

СЗ44. 17

A-139

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

597/2-71

1 - 5462



А.У. Абдурахимов, К.П. Вишневская,  
Нгуен Дин Ты

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

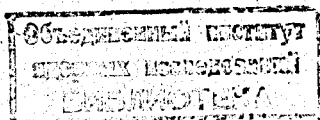
ГЕНЕРАЦИЯ ТРЕКОВ  
ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
И ЭЛЕКТРОНОВ  
С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ

1970

1 - 5462

А.У. Абдурахимов, К.П. Вишневская,  
Нгуен Дин Ты

ГЕНЕРАЦИЯ ТРЕКОВ  
ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
И ЭЛЕКТРОНОВ  
С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ



## В в е д е н и е

В работе<sup>/2/</sup> описана программа в коде БЭСМ-4, которая генерирует фиктивные треки тяжелых заряженных частиц.

Настоящая программа, написанная на языке FORTRAN, генерирует треки тяжелых заряженных частиц, а также треки электронов с учётом радиационных потерь. Ниже описывается процедура генерации.

### *Описание генерации фиктивного трека*

Трек частицы разбит на равные участки, длина каждого участка обозначена через STEP. В первой точке трека задается импульс  $P_0$ , азимутальный и глубинный углы  $\beta_0$ ,  $\alpha_0$ , а также координаты  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ . Эти шесть параметров рассчитываются после прохождения частицей пути STEP и будут исходными для следующего участка пути и т.д.

В основе расчёта лежит система уравнений<sup>/3/</sup>:

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{e}{PC} (H_y \cos \beta - H_x \sin \beta), \quad (1)$$

$$\frac{d\beta}{ds} = \frac{e}{PC} [-H_z + \operatorname{tg} \alpha (H_x \cos \beta + H_y \sin \beta)], \quad (2)$$

$$\frac{dP}{ds} = \left( \frac{dP}{ds} \right)_{\text{ион}} + \left( \frac{dP}{ds} \right)_{\text{рад.}} \quad (3)$$

$$\frac{dX}{ds} = \cos \alpha \cos \beta \quad (4)$$

$$\frac{dY}{ds} = \cos \alpha \sin \beta \quad (5)$$

$$\frac{dZ}{ds} = \sin \alpha \quad (6)$$

В этих выражениях

$$\frac{e}{C} = 0,3 \quad .$$

$H_x$  ,  $H_y$  ,  $H_z$  - проекции на оси координат напряженности магнитного поля в килогауссах.

$$ds = \text{STEP} \quad (\text{в сантиметрах}).$$

Первый член уравнений (3) характеризует ионизационные потери как для тяжелых частиц, так и для электрона. Второй член учитывает средние радиационные потери только для электрона.

Для частиц тяжелее электрона радиационные потери не учитываются. Радиационные потери для электронов могут сильно отличаться от средних. В программе это учтено следующим образом.

В пренебрежении потерями на столкновения вероятность того, что электрон с импульсом  $P_0$  , пройдя слой  $ds$  , будет иметь импульс от  $P$  до  $P + dP$  , дается выражением/4/:

$$W(P) dP = \frac{dP}{P_0} \left( \ln \frac{P_0}{P} \right)^{t-1} [\Gamma(t)]^{-1} \quad (7)$$

где

$$t = \frac{ds}{\ln 2 \cdot X_0} \quad ,$$

$X_0$  - радиационная длина.

Для  $t \ll 1$   $\Gamma(t) \approx \frac{1}{t}$ .

При  $\frac{P}{P_0} \approx 1$  хорошим приближением формулы (7) является выражение

$$W(P) = t P_0^{-1} (1 - P P_0^{-1})^{t-1} \quad (8)$$

Среднее значение импульса на выходе слоя  $ds$  равно:

$$\bar{P} = P_0 (1 - t \ln 2) \quad (9)$$

Средние же радиационные потери на единицу длины будут:

$$\left( \frac{dP}{ds} \right)_{\text{рад.}} = \frac{\bar{P} - P}{ds} \approx - \frac{P_0}{X_0} \quad (10)$$

В таком виде в формуле (3) взят член, определяющий средние радиационные потери. Отклонение от среднего значения импульса

$$\delta P = \bar{P} - P \quad (11)$$

определяет флюктуацию в радиационных потерях. Величина может быть любой в пределах спектра и определяется следующим образом.

Если перейти к новой переменной

$$U = \frac{\int_0^P W(P) dP}{\int_0^{P_0} W(P) dP} \quad (12)$$

то при изменении  $P$  от 0 до  $P_0$  по закону  $W(P)$  переменная  $U$  будет меняться от 0 до 1 с равной вероятностью  $W(U)$ . Действительно,

$$dU = \frac{W(P) dP}{\text{const}} \quad \text{и} \quad W(U) = W(P) \frac{dP}{dU} = \text{const}.$$

Переменная  $U$  находится с помощью стандартной программы случайных чисел. Для случая  $\frac{P}{P_0} \approx 1$  связь между  $P$  и  $U$  будет иметь вид

$$P = P_0 [1 - (1 - U)^{1/t}] \quad (13)$$

При больших потерях электронов в слое  $ds$  связь между  $P$  и  $U$  взята в виде

$$P = P_0 \left[ X_{i-1} + 0,01 \left( \frac{U - S_{i-1}}{S_i - S_{i-1}} \right) \right], \quad (14)$$

где  $S_i = \int_0^P W(P) dP$  вычисляется численным методом при разных  $P = P_0 X_i$  через определенный интервал  $\Delta P = 0,01 P_0$ . Величина  $U$  удовлетворяет условию

$$S_{i-1} \leq U < S_i.$$

Среднее значение импульса  $\bar{P}$ , полученное при интегрировании уравнения (3), исправляется на величину  $\delta P$ . Импульс на выходе слоя  $ds$

$$P = \bar{P} - \delta P. \quad (15)$$

В уравнения (1) + (3) подставляется уже исправленное значение импульса. Многократное рассеяние исказит результаты выполненного интегрирования. Учёт многократного рассеяния и ошибок измерения сделан так, как в работе<sup>2/</sup>.

### Описание программы

На рис. 1 приведена упрощенная схема программы генерации треков. С помощью основной программы **GENER** вводятся следующие величины:

1. Таблица значений проекций на оси координат напряженности магнитного поля.
2. Число генераций трека (**NEV**). Максимальное число генераций - 500.
3. Максимальное число точек на треке (**NP**), которое можно вывести на печать, оно равно 20.
4. Шаг расчёта точек в сантиметрах (**STEP**).
5. Масса частицы в  $Mэв/c^2$  (**AM**).

6. Глубинный угол в радианах ( $A_1$ ).
7. Азимутальный угол в радианах ( $A_2$ ).
8. Начальный импульс частицы в Мэв/с ( $A_3$ ).
9. Координаты начальной точки траектории ( $A_4$ ,  $A_5$ ,  $A_6$ ).
10. Два идентификатора ISW(2), которые играют роль переключателей.

11. Номера начальной и конечной точек на треке, в которых строятся распределения по импульсу (KJ, NT).

12. Число, определяющее интервал между точками, в которых строятся распределения (KN).

Программа GENER вызывает подпрограмму FIKTIV, в которой осуществляется процедура генерации трека. Формальными параметрами этой подпрограммы являются:

1. Число генераций трека (NEV).
2. Число точек на треке (NP), которые выводятся на печать.
3. Шаг расчёта точек (STEP).
4. Ошибки в определении координат ( $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ ).
5. Коэффициент многократного рассеяния (CMD).
6. Радиационная длина (RL).

Кроме подпрограммы FIKTIV, еще используется 11 подпрограмм.

MAGFIL вычисляет в каждой точке трека компоненты напряженности магнитного поля. Подробно эта программа описана в работе/1/.

EXTERN вычисляет правые части уравнений (1) + (6).

AUTORK интегрирует дифференциальные уравнения (1) + (6) методом Рунге-Кутты с автоматическим выбором шага. Эта подпрограмма вызывает подпрограмму INTSTP, которая выполняет ту же роль, что и AUTORK, но для постоянного шага интегрирования.

RANNOR генерирует два случайных числа, распределенных по нормальному закону с дисперсией, равной единице.

RNDM генерирует случайные числа, равномерно распределенные в интервале (0,1).

EKSTR, DISTRI, HISTOG осуществляют построение распределений по импульсу в точках трека.

HEITLR определяет разыгранное значение импульса  $P$  на выходе слоя STEP .

Подпрограммы AUTORK , INTSTP , RANNOR , RNDM описаны в библиотеке СП на машине БЭСМ-6. Под заголовком "INITIAL PARAMETERS" печатаются величины, первоначально введенные программой GENER . Под заголовком "CALCULATED PARAMETERS" в строчку печатаются рассчитанные величины: номер точки, расстояние точки от начала трека, глубинный и азимутальный углы, импульс и координаты точки с учётом ошибок измерения. Указанные величины печатаются для каждой точки трека для данного числа генераций. Имеется вариант программы, когда кроме печати, выдаются еще гистограммы распределений по  $P$  . В обоих случаях происходит запись результатов на магнитную ленту.

#### Проверка программы

Было генерировано по 500 треков:

$\pi^-$ - мезонов с  $P_0 = 5000$  Мэв/с,

протонов с  $P_0 = 2000$  Мэв/с,

электронов с  $P_0 = 1500$  Мэв/с.

Эти треки обчислены по геометрической программе ГЕОФИТ-1 .

Результаты представлены в виде гистограммы соответственно на рисунках 2 (а,б,в) и в таблице. Видно, что после обчёта по программе ГЕОФИТ-1 получены в пределах ошибок те же значения импульсов.

Предлагаемый метод учёта радиационных потерь для электрона был проверен еще иным способом. Генерировались треки электронов с  $P_0 = 300$  Мэв/с с учётом только радиационных потерь и многократного рассеяния. Полученные распределения по импульсу на выходе слоя пропана толщиной 10 см и 20 см представлены на рис. 3 (а,б). На этих же рисунках нанесена теоретическая кривая. Видно, что в обоих случаях наблюдается удовлетворительное согласие между гистограммой и теоретической кривой.

В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить М.И. Соловьева, Е.Н. Кладницкую, В.Н. Пенева, В.М. Полову, В.А. Беякова, Х.Я. Супичакова и Ю.В. Тевзадзе за постоянный интерес к работе и обсуждения.



Авторы также благодарят лаборантку В.С. Ваксину за подготовку программ.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев. Сообщение ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
2. А.Д. Макаренкова, В.И. Мороз, А.П. Стельмах, Г.И. Тентюкова. Препринт ОИЯИ, Р10-3526, Дубна, 1967.
3. Г.А. Емельяненко, К.П. Ломов, Г.И. Макаренко, В.И. Мороз, И.С. Сантов, А.П. Стельмах. Препринт ОИЯИ, Р-2829, Дубна, 1966.
4. В. Гайтлер. Квантовая теория излучения. ИЛ, Москва, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел

4 декабря 1970 года.

ТАБЛИЦА

Параметры  $P$ ,  $\text{tga}$ ,  $\beta$ ,  $\pi^-$ -мезонов, заложенные как начальные условия в генератор, а также результаты расчёта этих параметров по программе ГЕОФИТ-1

№ расч.	Параметр	число со- бытий час- тиц и вид	Результаты		
			Генератор	ГЕОФИТ-1	
1	P(Мэв/с)		1000	1001.78	+1.78 ± 2.88
		500	0.30934	0.30996	-0.00062 ± 0.00032
		"	1.57000	1.56988	-0.00012 ± 0.00020
			40.0	40.0	
2	P(Мэв/с)		2750	2762.49	+ 12.5 ± 9.3
		500	-0.30934	-0.30959	-0.00025 ± 0.00015
		"	1.57000	1.56984	-0.00016 ± 0.00010
			40	40	
3	P(Мэв/с)		5000	4998.89	-1.11 ± 6.5
		500	0.00	0.00127	0.00127 ± 0.00009
		"	1.57079	1.57084	+0.00005 ± 0.00006
			160	160	
4	P(Мэв/с)		10000	10002.3	+2.29 ± 26.8
			0.0	0.00016	0.00016 ± 0.000084
		250	1.57000	1.57000	0.0 ± 0.000087
			100	100	
5	P(Мэв/с)		15000	15066	+66.0 ± 59.0
			0.10033	0.10059	0.00026 ± 0.000056
		500	1.57079	1.57075	-0.0004 ± 0.0003
			50	50	
6	P(Мэв/с)		10000	39904.5	-95.46 ± 85.8
		500	0.0	0.00019	0.00019 ± 0.00018
		"	1.57000	1.56998	-0.00002 ± 0.000012
			120	120	

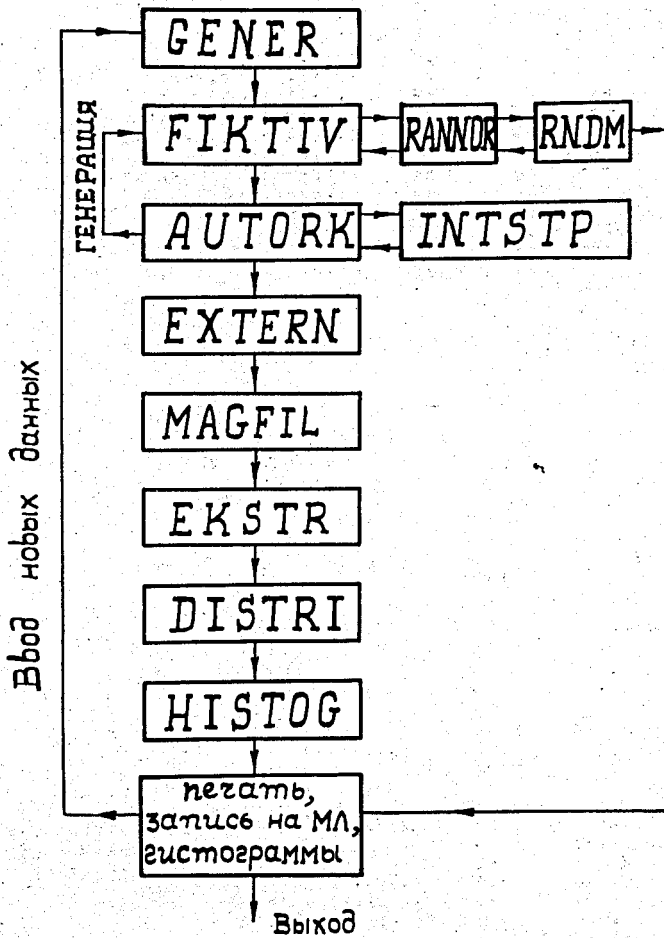


Рис. 1. Упрощенная схема программы генерации треков.

a)

-----S P E C T R M O M E N T U M-----

BELOW THE LIMIT,                      ABOVE THE LIMIT

TOTAL NUMBER OF EVENTS 498                      UNIT= 3  
 INTERVAL                      EVENTS

Interval	Events	Count	Signature
4.5037+03	4.5599+003	2	I
4.5599+003	4.6161+003	2	I
4.6161+003	4.6723+003	4	IX1
4.6723+003	4.7285+003	9	IXXX
4.7285+003	4.7847+003	27	IXXXXXXXXX
4.7847+003	4.8409+003	46	IXXXXXXXXXXX
4.8409+003	4.8971+003	44	IXXXXXXXXXXX
4.8971+003	4.9533+003	70	IXXXXXXXXXXX
4.9533+003	5.0095+003	55	IXXXXXXXXXXX
5.0095+003	5.0658+003	70	IXXXXXXXXXXX
5.0658+003	5.1220+003	56	IXXXXXXXXXXX
5.1220+003	5.1782+003	35	IXXXXXXXXXXX
5.1782+003	5.2344+003	29	IXXXXXXXXXXX
5.2344+003	5.2906+003	19	IXXXXXX1
5.2906+003	5.3468+003	11	IXXX?
5.3468+003	5.4030+003	10	IXXX1
5.4030+003	5.4592+003	2	I
5.4592+003	5.5154+003	3	IX
5.5154+003	5.5716+003	2	I
5.5716+003	5.6278+003	2	I

b)

-----S P E C T R M O M E N T U M-----

BELOW THE LIMIT,                      ABOVE THE LIMIT

TOTAL NUMBER OF EVENTS 500                      UNIT= 2  
 INTERVAL                      EVENTS

Interval	Events	Count	Signature
1.7800+003	1.8000+003	0	I
1.8000+003	1.8200+003	0	I
1.8200+003	1.8400+003	0	I
1.8400+003	1.8600+003	2	IX
1.8600+003	1.8800+003	3	IX1
1.8800+003	1.9000+003	18	IXXXXXXXXX
1.9000+003	1.9200+003	17	IXXXXXXXXX1
1.9200+003	1.9400+003	33	IXXXXXXXXXXX
1.9400+003	1.9600+003	40	IXXXXXXXXXXX
1.9600+003	1.9800+003	63	IXXXXXXXXXXX
1.9800+003	2.0000+003	73	IXXXXXXXXXXX
2.0000+003	2.0200+003	88	IXXXXXXXXXXX
2.0200+003	2.0400+003	62	IXXXXXXXXXXX
2.0400+003	2.0600+003	43	IXXXXXXXXXXX
2.0600+003	2.0800+003	33	IXXXXXXXXXXX
2.0800+003	2.1000+003	21	IXXXXXXXXXXX
2.1000+003	2.1200+003	8	IXXXY
2.1200+003	2.1400+003	5	IXX1
2.1400+003	2.1600+003	3	IX1
2.1600+003	2.1800+003	3	IX1
2.1800+003	2.2000+003	3	IX1
2.2000+003	2.2200+003	0	I
2.2200+003	2.2400+003	0	I

в)

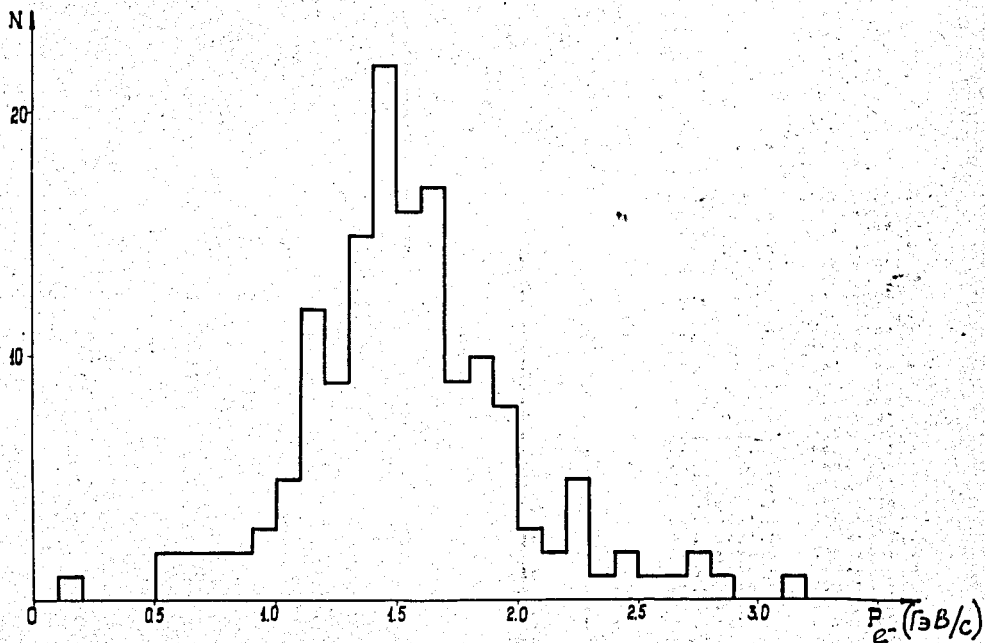
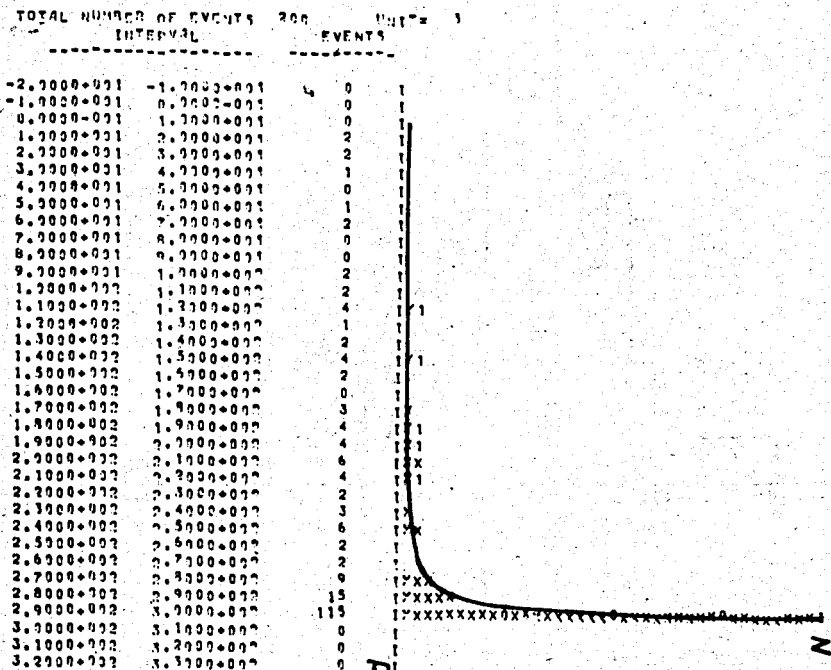


Рис. 2. Распределения импульсов, вычисленных по генерированным трекам, по программе ГЕОФИТ-1. Начальный импульс частиц при генерации задан для: а)  $\pi$ -мезонов - 5000 Мэв/с, б) протонов - 2000 Мэв/с, в) электронов - 1500 Мэв/с. В каждом распределении 500 событий.

Рис. 3. Распределения импульсов, вычисленных при генерации треков электронов без учёта ионизационных потерь на выходе слоя пропана, толщиной: а) 10 см, б) 20 см. Начальный импульс электронов на входе заданного слоя пропана - 300 Мэв/с. В каждом распределении 200 событий.

а)



6)

TOTAL NUMBER OF EVENTS 241 "N" = 2  
 INTERVAL EVENTS

INTERVAL	EVENTS	"N"
-3.0000+001	0	1
-2.0000+001	0	1
-1.0000+001	0	1
0.0000+001	1	1
1.0000+001	4	1XX
2.0000+001	1	1
3.0000+001	5	1XX1
4.0000+001	2	1X
5.0000+001	2	1X
6.0000+001	4	1XX
7.0000+001	1	1
8.0000+001	2	1X
9.0000+001	2	1X
1.0000+002	3	1X1
1.1000+002	3	1X1
1.2000+002	3	1X1
1.3000+002	2	1X
1.4000+002	9	1XXXX1
1.5000+002	1	1X1
1.6000+002	5	1XX1
1.7000+002	1	1
1.8000+002	5	1XX1
1.9000+002	7	1XX1
2.0000+002	9	1XXXX1
2.1000+002	2	1X
2.2000+002	6	1XXX
2.3000+002	7	1XXX1
2.4000+002	7	1XXX1
2.5000+002	4	1XX
2.6000+002	7	1XXXX
2.7000+002	12	1XXXXXXXX
2.8000+002	23	1XXXXXXXXXX
2.9000+002	58	1XXXXXXXXXX
3.0000+002	0	1
3.1000+002	0	1
3.2000+002	0	1
3.3000+002	0	1

p

N