

Л-553

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2011



П. Либл, Л.М. Панченко, Л.А. Смирнова

СТАНДАРТНАЯ ПРОГРАММА ИНТЕГРИРОВАНИЯ
УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ (СП-0145)

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

1966

2811

П. Либл, Л.М. Панченко, Л.А. Смирнова

СТАНДАРТНАЯ ПРОГРАММА ИНТЕГРИРОВАНИЯ
УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ
В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ (СП-0145)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

4474/3 нр.

В векторной форме уравнение движения частицы в электромагнитном поле записывается в виде:

$$(\overrightarrow{mv})' = \frac{e}{c} [\overrightarrow{v} \times \overrightarrow{H}] + e\overrightarrow{E} . \quad (1)$$

Запишем уравнение (1) в декартовой системе координат (x, y, z) , (ct - параметр интегрирования):

$$\dot{V}_x = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} [A_x(1 - V_x) - A_z V_x V_z - A_y V_x V_y],$$

$$\dot{V}_y = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} [A_y(1 - V_y) - A_x V_y V_x - A_z V_y V_z],$$

$$\dot{V}_z = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} [A_z(1 - V_z) - A_x V_z V_x - A_y V_z V_y]$$

$$\dot{x} = V_x ,$$

$$\dot{y} = V_y ,$$

$$\dot{z} = V_z ,$$

где

$$\beta^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

$$A_x = aE_x + (V_y H_z - V_z H_y) ,$$

$$A_y = aE_y + (V_x H_z - V_z H_x) ,$$

$$A_z = aE_z + (V_x H_y - V_y H_x) ,$$

$$A_0 = \frac{A_{00}}{M} , \quad A_{00} = 0,3 \cdot 10^{-8} , \quad M = \frac{me_p}{em_p} , \quad a = \frac{10}{3}$$

m_p - масса протона

e_p - заряд протона.

В цилиндрической системе координат (r, ϕ, z) уравнение движения записывается следующим образом:

$$\dot{V}_r = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} (A_r - V_r A) + \frac{a^2}{r},$$

$$\dot{a} = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} (A_\phi - aA) - V_r \frac{a}{r},$$

$$\dot{V}_z = A_0 \sqrt{1 - \beta^2} (A_z - V_z A),$$

$$\dot{r} = V_r,$$

(II)

$$\dot{\phi} = \frac{a}{r},$$

$$\dot{z} = V_z,$$

где

$$A = V_r A_r + a A_\phi + V_z A_z,$$

$$A_r = a E_r + (a H_z - V_z H_\phi),$$

$$A_\phi = a E_\phi + (V_z H_r - V_r H_z),$$

$$A_z = a E_z + (V_r H_\phi - a H_r).$$

Описываемая стандартная программа интегрирует системы уравнений (I) и (II).

Программа использует в своей работе стандартную программу 0045 для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты.

СП-0145 в отличие от СП-0045, которую она использует, сделана так, что она работает на РП, как и все другие стандартные программы в системе ИС: на время работы стандартной программы РП фиксируется обычным образом, по окончании работы на ее место может быть поставлена другая стандартная программа.

Кроме того, предусмотрена возможность повторного вызова данной СП без обновления всей ИС, при этом произойдет новый вызов СП и ее новая настройка по параметрам.

В СП-0145 предусмотрено сохранение и восстановление РА СП-0045 при выходе на блоки F и Ф, а также восстановление и сохранение РА основной программы.

Обращение к СП-0145

$\kappa - 1$	0	18	κ	7501	7610
κ	h_1	00	$\langle W \rangle$	0145	q
$\kappa + 1$	1	УЧ ₁	F	Ф	δ
$\kappa + 2$	1	УЧ ₂	b	ϵ_1	ϵ_2

$b, \epsilon_1, \epsilon_2$ и оператор Δ имеют тот же смысл, что и в СП-0045.

$W = M$, если векторы напряженности магнитного поля, скорости движения частицы и силы Лоренца образуют правую систему координат.

$W = -M$, если эти три вектора образуют левую систему координат,

q - начальный адрес 18₈ рабочих ячеек.

Перед обращением к СП-0145 следует заслать начальные условия в ячейки $q \div q+15$ в следующей последовательности:

Номера ячеек	Содержание ячеек в декарт. системе координат	Размерн.	Содержимое ячеек в цилиндр. сист. к.	Размерн.
q	E_x составляющие напряженности электрического поля	кв/см	E_r составляющие напряженности электрического поля	кв/см
q+1	E_y		E_ϕ	
q+2	E_z		E_z	
q+3	H_x составляющие напряженности магнитного поля	эрстеды	H_r составляющие напряженности магнитного поля	эрстеды
q+4	H_y		H_ϕ	
q+5	H_z		H_z	
q+6	h(ct)		h(ct)	
q+7	ct		ct	
q+10	x	см	r	см
q+11	y	"	ϕ	радиан
q+12	z	"	z	см

$$q+13 \quad \dot{x} = \frac{dx}{d(ct)}$$

$$q+14 \quad \dot{y} = \frac{dy}{d(ct)}$$

$$q+15 \quad \dot{z} = \frac{dz}{d(ct)}$$

$$\dot{r} = \frac{dr}{d(ct)}$$

$$a = r \frac{d\phi}{d(ct)}$$

$$\dot{z} = \frac{dz}{d(ct)}$$

Программа работает в двух режимах:

$P_1 \begin{cases} 1 - \text{интегрируется система (I)}, \\ 0 - \text{интегрируется система (II)}. \end{cases}$

$УЧ_1$ - условное число, с помощью которого задается режим оценки погрешности и выбора шага.

00 - счет с заданным постоянным шагом без вычисления погрешности.

$УЧ_1 01$ - счет с заданной "абсолютной" точностью и с автоматическим выбором шага по ϵ_1 и ϵ_2 (погрешность вычисляется стандартным образом).

$УЧ_2$ - в разрядах КОПа размещена шкала, в которой указано, какие компоненты решения участвуют в оценке точности и выборе нового шага.

$УЧ_2$ зависит от порядка системы, т.е. максимальное $УЧ_2 = 77$.

Разрядная сетка, занятая шкалой, имеет вид:

	$\pi_1 \pi_2 \pi_3$	К О П	A_1	A_2	A_3
$k+3$	0 0 1	$V_x V_y V_z$	$x y z$		

Аналогично для цилиндрической системы координат.

F - начало арифметического блока, где вычисляются E_x, E_y, E_z и $N_x, N_y, N_z (E_r, E_\phi, E_z, N_r, N_\phi, N_z)$. Результаты вычислений засылаются в ячейки $q+q+5$

F-1 - ячейки обратной связи.

Ф - начало блока обработки результатов, к которому программа обращается после каждого шага интегрирования по СП-0045.

Ф-1 - ячейка обратной связи.

Оператор Ф может выполнять различные функции, например, изменять параметры системы, вводить новое обращение к СП-0145, печатать результаты на каждом шаге и т.д.

δ - начальный адрес оператора Δ , вычисляющего погрешность нестандартным способом. Этот оператор нужно составлять в следующих случаях:

- 1) когда погрешность должна вычисляться нестандартным образом, а шаг выбирается автоматически стандартной программой;
- 2) когда решение находится с помощью нестандартного выбора шага.

Если $\delta=0$, то оператор Δ отсутствует.

$\delta-1$ - ячейка обратной связи для оператора;

b - адрес ячейки, в которой задается верхняя граница интервала интегрирования.

В момент окончания интегрирования в ячейку 0004 засылается признак "1". Признак "0" означает, что интегрирование не закончено. Если система решается на конечном интервале и сравнение на точный конец проводится стандартно, то в операторе после каждого шага необходимо проверять содержимое ячейки 0004.

Если сравнение на конец нужно проводить нестандартным образом, то оно должно осуществляться в операторе Ф. В операторе Ф следует предусмотреть уход из стандартной программы после окончания интегрирования.

ϵ_2 - адрес ячейки, содержащей число, по которому проверяется, следует ли удваивать шаг интегрирования (можно принять $\epsilon_2 = 10^{-1} \epsilon_1$).

Краткое описание работы СП-0145

СП-0145 состоит из двух частей:

1. Считающая часть (СЧ).
2. Настройка по параметрам (НП).

СП-0145 занимает 0244 ячейки.

НП работает один раз, настраивая СП по исходной информации. Затем ячейки НП используются как рабочие. СП-0145 сначала проверяет признак P_1 и из данной информации формирует обращение к СП-0145.

Далее она засылает начальные условия из ячеек $q+6+q+15$ в рабочие ячейки СП-0045 и обращается к ней (рабочие ячейки СП-0045 включены в СП-0145). Перед обращением к арифметическому блоку F, где вычисляются E и N, предусмотрено сохранение и восстановление РА СП-0045, а также основной программы.

СП-0145 пересылает текущие значения $ct, h, x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ соответственно $ct, h, r, \phi, z, \dot{r}, \dot{\phi}, \dot{z}$ в $q+6+q+15$ и обращается к блоку Ф. После возврата из этого блока содержимое ячеек $q+6+q+15$ снова пересылается в рабочие ячейки СП-0045. При повторном обращении стандартная программа обновляется с барабана и снова настраивается.

Л и т е р а т у р а

1. И.Е. Тамм. Основы теории электричества. Учебное пособие для гос. ун-тов. Изд. 6-е, Москва, Гостехиздат, 1956.
2. Библиотека стандартных программ. Под общей редакцией М.Р. Шура-Бура, ЦБТИ, Москва, 1961.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 августа 1966 г.