

1840 + C.3430
к-103
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



11 - 3381

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Р.Н. Федорова, А.И. Широкова

ОБЩИЙ ВАРИАНТ ПРОГРАММЫ
ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ИОНО-ОПТИЧЕСКУЮ
ПОВОРОТНО-ФОКУСИРУЮЩУЮ СИСТЕМУ
(ТРАНСПОРТ)

1967.

Р.Н. Федорова, А.И. Широкова

**ОБЩИЙ ВАРИАНТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ИОНО-ОПТИЧЕСКУЮ
ПОВОРОТНО-ФОКУСИРУЮЩУЮ СИСТЕМУ (ТРАНСПОРТ)**

Программа дает решение линеаризованного уравнения движения частицы через поворотно-фокусирующую систему, состоящую из квадруполей, поворотных магнитов, электростатических линз, сепараторов, диафрагм, коллиматоров и пространств дрейфа. Движение рассматривается независимо в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Пусть (x, y, z) - декартова система координат и z - направление вдоль оси поворотно-фокусирующей системы. Заряженная частица в горизонтальной плоскости (x, z) на срезе $z = z_k$ характеризуется вектором

$$\vec{\psi}_x = \begin{pmatrix} x \\ x' \\ \frac{\Delta p}{p} \end{pmatrix},$$

а в вертикальной плоскости (y, z) - вектором

$$\vec{\psi}_y = \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix},$$

где x и $x' = \frac{dx}{dy}$ - линейное и угловое смещения частицы в плоскости (x, z) , y и $y' = \frac{dy}{dz}$ - соответствующие смещения в плоскости (y, z) , $\frac{\Delta p}{p}$ - относительный импульс. Уравнение движения через элемент системы запишется в виде

$$\vec{\psi} = M \vec{\psi}_0,$$

где $\vec{\psi}_0$ - вектор на входе в элемент, $\vec{\psi}$ - вектор на выходе из элемента, M - матрица преобразования через данный элемент. *)

=====

*) При рассмотрении движения частицы без учета разброса по импульсу вектор $\vec{\psi} = \begin{pmatrix} x \\ x' \end{pmatrix}$ и матрицы преобразования двумерные.

Для квадруполя:

$$M_x = \begin{pmatrix} \cos \kappa l & \frac{\sin \kappa l}{\kappa} & 0 \\ -\kappa \cdot \sin \kappa l & \cos \kappa l & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} \kappa l & \frac{\operatorname{sh} \kappa l}{\kappa} \\ \kappa \cdot \operatorname{sh} \kappa l & \operatorname{ch} \kappa l \end{pmatrix},$$

для поворотного магнита:

$$M_x = \begin{pmatrix} \cos \alpha \theta + \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_1 & \rho \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} & \frac{\rho^2}{\theta^2} (1 - \cos \alpha \theta) \\ -\frac{1}{\rho} [\sin \alpha \theta (\theta - \frac{\operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \beta_2}{\theta}) - \cos \alpha \theta (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2)] & \cos \alpha \theta + \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_2 & \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} + \frac{1 - \cos \alpha \theta}{\theta^2} \operatorname{tg} \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $\theta = \sqrt{1-n}$,

$$M_y = \begin{pmatrix} \cos \alpha \theta - \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_1 & \rho \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \\ -\frac{1}{\rho} [\sin \alpha \theta (\theta - \frac{\operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \beta_2}{\theta}) + \cos \alpha \theta (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2)] & \cos \alpha \theta - \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_2 \end{pmatrix},$$

где $\theta = \sqrt{n}$,

для электростатической линзы:

$$M_x = \begin{pmatrix} \cos \alpha \theta + \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_1 & \rho \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} & \frac{2\rho}{\theta^2} (1 - \cos \alpha \theta) \\ -\frac{1}{\rho} [\sin \alpha \theta (\theta - \frac{\operatorname{tg} \beta_1 \operatorname{tg} \beta_2}{\theta}) - \cos \alpha \theta (\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2)] & \cos \alpha \theta + \frac{\sin \alpha \theta}{\theta} \operatorname{tg} \beta_2 & 2 \left(\frac{\sin \alpha \theta}{\theta} + \frac{1 - \cos \alpha \theta}{\theta^2} \operatorname{tg} \beta_2 \right) \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $\theta = \sqrt{3-n}$,

$$M_y = \begin{pmatrix} 1 & \alpha \rho \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

для тонкой линзы:

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix},$$

для пространства дрейфа:

$$M_x = \begin{pmatrix} 1 & s & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Суммарное действие всей системы будет, выражено последовательным перемножением матриц элементов системы. Все величины, характеризующие свойства системы, могут быть выражены через элементы результирующей матрицы.

Пучок заряженных частиц описывается в горизонтальной плоскости (x, z) на срезе $z = z_k$ фазовым эллипсом

$$\gamma_k x^2 + 2\alpha_k x x' + \beta_k x'^2 = \varepsilon \quad \left(\varepsilon = \frac{F}{\pi} \right) \quad [5].$$

Транспортировка пучка сводится к нахождению коэффициентов $\gamma_k, \alpha_k, \beta_k$ по формуле:

$$\begin{pmatrix} \gamma_k \\ \alpha_k \\ \beta_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d^2 & -2dc & c^2 \\ -bd & ad+bc & -ac \\ b^2 & -2ab & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_0 \\ \alpha_0 \\ \beta_0 \end{pmatrix},$$

где a, b, c, d - элементы матрицы M_x ,

$\gamma_0, \alpha_0, \beta_0$ - коэффициенты начального эллипса.

Аналогичное рассмотрение проводится для вертикальной плоскости (y, z) [5], [7].

Сепарация моноимпульсного пучка по массам (скоростям) может быть описана вектором сепарации

$$\begin{pmatrix} -\mu L^2 \\ 2\mu L \end{pmatrix},$$

где L - длина сепаратора, $\mu = \frac{Ee}{\rho c} \cdot \frac{\gamma_u - \gamma_{ur}}{\gamma_u \cdot \gamma_{ur}}$ - постоянная сепарации, E - напряженность электрического поля, ρ - импульс частицы, e - заряд частицы, $\gamma_u = \frac{v_u}{c}$ - относительная скорость ненужных частиц, $\gamma_{ur} = \frac{v_{ur}}{c}$ - относительная скорость нужных частиц [1], [4].

Диафрагма (щель) может обрезать пучок одновременно в горизонтальной и вертикальной плоскостях или в одной из них. Рассмотрим, например, диафрагму A в горизонтальной плоскости (рис.1). Ширина диафрагмы A $v = v_1 + |v_2|$. Диафрагма A обрежет пучок в фазовой плоскости (x, x') парой параллельных прямых

$$\begin{cases} \frac{x}{v_1} = 1 \\ \frac{x}{v_2} = 1 \end{cases} \quad (1)$$

Так как рассматривается линейаризованное уравнение движения, то прямые (1) преобразуются в прямые

$$\begin{cases} \frac{x}{x_1} + \frac{x'}{x'_1} = 1 \\ \frac{x}{x_2} + \frac{x'}{x'_2} = 1 \end{cases} \quad (2), \text{ где } \begin{pmatrix} \frac{1}{x_i} \\ \frac{1}{x'_i} \end{pmatrix} = M_x \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{v_i} \end{pmatrix}$$

($i = 1, 2$; M_x - матрица от $x = x_A$ до x после диафрагмы) (рис.2).

Таким образом, пучок в любой точке x за диафрагмой будет описываться эллипсом и парой параллельных прямых. Диафрагма оказывает действие на размеры пучка в том случае, когда прямые пересекают эллипс и уменьшают соответственно эмиттанс пучка.

Действие коллиматора АВ (рис.1) равнозначно двум последовательным диафрагмам А, В, расстояние между которыми равно длине коллиматора L . Легко показать, что прямые от любой промежуточной диафрагмы С расположены вне аксептанса, полученного с учетом диафрагм А и В.

Напишем уравнения прямых АА и СС в точке x_B (рис.2)

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{x'_A} \\ \frac{1}{x_A} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{v_1} \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \frac{1}{x'_C} \\ \frac{1}{x_C} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & S \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{1}{v_1} \end{pmatrix} \quad (S < L),$$

$$x'_A = -\frac{x_A}{L} - \frac{v_1}{L}, \quad x'_C = -\frac{x_C}{S} - \frac{v_1}{S}$$

Следовательно, $K_A < K_C$, где K_A, K_C - угловые коэффициенты прямых AA и CC в точке z_0 .

Обращение к СП

x-1 016 x 2000 7610
x П00 А 0000 R ,

A - адрес начала информации относительно системы;

R - адрес ячейки, с которой начинается запись результата;

П - определяет режим работы программы:

$\Pi_2 = 0$ - расчет поворотно-фокусирующей системы без учета разброса по импульсу.

$\Pi_2 = 1$ - расчет поворотно-фокусирующей системы с учетом разброса по импульсу.

$\Pi_1 = 0$ - отключен блок печати (для работы с программой расчета поворотно-фокусирующей системы на оптимум).

$\Pi_1 = 1$ - работает блок печати.

Характеристика программы

Длина n-1 = II02.

Рабочие ячейки 0010 + 0035 *

Массив результата 5000 + 5060 + 10 m, где

m - число диафрагм.

Программа дает возможность получать в любой точке системы следующие характеристики:

I) Матрицы преобразования без учета разброса по импульсу:

*) В ячейках 0025 + 0035 помещается матрица для счета коэффициентов фазового эллипса.

$$M_x = \begin{pmatrix} a_x & b_x \\ c_x & d_x \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} a_y & b_y \\ c_y & d_y \end{pmatrix}.$$

2) Матрицы преобразования с учетом разброса по импульсу:

$$M_x = \begin{pmatrix} a_x & b_x & e_x \\ c_x & d_x & f_x \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_y = \begin{pmatrix} a_y & b_y \\ c_y & d_y \end{pmatrix}.$$

3) Горизонтальный вектор

$$\vec{\Psi}_x = \begin{pmatrix} x \\ x' \\ \frac{\Delta p}{p} \end{pmatrix}.$$

4) Вертикальный вектор

$$\vec{\Psi}_y = \begin{pmatrix} y \\ y' \end{pmatrix}.$$

5) Коэффициенты фазовых эллипсов.

$$\gamma_x, \alpha_x, \beta_x, \gamma_y, \alpha_y, \beta_y$$

6) Вектор сепарации

$$\begin{pmatrix} \mu L^2 \\ 2\mu L \end{pmatrix}.$$

7) Прямые от диафрагм (коллиматоров).

Запись информации относительно системы и начальных данных для транспортировки частицы или пучка.

1) Информация для одного элемента системы занимает несколько ячеек, в первую из которых записывается признак элемента, в последующие - характеристики элемента. Начинается запись с ячейки А. Информация записывается для горизонтального движения, для вертикального все получается автоматически.

Таблица I.

Элементы фокусирующей системы	Признаки эл-ов	Характеристики					Общее кол-во ячеек
пространство дрейфа	I	S см					2
фокусирующая линза	2	l см	K см ⁻¹				3
дефокусирующая линза	3	l см	K см ⁻¹				3
поворотная магнитная линза	4	α рад	n	β_1 рад	β_2 рад	ρ см	6
электростатическая линза	5	α рад	n	β_1 рад	β_2 рад	ρ см	6
сепаратор	6	M см ⁻¹	L см				3
диафрагма	7	r_{1x} см	r_{2x} см	r_{1y} см	r_{2y} см		5
фокусирующая тонкая линза	8	f см					2
дефокусирующая тонкая линза	9	f см					2

2) Информация о начальном эллипсе записывается с ячейки

A-10 в следующей последовательности:

$$A-10 - \varepsilon_{x_0}$$

$$7 - \gamma_{x_0}$$

$$6 - \alpha_{x_0}$$

$$5 - \beta_{x_0}$$

$$A-4 - \varepsilon_{y_0}$$

$$3 - \gamma_{y_0}$$

$$2 - \alpha_{y_0}$$

$$1 - \beta_{y_0}$$

3) Информация о начальном векторе записывается с ячейки

A-15:

$$A-15 - x$$

$$14 - x'$$

$$13 - \frac{\Delta p}{P}$$

$$A-12 - y$$

$$11 - y'$$

Таблица 2.

№№	признаки режимов	что делает программа
1	I, 2, 3, 4, 5, 8, 9	счет матриц преобразования и вектора частиц
2	6	счет вектора сепарации и печать результата
3	7	счет прямых диафрагмы и печать результата
4	II	счет фазового эллипса и печать результата
5	0	печать результата
6	IO	выход из программы

В качестве примера рассмотрим запись информации для системы, изображенной на рис.3:*)

$E_{x_0}, \gamma_{x_0}, \alpha_{x_0}, \beta_{x_0}, E_{y_0}, \gamma_{y_0}, \alpha_{y_0}, \beta_{y_0}, x_0, x'_0, \frac{\Delta p}{p}, y_0, y'_0, 1, S_1, 2, \ell_1, \kappa_1, 1, S_2, 3, \ell_2, \kappa_2, 0, 1, S_3, 7, \gamma_{1x}, \gamma_{2x}, 0, 0, 1, S_4, 7, \gamma_{1x}, \gamma_{2x}, 0, 0, 1, S_5, 4, \alpha, n, \beta_1, \beta_2, \rho, 11, 1, S_6, 7, \gamma_{1x}, \gamma_{2x}, \gamma_{1y}, \gamma_{2y}, 1, S_7, 7, \gamma_{1x}, \gamma_{2x}, \gamma_{1y}, \gamma_{2y}, 1, S_8, 6, \mu, L, 1, S_9, 11, 10$ (в десятичной системе).

Печать результата

Массив результата состоит из нескольких групп и занимает ячейки, начиная с R до $R+36+10m$ без учета разброса по импульсу и до $R+43+10m$ с учетом разброса по импульсу, где m - число диафрагм (таблица 3).

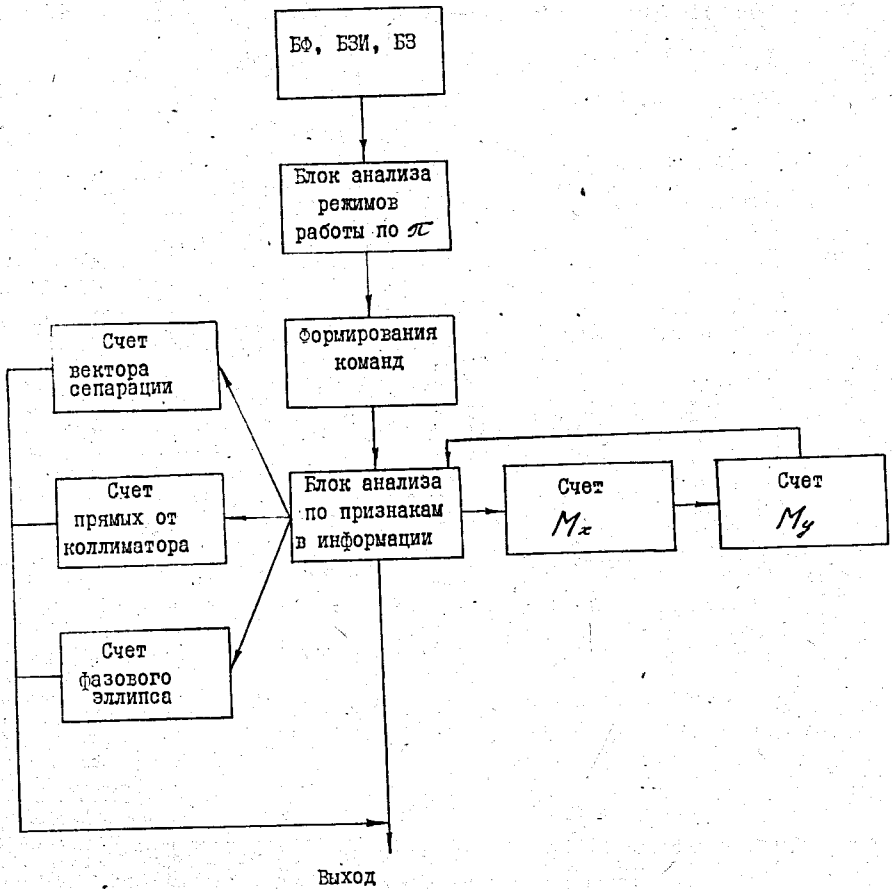
=====

*) Если не нужно считать векторы частицы и эллипсы, то информация начинается с А. Однако не следует занимать ячейки от А-15 до А.

Таблица 3.

Группы результата	Адрес		Признаки печати результата							
	с	без	6		7		11		0	
	учетом учета $\Delta P/P$	$\Delta P/P$	с	без	с	без	с	без	с	без
I. Горизонтальная матрица M_x преобразования от входа в систему до точки печати	R+0	R+0	a_x	a_x	a_x	a_x	a_x	a_x	a_x	a_x
	1	1	b_x	b_x	b_x	b_x	b_x	b_x	b_x	b_x
	2	2	c_x	c_x	c_x	c_x	c_x	c_x	c_x	c_x
	3	3	d_x	d_x	d_x	d_x	d_x	d_x	d_x	d_x
	4									
	5		f_x		f_x		f_x		f_x	
	6		0		0		0		0	
	7		0		0		0		0	
	10		I		I		I		I	
	2. Вертикальная матрица M_y преобразования от входа в систему до точки печати	1	4	a_y		a_y		a_y		a_y
2		5	b_y		b_y		b_y		b_y	
3		6	c_y		c_y		c_y		c_y	
4		7	d_y		d_y		d_y		d_y	
3. Горизонтальный вектор \vec{u}_x	5	10	x	x	x	x	x	x	x	x
	6	1	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'
	7	2	$\Delta P/P$	0	$\Delta P/P$	0	$\Delta P/P$	0	$\Delta P/P$	0
4. Вертикальный вектор \vec{u}_y	20	3	y		y		y		y	
	1	4	y'		y'		y'		y'	
5. Вектор сепарации	2	5	μL^2		0		0		0	
	3	6	$2\mu L$		0		0		0	
	4	7	0		0		ϵ_x		0	
6. Горизонтальный эллипс	5	20	0		0		μ_x		0	
	6	1	0		0		α_x		0	
	7	2	0		0		β_x		0	
	30	3	0		0		ϵ_y		0	
7. Вертикальный эллипс	1	4	0		0		μ_y		0	
	2	5	0		0		α_y		0	
	3	6	0		0		β_y		0	
	4	7	0		0		x_m		0	
8. Характеристики размеров пучка в фазовой плоскости (x, x') : $x_m = \sqrt{\epsilon_x \beta_x}$, $x'_m = -\frac{\alpha_x x_m}{\beta_x}$, $x'_m = \sqrt{\epsilon_x \mu_x}$, $x_m = -\frac{\alpha_x x'_m}{\mu_x}$	5	30	0		0		x'_m		0	
	6	1	0		0		x_m		0	
	7	2	0		0		x_2		0	
	40	3	0		0		y_m		0	
	1	4	0		0		y'_m		0	
9. Характеристики размеров пучка в фазовой плоскости (y, y') : $y_m = \sqrt{\epsilon_y \beta_y}$, $y'_m = -\frac{\alpha_y y_m}{\beta_y}$, $y'_m = \sqrt{\epsilon_y \mu_y}$, $y_m = -\frac{\alpha_y y'_m}{\mu_y}$	2	5	0		0		y_m		0	
	3	6	0		0		y_2		0	
	4	7	$1/x_1$		0		$1/x_1$		$1/x_1$	
	5	40	$1/x_1$		$1/x_2$		$1/x_1$		$1/x_1$	
10. Пара прямых от первой диафрагмы в плоскости (x, x')	6	1	$1/x_2$		0		$1/x_2$		$1/x_2$	
	7	2	$1/x_2$		$1/x_2$		$1/x_2$		$1/x_2$	
	50	3	$1/y_1$		0		$1/y_1$		$1/y_1$	
11. Пара прямых от первой диафрагмы в плоскости (y, y')	1	4	$1/y_1$		$1/y_2$		$1/y_1$		$1/y_1$	
	2	5	$1/y_1$		0		$1/y_1$		$1/y_1$	
	3	6	$1/y_2$		$1/y_2$		$1/y_2$		$1/y_2$	
Пара прямых от m^{01} диафрагмы в плоскости (x, x')	R+M+m=0	R+37+m=0	$1/x_1$		0		$1/x_1$		$1/x_1$	
	1	1	$1/x_1$		$1/z_{1x}$		$1/x_1$		$1/x_1$	
	2	2	$1/x_2$		0		$1/x_2$		$1/x_2$	
	3	3	$1/x_2$		$1/z_{2x}$		$1/x_2$		$1/x_2$	
	4	4	$1/y_1$		0		$1/y_1$		$1/y_1$	
	5	5	$1/y_1$		$1/z_{1y}$		$1/y_1$		$1/y_1$	
	6	6	$1/y_2$		0		$1/y_2$		$1/y_2$	
7	7	$1/y_2$		$1/z_{2y}$		$1/y_2$		$1/y_2$		

Блок-схема программы



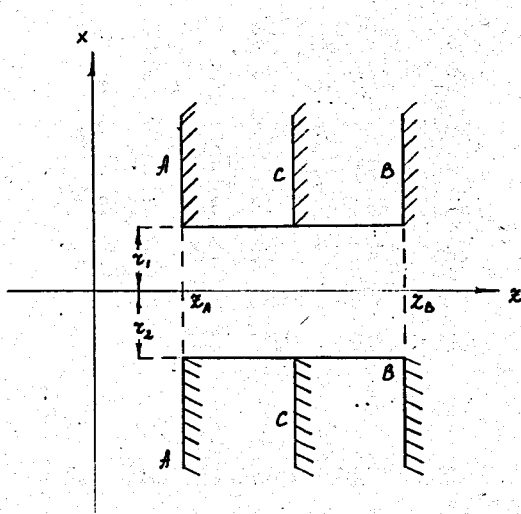


Рис. 1

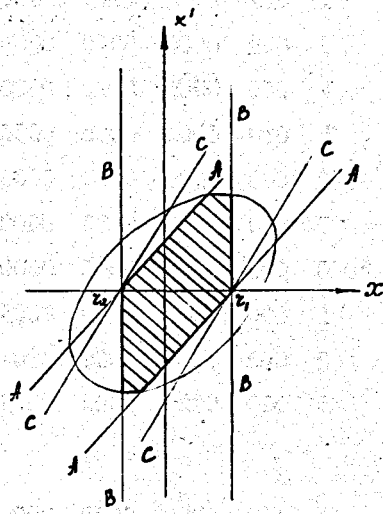


Рис. 2

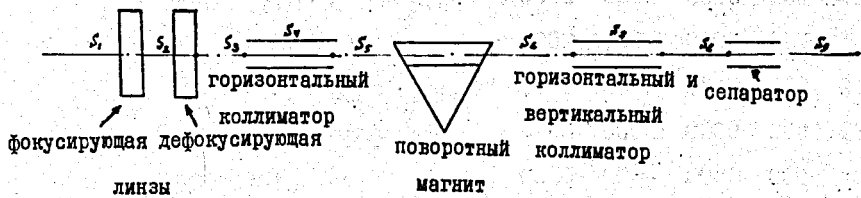


Рис. 3

	AK	2000			
2000	252	3102	0000	7601	}
I	016	2002	7617	7625	
2	016	2052	7573	7601	}
3	000	0000	0000	0000	
4	000	0000	0000	0000	
5	000	0000	0000	0000	
6	000	0000	0000	0000	
7	000	0000	0000	0000	
2010	000	0000	0000	0000	
I	000	0000	0000	2003	
2	000	0000	0000	2004	
3	000	0000	0000	2005	
4	000	0000	0000	2006	
5	000	0000	0000	2007	
6	000	0000	0000	0000	
7	000	0000	0000	0000	
2020	000	0000	0000	0000	
I	000	0000	0000	0000	
2	000	0000	0000	0000	
3	000	0000	0000	0000	
4	000	0000	0000	0000	
5	000	0000	0000	0000	
6	000	0000	0000	0000	
7	000	0010	0000	0000	

БФ

БЭМ

s, l, d, f, μ, v_{1x}
 k, n, L, v_{2x}
 β_1, v_{1y}
 β_2, v_{2y}
 $\rho,$

i

2030	I52	0025	0032	777I
I	500	50I5	0000	0000
2	II2	0043	3053	000I
3	I72	0000	0027	0043
4	500	5022	0000	0000
5	II2	0036	3065	000I
6	I72	0000	0027	0036
7	II2	0002	2665	0002
2040	056	0000	2720	0000
I	052	50I5	0032	7763
2	052	5022	0032	7763
3	052	5026	0032	7766
4	056	0000	2307	0000
5	056	0000	2462	0000
6	056	0000	2504	0000
7	056	0000	25I5	0000
2050	076	0000	2I37	0000
I	500	7770	0000	504I
2	032	0000	7626	2053
3	000	0000	0000	0000
4	000	7604	0000	20I6
5	000	76I6	0000	20I7
6	055	7737	7604	2020
7	0I4	0050	2020	202I

B3

2060	055	7737	7607	2022
I	0I4	0I30	2022	2023
2	0I4	0064	2027	2026
3	052	0000	0000	0000
4	355	773I	20II	20II
5	3I3	2020	20II	20II
6	II2	0004	2064	000I
7	000	0000	0000	20I0
2070	000	2605	0000	26I2
I	000	2040	0000	2650
2	0I3	2043	202I	2754
3	0I3	2030	202I	3022

2074	0I3	205I	2020	2760
5	052	0000	0000	0000
6	I00	776I	0000	5022
7	I00	0000	0000	5023
2I00	I00	0000	0000	5024
I	I00	776I	0000	5025
2	II2	0004	2076	0004
3	055	77I2	20I7	0000
4	036	0000	2I2I	0000
5	052	0000	0000	0000
6	I00	776I	0000	50I5
7	I00	0000	0000	50I6

2I10 I00 0000 0000 5017

I I00 0000 0000 5020

2 II2 0004 2I06 0004

3 000 776I 0000 5025

4 0I3 204I 202I 273I

5 0I3 203I 2022 3053

6 0I3 2033 2023 306I

7 0I3 306I 2022 306I

2I20 056 0000 2I25 0000

I 0I3 2042 202I 2743

2 0I3 2034 2022 3065

3 0I3 2036 2023 3073

4 0I3 3073 2022 3073

5 000 2050 0000 2I33

6 0I3 20II 20I0 2I27

7 000 0000 0000 0000

2I30 0I3 20I0 7724 20I0

I 000 7764 0000 00I0

2 002 00I0 2003 0000

3 076 0000 2I37 0000

4 00I 00I0 776I 00I0

5 0I3 2I33 7722 2I33

6 056 0000 2I32 0000

7 056 0000 3037 0000

Блок анализа признаков

2I40	056	0000	2I53	0000
I	056	0000	220I	0000
2	056	0000	2236	0000
3	056	0000	2247	0000
4	056	0000	2275	0000
5	056	0000	2574	0000
6	056	0000	2605	0000
7	056	0000	2546	0000
2I50	056	0000	2564	0000
I	056	0000	3037	0000
2	056	0000	2757	0000
3	0I3	20II	20I0	2I54

пространство дрейфа

4	000	0000	0000	0000
5	0I3	20I0	7724	20I0
6	052	0000	0000	0000
7	I00	776I	0000	5005
2I60	I00	2003	0000	5006
I	I00	0000	0000	5007
2	I00	776I	0000	50I0
3	II2	0004	2I57	0004
4	055	77I2	20I7	0000
5	036	0000	2650	0000
6	000	5005	0000	5000
7	000	5006	0000	500I

2I70	000	0000	0000	5002
I	000	5007	0000	5003
2	000	50I0	0000	5004
3	000	0000	0000	5005
4	000	0000	0000	5006
5	000	0000	0000	5007
6	000	776I	0000	50I0
7	000	0000	0000	0000

2200	056	0000	2650	0000
I	052	0000	0000	0000
2	4I3	20II	20I0	2203
3	000	0000	0000	0000

фокусирующая линза

4	0I3	20I0	7724	20I0
5	II2	000I	2202	000I
6	005	2003	2004	00I0
7	0I6	22I0	750I	76I0
22I0	000	00I0	007I	00II
I	000	00I2	0000	5005
2	000	00I2	0000	50I0
3	004	00II	2004	5006
4	005	2004	00II	5007
5	002	0000	5007	5007
6	0I6	22I7	750I	76I0
7	000	00I0	0003	00I3

2220	002	0000	0010	0014
I	016	2222	7501	7610
2	000	0014	0003	0015
3	001	0013	0015	0016
4	004	0016	7762	5011
5	000	5011	0000	5014
6	002	0013	0015	0017
7	004	0017	7762	0017
2230	004	0017	2004	5012
I	005	0017	2004	5013
2	000	0000	0000	0000
3	055	7712	2017	0000

4	036	0000	2650	0000
5	056	0000	2166	0000
6	016	2237	2201	2232
7	052	0000	0000	2232

дефокусирующая линза

2240	400	5005	0000	0010
I	500	5011	0000	5005
2	100	0010	0000	5011
3	112	0003	2240	0001
4	055	7712	2017	0000
5	036	0000	2650	0000
6	056	0000	2166	0000
7	052	0000	0000	0000

поворотный магнит

2250	4I3	20II	20I0	225I
I	000	0000	0000	0000
2	0I3	20I0	7724	20I0
3	II2	0004	2250	000I
4	002	2004	0000	0000
5	036	0000	2265	0000
6	0I5	2004	0000	0000
7	036	0000	2267	0000
2260	002	2004	776I	0000
I	036	0000	227I	0000
2	0I5	2004	776I	0000
3	036	0000	2273	0000
4	056	0000	24I2	0000
5	000	2047	0000	2350
6	056	0000	2304	0000
7	000	2046	0000	2350
2270	056	0000	2304	0000
I	000	2045	0000	2350
2	056	0000	2304	0000
3	000	2045	0000	24II
4	056	0000	2362	0000
5	052	0000	0000	0000
6	4I3	20II	20I0	2277
7	000	0000	0000	0000

электростатическая линза

2300	0I3	20I0	7724	20I0
I	II2	0004	2276	000I
2	000	0000	0000	2350
3	000	2044	0000	2304
4	000	0000	0000	0000
5	002	776I	2004	00I0
6	056	0000	23II	0000
7	002	7763	2004	00I0
23I0	000	0000	0000	2304
I	044	00I0	0000	00II
2	005	2003	00II	00I2
3	0I6	23I4	750I	76I0

4	000	00I2	007I	00I3
5	0I6	23I6	750I	76I0
6	000	2005	00II	00I5
7	0I6	2320	750I	76I0
2320	000	2006	00II	00I6
I	004	00I3	00II	00I7
2	005	00I7	00I5	0020
3	00I	00I4	0020	5005
4	005	2007	00I7	5006
5	00I	00I5	00I6	0020
6	005	00I4	0020	0022
7	005	00I5	00I6	002I

2330	004	002I	00II	0023
I	002	00II	0023	0023
2	005	00I3	0023	0023
3	002	0022	0023	0022
4	004	0022	2007	5007
5	005	00I7	00I6	0022
6	00I	00I4	0022	50I0
7	055	77I2	20I7	0000
2340	036	0000	2350	0000
I	0I6	2342	2I66	2I77
2	000	0000	0000	2I77
3	002	776I	00I4	0022
4	004	0022	00I0	0022
5	005	0022	2007	5002
6	005	0022	00I6	0022
7	00I	00I7	0022	5005
2350	000	0000	0000	0000
I	055	77I2	20I7	0000
2	036	0000	2355	0000
3	005	5002	7762	5002
4	005	5005	7762	5005
5	000	776I	0000	50II
6	005	2003	2007	50I2
7	000	0000	0000	50I3

2360	000	776I	0000	50I4
I	056	0000	2650	0000
2	0I6	2363	750I	76I0
3	000	2005	00II	00I5
4	0I6	2365	750I	76I0
5	000	2006	00II	00I6
6	005	2003	00I5	0022
7	00I	776I	0022	5005
2370	005	2003	2007	5006
I	00I	00I5	00I6	0020
2	005	00I5	00I6	002I
3	005	002I	2003	0022
4	00I	0022	0020	0022
5	004	0022	2007	5007
6	005	2003	00I6	0022
7	00I	776I	0022	50I0
2400	055	77I2	20I7	0000
I	036	0000	24II	0000
2	0I6	2403	2I66	2I77
3	000	0000	0000	2I77
4	005	500I	2003	0023
5	004	0023	7762	5002
6	005	2003	0022	0022
7	004	0022	7762	0022

2410	00I	2003	0022	5005
I	000	0000	0000	0000
2	002	2004	776I	00I0
3	044	00I0	0000	00II
4	005	2003	00II	00I2
5	0I6	24I6	750I	76I0
6	000	00I2	0003	00I3
7	002	0000	00I2	0022
2420	0I6	242I	750I	76I0
I	000	0022	0003	00I4
2	00I	00I3	00I4	0022
3	004	0022	7762	0022
4	002	00I3	00I4	00I4
5	004	00I4	7762	00I4
6	0I6	2427	750I	76I0
7	000	2005	00II	00I5
2430	0I6	243I	750I	76I0
I	000	2006	00II	00I6
2	004	00I4	00II	00I7
3	005	00I7	00I5	0023
4	00I	0022	0023	5005
5	005	2007	00I7	5006
6	00I	00I5	00I6	0020
7	005	00I5	00I6	002I

2440	005	0022	0020	0023
I	004	002I	00II	00I3
2	00I	00I3	00II	00I3
3	005	00I3	00I4	00I3
4	00I	00I3	0023	00I3
5	004	00I3	2007	5007
6	005	00I7	00I6	00I3
7	00I	0022	00I3	50I0
2450	055	77I2	20I7	0000
I	036	0000	2462	0000
2	0I6	2453	2I66	2I77
3	000	0000	0000	2I77
4	002	776I	0022	0023
5	004	0023	00I0	0023
6	005	2007	0023	5002
7	002	0000	5002	5002
2460	005	0023	00I6	0023
I	002	00I7	0023	5005
2	044	2004	0000	00II
3	005	00II	2003	00I2
4	0I6	2465	750I	76I0
5	000	00I2	007I	00I3
6	004	00I3	00II	00I7
7	005	00I7	00I5	0022

2470	002	00I4	0022	50II
I	005	00I7	2007	50I2
2	004	002I	00II	0022
3	002	00II	0022	0022
4	005	00I3	0022	0022
5	005	00I4	0020	0023
6	00I	0022	0023	0022
7	004	0022	2007	0022
2500	002	0000	0022	50I3
I	005	00I7	00I6	0022
2	002	00I4	0022	50I4
3	056	0000	2650	0000
4	005	2003	00I5	0022
5	002	776I	0022	50II
6	005	2003	2007	50I2
7	005	2003	002I	0022
25I0	002	0022	0020	0022
I	004	0022	2007	50I3
2	005	2003	00I6	0022
3	002	776I	0022	50I4
4	056	0000	2650	0000
5	002	0000	2004	00I0
6	044	00I0	0000	00II
7	005	2003	00II	00I2

2520	016	2521	7501	7610
I	000	0012	0003	0013
2	002	0000	0012	0022
3	016	2524	7501	7610
4	000	0022	0003	0014
5	001	0013	0014	0022
6	004	0022	7762	0022
7	002	0013	0014	0014
2530	004	0014	7762	0014
I	004	0014	0011	0017
2	005	0017	0015	0023
3	002	0022	0023	5011
4	005	0017	2007	5012
5	004	0021	0011	0013
6	001	0011	0013	0013
7	005	0014	0013	0013
2540	005	0022	0020	0023
I	002	0013	0023	0013
2	004	0013	2007	5013
3	005	0017	0016	0013
4	002	0022	0013	5014
5	056	0000	2650	0000
6	013	2011	2010	2547
7	000	0000	0000	0000

фокусирующая тонкая линза

2550 0I3 20I0 7724 20I0

I 052 0000 0000 0000

2 I00 776I 0000 5005

3 I00 0000 0000 5006

4 I04 776I 2003 5007

5 I00 776I 0000 50I0

6 II2 0004 2552 0004

7 002 0000 5007 5007

2560 000 0000 0000 0000

I 055 77I2 20I7 0000

2 036 0000 2650 0000

3 056 0000 2I66 0000

4 0I6 2565 2546 2560

5 000 0000 0000 2560

6 000 5007 0000 00I0

7 000 50I3 0000 5007

2570 000 00I0 0000 50I3

I 055 77I2 20I7 0000

2 036 0000 2650 0000

3 056 0000 2I66 0000

4 052 0000 0000 0000

5 4I3 20II 20I0 2576

6 000 0000 0000 0000

7 0I3 20I0 7724 20I0

дефокусирующая тонкая линза

сепаратор

2600	II2	000I	2575	000I
I	005	2003	2004	0010
2	005	2003	0010	5037
3	005	0010	7762	5040
4	056	0000	3037	0000
5	052	0000	0000	0000
6	4I3	20II	2010	2607
7	000	0000	0000	0000
2610	0I3	2010	7724	2010
I	II2	0003	2606	000I
2	052	0000	0000	0000
3	0I5	2003	0000	0000
4	036	0000	2624	0000
5	0I5	2004	0000	0000
6	036	0000	2624	0000
7	I00	0000	0000	506I
2620	I04	776I	2003	5062
I	I00	0000	0000	5063
2	I04	776I	2004	5064
3	056	0000	2630	0000
4	I00	0000	0000	506I
5	I00	0000	0000	5062
6	I00	0000	0000	5063
7	I00	0000	0000	5064

КОЛЛИМАТОР

2630	015	2005	0000	0000
I	036	0000	264I	0000
2	015	2006	0000	0000
3	036	0000	264I	0000
4	I00	0000	0000	5065
5	I04	776I	2005	5066
6	I00	0000	0000	5067
7	I04	776I	2006	5070
2640	056	0000	2645	0000
I	I00	0000	0000	5065
2	I00	0000	0000	5066
3	I00	0000	0000	5067
4	I00	0000	0000	5070
5	452	00I0	0000	26I2
6	000	0000	0000	2650
7	056	0000	3037	0000
2650	056	0000	2720	0000
I	033	26I2	2026	2024
2	055	77I2	20I7	0000
3	036	0000	266I	0000
4	000	5000	0000	00I0
5	000	500I	0000	00II
6	000	5003	0000	00I2
7	000	5004	0000	00I3

2660	056	0000	2664	0000
I	052	0000	0000	0000
2	500	5005	0000	0010
3	II2	0003	2662	000I
4	052	0000	0000	0000
5	4I5	506I	0000	0000
6	076	0000	267I	0000
7	4I5	5062	0000	0000
2670	036	0000	2676	0000
I	400	506I	0000	00I4
2	202	0000	5062	00I5
3	0I6	2674	750I	76I0

4	052	00I0	0033	00I4
5	452	506I	0000	0002
6	4I5	5065	0000	0000
7	076	0000	2702	0000
2700	4I5	5066	0000	0000
I	036	0000	2707	0000
2	400	5065	0000	00I4
3	202	0000	5066	00I5
4	0I6	2705	750I	76I0
5	052	50II	0033	00I4
6	452	5065	0000	0002
7	II2	0002	2665	0002

2710	015	2024	2664	0000
I	036	0000	2715	0000
2	013	2664	2026	2664
3	013	2707	2027	2707
4	056	0000	2664	0000
5	000	2661	0000	2664
6	000	2037	0000	2707
7	056	0000	2720	0000
2720	055	7712	2017	0000
I	036	0000	2734	0000
2	016	2723	7501	7610
3	052	5000	0036	5015

перемножение матриц,
умножение матрицы
на вектор

4	052	0010	0000	0003
5	052	0000	0000	0000
6	500	0010	0000	5015
7	112	0010	2726	0001
2730	016	2731	7501	7610
I	000	0000	0000	0000
2	052	5032	0000	0003
3	056	0000	2745	0000
4	016	2735	7501	7610
5	052	5005	0036	5022
6	052	0010	0000	0002
7	052	0000	0000	0000

2740	500	0010	0000	5022
I	II2	0003	2740	000I
2	0I6	2743	750I	76I0
3	000	0000	0000	0000
4	052	5032	0000	0002
5	0I6	2746	750I	76I0
6	052	50II	0036	5026
7	052	00I0	0000	0002
2750	052	0000	0000	0000
I	500	00I0	0000	5026
2	II2	0003	275I	000I
3	0I6	2754	750I	76I0

4	000	0000	0000	0000
5	052	5035	0000	0002
6	056	0000	2I25	0000
7	052	0000	0000	0000
2760	000	0000	0000	0000
I	II2	0004	2760	0004
2	055	77I2	20I7	0000
3	036	0000	277I	0000
4	000	50I5	0000	00I0
5	000	50I6	0000	00II
6	000	5020	0000	00I2
7	000	502I	0000	00I3

фазовый эллипс

2770	056	0000	2774	0000
I	052	0000	0000	0000
2	500	5022	0000	00I0
3	II2	0003	2772	000I
4	052	0000	0000	0000
5	500	5026	0000	00I4
6	II2	0003	2775	000I
7	052	0000	0000	0000
3000	605	00I3	00I3	0025
I	605	00I2	00I3	0026
2	005	7762	0026	0026
3	002	0000	0026	0026

4	605	00I2	00I2	0027
5	605	00II	00I3	0030
6	002	0000	0030	0030
7	605	00I0	00I3	003I
30I0	605	00II	00I2	0032
I	00I	003I	0032	003I
2	605	00I0	00I2	0032
3	002	0000	0032	0032
4	605	00II	00II	0033
5	605	00I0	00II	0034
6	005	7762	0034	0034
7	002	0000	0034	0034

3020	605	00I0	00I0	0035
I	0I6	3022	750I	76I0
2	000	0000	0000	0000
3	452	5042	0000	0003
4	705	504I	5044	505I
5	544	505I	0000	505I
6	704	505I	5044	5052
7	705	5052	5043	5052
3030	302	0000	5052	5052
I	705	504I	5042	5053
2	544	5053	0000	5053
3	704	5053	5042	5054
4	705	5054	5043	5054
5	302	0000	5054	5054
6	II2	0004	3000	0004
7	0I5	2003	7760	0000
3040	036	0000	3045	0000
I	055	77I4	20I6	0000
2	036	0000	2I25	0000
3	000	26I2	0000	3057
4	000	26I2	0000	307I
5	055	26I2	7732	2025
6	0I4	0II4	2025	2025
7	055	77I2	20I7	0000

печать, выход из программы

3050	036	0000	3063	0000
I	013	2032	2025	3054
2	052	0000	0000	0000
3	000	0000	0000	0000
4	000	0000	0000	0000
5	015	2003	7760	0000
6	036	0000	3100	0000
7	000	0000	0000	0000
3060	016	3061	7501	7610
I	000	0000	0000	0000
2	056	0000	3074	0000
3	013	2035	2025	3066
4	052	0000	0000	0000
5	000	0000	0000	0000
6	000	0000	0000	0000
7	015	2003	7760	0000
3070	036	0000	3100	0000
I	000	0000	0000	0000
2	016	3073	7501	7610
3	000	0000	0000	0000
4	052	0000	0000	0000
5	100	0000	0000	5037
6	112	0021	3075	0001
7	056	0000	2125	0000

3100	032	0000	3101	2053	BB
I	016	3102	7633	7601	
2	016	7610	7600	7601	
	314	0252	5436	4101	K Σ
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	
	000	0000	0000	0000	

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N.M.King. Theoretical Techniques of Highenergy Beam Design. Progr. Nucl. Phys. 9, 73, 1964.
2. E.J.Sacharidis. A Program for Particle Beam Optics. Brookhaven National Laboratory, Internal Report, EJS-1, 1964.
3. Дж. Ливингуд. Принципы работы циклических ускорителей. Изд-во Иностран. лит., 1963.
4. J.W.Candner, D.White side. Tramp. Rutherford High Energy Laboratory, NIRE/M/21, 1961.
5. A.P.Banford. The Transport of Charged Particle Beams. London. 1966.
6. В.В.Миллер. Расчет магнитных фокусирующих систем для пучков частиц высокой энергии. ПТЭ, 6, 3-23, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел

13 июня 1967 года.