расчеты и собственно процедуру моделирования угла рассеяния и смещения.

Предварительно для каждого блока вычисляются следующие величины:

$$s_1 = \sum_{i=1}^{2n} a_i^2 \sigma_i^2,$$

$$s_2 = \sum_{i=1}^{2n} b_i^2 \sigma_i^2,$$

$$s_3 = \sum_{i=1}^{2n} a_i b_i \sigma_i^2$$

/см. формулы /8//,

$$\operatorname{tg} 2\gamma = \frac{2s_3}{s_2 - s_1}, \quad \cos 2\gamma = (1 + \operatorname{tg}^2 2\gamma)^{-1/2},$$

$$\sin \gamma = \operatorname{sgn}(s_3) \cdot \sqrt{\frac{1}{2}(1 - \cos 2\gamma)},$$

$$\sigma_f^2 = s_1 \cos^2 \gamma + s_2 \sin^2 \gamma - 2s_3 \sin \gamma \cos \gamma,$$

$$\sigma_g^2 = s_1 \sin^2 \gamma + s_2 \cos^2 \gamma + 2s_3 \sin \gamma \cos \gamma.$$

В цикле моделирования затем выполняются следующие действия. Генерируется два независимых случайных числа,  $x$  и  $y$ , с нормальным распределением и стандартным отклонением 1 /для этого используется датчик RANNOR /. Затем вычисляются

$$f = x \cdot \sigma_f,$$

$$g = y \cdot \sigma_g,$$

$$Y = L (f \cos \gamma + g \sin \gamma) / p,$$

$$T = (-f \sin \gamma + g \cos \gamma) / p.$$

Здесь  $p$  - импульс рассеивающейся частицы. Во всех предыдущих формулах подразумевалось, что  $p = 1$ .

Таким образом, предположив, что функция распределения угла рассеяния и смещения в однородном слое вещества имеет гауссовский вид и что углы движения и рассеяния частиц малы, удается построить сравнительно несложный и быстро работающий алгоритм моделирования.

### 3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ "ТВИСТ"

Пакет программ "Твист" пригоден для любого спектрометра, отвечающего следующим условиям:

- 1/ спектрометр содержит не более чем один анализирующий магнит;
- 2/ поле магнита близко к однородному;
- 3/ плоскости всех камер параллельны;
- 4/ каждая камера имеет две взаимно ортогональные координатные плоскости.

Предполагается, что между камерами находятся блоки рассеивающего вещества. Таким веществом, в частности, является вещество самой камеры.

Пользователь составляет три набора информации, которую читает "Твист".

Первый набор - управляющая информация. С ее помощью определяется режим работы /сколько событий будет промоделировано, нужна ли запись информации на магнитную ленту и т.п./.

Второй набор содержит общую информацию об установке и параметры каждой камеры. В общую информацию входит полное число камер, число камер до магнита, координаты и величина магнитного поля, число блоков рассеивающего вещества и т.п. Параметрами камеры являются  $z$ -координата, угол поворота, шаг намотки, направление считывания, эффективность камеры и число рабочих проволок.

Третий набор информации - это информация о блоках рассеивающего вещества. Каждый из них может включать произвольное число элементов, т.е. слоев однородного вещества. Для каждого элемента должны быть заданы его длина и радиационная длина вещества.

Физический процесс /распад, реакция/ моделируется в программе пользователя, и параметры каждой заряженной частицы передаются "Твисту", который трассирует частицу через установку. Трассировка ведется шагами - от начальной точки до первой камеры, затем от первой до второй и т.д. "Твист" определяет номер сработавшей проволоки в очередной камере с учетом рассеяния в соответствующем блоке вещества и параметров камеры. Треки, не попадающие в апертуру магнита, отбрасываются. Результаты трассировки сообщаются пользователю, который может отбросить данный трек /или целое событие/ по некоторым дополнительным критериям.

Если событие принято, "Твист" формирует единый массив всех сработавших проволок, который может быть записан на ленту. Формируется также массив, содержащий информацию о том, какой трек вызвал срабатывание каждой проволоки.

Имеется возможность подключения пакета гистограммирования.

В настоящее время программа адаптирована для ЭВМ CDC-6500 и ЕС-1040. В секторе библиотеки программ ЛВТА имеется инструкция для пользования и листинг с результатами тестового счета. Для теста использована геометрия и камеры установки БИС-2 на апрель-май 1979 г. Моделировалось рождение в мишени лямбда-частицы с двумя пионами. Угловой и импульсный спектры частиц выбирались изотропными в некотором интервале. Для моделирования 200 событий, в которых все треки прошли установку /504 события при этом были отброшены/, потребовалось около 50 секунд времени CDC-6500. Общий объем программы /вместе с пользовательскими программами и пакетом гистограммирования/ составлял 55200<sub>8</sub> слов.

### 4. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Как было сказано выше, в используемом алгоритме допущено несколько приближений, благодаря которым удалось достичь компактности и выигрыша в скорости. Однако естественно возникает вопрос: насколько хорошо результаты такой программы описывают экспериментальные данные. До сих пор такие сравнения проведены только для установок БИС и БИС-2.

Для установки БИС<sup>5/</sup> такой метод успешно применялся при моделировании различных мод распада нейтральных каонов.

Были проведены методические исследования, при которых сравнивались тестовые распределения, полученные методом Монте-Карло, и аналогичные экспериментальные распределения<sup>6-8/</sup>.

Одним из наиболее чувствительных тестов было сравнение расчетного разрешения спектрометра по эффективной массе с экспериментальным, а также энергетическая зависимость этой характеристики.

Результаты сравнения показали хорошее совпадение всех смоделированных и экспериментальных распределений. После этого данный метод широко использовался при обработке экспериментальных данных с установки БИС, и практически все физические результаты опирались на события, смоделированные данным способом<sup>9-12/</sup>.

Для установки БИС-2 было проведено моделирование процесса рождения и последующего распада лямбда-частицы. Информация, генерированная таким способом, была обработана по программе геометрической реконструкции, и распределение по эффективной массе сравнивалось с аналогичным распределением, полученным в эксперименте. Сравнение показало, что ширина пика смоделированных лямбда-частиц примерно на 20% меньше ширины пика экспериментальных событий. Это могло быть вызвано следующими причинами:

1/ камеры спектрометра при моделировании имели 100%-ю эффективность,

2/ при моделировании не учитывался фон посторонних треков и случайных сигналов в камерах,

3/ не были приняты во внимание возможные неточности установки камеры,

4/ программа "Твист" не учитывает возможности образования кластера /т.е. срабатывания более чем одной проволоки/ от одной частицы.

По-видимому, включение в расчет этих факторов /а, возможно, лишь части их/ позволит улучшить соответствие между результатами моделирования и экспериментальными данными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Brun R. et al. Simulation Program for Particle Physics Experiments. CERN Data Handling Division DD /78/2.
2. Альбрехт К.-Ф. и др. ОИЯИ, 1-7549, Дубна, 1973.
3. Росси Б. Частицы больших энергий. ГИТТЛ, М., 1955, с.92.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. "Наука", М., 1968, с.503.
5. Базиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, P1-5361, Дубна, 1970.
6. Бирулев В.К. и др. ОИЯИ, P1-6878, Дубна, 1973.
7. Вовенко А.С. и др. ОИЯИ, 10-9909, Дубна, 1976.
8. Альбрехт К.-Ф. и др. ОИЯИ, 1-7305, Дубна, 1973.
9. Бирулев В.К. и др. ЯФ, 1976, 24, с.748; Nucl.Phys., 1976, B155, p.249.
10. Альбрехт К.-Ф. и др. ОИЯИ, ЯФ, 1978, 27, с.369.
11. Альбрехт К.-Ф. и др. ЯФ, 1974, 19, с.1247.
12. Бирулев В.К. и др. ЯФ, 1979, 29, с.1516.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 октября 1980 года.