

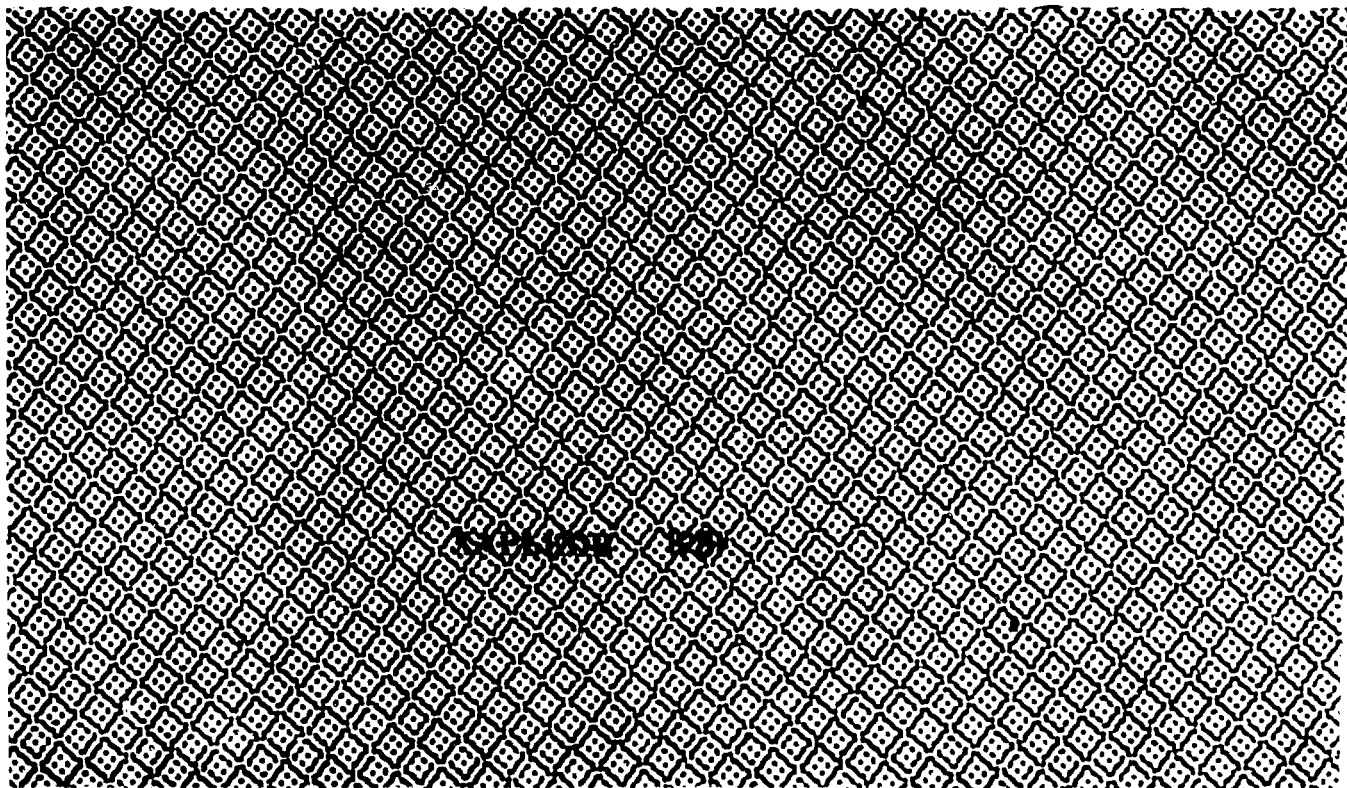


ХФТИ 81-16

ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА  
И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

В.И.Артемов, А.Н.Довбня, Ф.А.Пеев

ЭМИТРА - ПРОГРАММА  
ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ДИНАМИКИ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ  
И СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ



УДК 681.3.06:621.384

Артемов В.И., Довбня А.Н., Пеев Ф.А.

**ЭМИТРА - ПРОГРАММА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ И СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТИРОВКИ.**

Препринт ХФТИ АН УССР, ХФТИ 81-16, Харьков. 1981, 36 с.

Описана программа ЭМИТРА, предназначенная для моделирования динамики пучков электронов (позитронов) в линейных ускорителях и системах транспортировки. Программа написана на языке ФОРТРАН для ЭВМ типа БЭСМ-6, используется комплекс графических программ ГРАФОР. Рассмотрен алгоритм программы. Моделирование основано на методе траекторий; учитывается взаимосвязь между фазой и энергией частицы, обусловленная неизощностью траектории частицы, а также ее скольжением относительно ускоряющей волны. Результаты расчета могут быть выведены на печать в виде таблиц или на графопостроитель в виде графиков. Приведены инструкция по использованию и пример моделирования для канала, содержащего характерные элементы линейного ускорителя: дрейфовые промежутки, квадрупольные линзы, ускоряющие секции с соленоидом или без него.

(3 ил., 3 прилож., список лит. - II назв.).

© Харьковский физико-технический институт (ХФТИ), 1981.

## И. В В Е Д Е Н И Е

Математическое моделирование на ЭВМ динамики пучков заряженных частиц широко применяется при расчетах и исследованиях ускоряюще-фокусирующих каналов и систем транспортировки пучков. В частности, весьма популярна программа TRANSPORT [1-3], в которой используется метод матричного преобразования фазового эллипсоида пучка. Программа с многочисленными добавлениями и исправлениями поставлена на ЭВМ БЭСМ-6 [4]. TRANSPORT обладает такими достоинствами, как высокая скорость счета, наличие блока оптимизации канала и др.; однако принятое в программе допущение о равномерном заполнении частицами фазового объема может в ряде случаев приводить к несоответствию модели реальному объекту. Известны и другие аналогичные программы, описанные в работах [5,6].

В последние годы написаны программы, основанные на методе траекторий [7-9]. Суть метода состоит в расчете траекторий отдельных частиц пучка и статистической обработке получаемых результатов. Выборка частиц из начального фазового объема пучка осуществляется по методу Монте-Карло с учетом реальных функций распределения. В таком случае информация об изменении фазового объема пучка в процессе его ускорения и транспортировки становится более достоверной и полной. Вследствие этого метод траекторий часто оказывается предпочтительнее метода матричного преобразования фазового эллипсоида, несмотря на увеличение затрат расчетного времени ЭВМ. При разработке нового канала представляется целесообразным на различных этапах расчета использовать программы обоих типов. Предварительный расчет и

оптимизация огибающих пучка могут быть проведены с помощью программы типа TRANSPORT, а уточнение режимов работы элементов канала и ожидаемых параметров пучка — по методу траекторий.

Ранее в ХФТИ была разработана программа моделирования динамики частиц методом траекторий на ЭВМ типа М-220 [10]. После внесения в нее целого ряда изменений и дополнений, перевода на язык ФОРТРАН и постановки на ЭВМ БЭСМ-6 появилась качественно новая программа, получившая название ЭМИТРА.

Программа ЭМИТРА ориентирована, в основном, на моделирование динамики релятивистских частиц в электронных линейных ускорителях. По этой причине, кроме элементов, характерных для систем транспортировки, в канал могут быть включены ускоряющие секции различных типов, в том числе секции с соленоидом, где на частицы воздействует продольное магнитное поле, либо одновременно ускоряющее электрическое и продольное магнитное поля. При разработке программы были учтены наиболее существенные, по мнению авторов, достоинства известных аналогов. Так, метод Монте-Карло использован не только для задания начальных параметров частиц, но и для моделирования неустойчивостей полей в элементах канала [8]. Особое внимание уделено уменьшению затрат времени исследователя на обработку и анализ результатов расчета. Для этого предусмотрен вывод результатов не только в виде таблиц, но и в виде графиков, причем информация может быть выведена в полном объеме или выборочно и в любой последовательности. Печатаемые таблицы и построение графиков осуществляется в форме, принятой при измерении реальных параметров. Среди других особенностей программы необходимо отметить:

- отсутствие учета кулоновского расталкивания частиц и взаимодействия пучка с ускоряющей структурой;
- возможность моделирования пучков электронов (или позитронов) и отдельных частиц в каналах произвольной структуры с числом элементов не более 100;
- применение Международной системы единиц СИ (исключение составляет фаза частицы или ускоряющей волны, измеряемая в

угловых градусах). Параметры моделируемых частиц и пучка задаются в единицах, принятых при измерениях на реальных установках (см, мрад, МэВ, град);

- возможность вывода такой информации, как структура канала, траектории отдельных частиц, отгибающие пучка, данные о потерях частиц в канале (токопрохождение), параметры пучка на входе в канал и на его выходе (угловое распределение частиц, профиль, эмиттанс пучка, энергетический и фазовый спектры).

## 2. АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ ЭМИТРА

Математический аппарат программы ЭМИТРА основан на матричном преобразовании координат частиц пучка в шестимерном фазовом пространстве  $[X, Y, X', Y', E, \varphi]$ , где

$X, Y$  - величина поперечного смещения частицы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$X', Y'$  - угол наклона траектории частицы относительно оси канала в горизонтальной и вертикальной плоскостях;

$E$  - энергия частицы;

$\varphi$  - фаза частицы относительно центра сгустка.

Матричный формализм достаточно полно изложен в цитируемой литературе и в данной статье не рассматривается.

Работа программы в случае моделирования пучка частиц поясняется алгоритмом, блок-схема которого приведена на рис. I. Отметим, что здесь нами использованы правила составления блок-схем, предложенные в работе [II]. Блок MI предусматривает ввод с перфокарт исходных данных: характеристик ускорителя, констант (апертура канала, сорт частиц и др.), структуры канала, начальных параметров пучка, а также задание на расчет (указывается количество частиц, которое должно быть получено на выходе канала) и вывод результатов счета. Исходные данные выпечатываются цифропечатающим устройством (ЦПУ) и затем в блоке M3 производится выборка из начального фазового объема пучка первой частицы с координатами  $X_0, Y_0, X'_0, Y'_0, E_0, \varphi_0$ . На координаты частицы наложены ограничения, обусловленные

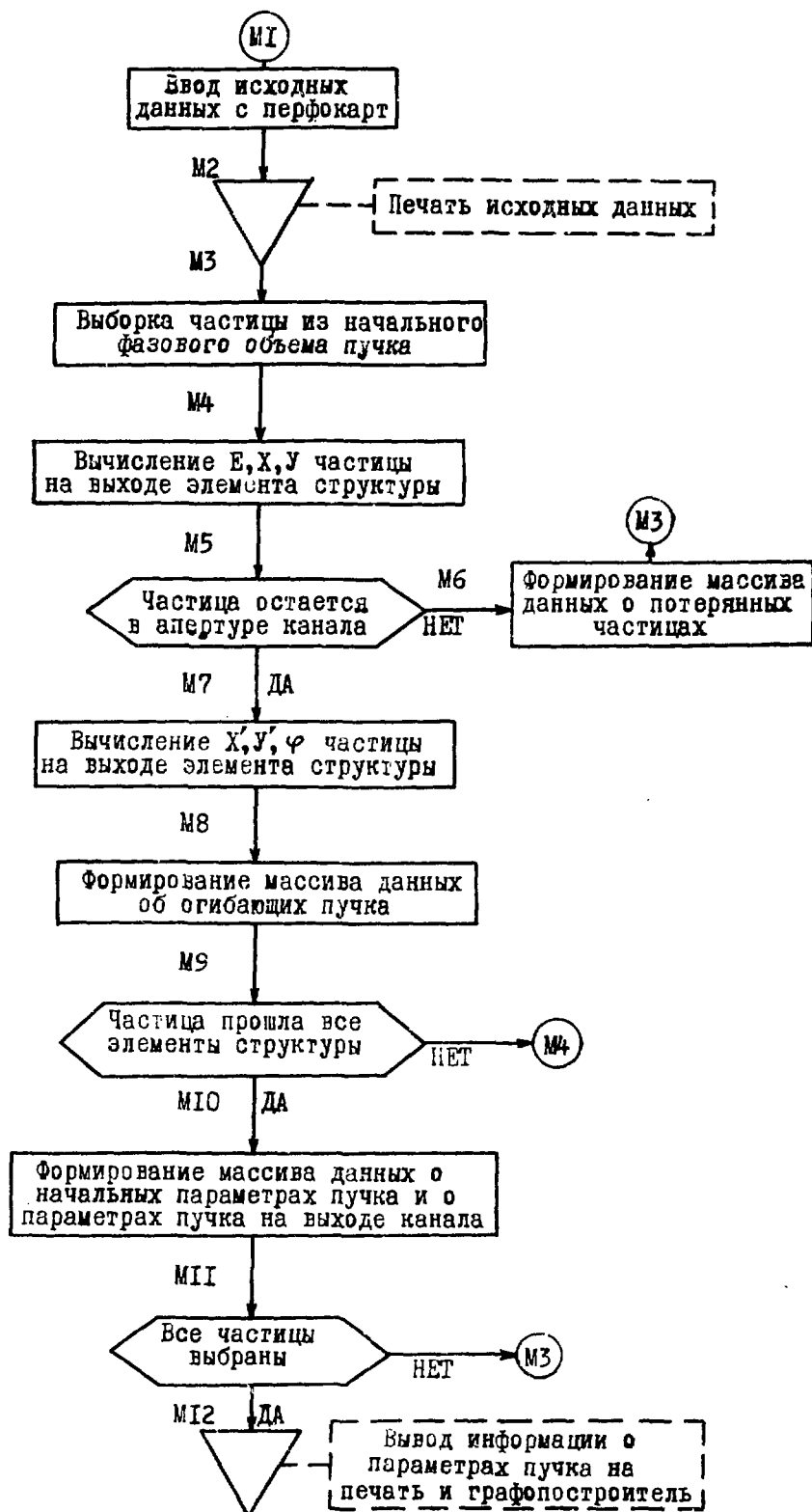


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы ЭМИТРА

размерами проекций фазового объема на плоскости  $X_0OX'_0$  и  $Y_0OY'_0$ :

$$\left(\frac{x_0}{x_m}\right)^2 + \left(\frac{x'_0}{x'_m}\right)^2 \leq 1, \quad \left(\frac{y_0}{y_m}\right)^2 + \left(\frac{y'_0}{y'_m}\right)^2 \leq 1. \quad (I)$$

Здесь  $x_m, y_m$  - максимальные размеры пучка на входе в канал,  $x'_m, y'_m$  - максимальные углы расходимости пучка. Далее осуществляется расчет параметров частицы по прохождении ею элемента структуры. Причем, для ускорения счета сначала определяются координаты  $X, Y$  на выходе очередного элемента, а также вычисляется энергия частицы  $E$ , если она необходима для нахождения  $X, Y$ . Расстояние частицы от оси сравнивается с радиусом апертуры канала (блок М5). Если частица выходит за апертуру, то она регистрируется в массиве данных о потерянных частицах и в дальнейшем счете не участвует. Затем происходит переход к блоку М3. Если же частица остается в апертуре канала, то вычисляются ее прочие параметры  $(X', Y', \varphi)$ . В блоке М3 из координат  $X, Y$  накапливаются данные об огибающих пучка. Оператор условного перехода блока М9 управляет проводкой частицы последовательно через все элементы структуры. Пройдя весь канал, она регистрируется в одном из 30 поддиапазонов, на которые разбит диапазон изменения каждого из шести параметров пучка, как на входе в канал, так и на его выходе. Таким образом происходит формирование массива данных о начальных и конечных параметрах пучка. В блоке М11 выполняется оператор условного перехода в зависимости от количества частиц, пропущенных каналом, и, если на выходе не получено заданное число, то из начального фазового объема выбирается очередная частица, для которой расчетный цикл повторяется, начиная с метки М4. По окончании расчета для всего пучка результаты выводятся на ЦПУ и графопостроитель.

Ввиду того, что массив данных о начальных параметрах пучка формируется только для прошедших частиц, появляется возможность рассчитать аксептанс канала. Для этого достаточно задать начальный фазовый объем пучка заведомо больше того, который может быть пропущен каналом.

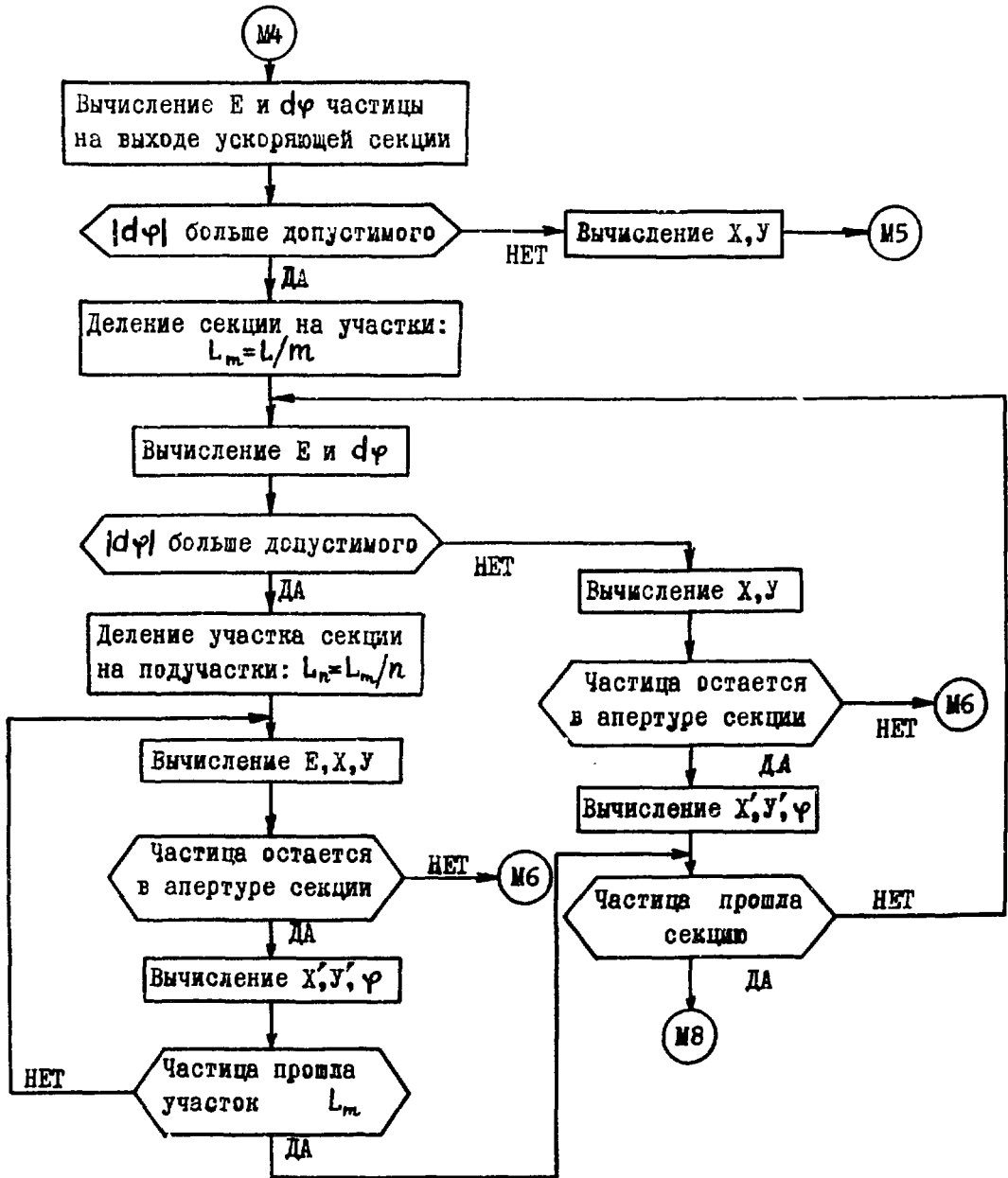


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета параметров частицы по прохождению ее ускоряющей секции



При выборе начальных параметров частицы применяются стандартные подпрограммы-генераторы псевдослучайных чисел RANNOR и RNDM(-I,0) с нормальным и равномерным законом распределения соответственно.

В программе ЭМИТРА учитывается связь между фазой и энергией частицы, которая обусловлена неизохронностью траектории, а также скольжением частицы относительно ускоряющей волны. Уравнения продольного движения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dz} &= q \mathcal{E}_0 \cdot e^{-\alpha z} \cdot \cos(\varphi_0 + \kappa \cdot z), \\ \frac{d\varphi}{dz} &= -\frac{\pi}{\lambda} \cdot (x_1'^2 + y_1'^2) \cdot \frac{E_0}{E} + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{W_0}{E} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $z$  - продольная координата частицы;  $q \mathcal{E}_0$  - напряженность электрического поля в начале ускоряющей секции;  $\alpha$  - постоянная затухания поля в секции;  $\kappa = \frac{2\pi}{V_{гp}} \cdot \Delta f$  - коэффициент скольжения;  $\Delta f$  - отклонение частоты ускоряющего ВЧ-поля от номинальной;  $V_{гp}$  - групповая скорость волны;  $\lambda$  - длина волны ускоряющего ВЧ-поля;

$$x_1' = x_0' + \frac{3,78 \cdot 10^{-4} \cdot H}{2 E_0} \cdot y_0'; \quad y_1' = y_0' - \frac{3,78 \cdot 10^{-4} \cdot H}{2 E_0} \cdot x_0',$$

$H$  - напряженность продольного магнитного поля;  $W_0$  - энергия покоя частицы.

Решение системы уравнений (2) находится путем численного интегрирования в соответствии с алгоритмом расчета рис. 2. Вначале производится вычисление энергии  $E$  и приращение фазы  $d\varphi$  частицы на длине  $L$  секции. Если модуль приращения фазы не превышает некоторого допустимого значения  $d\varphi_g$ , то расчет продолжается обычным путем. При  $|d\varphi| > d\varphi_g$  секция делится на  $m$  участков длиной  $L_m$  каждый, и частица последовательно пропущается через все эти участки. Причем для каждого такого участка также оценивается приращение фазы  $d\varphi$ , и в случае  $|d\varphi| > d\varphi_g$  соответствующий участок будет разделен на  $n$  подучастков. Расчет в каждой ветви алгоритма идет по одной схеме: вычисляются координаты  $X, Y$  частицы в конце каждого участка (подучастка), которые затем сравниваются с апертурой секции;

если частица выходит за апертуру, осуществляется возврат в блок М6 (рис. 1), если же частица не теряется, то вычисляются параметры  $X', Y', \psi$ . По прохождении частицей всей ускоряющей секции происходит переход к блоку М8. Выбор приращения фазы в качестве критерия точности расчета оказался оправданным. Это подтвердилось проверочными расчетами для стандартной ускоряющей секции ускорителя ЛУ-2. Энергия частицы на входе в секцию варьировалась от 3 до 25 МэВ, фаза - от 0 до  $360^\circ$ . Опыт показал, что с точки зрения точности расчета вполне приемлемы значения  $\Delta\psi_y = 10^\circ$ ,  $m = n = 10$ .

### 3. ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ ЭМИТРА

Программа ЭМИТРА написана для ЭВМ БЭСМ-6, работающей в мониторной системе ДУБНА в рамках операционной системы ДИСПАК. Используется комплекс графических программ ГРАФОР.

Функциональная часть программы записана на магнитной ленте, где фортранский текст занимает 10 зон, а персональная библиотека - 11 зон. На ленту переписаны также стандартные подпрограммы RANNOB и RNDM из библиотечной ленты I БЭСМ-6. Закажутся магнитные ленты, обеспечивающие построение графиков.

Пакет перфокарт составляется в последовательности, показанной на рис. 3.

Карты данных в пакете следуют за управляющей картой \*EXECUTE.

3.1. Карта частотных характеристик ускорителя содержит следующие данные:

- $F$  - рабочая частота ускоряющего ВЧ-поля, МГц;
- $\Delta f$  - отклонение частоты от рабочего значения, кГц;
- $\nu$  - флуктуация частоты ускоряющего поля, кГц.

Если  $\nu \neq 0$ , то флуктуация разыгрывается автоматически по равномерному закону распределения. (Карта перфорирована в формате 3F10.3.).

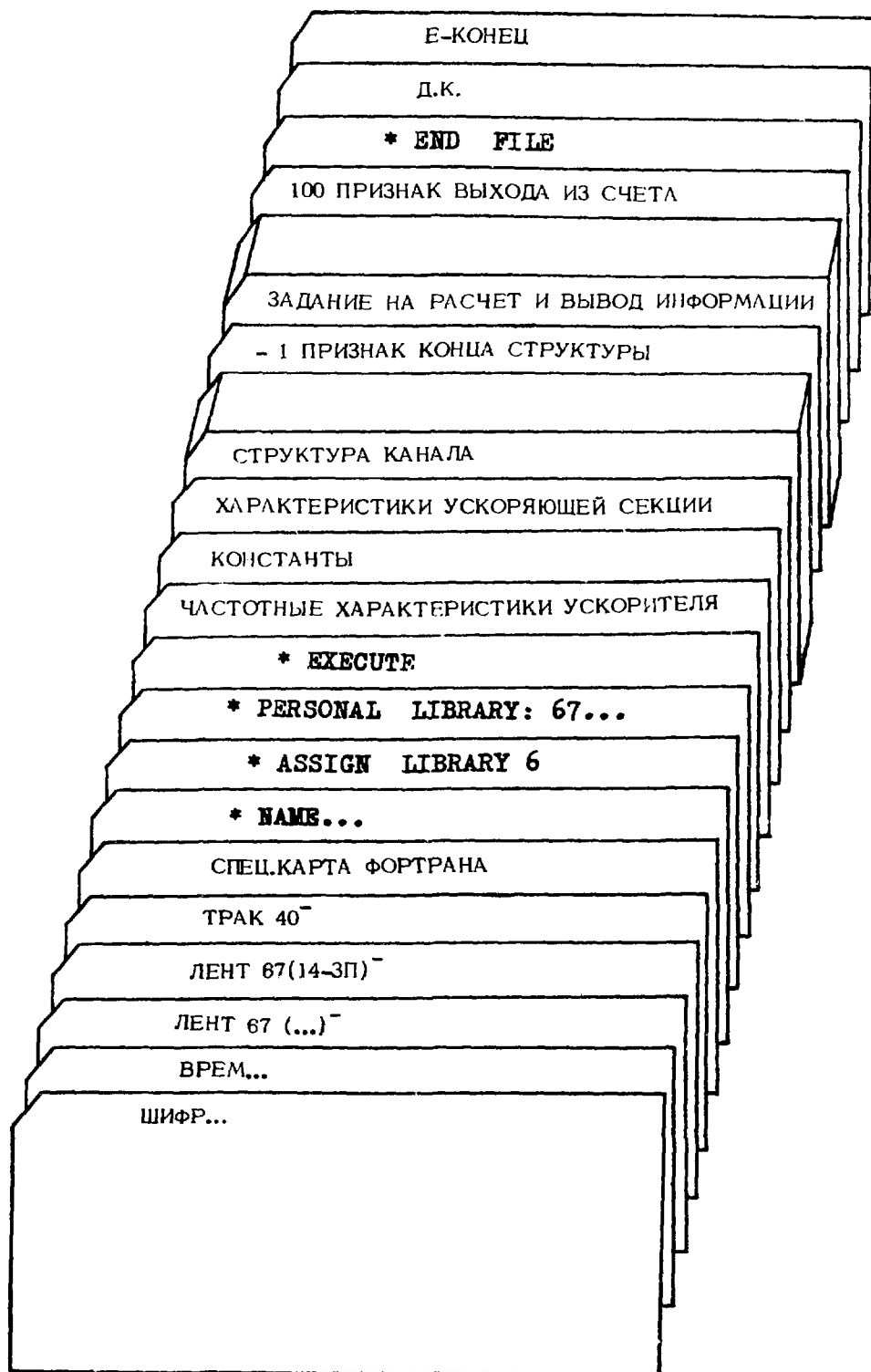


Рис. 3. Структура пакета перфокарт программы ЭМИТРА

### 3.2. Карта констант

$c$  - скорость света в вакууме, км/с;  
 $V_{гp}$  - групповая скорость ускоряющей волны, км/с;  
 $d$  - диаметр апертуры канала ускорителя и системы транспортировки, см;

$e$  - заряд моделируемых частиц. Принято, что для электрона  $e = 1$ , для позитрона  $e = -1$ . (Карта перфорируется в формате 2F 10.3, F 5.2, F 2.0.)

### 3.3. Карта характеристик ускоряющей секции

$\alpha$  - постоянная затухания ускоряющего поля в секции, 1/см;  
 $A_1, A_2$  - отношение амплитуд поперечного электрического поля во входном и выходном согласователях соответственно к продольному электрическому полю в секции, умноженное на длину согласователя, см;

$\psi_1, \psi_2$  - фазовый сдвиг поперечного поля относительно продольного во входном и выходном согласователях, град;

$\mathcal{D}$  - коэффициент подгрузки ВЧ-поля током пучка, МэВ/А.  
(Карта перфорируется в формате F 10.8, 2F 7.4, 3F 5.2.)

### 3.4. Структура ускоряюще-фокусирующего канала, системы транспортировки

В структуре канала могут быть использованы элементы, сведения о которых приведены в Приложении I. (Формат перфокарт элементов структуры - 415, 6F 10.4.)

Обозначения  $N1...N4, R1...R6$  введены в соответствии с указанным форматом. Принято, что  $N1$  является идентификатором элементов структуры. Ниже приведены пояснения к Приложению I.

#### 3.4.1. Дрейфовый промежуток, $N1 = 1$

$R1=L$  - длина промежутка, см.

### 3.4.2. Магнитная квадрупольная линза, N I = 2;

$N4 = j_x$  - закон распределения флуктуации  $x$  градиента магнитного поля в линзе. Здесь и далее:  $j = -1$  соответствует нормальному закону распределения характеристики,  $j = 0$  - нулевой флуктуации,  $j = 1$  - равномерному закону распределения.

$R1 = L_{ef}$  - эффективная длина линзы, см;

$R2 = \pm G$  - градиент магнитного поля ("+" для линзы ФД, "-" для ДФ), А/см<sup>2</sup>;

$R4 = \delta_x$  - смещение линзы относительно оси канала в плоскости OX, см;

$R5 = \delta_y$  - смещение линзы в плоскости OY, см;

$R6 = x$  - амплитуда флуктуации градиента поля, %.

### 3.4.3. Тонкая линза, N I = 3;

$R2 = \pm P$  - сила линзы; величина, обратная фокусному расстоянию, I/см.

### 3.4.4. Ускоряющая секция, N I = 5;

$N2 = i_A$  - код типа секции:  $i_A = -1$  - секция с симметричными согласователями ( $A_1 = A_2 = 0$ ),  $i_A = 0$  - стандартная секция с несимметричными согласователями,  $i_A = 1$  - секция с входным согласователем I-го типа ( $A_2 = 0$ ),  $i_A = 2$  секция с согласователем 2-го типа ( $A_2 = 0, \psi_1 = -\psi_2$ );

$N4 = j_\Delta$  - закон распределения флуктуации  $\Delta$  амплитуды ускоряющего поля в секции;

$R1 = L$  - длина секции, см;

$R2 = qE_0$  - напряженность ускоряющего электрического поля в начале секции, МэВ/см;

$R4 = \Delta\varphi$  - сдвиг фазы ускоряющего поля относительно центра сгустка в начале секции, град;

$R6 = \Delta$  - флуктуация амплитуды ускоряющего поля, %.

3.4.5. Секция с соленоидом (ускоряющая секция с симметризованными согласователями, заключенная в соленоид), N I = 6

$N2 = i_s$  - код типа секции: при  $i_s = -1$  учитывается воздействие только передней границы продольного магнитного поля,  $i_s = 0$  - учитываются передняя и задняя границы поля,  $i_s = 1$  - учет только задней границы поля,  $i_s = 2$  - без учета спадов поля;

$N3 = j_\sigma$  - закон распределения флуктуации  $\sigma$  напряженности продольного магнитного поля;

$N4 = j_\Delta$  - закон распределения флуктуации  $\Delta$  амплитуды ускоряющего электрического поля;

$R1 = L$  - длина секции, см;

$R2 = qE_0$  - напряженность ускоряющего электрического поля в начале секции, МэВ/см; при  $R2 = 0$  на частицы воздействует только продольное магнитное поле;

$R3 = H$  - напряженность продольного магнитного поля соленоида, А/см;

$R4 = \Delta\varphi$  - сдвиг фазы ускоряющего поля в начале секции, град;

$R5 = \sigma$  - флуктуация магнитного поля, %;

$R6 = \Delta$  - флуктуация ускоряющего поля, %.

3.4.6. Коллиматор, N I = 8;

$N2 = i_c$  - тип коллиматора:  $i_c = 0$  - апертура круглая,  $i_c = 1$  - прямоугольная;

$R1 = l$  - длина коллиматора вдоль оси канала, см;

$R2 = d_c$  - диаметр круглой апертуры, см;

$R2 = a, R3 = b$  - размеры прямоугольной апертуры по горизонтали и вертикали, см. Движение частиц в апертуре рассчитывается без учета взаимодействия с материалом коллиматора.

3.5. Карта - признак конца структуры

Структура канала должна заканчиваться картой с идентификатором  $\Lambda: 1$ .

### 3.6. Задание на расчет и вывод результатов счета на печать и графопостроитель

Сведения о содержимом перфокарт данного блока программы даны в Приложении 2. (Карты перфорируются в формате 413, 6F8.3). Обозначения  $N1...N4, R1...R6$  имеют тот же смысл, что и в п. 3.4.

3.6.1. Для расчета траектории отдельной частицы в пакет необходимо вложить последовательно две перфокарты с идентификаторами  $NI = 2I$  и  $NI = 3I$ .

Перфокарта параметров частицы на входе в канал,  $NI = 2I$ ;  
 $R1 = x_0, R2 = y_0$  - пространственная координата частицы в плоскости  $XOY$ , см;

$R3 = x'_0, R4 = y'_0$  - угловая координата частицы в плоскости  $XOY'$ , мрад;

$R5 = E_0$  - начальная энергия частицы, МэВ;

$R6 = \varphi_0$  - фаза частицы в начале канала, град.

Перфокарта задания на расчет траектории частицы с начальными параметрами, указанными в предыдущей карте, и вывод информации на печать и графопостроитель,  $NI = 3I$ ;

$N2 = NEL_i$  - номер элемента структуры, от которого должен быть произведен расчет траектории;

$N3 = NEL_e$  - номер элемента (включительно), до которого проводится расчет.

При  $NEL_i = 0$  траектория рассчитывается с первого элемента структуры, при  $NEL_e = 0$  расчет производится по последнему элементу включительно. Таким образом, если  $NEL_i = NEL_e = 0$ , расчет идет по всем элементам структуры.

$N4 = K_{g2}$  - код представления результирующей информации: если  $K_{g2} = 0$ , происходит печать результатов счета в виде таблицы, построение графиков запрещено; если  $K_{g2} = 1$ , и таблица и график выводятся.

ЭМИТРА позволяет с одного ввода рассчитать траектории набора частиц с различными начальными данными в одном и том же канале. Для этого в пакет следует вложить карты с идентификаторами  $N1=21$  и  $N1=31$  требуемое число раз. Ограничение по количеству частиц в наборе обусловлено в основном расходом бумаги на цифropечатающем устройстве.

3.6.2. При моделировании ансамбля частиц в пакет должны быть вложены перфокарты, описывающие параметры пучка на входе в канал и задание на счет и вывод информации.

Начальные параметры пучка задаются пятью перфокартами:

- перфокарта, описывающая профиль пучка,  $N1 = -11$ ;  
 $N3 = j_2$  - закон распределения плотности частиц в пучке;  
 $R1 = x_0, R2 = y_0$  - координата центральной частицы, см;  
 $R3 = \Delta x_0, R4 = \Delta y_0$  - полуразмеры пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях, см;
- перфокарта расходимости пучка,  $N1 = -12$ ;  
 $N3 = j_2'$  - закон распределения частиц по углам;  
 $R1 = x'_0, R2 = y'_0$  - угол влета центральной частицы, мрад;  
 $R3 = \Delta x'_0, R4 = \Delta y'_0$  - полурасходимость пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях, мрад;
- перфокарта энергетического спектра пучка,  $N1 = -13$ ;  
 $N3 = j_E$  - закон распределения частиц по энергии;  
 $R1 = E_0$  - энергия центральной частицы, МэВ;  
 $R2 = \Delta E_0$  - энергетический разброс относительно  $E_0$ , МэВ;
- перфокарта фазового спектра пучка,  $N1 = -14$ ;  
 $N3 = j_\varphi$  - закон распределения частиц по фазам;  
 $R1 = \varphi_0$  - фаза центральной частицы, град;  
 $R2 = \Delta \varphi_0$  - фазовый разброс относительно  $\varphi_0$ , град;
- перфокарта тока пучка,  $N1 = -15$ ;  
 $N3 = j_I$  - закон распределения флуктуации тока;  
 $R1 = I_0$  - ток пучка, А;  
 $R2 = \Delta I_0$  - флуктуация тока пучка, А.



Задание на расчет пучка осуществляется с помощью перфокарты с идентификатором  $N1 = 41$ .

$N2 = NEL_i, N3 = NEL_e$  - номера элементов структуры, через которые проводится пучок;

$N4 = N_p$  - количество частиц (в сотнях), требуемое получить на выходе канала;

$R1 = \delta z'$  - цена одного из 30 поддиапазонов распределения частиц по углам на выходе канала, мрад;

$R2 = \delta E$  - цена поддиапазона энергетического спектра, МэВ;

$R3 = \delta \varphi$  - цена поддиапазона фазового спектра на выходе канала, град.

В случае, если  $\delta z' = \delta E = \delta \varphi = 0$ , цены поддиапазонов определяются автоматически. Изменение цен поддиапазонов для параметров пучка на выходе канала расширяет возможности использования программы, например, когда необходимо сформировать прецизионный пучок или, напротив, пучок с большими разбросами параметров.

Вывод результатов расчета обеспечивается набором перфокарт с идентификаторами  $N1 = -21 \dots -27$  (Приложение 2). Приняты следующие обозначения:  $K_{g2}$  - код представления информации ( $K_{g2} = 0$  - результаты вы печатаются в виде таблиц,  $K_{g2} = 1$  - выводятся на печать таблицы и строятся графики),  $K_{ie}$  - код вывода данных о параметрах пучка ( $K_{ie} = 0$  - на выходе канала,  $K_{ie} = 1$  - на входе в канал).

### 3.7. К а р т а - п р и з н а к в ы х о д а и з с ч е т а

Идентификатор данной карты  $N1 = 100$ .

#### 4. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ниже даны результаты моделирования динамики электронного пучка в канале, содержащем характерные элементы ускорителя (всего 38 элементов). Приведены фрагменты печати и графики, полученные на выводных устройствах БЭСМ-6 ВЦ ХУТИ АН УССР (Приложение 3).

На бумажной ленте напечатаны исходные данные: характеристики ускорителя и ускоряющих секций, константы, структура канала.

По окончании расчета траектории отдельной частицы на печать выведена таблица параметров частицы на входе в рассматриваемый канал и на выходе каждого элемента структуры. Продольная координата  $X$  выражена в метрах. Ввиду того, что имеется задание на построение графиков, печатается сообщение о выводе на графопостроитель.

График траектории частицы строится для горизонтальной и вертикальной плоскостей. В верхней части графика выписаны начальные параметры частицы. В связи с особенностями программ ГРАФОРа, траектория частицы ограничена апертурой канала. На графике вычерчены прямоугольники, горизонтальные координаты и размеры которых соответствуют местоположению и размерам квадрупольных линз вдоль оси канала  $X$ . Под каждым прямоугольником даны численные значения градиентов в соответствующих линзах. Размер страницы графика 25 x 13,5 см.

На печать выведена информация о начальных параметрах моделируемого пучка, приведены данные о количестве пропущенных через канал частиц (абсолютное значение и в процентном выражении), потерянных частиц и об их общем количестве.

Напечатана таблица данных об отгибах пучка в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Таблица потерь содержит сведения о числе потерянных частиц на выходе каждого элемента структуры, выведенные построчно (для 20 элементов в строке).

Графики отгибания и потерь пучка строятся на одной графической странице размером 25,5 x 26 см. Вид графиков отгибания аналогичен графикам траекторий отдельной частицы, в частности, для квадрупольных линз вычерчены "реперные" прямоуголь-

ники и численные значения градиентом. На графике потерь точки, соответствующие границам элементов структуры, отмечены маркером типа "точка".

В таблицах профиля и углового распределения (в горизонтальной и вертикальной плоскостях), энергетического и фазового спектров пучка приведены данные о числе частиц в каждом из 30 поддиапазонов соответствующего распределения и цены поддиапазонов в принятых единицах. Для энергетического спектра выведено значение энергии для 15-го поддиапазона, для прочих параметров раздел между 15-м и 16-м поддиапазонами соответствует началу координат.

Графики данных параметров пучка вычерчиваются на двух страницах размером 33 x 26 см каждая, отдельно для параметров на входе в канал и на его выходе. Порядок размещения графиков на странице таков: слева направо, снизу вверх, справа налево в последовательности, определенной заданием на вывод информации.

Эмиттансы, как проекции фазового объема пучка на плоскости  $XOX'$  и  $YOY'$ , выведены на печать в виде двумерных массивов размером 30 x 30 ячеек каждый; строки массива несут информацию о линейных размерах пучка, а столбцы - об угловых. Фигуры эмиттансов образуются занятыми ячейками массивов, причем содержимое каждой ячейки есть количество частиц, попавших на данную площадку фазовой плоскости. Представление эмиттансов в принятом виде наглядно иллюстрирует радиально-угловые параметры пучка, поэтому построение графиков в данном случае не производится. Массивы напечатаны последовательно для горизонтальной и вертикальной плоскостей (как на входе в канал, так и на его выходе), выведены также данные о цене ячейки и численные значения эмиттансов в обеих плоскостях.

Выход из счета зафиксирован соответствующим сообщением.

Отметим, что в данном примере суммарное количество частиц, пропущенное через канал, равно 5119, при этом время работы центрального процессора составляет 5 мин 37 с.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа ЭМИТРА была использована авторами для моделирования позитронного пучка в источнике позитронов линейного ускорителя ЛУ-2. Формирование пучков, получаемых в результате электрон-позитронной конверсии, отличается рядом особенностей: вторичный пучок обладает сравнительно большим начальным фазовым объемом, для его удержания используются продольные магнитные поля сложной конфигурации. Моделирование позволило достаточно подробно изучить динамику позитронного пучка и выработать практические рекомендации для выбора оптимальных режимов фокусирующих устройств и ускоряющих секций. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментом.

Опыт работы с программой подтвердил ее высокую эффективность и надежность. Авторы надеются, что ЭМИТРА найдет применение при решении различных задач формирования и транспортировки пучков. Для расширения возможностей применения в программе могут быть введены и другие элементы (многополосные линзы, различного рода отклоняющие системы).

Авторы выражают благодарность Обозному В.А., оказавшему помощь на начальной стадии написания программы.

### ПРИКНИЖНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown K.L., Howry S.H. Transport/360. A computer program for designing charged particle beam transport systems, SIAC-91, Stanford, 1970, p.208.
2. Brown K.L., Carey D.C., Iselin Ch., Rothacker F. Transport. A computer program for designing charged particle beam transport systems, CERN 73-16, Geneva 1973, p.113.
3. Brown K.L., Carey D.C., Iselin Ch., Rothacker F. Transport. A computer program for designing charged particle beam transport systems, CERN 80-04, Geneva, 1980, p.251.

4. Миллер В.В. Усовершенствованный вариант магнитооптической программы TRANSPORT. М.: ИТЭФ - 43, 1974, с. 24.
5. John S. Colonias: Particle accelerator design: Computer programs. Academic press New York and London, 1974, p.292.
6. Котов В.И., Миллер В.В. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. М.: Атомиздат, 1969, с. 280.
7. Brown K.L., Iselin Ch. Decay turtle. A computer program for simulating charged particle beam transport systems, including decay calculations, CERN 74-2, Geneva, 1974, p.124.
8. Абросимов И.К., Волченков В.А., Рябов Г.А. ЭВМ-программа для расчета пучков первичных и вторичных частиц методом Монте-Карло ("Мезон"). № 205, Л.: ЛИЯФ, 1975, 22 с.
9. Волков Б.С., Калининченко П.А., Сахаров В.П. Имитация транспортировки пучков заряженных частиц. ОМВТ 77-20, Серпухов, ИФВЭ, 1977, с. 13.
10. Артемов В.И., Гришаев И.А., Гугель И.Н. и др. Использование светового карандаша при изучении динамики пучка в линейных ускорителях и системах транспортировки. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. Автоматизация физического эксперимента и его математическое обеспечение. 1971, ХФТИ 72-8, с. 64-76.
11. Хазацкий В.Е. Управляющие машины и системы. М.: Энергия, 1976, с. 246.

Приложение I  
Кодировка информации об элементах структуры канала

Наименование элемента	N1	N2	N3	N4	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Дрейфовый промежуток	1	-	-	-	L, см	-	-	-	-	-
Квадрупольная линза	2	-	-	$j_x$	$L_{эф}, см$	$\pm G, А/см^2$	-	$\delta_x, см$	$\delta_y, см$	$\chi, \%$
Тонкая линза	3	-	-	-	$\pm D, 1/см$	-	-	-	-	-
Ускоряющая секция	5	$i_A$	-	$j_A$	L, см	$qE, МВ/см$	-	$\Delta\varphi, ГРАД$	-	$\Delta, \%$
Секция с соленоидом	6	$i_s$	$j_\sigma$	$j_A$	L, см	$qE, МВ/см$	H, А/см	$\Delta\varphi, ГРАД$	$\sigma, \%$	$\Delta, \%$
Коллиматор	8	$i_c$	-	-	L, см	$d_c, см$ $\alpha, см$	$b, см$	-	-	-

Формат 4I5, 6FIO.4

**Приложение 2**  
**Кодировка задания на расчет и вывод результатов счета**

Содержание перфокарты		N1	N2	N3	N4	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Параметры отдельной частицы на входе в канал		2I	-	-	-	$x_0, \text{CM}$	$y_0, \text{CM}$	$x'_0, \text{MРАД}$	$y'_0, \text{MРАД}$	$E_0, \text{MЭВ}$	$\varphi, \text{ГРАД}$
Задание на расчет траектории отдельной частицы		3I	$NEL_i$	$NEL_e$	$K_{gr}$	-	-	-	-	-	-
Начальные параметры пучка	Профиль пучка	-II	-	$j_x$	-	$x_0, \text{CM}$	$y_0, \text{CM}$	$\Delta x_0, \text{CM}$	$\Delta y_0, \text{CM}$	-	-
	Угловое распределение	-I2	-	$j_x'$	-	$x'_0, \text{MРАД}$	$y'_0, \text{MРАД}$	$\Delta x'_0, \text{MРАД}$	$\Delta y'_0, \text{MРАД}$	-	-
	Энергетический спектр	-I3	-	$j_E$	-	$E_0, \text{MЭВ}$	$\Delta E_0, \text{MЭВ}$	-	-	-	-
	Фазовый спектр	-I4	-	$j_\varphi$	-	$\varphi, \text{ГРАД}$	$\Delta \varphi, \text{ГРАД}$	-	-	-	-
	Ток пучка	-I5	-	$j_I$	-	$I_0, \text{A}$	$\Delta I_0, \text{A}$	-	-	-	-
Задание на расчет пучка частиц		4I	$NEL_i$	$NEL_e$	$N_p$	$\delta x'_0, \text{MРАД}$	$\delta E_0, \text{MЭВ}$	$\delta \varphi, \text{ГРАД}$	-	-	-
Задание на вывод результатов расчета	Огибающие пучка	-2I	$K_{gr}$	-	-	-	-	-	-	-	-
	Потери	-22	$K_{gr}$	-	-	-	-	-	-	-	-
	Профиль	-23	$K_{gr}$	-	$K_{le}$	-	-	-	-	-	-
	Угловое распределение	-24	$K_{gr}$	-	$K_{le}$	-	-	-	-	-	-
	Эмиттанс	-25	-	-	$K_{le}$	-	-	-	-	-	-
	Энергетический спектр	-26	$K_{gr}$	-	$K_{le}$	-	-	-	-	-	-
	Фазовый спектр	-27	$K_{gr}$	-	$K_{le}$	-	-	-	-	-	-

\*NAME JYU-80  
 \*ASSIGN LIBRARY 6  
 \*PERSONAL LIBRARY:67200  
 \*EXECUTE

Имя: КОЛОТОВСКИЙ, ФАМИЛИЯ ГОУДИ И ДРАЖИ, по-  
 лучение на входех устройств ИОН-00 и ИОН-01 АН УОФ

23

Е М И Т Р А - 1 9 7 8

FREQUENCY = 2797.200 MHZ, DEVIATION = 0.000 KHZ, FLUCTUATION = 0.000 KHZ  
 G=299792.500 RM/S, V.CR. = 13790.400 RM/S, APERTURE = 3.00 CM, CHARGE = 1

PARAMETERS OF ACC. SECTIONS:

ALPHA=0.000678 1/CM, A1=0.0000 CM, A2=0.0000 CM, PSI1=0.00 GRAD, PSI2=0.00 GRAD, D=22.00

NEL	TYPE	STRUCTURE OF CHANNEL									
		N2	N3	N4	R1	R2	R3	R4	R5	R6	
1	6 SOLEN	0	0	0	450.0000	0.0827	1920.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	6 SOLEN	0	0	0	300.0000	0.0737	1920.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	1 DRIFT	0	0	0	50.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	2 QUADR	0	0	0	11.0000	250.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1 DRIFT	0	0	0	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	2 QUADR	0	0	0	11.0000	-250.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	1 DRIFT	0	0	0	88.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	6 SOLEN	0	0	0	450.0000	0.0644	80.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	5 ACC S	0	0	0	450.0000	0.0619	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	5 ACC S	0	0	0	450.0000	0.0629	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	5 ACC S	0	0	0	300.0000	0.0737	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	1 DRIFT	0	0	0	50.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	2 QUADR	0	0	0	11.0000	190.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
18	1 DRIFT	0	0	0	40.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19	2 QUADR	0	0	0	11.0000	-190.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	1 DRIFT	0	0	0	68.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	5 ACC S	0	0	0	300.0000	0.0737	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	1 DRIFT	0	0	0	180.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	5 ACC S	0	0	0	450.0000	0.0639	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25	5 ACC S	0	0	0	450.0000	0.0797	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	1 DRIFT	0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
27	5 ACC S	0	0	0	450.0000	0.0737	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
28	2 QUADR	0	0	0	10.0000	50.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



29	5	ACC	S	0	0	0	450.0000	0.0784	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	2	QUADR		0	0	0	10.0000	-50.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	5	ACC	S	0	0	0	450.0000	0.0804	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	1	DRIFT		0	0	0	30.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	5	ACC	S	0	0	0	450.0000	0.0799	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	1	DRIFT		0	0	0	20.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35	2	QUADR		0	0	0	25.0000	500.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
36	1	DRIFT		0	0	0	15.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
37	2	QUADR		0	0	0	25.0000	-500.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	1	DRIFT		0	0	0	100.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	0	0	0	0.500	-0.300	2.700	1.500	16.000	4.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	0	0	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

TRAJECTORY, ELEMENT 1 THROUGH 38

START: XO=0.500, CM Y0=-0.300, CM DXO=2.700, MRAD DYO=1.500, MRAD EO=16.000, MEV FIO=4.000, GRAD

NEL.	TYPE	X	Y	DX	DY	E	FI	Z
1	6	0.260	-0.444	0.035	1.939	47.996	1.912	4.500
2	1	0.261	-0.386	0.043	1.939	47.996	1.855	4.800
3	6	0.243	-0.010	1.619	1.446	67.992	1.443	7.800
4	1	0.324	0.063	1.619	1.446	67.992	1.391	8.300
5	2	0.320	0.083	-2.332	2.320	67.992	1.391	8.410
6	1	0.273	0.129	-2.332	2.320	67.992	1.368	8.610
7	2	0.266	0.146	0.901	0.631	67.992	1.366	8.720
8	1	0.345	0.201	0.901	0.631	67.992	1.281	9.600
9	6	0.713	0.158	0.626	0.176	92.962	0.964	14.100
10	1	0.732	0.164	0.626	0.176	92.962	0.953	14.400
11	5	0.983	0.234	0.498	0.140	116.965	0.772	18.900
12	1	0.997	0.238	0.498	0.140	116.965	0.762	19.200
13	5	1.201	0.296	0.412	0.116	141.358	0.642	23.700
14	1	1.213	0.299	0.412	0.116	141.358	0.635	24.000
15	5	1.329	0.331	0.361	0.101	161.363	0.577	27.000
16	1	1.340	0.337	0.361	0.101	161.363	0.568	27.500
17	2	1.322	0.345	-4.843	1.421	161.363	0.568	27.610
18	1	1.128	0.402	-4.843	1.421	161.363	0.545	28.010
19	2	1.099	0.409	-0.531	-0.159	161.363	0.540	28.120
20	1	1.063	0.398	-0.531	-0.159	161.363	0.528	28.800
21	5	0.912	0.353	-0.473	-0.142	181.368	0.482	31.800
22	1	0.827	0.327	-0.473	-0.142	181.368	0.457	33.600
23	5	0.628	0.267	-0.416	-0.125	206.150	0.403	38.100
24	1	0.616	0.267	-0.416	-0.125	206.150	0.400	38.400
25	5	0.441	0.211	-0.362	-0.109	237.060	0.358	42.900

26	1	0.430	0.208	-0.362	-0.109	237.060	0.356	43.200
27	5	0.277	0.162	-0.323	-0.097	265.642	0.324	47.700
28	2	0.273	0.161	-0.006	-0.006	265.642	0.324	47.800
29	5	0.069	0.159	-0.429	-0.005	296.048	0.297	52.300
30	2	0.065	0.159	-0.395	-0.086	296.048	0.297	52.400
31	5	-0.104	0.122	-0.357	-0.007	327.229	0.276	56.900
32	1	-0.115	0.120	-0.357	-0.077	327.229	0.274	57.200
33	5	-0.268	0.086	-0.326	-0.071	358.217	0.257	61.700
34	1	-0.275	0.086	-0.326	-0.071	358.217	0.256	61.900
35	2	-0.247	0.094	2.467	0.848	358.217	0.256	62.150
36	1	-0.210	0.107	2.467	0.848	358.217	0.254	62.300
37	2	-0.174	0.114	0.498	-0.334	358.217	0.251	62.550
38	1	-0.124	0.080	0.498	-0.334	358.217	0.247	63.550

OUTPUT INTO PLOTTER

-11	0	-1	0	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000
-12	0	-1	0	0.000	0.000	2.700	0.000	0.000	0.000
-13	0	-1	0	16.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-14	0	-1	0	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-15	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
41	0	0	50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

BEAM, ELEMENT 1 THROUGH 38

5000 PARTICLES ARE PASSING ( 97.0 PER CENT)

119 PARTICLES ARE LOSING

FULL QUANTITY IS 5119

-21	1	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----	---	---	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------

ENVELOPE OF BEAM

*****		+X	-X	+Y	-Y	Z	*****	
0.492	0.492	-0.490	0.494	0.494	-0.476	0.000	0.000	0.000
0.470	0.470	-0.494	0.450	0.450	-0.466	4.500	4.500	4.500
0.432	0.432	-0.453	0.436	0.436	-0.436	4.800	4.800	4.800
0.404	0.404	-0.465	0.442	0.442	-0.454	7.800	7.800	7.800
0.444	0.444	-0.523	0.479	0.479	-0.484	8.300	8.300	8.300
0.423	0.423	-0.50	0.521	0.521	-0.484	8.410	8.410	8.410
0.390	0.390	-0.391	0.560	0.560	-0.663	8.810	8.810	8.810
0.300	0.300	-0.358	0.690	0.690	-0.692	8.720	8.720	8.720
0.360	0.360	-0.339	0.545	0.545	-0.571	9.600	9.600	9.600

0.979	-1.005	0.636	-0.682	14.100
1.022	-1.049	0.650	-0.715	14.400
1.610	-1.636	0.919	-1.158	18.900
1.837	-1.793	1.204	-1.340	23.700
1.434	-1.456	1.221	-1.093	24.000
1.598	-1.652	1.409	-1.305	27.000
1.494	-1.473	1.444	-1.339	27.500
1.468	-1.447	1.484	-1.376	27.610
1.254	-1.236	1.340	-1.619	28.010
1.222	-1.204	1.363	-1.522	28.120
1.190	-1.178	1.329	-1.327	28.800
1.059	-1.076	1.188	-1.220	31.800
0.990	-1.018	1.108	-1.162	32.600
0.830	-0.882	0.942	-1.028	38.100
0.821	-0.874	0.935	-1.019	38.400
0.688	-0.754	0.829	-0.902	42.900
0.680	-0.747	0.822	-0.895	43.200
0.563	-0.642	0.729	-0.791	47.700
0.560	-0.638	0.729	-0.791	47.800
0.345	-0.391	0.823	-0.916	52.300
0.343	-0.387	0.823	-0.917	52.400
0.308	-0.284	0.728	-0.841	56.900
0.305	-0.262	0.722	-0.836	57.200
0.314	-0.369	0.635	-0.767	61.700
0.318	-0.375	0.631	-0.764	61.900
0.280	-0.334	0.713	-0.863	62.150
0.235	-0.280	0.816	-0.987	62.300
0.186	-0.225	0.874	-1.057	62.550
0.105	-0.133	0.647	-0.780	63.550

OUTPUT INTO PLOTTER

-22 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

LOSS OF BEAM

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

OUTPUT INTO PLOTTER

-23 1 0 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

PROFILE ENTR. OF BEAM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

```
*****
      PLANE X
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 26 128 385 802 1185
1151 813 370 110 30 0 0 0 0 0 0 0 0 0
      PLANE Y
      0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 25 107 403 843 1207
1158 780 340 116 21 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

WIDTH OF CHANNEL IS 0.100 CM

OUTPUT INTO PLOTTER

OUTPUT INTO PLOTTER

-24 1 0 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

ANG. DIVERGENCE ENTR. OF BEAM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

```
*****
      PLANE X
      0 0 0 0 0 6 24 41 89 143 256 349 452 562 613
582 551 498 328 201 147 85 47 19 7 0 0 0 0 0
      PLANE Y
      0 0 0 0 0 10 20 48 89 140 249 379 447 525 589
590 563 441 557 261 133 82 46 25 6 0 0 0 0 0
```

WIDTH OF CHANNEL IS 0.2700 MRAD

OUTPUT INTO PLOTTER

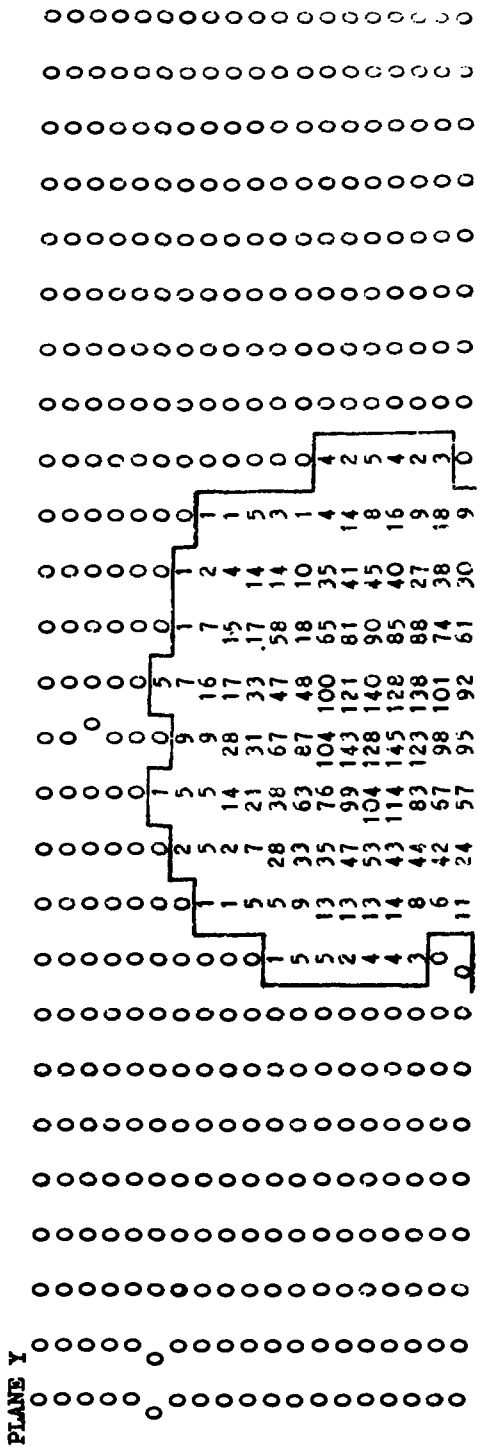
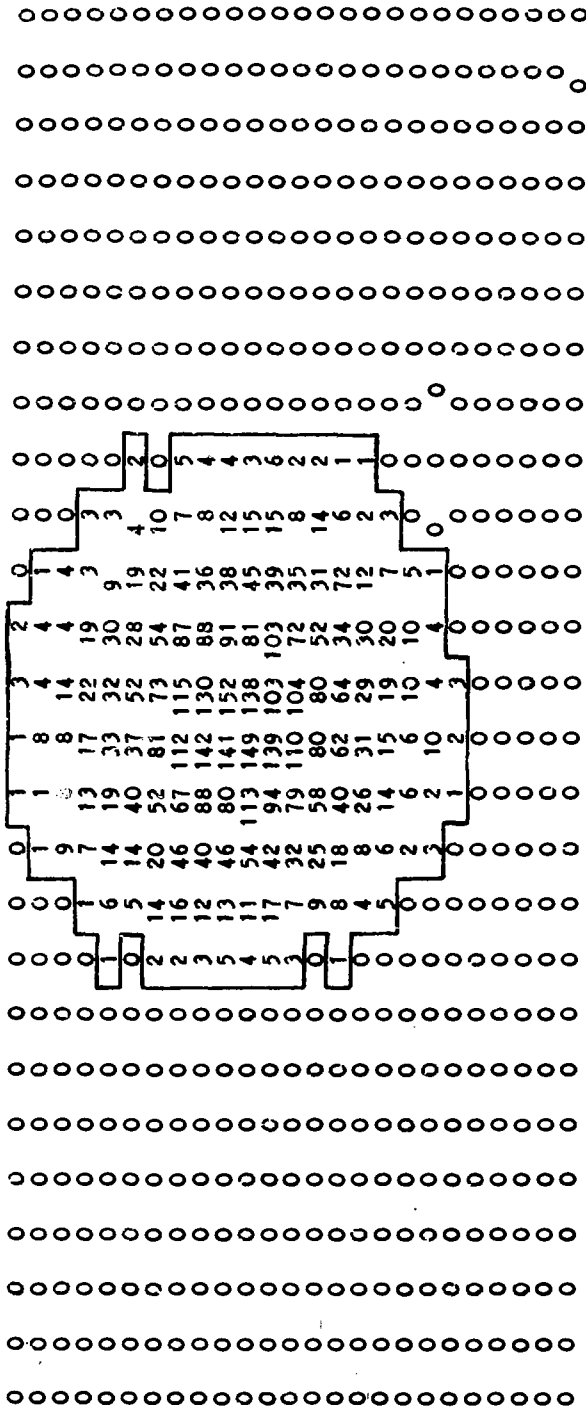
OUTPUT INTO PLOTTER

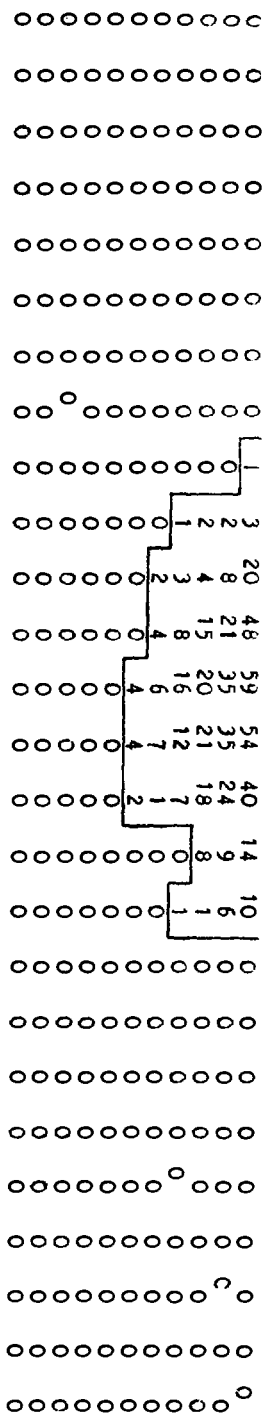
-25 0 0 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

EMITTANCE ENTR. OF BEAM

PLANE X

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```





SQUARE OF UNIT IS 0.100CM \* 0.2700 MRAD  
 HORIZONTAL ENTRANCE IS 13.923 MM\*MRAD  
 VERTICAL ENTRANCE IS 13.579 MM\*MRAD

ENERGY ENTR. OF BEAM

Channel	Energy (MeV)
1	627
2	522
3	441
4	354
5	213
6	148
7	67
8	42
9	21
10	10
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0

WIDTH OF CHANNEL IS 0.500 MEV  
 ENERGY OF 15-TH CHANNEL IS 16.000 MEV

OUTPUT INTO PLOTTER

27 1 0 1 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

PHASE ENTR. OF BEAM

Channel	Phase
1	583
2	551
3	431
4	358
5	228
6	153
7	7
8	29
9	44
10	50
11	88
12	164
13	261
14	391
15	416
16	552
17	616

WIDTH OF CHANNEL IS 2.000 GRAD

OUTPUT INTO PLOTTER

23 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

PROFILE EX. OF BEAM

```

*****
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
*****
PLANE X
C 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2468 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
PLANE Y
O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1074 745 423 184 54 21 4 0 2 3 0 0 0 0 0

```

WIDTH OF CHANNEL IS 0.100 CM

OUTPUT INTO PLOTTER

OUTPUT INTO PLOTTER

-24 1 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

ANG.DIVERGENCE EX. OF BEAM

```

*****
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
*****
PLANE X
O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
1753 599 81 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
PLANE Y
O 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
864 685 488 266 99 60 22 3 8 20 46 133 247 465 688 903

```

WIDTH OF CHANNEL IS 0.2926 MRAD

OUTPUT INTO PLOTTER

OUTPUT INTO PLOTTER

-25 0 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

EXITTANCE EX. OF BEAM

PLANE X







466 381 255 165 101 55 31 15 1 0 0 0 0 0 0

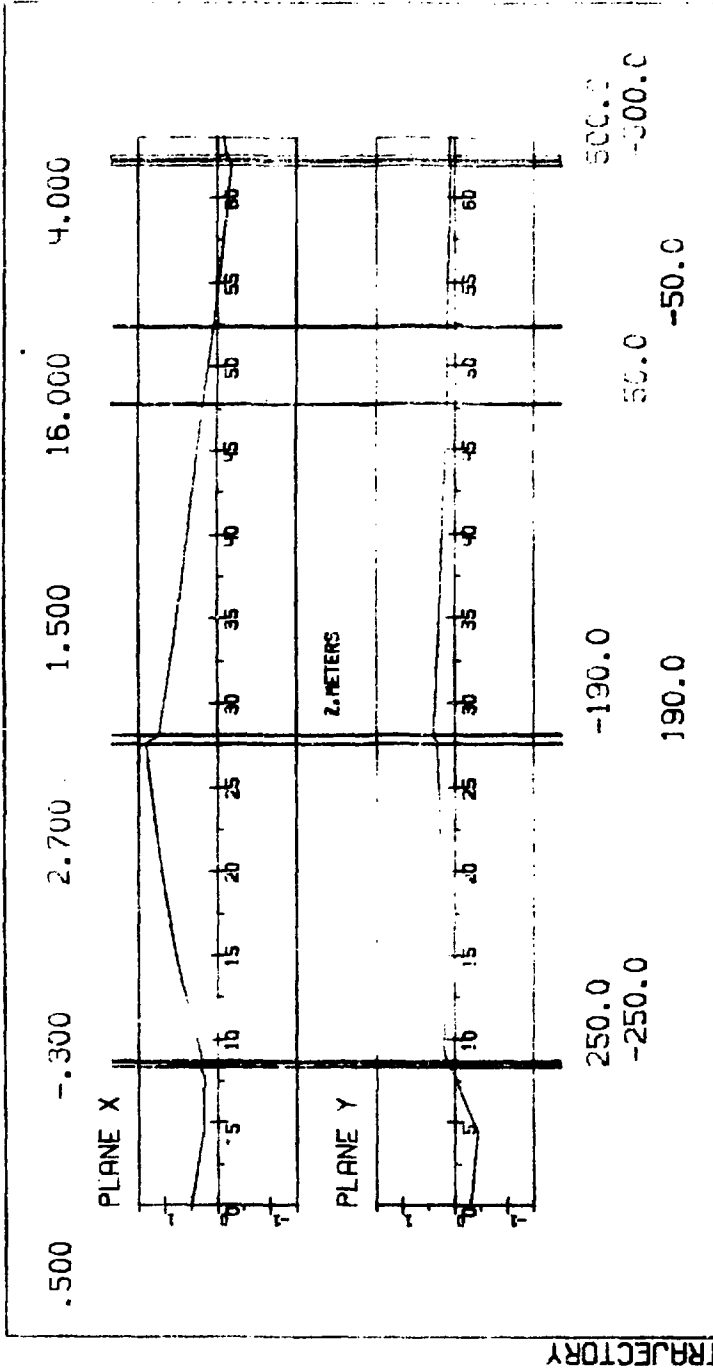
32

WIDTH OF CHANNEL IS 2.000 GRAD

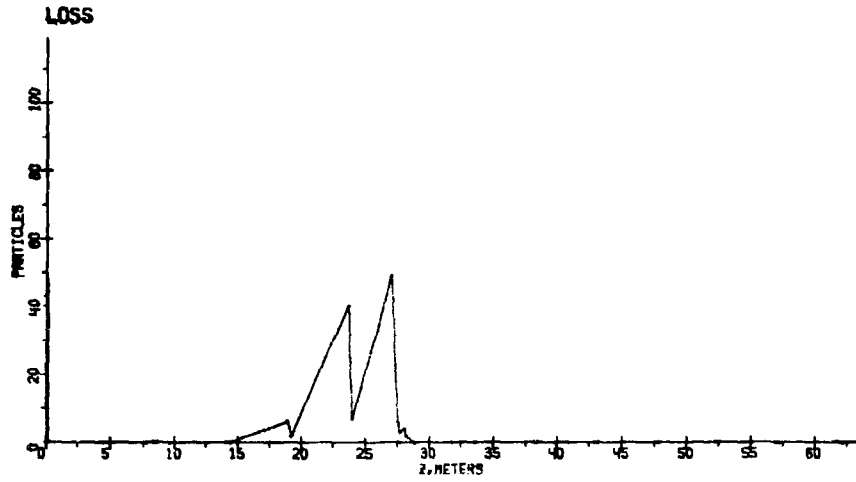
OUTPUT INTO PLOTTER

100 0 0 0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

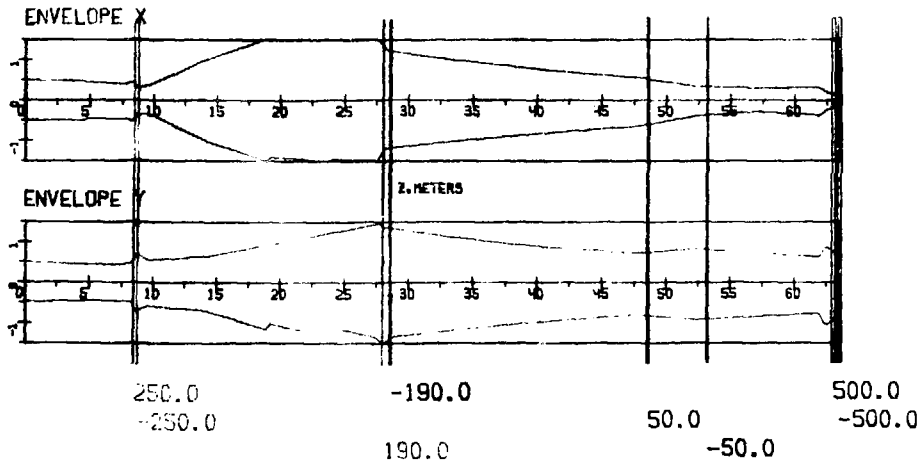
END OF CALCULATION. STOP.



FORM 351200 version 2/710

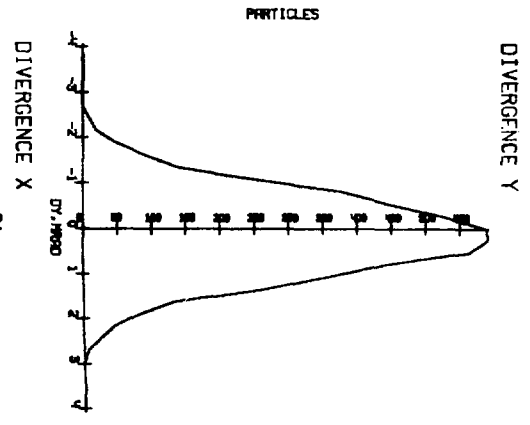
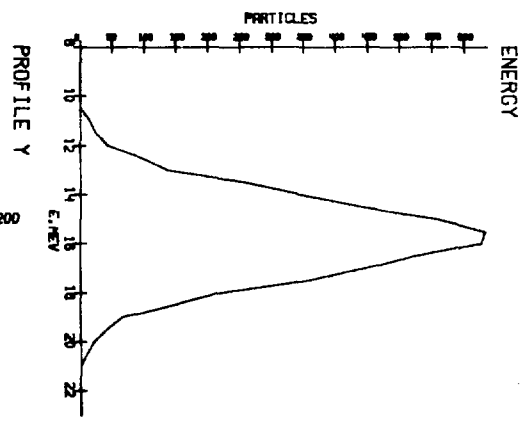
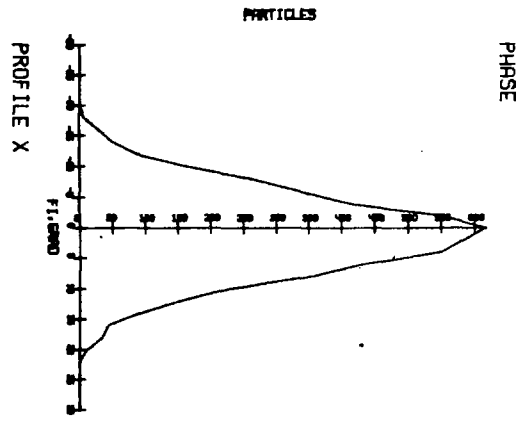
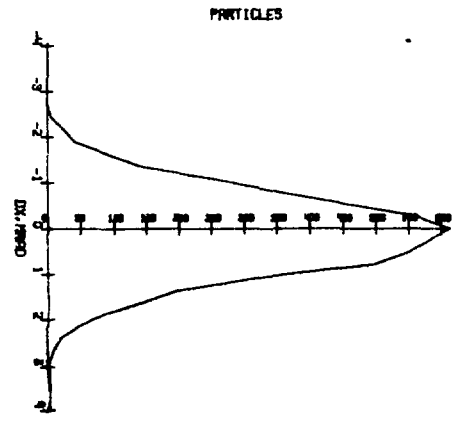
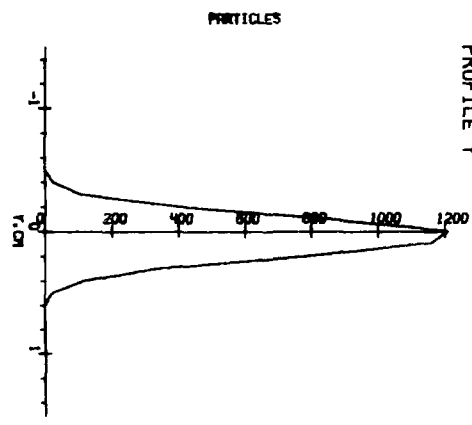
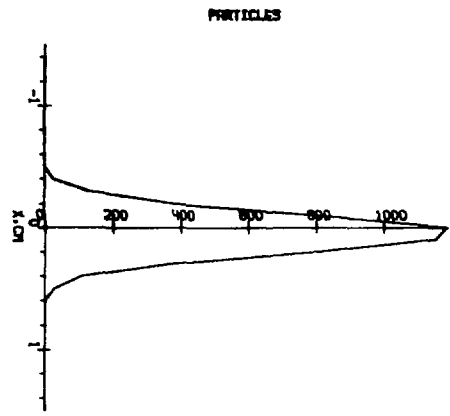


PARAMETERS OF BEAM



56  
ENTR. PARAMETERS OF BEAM

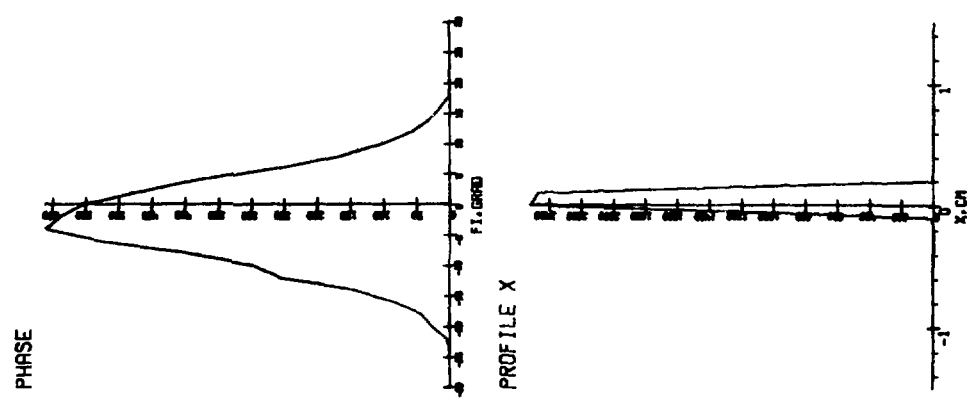
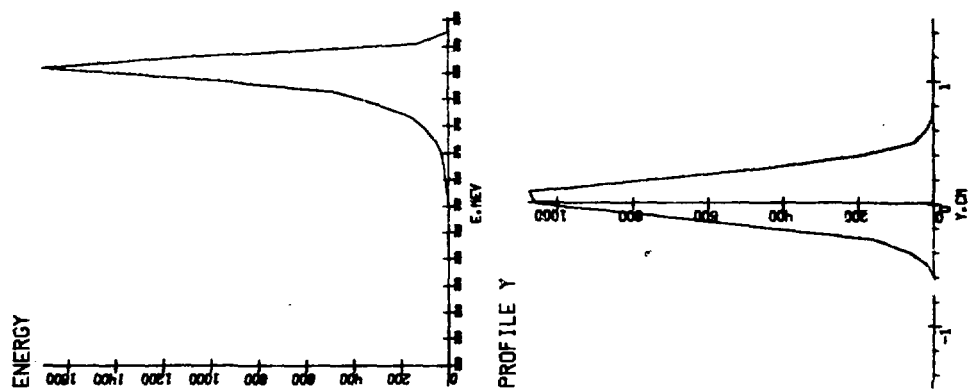
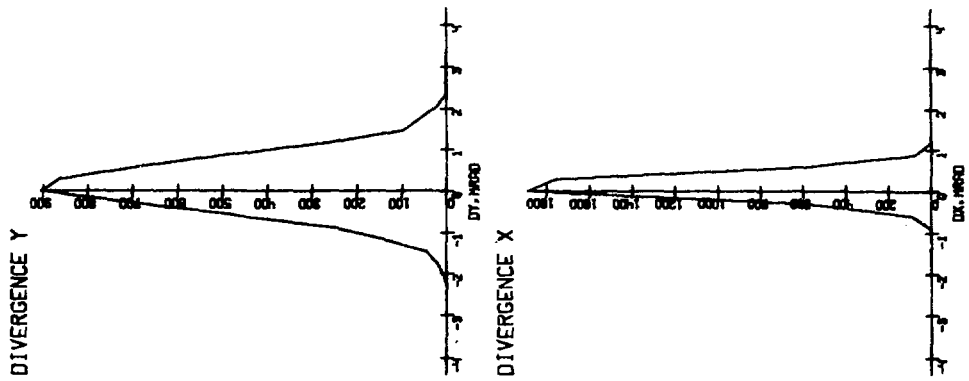
01/22 00:00:00 351200 00156 0000



PHASE

ENERGY

DIVERGENCE Y



EX. PARAMETERS OF BEAM

SNIP 551200 22/10



Виталий Иванович Артемов, Анатолий Николаевич Довбня,  
Федор Андреевич Пеев

ЭМИТРА - ПРОГРАММА ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ  
ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЛИНЕЙНЫХ УСКОРИТЕЛЯХ И СИСТЕМАХ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ.

Ответственные за выпуск Ф.А.Пеев, Л.М.Ракивненко

Редактор, корректор Я.М.Иванова

---

Подписано в печать 10.03.81. Т-06811. Формат 60x84/16.  
Бум.офсетн. № 1. Офсетн.печ. 2,5 усл.п.л. 1,8 уч.-изд.л.  
Тираж 220. Заказ 389. Цена 18 коп. Индекс 3624.

---

Харьков-108, роталит ХУТИ АН УССР.

18 коп.

Индекс 3624

Препринт ХФТИ 81-16, Харьков, 1981, 1-36.