

2514/88 ц 840 ←

+

Михайлов В.А. и др.

Б2-9-88-112



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-88-112

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1988

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б2-9-88-112

В.А. МИХАЙЛОВ, В.А. ШЕДУНОВ

SYNCEL - ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА
МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ СИНХРОТРОНА

РУССКОЕ ЦЕНТРАЛЬНОЕ
БИБЛИОТЕЧНОЕ СООБЩЕСТВО
.. 16 - 02 - 88

Дубна, 1988

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

В настоящее время большинство расчетов динамики частиц в синхротронах проводится с помощью электронно-вычислительных машин. С этой целью написаны и активно эксплуатируются программы MAGIC [1], SYNCH [2], TRANSPORT [3], AGS [4] и другие. Ниже приведено описание программы SYNCEL, предназначенной для расчета магнитной структуры синхротрона с разделенными функциями поворота и фокусировки пучка. Программа написана на языке Фортран и поставлена в ОИЯИ на ЭВМ CDC-6500, EC-10-55, CM-4, Правец-16.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ.

В программе SYNCEL использован матричный метод расчета структуры периода ускорителя [5,6]. Регулярный период синхротрона включает в себя элементы трех типов: свободные промежутки, фокусирующие и дефокусирующие квадрупольные линзы, прямоугольные дипольные магниты. В программе общее количество элементов в периоде не должно превышать 40. Магнитная структура периода задается с помощью массива $KI(i)$, в котором порядковому номеру i -того элемента ставится в соответствие число $KI(i)$, характеризующее его тип:

- $KI=1$ - свободный промежуток;
- $KI=2$ - прямоугольный дипольный магнит;
- $KI=3$ - фокусирующая квадрупольная линза;
- $KI=4$ - дефокусирующая квадрупольная линза.

SYNCEL определяет параметры элементов, соответствующие заданным значениям частот бетатронных колебаний $QX0$ и $QZ0$ (см. п.5). При этом одновременно могут варьироваться не более 4-х параметров однотипных элементов, а именно: длины дрейфовых промежутков, индукция поля прямоугольных магнитов и градиенты в F и D-линзах.

Элементы периода, в которых варьируется соответствующий параметр, задаются массивом $KD(i)$. Если $KD(i)=0$, то параметр i -ого элемента остается неизменным. В однотипных элементах с одинаковым значением KD варьируется соответствующий параметр, при этом $KD(i)$ может принимать значения: 1, 2, 3, 4.

После расчета периода структуры (с оптимизацией или без нее) программа может вычислять сдвиги частот бетатронных колебаний $\Delta QX^{(n)}$ и $\Delta QZ^{(n)}$, обусловленные нелинейностями полей в магнитах ($\Delta B/B$), порядка n , вплоть до $n=10$. Рассчитывается также увеличение эффективного эмиттанса пучка ($\Delta E_{x,z}/E_{x,z}$) в результате действия резонанса, тип которого задается тройкой целых чисел NX, NZ, M , с резонансной расстройкой $\delta = NX*QX + NZ*QZ - M$.

2. ВВОД-ВЫВОД.

На рис. 1 представлены данные к программе SYNCEL. Каждая строка, которая начинается со слова READ, пропускается ЭВМ и служит инструкцией того, какие данные и в каком формате вводить в следующей строке. Вводятся следующие данные:

- N - число элементов в периоде;
- NSP - число периодов в синхротроне;
- QX0, QZ0 - требуемые значения частот бетатронных колебаний;
- EMX, EMZ - горизонтальный и вертикальный эмиттансы пучка, деленные на 2π : $E_{x,z}/2\pi$ [см*рад];
- DPP - импульсный разброс пучка $\Delta p/p$;
- RJ - расстояние перпендикулярное осевой траектории в медианной плоскости, на котором заданы нелинейности $(\Delta B/B)_n$ - [см];
- BDIP - индукция в дипольных магнитах - [Гаусс];
- GFOC, GDEF - градиенты поля в F и D-линзах соответственно - [Гаусс/см];
- ROO - средний радиус кривизны осевой траектории - [см];
- H1, H2, H3, H4 - приращения варьируемых параметров для приближенного вычисления частных производных минимизируемого функционала по этим параметрам - в соответствующих единицах;
- EPS - точность минимизации функционала;
- KO ≤ 4 - число варьируемых параметров, если KO=0, то оптимизации нет;
- NITO - максимальное число итераций при оптимизации;
- MXDEM ≤ 16 - число резонансов (NX, NZ, M) и соответствующих $\Delta E_{x,z}/E_{x,z}$, которые рассчитываются при однократном запуске программы;
- LEV ≤ 10 - максимальный порядок нелинейностей поля, до которого проводится расчет $\Delta Q_{x,z}^{(n)}$;
- LSHIF - флаг; если равен 1, то вычисляются $\Delta Q_{x,z}^{(n)}$;
- LDEM - флаг; если равен 1, то вычисляются $(\Delta E_{x,z}/E_{x,z})$;
- LOUT - флаг; если равен 1, то печатаются результаты расчета структуры периода: $\beta_{x,z}$, $\alpha_{x,z}$, Ψ и т.д.;
- IVAR=1 или 2 - метод расчета синхротронных интегралов (см. п. 8);
- NNX(j), NNZ(j), MMM(j), где $1 < j < 16$ - тройки чисел, задающие резонанс (см. п. 7);
- KI(i), $1 \leq i \leq 40$ - массив идентификации элементов периода;
- KD(i) - вариационный индекс i-ого элемента;
- DD(i) - длина i-ого элемента периода - [см];
- DBB1(i), DBB2(i), ..., DBB10(i), $1 \leq i \leq 40$ - значения нелинейностей поля $(\Delta B/B)_n$ (i) и i-ом элементе периода с 1-ого по 10-ый порядок;

Пример выдачи данных представлен в Приложении 1. Выводятся следующие величины:

- MOMENTUM - магнитная жесткость $B\rho$ - [Гаусс*см];
- ELEMENTS - число элементов и периоде;
- LENGTH - длина периода - [см];
- PERIODS - число периодов синхротрона;
- CIRCUMFERENCE - периметр ускорителя - [см];
- RINTG - расстояние от осевой траектории до точки, где определены нелинейности $(\Delta B/B)_n$ (в медианной плоскости) - [см];
- NIT - число циклов оптимизации;
- QX, QZ - частоты бетатронных колебаний;
- CMX, CMZ - $\cos M_x$ и $\cos M_z$ соответственно, где $M_{x,z}$ - набеги фаз бетатронных колебаний на один периоде синхротрона;

COMP - коэффициент расширения орбит;

EKIN - энергия пучка - [Мэв/нуклон].

В колонках после каждого элемента периода даны значения следующих функций и величин (можно не выдавать на печать при LOUT=1):

LENGTH - длина i-ого элемента периода;

FIELD - магнитное поле или градиент в i-ом элементе - [Гаусс] или [Гаусс/см], соответственно;

BETAX, BETAZ, ALPHAX, ALPHAZ - значения функций β_x, β_z - [см], α_x, α_z ;

FIXB, FIZB - значения обобщенных азимутов элементов φ_x и φ_z ;

PSI, DPSI - дисперсионная функция ψ - [см] и ее производная $\psi' = d\psi/ds$;

MX, MZ - фазы бетатронных колебаний относительно начала периода - M_x и M_z ;

HIX, HIZ - аргументы функции Флоке χ_x и χ_z .

Далее в столбцах DQX1...DQX10 напротив порядкового номера каждого элемента периода даются значения вкладов этих элементов в сдвиг частоты ΔQ_x . При этом цифра в обозначениях DQX1...DQX10 показывает порядок учтенной нелинейности поля. В конце каждой колонки даны суммарные величины сдвига частот (строка DQXX), а также вклады в эти сдвиги от дипольных магнитов (строка DQXM), от F и D-квадрупольных линз (строки DQXF и DQXD - соответственно). Аналогичные величины выводятся для ΔQ_z .

Вклад в относительное увеличение эффективного эмиттанта от каждого магнитного элемента выводится в столбцах DEMXC, DEMXS, DEMZC, DEMZS. В столбце PER, указан номер периода, которому принадлежит данный элемент. Суммарное увеличение вычисляется по формуле:

$$(\Delta E_x / E_x) = \sqrt{(\sum_i DEMXC_i)^2 + (\sum_i DEMXS_i)^2},$$

где суммирование ведется по всем магнитам (для $(\Delta E_z / E_z)$ - аналогично). Величины $(\Delta E_{x,z} / E_{x,z})$ обозначены как DEMXC и DEMXZ и выводятся в одной строке вместе с числами, задающими тип резонанса:

NX, NZ, M и резонансной расстройкой DEL.

3. РАСЧЕТ МАТРИЦ. ПОДПРОГРАММЫ MAGNET, LENSE, SPACE, CELL.

Как уже говорилось, в программе SYNCEL используются три типа элементов, которые могут входить в состав периода ускорителя: свободный промежуток, прямоугольный дипольный магнит и F и D-квадрупольные линзы.

Матрицы этих элементов вычисляются в подпрограммах SPACE, MAGNET, LENSE, соответственно, и передаются через COMMON-блоки в другие подпрограммы.

3.1 ПОДПРОГРАММА SPACE.

Обращение: CALL SPACE (D), где D - длина свободного промежутка в [см].

Вычисляются матрицы следующего вида:

$$AX = \begin{pmatrix} / & 1 & D & 0 & \backslash \\ 0 & 1 & 0 & & \\ \backslash & 0 & 0 & 1 & / \end{pmatrix}; \quad AZ = \begin{pmatrix} / & 1 & D & \backslash \\ & & & & \\ \backslash & 0 & 1 & / \end{pmatrix} \quad (1-2)$$

3.2 ПОДПРОГРАММА MAGNET.

Обращение: CALL MAGNET (PO, DM, B), где

PO - магнитная жесткость $B\rho$ - [Гаусс*см],

DM - длина магнита - [см],

B - индукция в магните - [Гаусс].

Подпрограмма вычисляет матричные элементы прямоугольного магнита с однородным полем.

Матрицы имеют вид:

$$AX = \begin{pmatrix} / & 1 & \rho \sin \varphi & \rho(1 - \cos \varphi) & \backslash \\ & 0 & 1 & 2 \operatorname{tg}(\varphi/2) & \\ \backslash & 0 & 0 & 1 & / \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$AZ = \begin{pmatrix} / & & 1 - \varphi \operatorname{tg}(\varphi/2) & & \rho \varphi & \backslash \\ & & & & & \\ \backslash & & -(1/\rho) \operatorname{tg}(\varphi/2) (2 - \varphi \operatorname{tg}(\varphi/2)) & & 1 - \varphi \operatorname{tg}(\varphi/2) & / \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $\rho = PO/B$, $\varphi = DM/\rho$.

3.3 ПОДПРОГРАММА LENSE.

Обращение: CALL LENSE (PO, D, G), где

PO - магнитная жесткость $B\rho$ - [Гаусс*см],

D - длина линзы - [см],

G - градиент поля в линзе - [Гаусс/см], причем, если $G < 0$, то это D-линза, если $G > 0$, то это F-линза.

При $G > 0$ матрицы имеют вид:

$$AX = \begin{pmatrix} / & \cos(kD) & \sin(kD)/k & 0 & \backslash \\ & -k \sin(kD) & \cos(kD) & 0 & \\ \backslash & 0 & 0 & 1 & / \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$AZ = \begin{pmatrix} / & \operatorname{ch}(kD) & \operatorname{sh}(kD)/k & \backslash \\ & & & \\ \backslash & k \operatorname{sh}(kD) & \operatorname{ch}(kD) & / \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где $k = \sqrt{G/PO}$.

Для $G < 0$ элементы AX_{ij} вычисляются по формуле (6), а элементы AZ_{ij} - по формуле (5).

3.4 ПОДПРОГРАММА CELL.

Обращение: CALL CELL.

Данная подпрограмма находит матрицу для периода ускорителя путем перемножения матриц элементов периода. Порядок перемножения

соответствует структуре периода, заданной массивом KI(i) (см. п. 1). Используются подпрограммы SPACE, MAGNET и LENSE (рис. 3).

4. ПОДПРОГРАММА BETDIS.

Обращение: CALL BETDIS.

Подпрограмма рассчитывает основные характеристики периода синхротрона: амплитудные β_x, β_z - функции, функции $\alpha_x, \alpha_z, \gamma_x, \gamma_z$, дисперсионную функцию ψ и ее производную ψ' , набег фаз бетатронных колебаний M_x, M_z , аргументы функции Флоке χ_x, χ_z , частоты QX, QZ , а также коэффициент расширения орбит COMP [6]. При этом значения функций определяются после каждого элемента периода. Начальные значения функций вычисляются из условий периодичности:

$$\begin{aligned} \alpha_{x,z}(0) &= \alpha_{x,z}(N) \quad , \quad \beta_{x,z}(0) = \beta_{x,z}(N) \quad , \quad \gamma_{x,z}(0) = \gamma_{x,z}(N) \quad , \\ \psi(0) &= \psi(N) \quad , \quad \psi'(0) = \psi'(N) \quad . \end{aligned} \quad (7)$$

где N - номер последнего элемента периода; а для значений функции в конце периода имеют [6]:

$$\begin{aligned} \beta_{x,z}(N) &= \frac{b_{12}^{(x,z)}}{\sin M_{x,z}(N)} \quad , \quad \cos M_{x,z}(N) = \frac{b_{11}^{(x,z)} + b_{22}^{(x,z)}}{2} \quad , \\ \alpha_{x,z}(N) &= \frac{b_{11}^{(x,z)} - b_{22}^{(x,z)}}{2 \sin M_{x,z}(N)} \quad , \quad \gamma_{x,z}(N) = \frac{1 + \alpha_{x,z}^2(N)}{\beta_{x,z}(N)} \quad , \end{aligned}$$

$$\psi(N) = \frac{b_{12}^{(x)} * b_{23}^{(x)} - b_{13}^{(x)} * b_{22}^{(x)} + b_{13}^{(x)}}{2 - b_{11}^{(x)} - b_{22}^{(x)}} \quad , \quad (8)$$

$$\psi'(N) = \frac{b_{21}^{(x)} * \psi(N) + b_{23}^{(x)}}{1 - b_{22}^{(x)}} \quad .$$

Матрицы $\| \| b_{ij}^{(x)} \| \|$ и $\| \| b_{mn}^{(z)} \| \|$ ($1 \leq i, j \leq 3$; $1 \leq m, n \leq 2$) периода ускорителя для радиального и вертикального движений соответственно вычисляются в подпрограмме CELL (п. 3.4).

Значения функций после каждого элемента периода определяются из начальных значений по следующим формулам:

$$\begin{pmatrix} \beta^{(i+1)} \\ \alpha^{(i+1)} \\ \gamma^{(i+1)} \end{pmatrix} = C^{(i+1)} * \begin{pmatrix} \beta^{(i)} \\ \alpha^{(i)} \\ \gamma^{(i)} \end{pmatrix} \quad , \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} \psi^{(i+1)} \\ \psi'^{(i+1)} \\ 1 \end{pmatrix} = A^{(i+1)} * \begin{pmatrix} \psi^{(i)} \\ \psi'^{(i)} \\ 1 \end{pmatrix} \quad , \quad 0 \leq i \leq N-1 \quad (10)$$

$$\hat{A}(i) = \begin{pmatrix} a_{11}^2(i) & -2a_{11}(i)a_{12}(i) & a_{12}^2(i) \\ -a_{11}(i)a_{21}(i) & a_{11}(i)a_{22}(i)+a_{12}(i)a_{21}(i) & -a_{12}(i)a_{22}(i) \\ a_{21}^2(i) & -2a_{21}(i)a_{22}(i) & a_{22}^2(i) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $a_{mn}(i)$ - элементы матрицы $\hat{A}(i)$ i -ого элемента в периоде (в формулах (9) и (11) для простоты опущены индексы x и z).

Набег фазы бетатронных колебаний вычисляется по формуле:

$$M_{x,z}(i) = \sum_{j=1}^i \Delta M_{x,z}(j),$$

$$\text{tg } \Delta M_{x,z}(j) = \frac{a_{12}^{(x,z)}(j)}{a_{11}^{(x,z)}(j)\beta_{x,z}(j-1) - a_{12}^{(x,z)}(j)\alpha_{x,z}(j-1)}, \quad (12)$$

где $\Delta M_{x,z}(j)$ - набег фазы на j -ом элементе.

Из определенных выше величин рассчитываются QX, QZ и COMP:

$$QX = M_x(N) * N_p / (2\pi), \quad QZ = M_z(N) * N_p / (2\pi); \quad (13)$$

$$\text{COMP} = (1/AL) * \sum_{i=1}^N [a_{13}^{(x)}(i)\psi'(i-1) - a_{12}^{(x)}(i) + (1 + \psi(i-1)/\rho) * D(i)]; \quad (14)$$

где N_p - число периодов в ускорителе;

$D(i)$ - длина i -ого элемента;

ρ - радиус кривизны осевой траектории;

AL - длина периода.

Аргумент функции Флоке получают из следующих формул:

$$\chi_{x,z}(i) = M_{x,z}(i) - Q_{x,z} * 2\pi * DD(i) / (AL * N_p) \quad (15)$$

где $DD(i) = \sum_{j=1}^i D(j)$ - длина вдоль главной траектории от начала периода до конца i -ого элемента периода.

В подпрограмме BETDIS вызывается SPACE, MAGNET и LENSE.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ. ПОДПРОГРАММЫ OPT и EXT.

Оптимальные значения параметров периода синхротрона находятся путем минимизации функционала F следующего вида:

$$F = (QX - QX0)^2 + (QZ - QZ0)^2 \quad (16)$$

где QX0, QZ0 - требуемые значения частот бетатронных колебаний.

При этом минимум находится методом градиентного спуска [7]. Выход из цикла оптимизации предусмотрен как по условию достижения заданной точности оптимизации $F < \text{EPS}$, так и по числу итераций NITO.

Обращение: CALL OPT (KO, EPS, H, NITO, NIT), где

KO - число варьируемых параметров;

H(1)...H(4) - модули приращений соответствующих параметров для приближенного вычисления частных производных функционала по этим параметрам;

NIT - число итераций, которые потребуются для достижения условия минимума - $F < \epsilon$.

Подпрограмма EXT (Y, F) играет вспомогательную роль. Формальные параметры имеют следующий смысл: Y(1)...Y(4) - текущие значения варьируемых параметров, F - соответствующее значение функционала. В EXT используются подпрограммы CELL и BETDIS.

6. РАСЧЕТ СДВИГОВ ЧАСТОТ. ПОДПРОГРАММА SHIFT.

Подпрограмма предназначена для расчетов сдвигов частот бетатронных колебаний $\Delta Q_{x,z}^{(n)}$, обусловленных нелинейностями поля $(\Delta B/B)_n$ порядка n в структурных элементах ускорителя. Используются следующие выражения [8]:

$$\Delta Q_x^{(n)} = \sum_{j=1}^{n_0} (\Delta p/p)^{n+1-2j} * \sum_{k=0}^{j-1} (j-k) \Lambda_{nj,k} \tilde{E}_x^{j-k-1} \tilde{E}_z^k$$

$$\Delta Q_z^{(n)} = \sum_{j=1}^{n_0} (\Delta p/p)^{n+1-2j} * \sum_{k=1}^j k \Lambda_{nj,k} \tilde{E}_x^{j-k} \tilde{E}_z^{k-1}$$
(17)

где $n_0 = \text{Int}[(n+1)/2]$, $\tilde{E}_{x,z} = E_{x,z}/(2\pi)$, для $\Lambda_{nj,k}$ имеем:

$$\Lambda_{nj,k} = \frac{(-1)^k * n!}{[k!(j-k)!]^2 * (n+1-2j)!} * \frac{1}{2\pi r^n * 2^j} * I_{nj,k}$$
(18)

В формулах (17)-(18)

$E_{x,z}$ - эмиттансы пучка,

ρ - радиус кривизны осевой траектории,

$\Delta p/p$ - импульсный разброс пучка,

r - расстояние от главной траектории до точки, где заданы

значения нелинейностей $(\Delta B/B)_n$ в медианной плоскости. Синхротронные интегралы $I_{nj,k}$ вычисляются в подпрограммах INTG1 или INTG2 (см. п. 8) по формулам:

$$I_{nj,k} = \int_0^L \beta_z^k(s) \cdot \beta_x^{j-k}(s) \cdot \psi^{n+1-2j}(s) \cdot \left(\frac{\Delta B}{B}\right)_n \cdot ds$$
(19)

где L - периметр синхротрона.

Обращение: CALL SHIFT (NN, RI, IV),

NN - порядок n, до которого рассчитываются $\Delta Q_{x,z}^{(n)}$,

RI - расстояние r в формуле (18) - [см],

IV = 1 ; 2 - выбор метода расчета $I_{nj,k}$ (п. 8).

7. РЕЗОНАНСЫ. ПОДПРОГРАММА DEMIT.

Подпрограмма рассчитывает увеличение эффективного эмиттаса пучка $(\Delta E_{x,z}/E_{x,z})$ под воздействием резонансов.

Тип резонанса задается тройкой целых чисел NX, NZ, M (p_x, p_z, m - в формулах (20-22)). Для оценок используются следующие выражения:

$$\left(\frac{\Delta E_{x,z}}{E_{x,z}} \right) = \frac{|n_{x,z}|}{|\delta|} * |H_z| * \tilde{E}_{x,z}^{\frac{|h_{x,z}|-2}{2}} * \tilde{E}_{z,x}^{\frac{|h_{z,x}|-2}{2}}, \quad (20)$$

$$H_z = \frac{(n_x-1)!}{2^{n_z/2} * \pi * \rho * r^{n_z-1} * |n_x|! * |n_z|!} * J_{n_x n_z m}, \quad (21)$$

где $\delta = n_x * QX + n_z * QZ - m$ - резонансная расстройка;

$n_z = |n_x| + |n_z|$ - порядок резонанса;

$R = L / (2\pi)$, L - периметр ускорителя;

$\tilde{E}_{x,z}$, ρ , r - имеют тот же смысл, что и в п. 6.

Синхротронные интегралы $J_{n_x n_z m}$ вычисляются в подпрограммах INTG1 или INTG2 по формулам:

$$J_{n_x n_z m} = \int_0^{2\pi} \beta_x^{\frac{|n_x|}{2}} \beta_z^{\frac{|n_z|}{2}} \exp(i(n_x \chi_x + n_z \chi_z - m\theta)) \left(\frac{\Delta B}{B} \right)_{n_x-1} d\theta \quad (22)$$

где $\chi_x = \mu_x(\theta) - QX * \theta$, $\chi_z = \mu_z(\theta) - QZ * \theta$ - аргумент функции Флоке.

Обращение: CALL DEMIT (NZ, NX, M, RJ),

где RJ - это r в формуле (21) - [см].

8. ПОДПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СИНХРОТРОННЫХ ИНТЕГРАЛОВ:

INTG1, INTG2, SIMPS.

Подпрограммы рассчитывают интегралы I_{njk} и $J_{n_x n_z m}$, входящие в (18) и (21). Каждый из интегралов вычисляется как сумма интегралов по i -ому элементу периода синхротрона $I_{njk}(i)$ и $J_{n_x n_z m}(i)$:

$$I_{njk} = \sum_{i=1}^N I_{njk}(i), \quad J_{n_x n_z m} = \sum_{i=1}^N J_{n_x n_z m}(i). \quad (23)$$

При расчете можно использовать два метода.

Метод 1 (упрощенный) реализован в подпрограмме INTG1. При этом подинтегральная функция аппроксимируется квадратичной параболой. Это дает:

$$I_{njk}(i) = \int_{s_i}^{s_{i+1}} G_{njk}(s) \left(\frac{\Delta B}{B} \right)_n(i) ds \cong$$

$$\cong \left((G(i) + G(i+1)) d_i / 2 + (G'(i) - G'(i+1)) d_i / 12 \right) * \left(\frac{\Delta B}{B} \right)_n(i) \quad (24)$$

где d_i - длина i -ого элемента периода. Производные G' вычисляются по правилам дифференцирования с учетом вида функции G :

$$G_{njk} = \beta_z^k \beta_x^{j-k} \Psi^{n+1-2j} \quad (25)$$

или

$$G_{n_x n_z m} = \beta_x^{\frac{|n_x|}{2}} \beta_z^{\frac{|n_z|}{2}} \cdot \frac{|SIN|}{|COS|} \cdot | (n_x \chi_x + n_z \chi_z - m\theta) | \quad (26)$$

Обращение к подпрограмме: CALL INTG1 (I, J, K), где I, J, K - показатели степени функций β_z, β_x, ψ соответственно в случае (25) и равны n_z, n_x, m соответственно в случае (26). Результатом работы подпрограммы является массив значений $I_{ijk}(i)$ или $J_{n_x n_z m}(i)$, $1 \leq i \leq N$.

Метод 2 реализован в подпрограммах INTG2 и SIMPS. Каждая из подинтегральных функций в этом методе аппроксимируется полиномом 3-ей степени:

$$F_i(s_i) = f_{1i} + f_{2i} s_i + f_{3i} s_i^2 + f_{4i} s_i^3, \quad (27)$$

где s_i - длина вдоль главной траектории, измеряемая от начала i -ого элемента периода; $F_i(s_i)$ - одна из функций: $\beta_{x,z}, \chi_{x,z}, \psi$. Коэффициенты f_{mi} ($1 \leq m \leq 4$) находятся из условий непрерывности $F_i(s_i)$ и ее производной на краях i -ого элемента:

$$\begin{aligned} F_i(0) &= F_{i-1}(d_{i-1}), & F_i(d_i) &= F_{i+1}(0), \\ F'_i(0) &= F'_{i-1}(d_{i-1}), & F'_i(d_i) &= F'_{i+1}(0), \end{aligned} \quad (28)$$

где d_i - длина i -ого элемента.

Откуда, например, для β -функции имеем:

$$\begin{aligned} f_{1i} &= \beta(i), & f_{2i} &= \beta'(i), \\ f_{3i} &= 3 \times \frac{\beta(i+1) - \beta(i)}{d_{i+1}^2} - \frac{2 \times \beta'(i) + \beta'(i+1)}{d_{i+1}}, \\ f_{4i} &= \frac{\beta'(i) + \beta'(i+1)}{d_{i+1}^2} - 2 \times \frac{\beta(i+1) - \beta(i)}{d_{i+1}^3}, & 0 \leq i \leq N. \end{aligned} \quad (29)$$

Аналогичные выражения используются для аппроксимации ψ и $\chi_{x,z}$.

Далее подпрограмма SIMPS осуществляет численное интегрирование с использованием формулы Симпсона:

$$I = \int_{s_0}^{s_0+h} y(s) ds = h(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) / 3, \quad (30)$$

где n - число разбиений длины d_i на интервалы с длиной $h = d_i/n$,

$$y_j = y(s_0 + h \times j), \quad 0 \leq j \leq n.$$

Обращение к подпрограммам: CALL INTG2 (I, J, K, LFL),
CALL SIMPS (EPS, I, J, K, SUM, LFL), где LFL - определяет тип синхротронного интеграла:

LFL=1 - для расчета интеграла типа (19);

LFL=2,3 - для расчета интеграла типа (22) с синусом и косинусом соответственно;

I, J, K имеют тот же смысл, что и в INTG1;

EPS - точность интегрирования по Симпсону;

SUM - значение интеграла.

Результаты работы подпрограмм те же, что и в INTG1.

В заключение авторы выражают благодарность Б.В. Василишину и М.Н. Таровику за полезные советы и помощь в работе.

Обращение к подпрограмме: CALL INTG1 (I, J, K) , где I, J, K - показатели степени функций β_z, β_x, ψ соответственно в случае (25) и равны p_z, p_x, m соответственно в случае (26). Результатом работы подпрограммы является массив значений $I_{njk}(i)$ или $J_{n,n,m}(i)$, $1 \leq i \leq N$.

Метод 2 реализован в подпрограммах INTG2 и SIMPS. Каждая из подинтегральных функции в этом методе аппроксимируется полиномом 3-ей степени:

$$F_i(s_i) = f_{1i} + f_{2i} s_i + f_{3i} s_i^2 + f_{4i} s_i^3, \quad (27)$$

где s_i - длина вдоль главной траектории, измеряемая от начала i -ого элемента периода; $F_i(s_i)$ - одна из функций: $\beta_{x,z}, \chi_{x,z}, \psi$. Коэффициенты f_{mi} ($1 \leq m \leq 4$) находятся из условий непрерывности $F_i(s_i)$ и ее производной на краях i -ого элемента:

$$\begin{aligned} F_i(0) &= F_{i-1}(d_{i-1}) & , & & F_i(d_i) &= F_{i+1}(0) & , \\ F'_i(0) &= F'_{i-1}(d_{i-1}) & , & & F'_i(d_i) &= F'_{i+1}(0) & , \end{aligned} \quad (28)$$

где d_i - длина i -ого элемента.

Откуда, например, для β -функции имеем:

$$f_{1i} = \beta(i), \quad f_{2i} = \beta'(i),$$

$$f_{3i} = 3 \times \frac{\beta(i+1) - \beta(i)}{d_{i+1}^2} - \frac{2 \times \beta'(i) + \beta'(i+1)}{d_{i+1}}, \quad (29)$$

$$f_{4i} = \frac{\beta'(i) + \beta'(i+1)}{d_{i+1}^2} - 2 \times \frac{\beta(i+1) - \beta(i)}{d_{i+1}^3}, \quad 0 \leq i \leq N.$$

Аналогичные выражения используются для аппроксимации ψ и $\chi_{x,z}$.

Далее подпрограмма SIMPS осуществляет численное интегрирование с использованием формулы Симпсона:

$$I = \int_{s_0}^{s_0+h} y(s) ds = h(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) / 3, \quad (30)$$

где n - число разбиений длины d_i на интервалы с длиной $h = d_i/n$,

$$y_j = y(s_0 + h \cdot j), \quad 0 \leq j \leq n.$$

Обращение к подпрограммам: CALL INTG2 (I, J, K, LFL),
CALL SIMPS (EPS, I, J, K, SUM, LFL), где LFL - определяет тип синхротронного интеграла:

LFL=1 - для расчета интеграла типа (19) ;

LFL=2,3 - для расчета интеграла типа (22) с синусом и косинусом соответственно ;

I, J, K имеют тот же смысл, что и в INTG1 ;

EPS - точность интегрирования по Симпсону ;

SUM - значение интеграла.

Результаты работы подпрограмм те же, что и в INTG1.

В заключение авторы выражают благодарность Б.В. Василишину и М.Н. Таровику за полезные совет и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА.

1. King A.S. et. al. SLAC - 183, 1975.
2. Garren A.A., Eusebio J.W. UCID - 10153, 1975.
3. Brown K.L. et. al. CERN 80-04, 1980.
4. Keil E. et. al. CERN 75-13, 1975.
5. Штеффен К. Оптика пучков высоких энергий. "Мир", М., 1969.
6. Брук Г. Циклические ускорители заряженных частиц. Атомиздат, М., 1970.
7. Васильев Ф.П. Лекции по методам решения экстремальных задач. МГУ, М., 1974.
8. Балбеков В.И., Чирков П.Н. ИФВЭ, 83-150, Серпухов, 1983.
9. Балбеков В.И. и др. ИФВЭ, ОКУ 82-76, Серпухов, 1982.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

MINIMUM=45/32034.0 /ZCELL/ ELEMENTS=40 LENGTH= 3144.00 RINTG= 4.00
 /LATTICE/ PERIODS= 3 CIRCUMFERENCE= 25152.00
 NIT= 11 UX= 6.8000E= 6.8500 CMX= 0.5878 CMZ= 0.6191
 LUMP= 0.134E-01 EKIN= 0.599E+04

ELEM	LENGTH(CM)	FIELD	BETAX	ALPHAX	BETAZ	ALPHAZ	FIXB	FIXZ
6020G			1244.25	-2.03668	330.12	0.63710	257.95	0.
131F	0.4250E+02	3513.58	1244.21	2.03758	326.81	-0.55567	0.0049	0.0194
210S	0.3505E+03	0.00	324.53	0.58631	1208.32	-1.95933	0.0922	0.1073
342D	0.4250E+02	-3483.38	324.53	-0.58630	1208.26	1.96060	0.1120	0.1123
410S	0.3505E+03	0.00	1244.20	-2.03757	326.39	0.55543	0.1993	0.2003
531F	0.4250E+02	3513.58	1244.24	2.03668	329.67	-0.63612	0.2042	0.2197
610S	0.4275E+02	0.00	1077.67	1.85980	391.84	-0.81827	0.2097	0.2371
720M	0.1440E+03	20800.00	628.10	1.26442	713.67	-1.41188	0.2355	0.2774
810S	0.7000E+01	0.00	610.60	1.23546	733.65	-1.44124	0.2372	0.2738
920M	0.1440E+03	20800.00	340.72	0.64009	1231.67	-2.00983	0.2845	0.3010
1010S	0.1275E+02	0.00	325.07	0.58733	1283.58	-2.06200	0.2901	0.3024
1142D	0.4250E+02	-3483.38	325.04	-0.58672	1281.74	2.10331	0.3098	0.3072
1210S	0.4275E+02	0.00	382.76	-0.76352	1109.64	1.92241	0.3277	0.3124
1320M	0.1440E+03	20800.00	688.13	-1.35862	640.17	1.33081	0.3696	0.3374
1410S	0.7000E+01	0.00	707.36	-1.38757	621.75	1.30051	0.3710	0.3391
1520M	0.1440E+03	20800.00	1192.33	-1.98267	335.10	0.68583	0.3942	0.3859
1610S	0.1275E+02	0.00	1243.56	-2.03540	318.33	0.62989	0.3957	0.3916
1731F	0.4250E+02	3513.58	1243.51	2.03654	314.22	-0.52886	0.4006	0.4118
1810S	0.4275E+02	0.00	1076.95	1.85958	366.88	-0.70297	0.4061	0.4302
1920M	0.1440E+03	20800.00	627.48	1.26391	651.78	-1.27126	0.4320	0.4739
2010S	0.7000E+01	0.00	609.99	1.23494	669.78	-1.29935	0.4336	0.4754
2120M	0.1440E+03	20800.00	340.30	0.63927	1123.55	-1.84510	0.4810	0.4997
2210S	0.1275E+02	0.00	324.67	0.58649	1171.24	-1.89508	0.4866	0.5013
2342D	0.4250E+02	-3483.38	324.67	-0.58649	1170.93	1.90200	0.5064	0.5065
2410S	0.4275E+02	0.00	382.38	-0.76346	1015.52	1.73342	0.5242	0.5123
2520M	0.1440E+03	20800.00	687.81	-1.35912	594.79	1.18205	0.5661	0.5394
2610S	0.7000E+01	0.00	707.04	-1.38810	578.44	1.15383	0.5676	0.5412
2720M	0.1440E+03	20800.00	1192.24	-1.98376	327.94	0.58198	0.5908	0.5904
2810S	0.1275E+02	0.00	1243.50	-2.03654	313.77	0.52993	0.5923	0.5962
2931F	0.4250E+02	3513.58	1243.55	2.03540	317.72	-0.62732	0.5972	0.6164
3010S	0.4275E+02	0.00	1077.09	1.85860	379.38	-0.81482	0.6027	0.6344
3120M	0.1440E+03	20800.00	627.82	1.26350	702.87	-1.42682	0.6085	0.6757
3210S	0.7000E+01	0.00	610.34	1.23455	723.05	-1.45705	0.6302	0.6771
3320M	0.1440E+03	20800.00	340.67	0.63945	1228.25	-2.04376	0.6775	0.6795
3410S	0.1275E+02	0.00	325.04	0.58672	1281.05	-2.09750	0.6831	0.7009
3542D	0.4250E+02	-3483.38	325.07	-0.58733	1282.51	2.05491	0.7029	0.7057
3610S	0.4275E+02	0.00	382.84	-0.76421	1113.46	1.88945	0.7207	0.7109
3720M	0.1440E+03	20800.00	688.45	-1.35959	650.80	1.31554	0.7626	0.7357
3810S	0.7000E+01	0.00	707.69	-1.38855	632.58	1.28714	0.7641	0.7373
3920M	0.1440E+03	20800.00	1192.98	-1.98392	347.06	0.69140	0.7872	0.7829
4010S	0.1275E+02	0.00	1244.24	-2.03668	330.12	0.63710	0.7887	0.7884

ELEM	LENGTH(CM)	PSI	DPSI	MX	MZ	HIX	HIZ
131F	0.42500E+02	265.39	-0.25894	0.0334	0.1328	-0.0398	0.0601
210S	0.35050E+03	174.63	-0.25894	0.6176	0.7245	-0.0499	0.0320
342D	0.42500E+02	175.51	0.30101	0.7520	0.7589	0.0122	0.0136
410S	0.35050E+03	281.02	0.30101	1.3363	1.3510	0.0011	0.0060
531F	0.42500E+02	274.25	-0.61556	1.3697	1.4840	-0.0377	0.0663
610S	0.42750E+02	247.94	-0.61556	1.4066	1.6032	-0.0734	0.1123
720M	0.14400E+03	164.07	-0.55008	1.5924	1.8770	-0.1422	0.1417
810S	0.70000E+01	160.22	-0.55008	1.5937	1.8887	-0.1428	0.1374
920M	0.14400E+03	85.73	-0.48461	1.9147	2.0407	-0.0664	0.0451
1010S	0.12750E+02	79.60	-0.48461	1.9530	2.0809	-0.0496	0.0334
1142D	0.42500E+02	64.05	-0.25486	2.0872	2.0833	0.0122	-0.0069
1210S	0.42750E+02	53.17	-0.25486	2.2087	2.1191	0.0311	-0.0442
1320M	0.14400E+03	21.20	-0.18938	2.4928	2.2908	0.1007	-0.1190
1410S	0.70000E+01	19.88	-0.18938	2.5029	2.3019	0.0988	-0.1198
1520M	0.14400E+03	-2.66	-0.12391	2.6802	2.6229	0.0115	-0.0453
1610S	0.12750E+02	-4.24	-0.12391	2.6707	2.6819	0.0083	-0.0281
1731F	0.42500E+02	-9.10	-0.10189	2.7041	2.7979	-0.0384	0.0372
1810S	0.42750E+02	-13.45	-0.10189	2.7410	2.9231	-0.0741	0.0902
1920M	0.14400E+03	-23.40	-0.03641	2.9170	3.2250	-0.1428	0.1427
2010S	0.70000E+01	-23.66	-0.03641	2.9283	3.2356	-0.1434	0.1414
2120M	0.14400E+03	-24.19	0.02908	3.2496	3.4034	-0.0666	0.0317
2210S	0.12750E+02	-23.82	0.02908	3.2880	3.4135	-0.0499	0.0310
2342D	0.42500E+02	-24.21	-0.04775	3.4223	3.4789	0.0122	0.0138
2410S	0.42750E+02	-26.25	-0.04775	3.5440	3.4882	0.0612	-0.0202
2520M	0.14400E+03	-28.41	0.01773	3.8284	3.6745	0.1010	-0.0802
2610S	0.70000E+01	-28.29	0.01773	3.8384	3.6865	0.0992	-0.0803
2720M	0.14400E+03	-21.02	0.08320	3.9958	4.0234	0.0119	0.0103
2810S	0.12750E+02	-19.96	0.08320	4.0063	4.0632	0.0007	0.0252
2931F	0.42500E+02	-15.14	0.14115	4.0397	4.2014	-0.0380	0.0937
3010S	0.42750E+02	-9.11	0.14115	4.0766	4.3248	-0.0737	0.1440
3120M	0.14400E+03	15.92	0.20662	4.2525	4.6074	-0.1424	0.1802
3210S	0.70000E+01	17.36	0.20662	4.2638	4.6172	-0.1430	0.1780
3320M	0.14400E+03	51.81	0.27210	4.5849	4.7706	-0.0866	0.0890
3410S	0.12750E+02	55.27	0.27210	4.6232	4.7808	-0.0499	0.0734
3542D	0.42500E+02	70.95	0.47396	4.7574	4.8132	0.0121	0.0330
3610S	0.42750E+02	91.21	0.47396	4.8788	4.8490	0.0609	-0.0043
3720M	0.14400E+03	164.12	0.53944	5.1629	5.0190	0.1004	-0.0808
3810S	0.70000E+01	167.90	0.53944	5.1730	5.0299	0.0986	-0.0810
3920M	0.14400E+03	250.23	0.60491	5.3302	5.3423	0.0112	-0.0159
4010S	0.12750E+02	257.95	0.60491	5.3407	5.3799	0.0000	0.0000

NX= 1 NZ= 1 M= 14 DEL= 3.50E-01 DEMX= 1.25227E-04 DEMZ= 1.10796E-04

		PERIOD=1				
ELEM	PER.	DEMXC	DEMXS	DEMZC	DEMZS	
1F	1	1.4822E+00	-9.3964E-02	1.3175E+00	-8.3523E-02	
3D	1	1.9788E-01	-1.4413E+00	1.7589E-01	-1.2811E+00	
5F	1	-1.4009E+00	-4.9038E-01	-1.2452E+00	-4.3589E-01	
7M	1	-5.1192E+00	7.0045E-01	-4.5504E+00	6.2262E-01	
9M	1	-3.9145E+00	3.3465E+00	-3.4795E+00	2.9747E+00	
11D	1	-7.3183E-01	1.3095E+00	-6.5051E-01	1.1640E+00	
13M	1	-2.1178E-01	5.1465E+00	-1.8825E-01	4.5747E+00	
15M	1	2.5467E+00	4.3834E+00	2.2638E+00	3.8964E+00	
17F	1	1.1171E+00	9.3517E-01	9.9302E-01	8.3126E-01	
19M	1	4.8127E+00	1.2123E+00	4.2779E+00	1.0776E+00	
21M	1	4.6909E+00	-1.4778E+00	4.1697E+00	-1.3136E+00	
23D	1	1.1409E+00	-8.6627E-01	1.0142E+00	-7.7002E-01	
25M	1	2.2159E+00	-4.4195E+00	1.9697E+00	-3.9284E+00	
27M	1	-4.2306E-01	-4.9257E+00	-3.7605E-01	-4.3784E+00	
29F	1	-5.9911E-01	-1.3267E+00	-5.3254E-01	-1.1793E+00	
31M	1	-3.9567E+00	-3.2286E+00	-3.5171E+00	-2.8699E+00	
33M	1	-5.0933E+00	-5.9885E-01	-4.5274E+00	-5.3231E-01	
35D	1	-1.4580E+00	3.5056E-01	-1.2960E+00	3.1161E-01	
37M	1	-3.9406E+00	3.3557E+00	-3.5028E+00	2.9829E+00	
39M	1	-1.4841E+00	4.9164E+00	-1.3192E+00	4.3701E+00	
SUM M		-9.8770E+00	8.4108E+00	-8.7796E+00	7.4763E+00	
SUM F		5.9939E-01	-9.7584E-01	5.3279E-01	-8.6741E-01	
SUM D		-8.5103E-01	-6.4752E-01	-7.5647E-01	-5.7557E-01	
SUM		-1.0129E+01	6.7874E+00	-9.0032E+00	6.0333E+00	

		PERIOD=2				
ELEM	PER.	DEMXC	DEMXS	DEMZC	DEMZS	
1F	2	9.3966E-02	1.4822E+00	8.3525E-02	1.3175E+00	
3D	2	1.4413E+00	1.9788E-01	1.2811E+00	1.7589E-01	
5F	2	4.9038E-01	-1.4009E+00	4.3589E-01	-1.2452E+00	
7M	2	-7.0045E-01	-5.1192E+00	-6.2263E-01	-4.5504E+00	
9M	2	-3.3466E+00	-3.9145E+00	-2.9747E+00	-3.4795E+00	
11D	2	-1.3095E+00	-7.3183E-01	-1.1640E+00	-6.5051E-01	
13M	2	-5.1465E+00	-2.1177E-01	-4.5747E+00	-1.8824E-01	
15M	2	-4.3834E+00	2.5468E+00	-3.8964E+00	2.2638E+00	
17F	2	-9.3517E-01	1.1171E+00	-8.3126E-01	9.9302E-01	
19M	2	-1.2123E+00	4.8127E+00	-1.0776E+00	4.2779E+00	
21M	2	1.4779E+00	4.6909E+00	1.3136E+00	4.1697E+00	
23D	2	8.6627E-01	1.1409E+00	7.7002E-01	1.0142E+00	
25M	2	4.4195E+00	2.2159E+00	3.9284E+00	1.9696E+00	
27M	2	4.9257E+00	-4.2306E-01	4.3784E+00	-3.7606E-01	
29F	2	1.3267E+00	-5.9912E-01	1.1793E+00	-5.3255E-01	
31M	2	3.2286E+00	-3.9567E+00	2.8699E+00	-3.5171E+00	
33M	2	5.9884E-01	-5.0933E+00	5.3230E-01	-4.5274E+00	
35D	2	-3.5056E-01	-1.4580E+00	-3.1161E-01	-1.2960E+00	
37M	2	-3.3557E+00	-3.9406E+00	-2.9829E+00	-3.5028E+00	
39M	2	-4.9164E+00	-1.4841E+00	-4.3701E+00	-1.3192E+00	
SUM M		-8.4108E+00	-9.8770E+00	-7.4763E+00	-8.7795E+00	
SUM F		9.7584E-01	5.9939E-01	8.6741E-01	5.3279E-01	
SUM D		6.4752E-01	-8.5104E-01	5.7557E-01	-7.5648E-01	
SUM		-6.7874E+00	-1.0129E+01	-6.0333E+00	-9.0032E+00	

MAX. DEGREE OF Q-SHIFTS = 10
 EMX= 2.0E-03 EMZ= 2.2E-03 DPF= 4.0E-03 RR= 4.0E+00

ELEM	DQX1	DQX2	DQX3	DQX4	DQX5
1	4.89240E-01	2.59034E-01	1.53524E-01	9.00739E-02	3.34766E-02
3	1.21525E-01	4.20697E-02	-4.52334E-02	-3.63569E-02	-7.91871E-04
5	4.89240E-01	2.74844E-01	1.66550E-01	1.00515E-01	4.12847E-02
7	1.09192E+00	4.56343E-01	7.92791E-02	-6.85591E-03	-5.91791E-02
9	6.00744E-01	1.51199E-01	-1.56626E-01	-8.46005E-02	-9.57302E-03
11	1.21721E-01	1.72892E-02	-5.82937E-02	-1.69082E-02	1.51893E-02
13	6.78604E-01	4.72911E-02	-1.69007E-01	-2.55839E-02	-5.42411E-04
15	1.21818E+00	1.66966E-02	-1.31441E-02	-2.25263E-03	-5.26505E-02
17	4.88968E-01	-6.59654E-03	5.31935E-02	-1.43565E-03	-1.26904E-02
19	1.09104E+00	-4.09444E-02	-4.52061E-02	4.21618E-03	-4.55604E-02
21	6.00066E-01	-2.96143E-02	-1.62658E-01	1.62587E-02	8.91751E-03
23	1.21578E-01	-5.7274E-03	-5.40191E-02	5.14257E-03	1.38970E-02
25	6.78128E-01	-3.82681E-02	-1.50947E-01	1.70546E-02	-4.11597E-03
27	1.21791E+00	-6.11966E-02	4.59257E-04	6.87510E-04	-5.00106E-02
29	4.88969E-01	-1.73655E-02	5.36967E-02	-3.79412E-03	-1.24842E-02
31	1.09137E+00	3.28393E-03	-5.99435E-02	-2.31709E-03	-4.71892E-02
33	6.00554E-01	3.85845E-02	-1.81948E-01	-2.53141E-02	1.44847E-02
35	1.21721E-01	1.51905E-02	-5.85673E-02	-1.48790E-02	1.58427E-02
37	6.78857E-01	1.77103E-01	-1.33429E-01	-8.01953E-02	-2.41178E-02
39	1.21882E+00	5.16370E-01	1.45646E-01	3.85112E-02	-4.27070E-02

DQXM 1.07662E+01 1.23685E+00 -8.52925E-01 -1.50391E-01 -3.12244E-01

DQXF 1.95642E+00 5.09916E-01 4.27165E-01 1.85359E-01 4.95867E-02

DQXD 4.86544E-01 6.87766E-02 -2.16214E-01 -6.30015E-02 4.41371E-02

DQXX 1.32092E+01 1.81554E+00 -6.1974E-01 -2.80338E-02 -2.18520E-01

ELEM	DQX6	DQX7	DQX8	DQX9	DQX10
1	-2.27269E-04	-1.98797E-02	1.85682E-02	2.67290E-03	-1.96302E-04
3	1.03689E-02	6.55685E-03	-1.26106E-03	8.35242E-05	-1.45626E-05
5	3.96182E-03	-1.95455E-02	2.01118E-02	3.05803E-03	-2.34706E-04
7	-6.62356E-02	-4.77964E-02	1.31759E-02	1.15676E-03	-2.23364E-05
9	3.12475E-03	9.71854E-03	-5.64199E-03	-1.52053E-04	-1.01791E-05
11	7.32782E-03	-3.96818E-04	5.82174E-04	1.23890E-04	-5.96662E-06
13	1.37799E-03	1.03203E-02	-1.77063E-03	1.33575E-04	-6.05891E-06
15	-2.26835E-03	-7.44314E-03	-3.22643E-05	-1.81864E-04	1.83083E-06
17	5.12997E-04	-8.73544E-03	-2.94373E-04	1.61431E-04	8.70022E-07
19	5.08129E-03	-2.57970E-03	-1.11406E-04	-2.04420E-04	-3.21969E-06
21	-1.43813E-03	7.62074E-03	9.31664E-04	1.84089E-04	3.85313E-06
23	-2.00819E-03	-9.10480E-04	-1.21278E-04	8.79440E-05	1.65153E-06
25	6.26751E-04	8.63532E-03	1.22511E-03	7.90071E-05	2.01633E-06
27	7.58027E-03	-8.93839E-03	-9.83936E-04	-1.27812E-04	-3.05952E-06
29	1.34066E-03	-8.79454E-03	-7.76265E-04	1.68909E-04	2.32781E-06
31	-2.75720E-04	-9.15549E-04	-2.96431E-04	-2.34324E-04	4.67993E-07
33	4.47218E-03	8.61481E-03	-1.17509E-03	2.61776E-04	-8.55175E-06
35	6.51168E-03	-8.06445E-04	5.52677E-04	1.17824E-04	-5.12750E-06
37	-7.84097E-03	7.02105E-03	-5.85813E-03	-3.14600E-04	3.29942E-06
39	-6.44661E-02	-5.66043E-02	2.65435E-02	2.22734E-03	-9.01437E-05

DQXM -1.20262E-01 -7.23468E-02 3.10063E-02 2.82748E-03 -1.32081E-04

DQXF 6.04275E-03 -5.69552E-02 3.76094E-02 6.06126E-03 -4.27810E-04

DQXD 2.22002E-02 4.44310E-03 -2.47491E-04 4.13183E-04 -2.40052E-05

DQXX -9.20187E-02 -1.24859E-01 8.83682E-02 9.30193E-03 -5.83897E-04

ELEM	DQZ1	DQZ2	DQZ3	DQZ4	DQZ5
1	-1.22980E-01	-6.51039E-02	-7.62528E-02	-6.24932E-02	-4.91095E-02
3	-4.75011E-01	-1.64421E-01	2.40540E-02	3.68990E-02	2.55869E-02
5	-1.22016E-01	-6.89860E-02	-7.94098E-02	-6.74478E-02	-5.43119E-02
7	-7.01185E-01	-2.81934E-01	-2.18827E-01	-1.34928E-01	-5.07350E-02
9	-1.26173E+00	-3.00351E-01	-4.59193E-03	8.49877E-03	5.33854E-02
11	-5.04258E-01	-7.16181E-02	7.20389E-02	2.19054E-02	1.03556E-02
13	-1.12071E+00	-8.48512E-02	-9.78645E-03	1.51414E-03	5.02632E-02
15	-6.03745E-01	-1.08561E-02	-1.45456E-01	-4.14306E-03	3.69378E-04
17	-1.18390E-01	1.59571E-03	-4.88039E-02	1.31559E-03	-1.08016E-02
19	-6.45438E-01	2.54091E-02	-1.29025E-01	9.64701E-03	8.37817E-03
21	-1.15048E+00	5.68959E-02	2.31777E-02	-2.46046E-03	4.48593E-02
23	-4.60380E-01	2.18575E-02	6.09607E-02	-5.83683E-03	8.27269E-03
25	-1.03115E+00	5.77784E-02	-2.22885E-02	2.47443E-03	4.25261E-02
27	-5.72223E-01	2.95038E-02	-1.42439E-01	1.42973E-02	-3.28791E-03
29	-1.18190E-01	4.19575E-03	-4.88300E-02	3.46207E-03	-1.09336E-02
31	-6.85458E-01	-5.35359E-03	-1.31169E-01	-7.16368E-04	1.28250E-02
33	-1.25204E+00	-8.84129E-02	4.37310E-02	9.55715E-03	5.17505E-02
35	-5.03911E-01	-6.28809E-02	7.36313E-02	1.93535E-02	9.47653E-03
37	-1.13070E+00	-2.79604E-01	-5.66269E-02	-1.66218E-02	4.51554E-02
39	-6.19164E-01	-2.52815E-01	-2.26182E-01	-1.46590E-01	-7.05677E-02

DQZM	-1.07740E+01	-1.13459E+00	-1.01948E+00	-2.59471E-01	1.84922E-01
DQZF	-4.82375E-01	-1.28298E-01	-2.53297E-01	-1.25163E-01	-1.25157E-01
DQZD	-1.94356E+00	-2.77062E-01	2.31485E-01	7.23210E-02	5.36917E-02
DQZZ	-1.32000E+01	-1.53995E+00	-1.04130E+00	-3.12313E-01	1.13457E-01

ELEM	DQZ6	DQZ7	DQZ8	DQZ9	DQZ10
1	-3.67691E-02	-2.44864E-02	8.91317E-03	5.05261E-04	-3.11280E-07
3	1.43419E-02	-2.46920E-03	6.26284E-03	4.89064E-04	-4.09973E-07
5	-4.17569E-02	-2.89229E-02	1.10343E-02	6.98022E-04	-7.91094E-06
7	-1.16725E-02	8.05335E-03	-9.66367E-03	-1.20490E-03	7.08719E-05
9	3.81397E-02	9.07430E-04	4.93379E-03	4.03101E-04	-1.75713E-05
11	3.29467E-03	-1.01292E-02	3.77772E-03	-1.87702E-04	1.68681E-05
13	1.12147E-02	-6.73658E-03	1.85741E-03	2.09730E-04	-4.09127E-06
15	7.06705E-04	8.46080E-03	-3.71085E-04	-1.21372E-04	-7.56947E-08
17	4.36637E-04	5.56205E-05	1.90446E-06	-9.17639E-05	-4.95118E-07
19	-1.26910E-03	7.90010E-03	7.47573E-04	-4.31584E-05	-2.30166E-07
21	-6.64296E-03	-1.00362E-02	-1.29400E-03	7.25499E-05	1.17900E-06
23	-1.14579E-03	-8.34382E-03	-9.98439E-04	-2.03299E-04	-4.04901E-06
25	-7.17830E-03	-4.17025E-03	-6.27436E-04	1.67006E-04	3.66404E-06
27	2.11840E-04	7.52244E-03	9.74538E-04	-1.46975E-04	-2.57510E-06
29	1.15414E-03	-1.69415E-05	2.49747E-06	-9.13692E-05	-1.29926E-06
31	9.58794E-04	8.47091E-03	-7.21943E-05	-6.19122E-06	-1.01846E-06
33	1.02465E-02	-1.41296E-02	3.05200E-03	6.20271E-05	2.07977E-05
35	2.78798E-03	-1.02910E-02	3.33235E-03	-2.23619E-04	1.53827E-05
37	3.63251E-02	7.97432E-03	7.60085E-04	2.79482E-04	-2.26096E-05
39	-3.05611E-02	-4.46617E-03	-5.36942E-03	-1.03596E-03	7.92926E-05

DQZM	4.04793E-02	9.75058E-03	-5.06650E-03	-1.36466E-03	1.08916E-04
------	-------------	-------------	--------------	--------------	-------------

DQZF	-7.69352E-02	-5.33706E-02	2.00689E-02	1.02015E-03	-1.00166E-05
------	--------------	--------------	-------------	-------------	--------------

DQZD	1.92788E-02	-3.12332E-02	1.23765E-02	-1.25555E-04	2.77919E-05
------	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------

DQZZ	-1.71771E-02	-7.48532E-02	2.73169E-02	-4.70064E-04	1.26691E-04
------	--------------	--------------	-------------	--------------	-------------

PROGRAM SYNCEL

C*****

```

COMMON/INIT/ N,PU,KI(40),BU(40),BB(40),KU(40),NSP,PI,
*UXU,UZU,UX,QZ,DBB(10,40),D(40)
COMMON/MAIR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
COMMON/CALC/ CMX,CMZ,BIXU,BIZU,PSI,ALXU,ALZU,DPSI,
*BIX(40,3),BIZ(40,3),BIS(40),BBS(40),COMP,AL,AMX(40),AMZ(40),
*HIX(40),HIZ(40),FIXB(40),FIZB(40)
COMMON/INT/ EMX,EMZ,DPP,ROU,ALL,RIN(40)
COMMON/DUXZ/ DUX(10,40),DUZ(10,40)
COMMON/DEMA/ DEMXC(21,8),DEMZC(21,8),DEMXS(21,8),DEMZS(21,8),
*SUMXC(8,3),SUMZC(8,3),SUMXS(8,3),SUMZS(8,3),SXC(8),SZC(8),SXS(8),
*SZS(8),SUXC(3),SUZC(3),SUZS(3),SUZS(3),SUXC,SUZC,SUXS,SUZS,DEM,DEMZ
DIMENSION DUX(10),DUZ(10),DUXM(10),DUZM(10),DUXF(10),DUZF(10),
*DUXD(10),DUZD(10)
DIMENSION KL(5),H(4),NNX(16),NNZ(16),MMM(16)
DATA KL/1HS,1HM,1HF,1HD,1HA/
    
```

C*****

```

C INPUT BLOCK *
C N,NSP-NUMBER OF ELEMENTS,CELLS *
C KI-ELEMENT INDEX: 1-SPACE, 2- MAGNET, 3-F-LENS, *
C 4-D-LENS. *
C KI-OPTIMIZATION INDEX *
C BU-LENGTH OF ELEMENT (CM),ANGLE(RAD) *
    
```

C*****

C

C

C

READ OF DATA

CALL ASSIGN(2,'DK3:L11,11)SINC.DAT')

NERR=1

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,401,ERR=410) N,NSP,UXU,UZU,EMX,EMZ,DPP,KU

NERR=2

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,402,ERR=410) BU,BFU,BDU,ROU,(H(L),L=1,4)

NERR=3

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,403,ERR=410) EPS,KO,NITU,MXDEM,LEV,LSHIF,LDEM,LFUL,LOUT,IVAR

NERR=4

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,406,ERR=410) (NNX(L),L=1,16)

NERR=5

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,406,ERR=410) (NNZ(L),L=1,16)

NERR=6

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,406,ERR=410) (MMM(L),L=1,16)

NERR=7

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,404,ERR=410) KI

NERR=8

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,404,ERR=410) KU

NERR=9

READ(2,400,ERR=410)

READ(2,408,ERR=410) BU

NERR=10

READ(2,400,ERR=410)

BU 701 LU=1,20

LG=2*LU-1

READ(2,405,ERR=410) (DBB(MU,LG),MU=1,10)

701 CONTINUE

400 FORMAT(80A1)

401 FORMAT(2(1X,I2),2(1X,F5.3),3(1X,E10.3),1X,F4.1)

402 FORMAT(3(1X,F8.2),1X,F6.1,4(1X,F4.1))

403 FORMAT(1X,E8.1,1X,I1,1X,I4,2(1X,I2),5(1X,I1))

404 FORMAT(20(1X,I1)/20(1X,I1))

```

408 FORMAT(4(1X,F6.2),6(/6(1X,F6.2)))
405 FORMAT(10(1X,F3.1))
CALL CLOSE(2)
GOTO 415
410 PRINT 411,NEKK
411 FORMAT(25X,'BAD ',12,'-ST READ')
STOP
415 PI=3.141593
PU=RG*RUU
LNIN=SQRT((2*Y38.)*2.+(3.*PU/10000)*2.)/2.-938.

C
C DATA FOR SYNCHROTRON INTEGRALS
C
C LDEN,LSHIF---FLAGS FOR CALCULATION OF DEMX,DEMZ AND Q-SHIFTS
C LUU1-----FLAG FOR PRINTING OF BETA,ALPHA,MU...
C YES IF FLAG=1
C IVAR=2---SIMPSON METHOD OF CALC.
C IVAR=1---THE METHOD OF CALC. WITH SOME FORMULA
C LFUL---FLAG FOR TOTAL PRINT OF INTEGRALS IN DEMX DEMZ
C
C INITIAL DATA FOR MAIN PROGRAM
DU 26 K=1,N
KR=KI(K)
DU 26 J=1,10
IF(KR.EQ.1)DBB(J,K)=0.
26 CONTINUE
DU 25 L1=1,N
KR=KI(L1)
IF(KR.EQ.1)BUB=0.
IF(KR.EQ.2)BUB=BG
IF(KR.EQ.3)BUB=BFU
IF(KR.EQ.4)BUB=BDU
25 BB(L1)=BUB
AL=0.
KS=0
DU 4 I4=1,N
IF(KD(I4).GT.KS) KS=KD(I4)
AL=AL+ABS(DD(I4))
4 D(I4)=AL
ALL=AL*NSP
PRINT 92,PU,N,AL,RJ,NSP,ALL
92 FORMAT(2X,'MOMENTUM=',F10.1,4X,'/CELL/',2X,'ELEMENTS=',12,
*2X,'LENGTH=',F8.2,2X,'RINTG=',F5.2,/2X,'H/LATTICE/',2X,'PERIODS=',12,
*2X,'14HCIRCUMFERENCE=',F9.2)
IF(KD.NE.0) CALL OPT(KS,EPS,F,NITO,NIT)
CALL CELL
CALL BETDIS
CALL INTG1(0,-1,0,1,0)
RRI=0.
DU 47 IJ=1,N
RRI=RRI+RIN(IJ)
FIXB(IJ)=RRI/UX
47 CALL INTG1(-1,0,0,1,0)
RRI=0.
DU 48 IJ=1,N
RRI=RRI+RIN(IJ)
48 FIZB(IJ)=RRI/UZ
UX=UX
UZ=UZ
AMUX=AMX(N)
AMUZ=AMZ(N)

C
C CALCULATION OF CHROMATICITY
C
HRX1=0.
HRX2=0.
HRX3=0.
HRX4=0.

```

```

DU /2 L=1,N
IF (KI(L).EQ.1) GOTO 72
IF (KI(L).EQ.2) GOTO 71
HRX1=HRX1-DD(L+1)*BB(L+1)*(BIX(L+1,1)+BIX(L,1))/2.
HRZ1=HRX1+DD(L+1)*BB(L+1)*(BIZ(L+1,1)+BIZ(L,1))/2.
GOTO 72
71 HRX2=HRX2+DD(L+1)*(DIS(L+1)*BIX(L+1,3)+DIS(L)*BIX(L,3))/2.
HRZ2=HRZ2+DD(L+1)*(DIS(L+1)*BIZ(L+1,3)+DIS(L)*BIZ(L,3))/2.
HRX3=HRX3-DD(L+1)*((BIX(L+1,1)+BIX(L,1))/2.+DD(L+1)*(BIX(L+1,2)-
*BIX(L,2))/6.)
HRX4=HRX4-DD(L+1)*(DDIS(L)*BIX(L,2)+DDIS(L+1)*BIX(L+1,2))/2.
72 CONTINUE
HRX1=HRX1-DD(1)*BB(1)*(BIX(1,1)+BIX0)/2.
HRZ1=HRZ1+DD(1)*BB(1)*(BIZ(1,1)+BIZ0)/2.
C IT'S NO 1-ST DIPOLE MAGNET HERE
HRX1=HRX1/(4.*PI*P0)
HRZ1=HRZ1/(4.*PI*P0)
HRZ2=HRZ2/(4.*PI*RU0)
HRX2=HRX2/(4.*PI*RU0)
HRX3=HRX3/(4.*PI*RU0*RU0)
HRX4=HRX4/(2.*PI*RU0)

```

C
C
C
CALCULATION OF SYNCHROTRON INTEGRALS

```

IF (LSHIF.NE.1) GOTO 55
DU 200 NN=1,10
NN=NN
QDZM=0.
QDXM=0.
QDXF=0. /
QDZF=0.
QDZD=0.
QDXD=0.
IF (NN.GT.LEV) GOTO 206
CALL SHIFT(NN,RJ,IVAR)
DU 205 L=1,N
GOTO (205,202,203,204),KI(L)
GOTO 205
202 QDZM=QDZM+DQZ(NN,L)*DBB(NN,L)
QDXM=QDXM+DQX(NN,L)*DBB(NN,L)
GOTO 205
203 QDZF=QDZF+DQZ(NN,L)*DBB(NN,L)
QDXF=QDXF+DQX(NN,L)*DBB(NN,L)
GOTO 205
204 QDZD=QDZD+DQZ(NN,L)*DBB(NN,L)
QDXD=QDXD+DQX(NN,L)*DBB(NN,L)
205 CONTINUE
206 CONTINUE
DQZM(NN)=QDZM
DQXM(NN)=QDXM
DQZF(NN)=QDZF
DQXF(NN)=QDXF
DQZD(NN)=QDZD
DQXD(NN)=QDXD
DQXX(NN)=QDXD+QDXF+QDXM
DQZZ(NN)=QDZD+QDZF+QDZM
200 CONTINUE
55 CONTINUE

```

C
C
C
C
C
END OF CALCULATION Q-SHIFTS

C
C
C
C
C
OUTPUT OF RESULTS

```

PRINT 95,NI1,QX,QZ,CMX,CMZ,COMP,EKIN
95 FORMAT (2X,'NI1=',I4,2X,'QX=',F7.4,2X,'QZ=',F7.4,2X,'CMX=',F7.4,2X,
*'CMZ=',F7.4,/,2X,'COMP=',E10.3,3X,'EKIN=',E10.3)
IF (LOUT.NE.1) GOTO 33
PRINT 98,BIX0,ALX0,BIZ0,ALZ0,PSI,DPST
98 FORMAT (2X,4H0000,23X,3(1X,F8.2,1X,F9.5))

```

```

*4X, 'BETAZ', 4X, 'ALPHAZ', 3X, 'FIXI', 3X, 'FIZB')
  DO 2 I2=1,N
    IR=KI(I2)
    PRINT 96, I2, KI(I2), KD(I2), KL(IR), DD(I2), BB(I2), BIX(I2,1),
96 *BIX(I2,2), BIZ(I2,1), BIZ(I2,2), ITXB(I2), FIZB(I2)
    FORMAT(1X, I2, 2(I1), A1, 1X, E11.4, 1X, F9.2, 2(1X, F8.2, 1X, F9.5),
2 *2(1X, F6.4))
  CONTINUE
  PRINT 100
  PRINT 102
102 FORMAT(2X, 'ELEM', 2X, 'LENGTH(CM)', 6X, 'PSI', 5X, 'DPSI', 3X, 'MX', 7X, 'MZ',
*6X, 'HIX', 6X, 'HIZ')
  DO 3 I3=1,N
    IR=KI(I3)
    PRINT 106, I3, KI(I3), KD(I3), KL(IR), DD(I3), DIS(I3), DDIS(I3),
106 *AMX(I3), AMZ(I3), HIX(I3), HIZ(I3)
    FORMAT(1X, I2, 2(I1), A1, 1X, E12.5, 1X, F8.2, 1X, F9.5, 4(1X, F7.4))
3 CONTINUE
  PRINT 171, HRX1, HRX2, HRX3, HRX4, HRZ1, HRZ2
171 FORMAT(/, 2X, 'HRX1=', F6.1, 1X, 'HRX2=', F6.1, 1X, 'HRX3=', F6.1, 1X,
*'HRX4=', F6.1, 2X, 'HRZ1=', F6.1, 1X, 'HRZ2=', F6.1)
33 CONTINUE
C
C OUTPUT OF Q-SHIFTS
C
  IF(LSHIF.NE.1) GOTO 66
  PRINT 100
  PRINT 80
  PRINT 100
  PRINT 140, LEV
  PRINT 141, IVAR, EMX, EMZ, DPP, RJ
  PRINT 100
  PRINT 115
  DO 6 I6=1,N
    IF(KI(I6).EQ.1) GOTO 6
    IR=KI(I6)
    PRINT 110, I6, KL(IR), (DUX(L6, I6), L6=1, 5)
6 CONTINUE
    PRINT 120, (DUXM(M6), M6=1, 5)
    PRINT 121, (DUXF(J6), J6=1, 5)
    PRINT 122, (DUXD(K6), K6=1, 5)
    PRINT 123, (DUXX(K9), K9=1, 5)
    GOTO 74
  PRINT 100
  PRINT 116
  DO 7 I7=1,N
    IF(KI(I7).EQ.1) GOTO 7
    IR=KI(I7)
    PRINT 110, I7, KL(IR), (DUX(L7, I7), L7=6, 10)
7 CONTINUE
    PRINT 120, (DUXM(M7), M7=6, 10)
    PRINT 121, (DUXF(J7), J7=6, 10)
    PRINT 122, (DUXD(K7), K7=6, 10)
    PRINT 123, (DUXX(M8), M8=6, 10)
C THE SAME PIECE FOR QZ .
74 PRINT 100
  PRINT 80
  PRINT 100
  PRINT 125
  DO 8 I8=1,N
    IF(KI(I8).EQ.1) GOTO 8
    IR=KI(I8)
    PRINT 110, I8, KL(IR), (DUZ(L8, I8), L8=1, 5)
8 CONTINUE
    PRINT 130, (DUZM(M8), M8=1, 5)
    PRINT 131, (DUZF(J8), J8=1, 5)
    PRINT 132, (DUZD(K8), K8=1, 5)
    PRINT 133, (DUZZ(MM), MM=1, 5)

```

```

PRINT 126
DO 9 I9=1,N
IF(KI(I9).EQ.1)GOTO 9
IR=KI(I9)
PRINT 110,I9,KL(IR),(DUZ(L9,I9),L9=6,10),
CONTINUE
PRINT 130,(DUZM(M9),M9=6,10)
PRINT 131,(DUZF(J9),J9=6,10)
PRINT 132,(DUZD(K9),K9=6,10)
PRINT 133,(DUZZ(RR),RR=6,10)

C
C
C
66
CONTINUE
IF(LDEM.NE.1)GOTO 170
PRINT 100
PRINT 141,I'VAR,EMX,EMZ,DPP,RJ
PRINT 80
PRINT 100
DO 50 LB=1,16
IF(LB.GI.MXDEM)GOTO 170
NXX=NX(LB)
NZZ=NZ(LB)
MNN=MM(LB)
DEL=ABS(MNN-UX*NXX-UZ*NZZ)
CALL DEM1(NZZ,NXX,MNN,RJ,I'VAR)
PRINT 150,NXX,NZZ,MNN,DEL,DE:MX,DEMZ
IF(LF:UL.NE.1)GOTO 51
PRINT 80
DO 199 LSP=1,4
PRINT 100
PRINT 151,LSP
PRINT 152
JI=0
DO 198 LI=1,N
IF(KI(LI).EQ.1)GOTO 198
JI=JI+1
IR=KI(LI)
PRINT 153,LI,KL(IR),LSP,DEM:XC(JI,LSP),DEM:XS(JI,LSP),DEM:ZC(JI,LSP),
*DEM:ZS(JI,LSP)
198
CONTINUE
PRINT 100
PRINT 154,SUM:XC(LSP,1),SUM:XS(LSP,1),SUM:ZC(LSP,1),SUM:ZS(LSP,1)
PRINT 155,SUM:XC(LSP,2),SUM:XS(LSP,2),SUM:ZC(LSP,2),SUM:ZS(LSP,2)
PRINT 156,SUM:XC(LSP,3),SUM:XS(LSP,3),SUM:ZC(LSP,3),SUM:ZS(LSP,3)
PRINT 157,SXC(LSP),SXS(LSP),SZC(LSP),SZS(LSP)
PRINT 100
199
CONTINUE
PRINT 80
51
PRINT 158,SUXC(1),SUXS(1),SUZC(1),SUZS(1)
PRINT 159,SUXC(2),SUXS(2),SUZC(2),SUZS(2)
PRINT 160,SUXC(3),SUXS(3),SUZC(3),SUZS(3)
PRINT 161,SUXC,SUXS,SUZC,SUZS
PRINT 100
50
CONTINUE
C
100
FORMAT (/)
80
FORMAT (IX,75(1H*))
110
FORMAT (IX,12,1X,A1,1X,5(1PE12.5,1X))
115
FORMAT (IX,'ELEM',5X,'DUX1',9X,'DUX2',9X,'DUX3',9X,'DUX4',9X,'DUX5')
125
FORMAT (IX,'ELEM',5X,'DUZ1',9X,'DUZ2',9X,'DUZ3',9X,'DUZ4',9X,'DUZ5')
116
FORMAT (IX,'ELEM',5X,'DUX6',9X,'DUX7',9X,'DUX8',9X,'DUX9',9X,'DUX10')
126
FORMAT (IX,'ELEM',5X,'DUZ6',9X,'DUZ7',9X,'DUZ8',9X,'DUZ9',9X,'DUZ10')
120
FORMAT (/ ,1X,'DUXM',5(1X,1PE12.5))
130
FORMAT (/ ,1X,'DUZM',5(1X,1PE12.5))
121
FORMAT (/ ,1X,'DUXF',5(1X,1PE12.5))
131
FORMAT (/ ,1X,'DUZF',5(1X,1PE12.5))
122
FORMAT (/ ,1X,'DUXD',5(1X,1PE12.5))
123
FORMAT (/ ,1X,'DUZD',5(1X,1PE12.5))

```

```

133   FORMAT (/,1X,'DUZZ',5(1X,1PE12.5))
140   FORMAT (26X,26HMAX. DEGREE OF (I-SHIFTS = ,I2)
141   FORMAT (4X,'METHOD-',11,1X,'EM)=',1PE8.1,1X,'ENZ=',1PE8.1,
*1X,'DPP=',1PE8.1,1X,'RR=',1PE8.1)
150   FORMAT (1X,'NX=',13,1X,'NZ=',13,1X,'M=',13,1X,'DEL=',1PE9.2,1X,'DETX=',
*,1PE12.5,1X,'DEZ=',1PE12.5)
151   FORMAT (36X,'PERIOD=',11)
152   FORMAT (1X,'ELEM',1X,'PER.',4X,'DETXC',7X,'DEMXS',7X,'DEMZC',7X,'DEMZS')
153   FORMAT (1X,12,A1,2X,11,2X,4(1X,1PE11.4))
154   FORMAT (1X,'SUM N',3X,4(1X,1PE11.4))
155   FORMAT (1X,'SUM F',3X,4(1X,1PE11.4))
156   FORMAT (1X,'SUM D',3X,4(1X,1PE11.4))
157   FORMAT (1X,'SUM ',3X,4(1X,1PE11.4))
158   FORMAT (1X,'SUMMA N',1X,4(1X,1PE11.4))
159   FORMAT (1X,'SUMMA F',1X,4(1X,1PE11.4))
160   FORMAT (1X,'SUMMA D',1X,4(1X,1PE11.4))
161   FORMAT (1X,'SUMMA ',1X,4(1X,1PE11.4))
170   STOP
      END

```

```

SUBROUTINE SPACE(D)
COMMON/MATR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
AX(1,3)=0.
AX(2,3)=0.
AX(2,1)=0.
AZ(2,1)=0.
AX(1,1)=1.
AX(1,2)=0
AZ(1,1)=1.
AZ(2,2)=1.
AX(2,2)=1.
AZ(1,2)=0
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MAGNET(PC,DM,B)
COMMON/MATR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
R=PC/E
PHI=DM/R
CS=COS(PHI)
SN=SIN(PHI)
TN=PHI/2.
TN=SIN(TN)/COS(TN)
AX(1,1)=1.
AX(1,2)=R*SN
AX(1,3)=R*(1.-CS)
AX(2,1)=0.
AX(2,2)=1.
AX(2,3)=-2.*TN
AZ(1,1)=1.-PHI*TN
AZ(1,2)=R*PHI
AZ(2,2)=1.-PHI*TN
AZ(2,1)=- (2.-PHI*TN)*TN/R
RETURN
END

```



```

SUBROUTINE LENSE (FO,D,G)
COMMON/MATR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
AK=ABS(G)
IF (AK.GT.1.E-07) GO TO 2
CALL SPACE (D)
RETURN
CONTINUE
AK=AK/D
AK=SQRT(AK)
PHI=DK*AK
CS=COS(PHI)
SN=SIN(PHI)
EX=EXP(PHI)
EX1=1./EX
CH=(EX+EX1)/2.
SH=(EX-EX1)/2.
AX(1,3)=0.
AX(2,3)=0.
IF (G.LT.0.)GO TO 1
AX(1,1)=CS
AX(2,2)=CS
AX(1,2)=SN/AK
AX(2,1)=-AK*SN
AZ(1,1)=CH
AZ(2,2)=CH
AZ(1,2)=SH/AK
AZ(2,1)=SH*AK
RETURN
1
AX(1,1)=CH
AX(2,2)=CH
AX(2,1)=SH*AK
AX(1,2)=SH/AK
AZ(1,2)=SN/AK
AZ(2,1)=-SN*AK
AZ(1,1)=CS
AZ(2,2)=CS
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE BEMDIS
DIMENSION B(1(3),C(3,3)
COMMON/MATR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
COMMON/INIT/ N,PU,KI(40),DU(40),BB(40),KD(40),
*NSP,P1,QXU,RZU,QX,RZ
COMMON/CALC/ CMX,CMZ,BIXU,BIZU,PSI,ALXU,ALZU,DPSI,
*BIX(40,3),BIZ(40,3),DIS(40),DDIS(40),COMP,AL,AMX(40),AMZ(40)
*,HIX(40),HIZ(40)

```

```

A11=BX(1,1)
A12=BX(1,2)
A22=BX(2,2)
A21=BX(2,1)
A23=BX(2,3)
A13=BX(1,3)
CMX=(A11+A22)/2.
IF (ABS(CMX).GT.0.9999) GO TO 2
BIXU=ABS(A12)/SQRT(1.-CMX**2)
ALXU=(A11-A22)/(2.*SQRT(1.-CMX**2))*SIGN(1.,A12)
PSI=(A12*A23-A13*A22+A13)/(2.*(1.-CMX))
DPSI=(A21*PSI+A23)/(1.-A22)

```

```

2 BIX(1,1)=BIXU
BIX(1,2)=ALXU
BIX(1,3)=(1.+BIX(1,2)**2)/BIX(1,1)
DIS(1)=PSI

```

```

DDIS(1)=DPSI
A11=BZ(1,1)
A12=BZ(1,2)
A22=BZ(2,2)
A21=BZ(2,1)
CMZ=(A11+A22)/2.
IF (ABS(CMZ).GT.0.9999) GO TO 6
BIZU=ABS(A12)/SQRT(1.-CMZ**2)
ALZU=(A11-A22)/(2.*SQRT(1.-CMZ**2))*SIGN(1.,A12)

```

```

6 BIZ(1,1)=BIZU
BIZ(1,2)=ALZU
BIZ(1,3)=(1.+BIZ(1,2)**2)/BIZ(1,1)
COMP=0.

```

```

P=PU
AMX=0.
AMZ=0.
DO 1 I=1,N
II=I-1
IF (I.EQ.1) II=1
K=KI(I)
D=DU(I)
B=BB(I)
DI=DIS(II)
DDI=DDIS(II)

```

```

IF (K.NE.2) GO TO 30
CALL MAGNET(P,D,B)
COMP=COMP+(1+DI*B/P)*D+AX(1,3)*DDI-AX(1,2)
GO TO 34

```

```

30 IF (K.NE.1) GO TO 31
CALL SPACE(D)
GO TO 34

```

```

31 CALL LENSE(P,D,B)

```

```

34 CONTINUE
DI=AX(1,1)*DIS(II)+AX(1,2)*DDIS(II)+AX(1,3)
DDIS(1)=AX(2,1)*DIS(II)+AX(2,2)*DDIS(II)+AX(2,3)
DIS(1)=DI
C(1,1)=AX(1,1)**2
C(1,2)=-2.*AX(1,1)*AX(1,2)
C(3,2)=-2.*AX(2,1)*AX(2,2)
C(2,1)=-AX(1,1)*AX(2,1)
C(2,3)=-AX(1,2)*AX(2,2)
C(1,3)=AX(1,2)**2
C(2,2)=AX(1,1)*AX(2,2)+AX(1,2)*AX(2,1)

```

```

AI=AX(1,2)/(AX(1,1)*BIX(11,1)-AX(1,2)*BIX(11,2))
AMX(1)=AMUX+AI*AN(A1)
AMUX=AMX(1)
DO 4 I4=1,3
  B11(14)=0.
  DO 4 J4=1,3
    B11(14)=B11(14)+C(14,J4)*BIX(11,J4)
  BIX(1,1)=B11(1)
  BIX(1,2)=B11(2)
  BIX(1,3)=B11(3)
  C(1,1)=AZ(1,1)**2
  C(1,3)=AZ(1,2)**2
  C(3,1)=AZ(2,1)**2
  C(3,3)=AZ(2,2)**2
  C(1,2)=-2.*AZ(1,2)*AZ(1,1)
  C(3,2)=-2.*AZ(2,2)*AZ(2,1)
  C(2,3)=-AZ(2,2)*AZ(1,2)
  C(2,1)=-AZ(2,1)*AZ(1,1)
  C(2,2)=AZ(1,1)*AZ(2,2)+AZ(1,2)*AZ(2,1)
  A1=AZ(1,2)/(AZ(1,1)*BIZ(11,1)-AZ(1,2)*BIZ(11,2))
  AMZ(1)=AMUZ+A1*AN(A1)
  AMUZ=AMZ(1)
DO 5 I5=1,3
  B11(15)=0.
  DO 5 J5=1,3
    B11(15)=B11(15)+C(15,J5)*BIZ(11,J5)
  BIZ(1,1)=B11(1)
  BIZ(1,2)=B11(2)
  BIZ(1,3)=B11(3)
1 CONTINUE
COMP=COMP/AL
QX=AMX(N)*NSP/(2.*PI)
QZ=AMZ(N)*NSP/(2.*PI)
TE1=0.
DO 9 I9=1,N
  TE1=TE1+2.*PI*DD(I9)/(AL*NSP)
  H1X(I9)=AMX(I9)-QX*TE1
  H1Z(I9)=AMZ(I9)-QZ*TE1
9 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CELL
DIMENSION CX(3,3),CZ(2,2)
COMMON/MATRIX/ BX(3,3),BX(2,3),BZ(2,2),BZ(2,2)
COMMON/IN11/ N,PU,K1(40),DB(40),BB(40),KD(40),NSP,11,
*UX0,UZ0,UX,BZ
BX(1,1)=1.
BX(1,2)=0.
BX(1,3)=0.
BX(2,1)=0.
BX(2,2)=1.
BX(2,3)=0.
BX(3,3)=1.
BX(3,2)=0.
BX(3,1)=0.
BZ(1,1)=1.
BZ(1,2)=0.
BZ(2,2)=1.
BZ(2,1)=0.
P=PU
DO 1 I1=1,N
I=N+1-I1
K=K1(I)
D=DB(I)
B=BB(I)
IF(K.EQ.1) CALL SPACE(D)
IF(K.EQ.2) CALL MAGNET(P,D,B)
IF(K.EQ.3.OR.K.EQ.4) CALL LENSE(P,D,B)
DO 2 I2=1,2
DO 3 I3=1,2
CX(I2,I3)=BX(I2,1)*AX(1,I3)+BX(I2,2)*AX(2,I3)
CZ(I2,I3)=BZ(I2,1)*AZ(1,I3)+BZ(I2,2)*AZ(2,I3)
3 CONTINUE
CX(I2,3)=BX(I2,1)*AX(1,3)+BX(I2,2)*AX(2,3)+BX(I2,3)
2 CONTINUE
BX(1,1)=CX(1,1)
BX(1,2)=CX(1,2)
BX(1,3)=CX(1,3)
BX(2,3)=CX(2,3)
BX(2,2)=CX(2,2)
BX(2,1)=CX(2,1)
BZ(2,2)=CZ(2,2)
BZ(2,1)=CZ(2,1)
BZ(1,2)=CZ(1,2)
BZ(1,1)=CZ(1,1)
1 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE OPT(CN, EPS, H, M, KI)
DIMENSION Y(4), YD(4), YN(4), H(4)
COMMON/IN11/ N, PU, KI(40), BU(40), BB(40), KD(40), NSP, FI,
*QXU, QZU, BX, BZ
COMMON/MAIR/ AX(3,3), BX(3,3), AZ(2,2), BZ(2,2)
DO 9 J9=1, N
DO 9 J9=1, 4
IF (KD(I9).NE.J9) GO TO 9
IF (KI(I9).EQ.1) Y(J9)=BB(I9)
IF (KI(I9).EQ.2) Y(J9)=BB(I9)
IF (KI(I9).EQ.3) Y(J9)=ABS(BB(I9))
IF (KI(I9).EQ.4) Y(J9)=-ABS(BB(I9))
CONTINUE
KI=0
DO 2 I2=1, M
DO 1 I1=1, N
YN(I1) = Y(I1)
CALL EX1(Y, F)
F1=F
FV=ABS(F)
IF (FV.LT.EPS) GO TO 3
KI=KI+1
DO 4 I4=1, M
DO 5 I5=1, N
Y(I5)=YN(I5)
Y(I4)=YN(I4)+H(I4)
CALL EX1(Y, F)
F1=F
DO 6 I6=1, M
Y(I6)=YN(I6)
Y(I4)=YN(I4)-H(I4)
CALL EX1(Y, F)
YD(I4)=(F1-F)/(2.*H(I4))
CONTINUE
S=0.
DO 7 I7=1, M
S=S+YD(I7)**2
CONTINUE
DO 8 I8=1, M
Y(I8)=YN(I8)-F1*YD(I8)/S
CONTINUE
CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE EXT(G,F)
COMMON/MATR/ AX(3,3),BX(3,3),AZ(2,2),BZ(2,2)
COMMON/INLT/ N,PU,KI(40),DU(40),BB(40),RD(40),NSP,PI,
*QX,QZ,QX,QZ
DIMENSION G(4)
DO 1 I1=1,N
DO 1 J1=1,4
IF(KI(I1).NE.J1) GO TO 1
IF(KI(I1).EQ.1) DU(I1)=G(J1)
IF(KI(I1).EQ.2) BB(I1)=G(J1)
IF(KI(I1).EQ.3) BB(I1)=ABS(G(J1))
IF(KI(I1).EQ.4) BB(I1)=-ABS(G(J1))
CONTINUE
CALL CELL
CALL BETDIS
F=(GX-QX)**2+(QZ-QZ)**2
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SHIF(NN,KK,IVAR)
COMMON/INT/ EMX,EMZ,DFF,ROU,ALL,RIN(40)
COMMON/DRXZ/ DRX(10,40),DRZ(10,40)
COMMON/INLT/ N,PU,KI(40),DU(40),BB(40),RD(40),NSP,
*PI,QX,QZ,QX,QZ,DRX(10,40),D(40)
INTEGER FAC
ND=INT((NN+1)/2.)
DO 3 I=1,N
IF(KI(I).EQ.1) GOTO 4
DX=0.
DZ=0.
DO 1 J=1,ND
DO 1 K=1,J
NDS=NN+1-2*K
KI=K
J1=J-KI
IF(IVAR.EQ.2) GOTO 5
CALL INTG1(KI,J1,NDS)
GOTO 5
5 CALL INTG2(KI,J1,NDS,1)
6 DZ=DZ+DFF**NDS*KI*EMX**J1*E1Z** (KI-1)*(-1.)**KI*FAC(NN)*RIN(I)/
*(FAC(NDS)*(FAC(KI)*FAC(J1))**2*PI** (J1+KI+1))
IF(IVAR.EQ.2) GOTO 7
CALL INTG1(KI-1,J1+1,NDS)
GOTO 8
7 CALL INTG2(KI-1,J1+1,NDS,1)
8 DX=DX+DFF**NDS*(J1+1)*EMX**J1*EMZ** (KI-1)*(-1.)**KI*FAC(NN)*RIN(I)/
*(FAC(NDS)*(FAC(KI-1)*FAC(J1+1))**2*PI** (J1+KI+1))
1 CONTINUE
DRZ(NN,1)=DZ/(ROU*RR**NN)
DRX(NN,1)=DX/(ROU*RR**NN)
GOTO 3
4 DRZ(NN,1)=0.
DRX(NN,1)=0.
3 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DEMIT(NZ,NX,M,RR,IV)
COMMON/INT/ EMX,EMZ,OPP,ROU,ALL,RIN(40)
COMMON/INIT/ N,PU,KI(40),DU(40),BB(40),KB(40),NSP,PI,
*QUX,UZU,UX,UZ,UBB(10,40),D(40)
COMMON/DEMN/ DEMXC(21,8),DEMZC(21,8),DEMXS(21,8),DEMZS(21,8),
*SUMXC(8,3),SUMZC(8,3),SUMXS(8,3),SUMZS(8,3),SXC(8),SZC(8),SXS(8),
*SZS(8),SUXC(3),SUXS(3),SUZC(3),SUZS(3),SUXC,SUZC,SUXS,SUZS,SUMMX,SUMMZ
INTEGER FAC
DO 30 J1=1,NSP
DO 39 J3=1,3
SUMXC(J1,J3)=0.
SUMXS(J1,J3)=0.
SUMZS(J1,J3)=0.
39 SUMZC(J1,J3)=0.
SXS(J1)=0.
SXC(J1)=0.
SZC(J1)=0.
SZS(J1)=0.
DO 30 J2=1,21
DEMXC(J2,J1)=0.
DEMXS(J2,J1)=0.
DEMZS(J2,J1)=0.
30 DEMZC(J2,J1)=0.
DO 38 J4=1,3
SUXC(J4)=0.
SUZC(J4)=0.
38 SUZS(J4)=0.
SUXS(J4)=0.
SUXC=0.
SUZC=0.
SUZS=0.
SUXS=0.
DEL=ABS(M-UX*NX-UZ*NZ)
NNX=IABS(NX)
NNZ=IABS(NZ)
MM=IABS(M)
NR=NNX+NNZ
XE=NNX*EMX** (NNX/2.-1.) *EMZ** (NNZ/2.) /DEL
ZE=NNZ*EMZ** (NNZ/2.-1.) *EMX** (NNX/2.) /DEL
HR=FAC(NR-1) / (2.** (NR/2.) *PI*ROU*RR** (NR-1) *FAC(NNX) *FAC(NNZ)).
C
GOTO(41,42),IV
42 CALL INTG2(NZ,NX,M,2,0)
GOTO43
41 CALL INTG1(NZ,NX,M,2,0)
43 CONTINUE
JU=0
DO 1 L1=1,N
IF (KI(L1).NE.1) GOTO31
GOTO1
31 JU=JU+1
DEMXS(JU,1)=RIN(L1)*HR*XE
DEMZS(JU,1)=RIN(L1)*HR*ZE
GOTO(1,11,12,13),KI(L1)
11 SUMXS(1,1)=SUMXS(1,1)+DEMXS(JU,1)
SUMZS(1,1)=SUMZS(1,1)+DEMZS(JU,1)
GOTO1
12 SUMXS(1,2)=SUMXS(1,2)+DEMXS(JU,1)
SUMZS(1,2)=SUMZS(1,2)+DEMZS(JU,1)
GOTO1
13 SUMXS(1,3)=SUMXS(1,3)+DEMXS(JU,1)
SUMZS(1,3)=SUMZS(1,3)+DEMZS(JU,1)
1 CONTINUE
SXS(1)=SUMXS(1,1)+SUMXS(1,2)+SUMXS(1,3)
SZS(1)=SUMZS(1,1)+SUMZS(1,2)+SUMZS(1,3)
C
GOTO(44,45),IV
44 CALL INTG2(NZ,NX,M,3,0)

```

```

44 CALL INIG1(NZ,NX,M,3,0)
46 CONTINUE
   JU=0
   DO 3 L3=1,N
     IF (KI(L3).NE.1) GOTO 32
     GOTO 3
32   JU=JU+1
     DEMXC(JU,1)=RIN(L3)*HR*XE
     DEMZC(JU,1)=RIN(L3)*HR*ZE
     GOTO(3,21,22,23),KI(L3)
21   SUMXC(1,1)=SUMXC(1,1)+DEMXC(JU,1)
     SUMZC(1,1)=SUMZC(1,1)+DEMZC(JU,1)
     GOTO 3
22   SUMXC(1,2)=SUMXC(1,2)+DEMXC(JU,1)
     SUMZC(1,2)=SUMZC(1,2)+DEMZC(JU,1)
     GOTO 3
23   SUMXC(1,3)=SUMXC(1,3)+DEMXC(JU,1)
     SUMZC(1,3)=SUMZC(1,3)+DEMZC(JU,1)
3    CONTINUE
     SXC(1)=SUMXC(1,1)+SUMXC(1,2)+SUMXC(1,3)
     SZC(1)=SUMZC(1,1)+SUMZC(1,2)+SUMZC(1,3)
     SUXC=SXC(1)
     SUXS=SXS(1)
     SUZS=SZS(1)
     SUZC=SZC(1)

C
     TE1=2.*PI/NSP
     DO 2 L2=2,NSP
       CS=COS(TE1*M*(L2-1))
       SN=SIN(TE1*M*(L2-1))
       DO 51 NK=1,21
         DEMXC(NK,L2)=CS*DEMXC(NK,1)+EN*DEMXS(NK,1)
         DEMZC(NK,L2)=CS*DEMZC(NK,1)+EN*DEMZS(NK,1)
         DEMZS(NK,L2)=CS*DEMZS(NK,1)-EN*DEMZC(NK,1)
51    DEMXS(NK,L2)=CS*DEMXS(NK,1)-EN*DEMXC(NK,1)
       DO 52 NA=1,3
         SUMXC(L2,NA)=CS*SUMXC(1,NA)+EN*SUMXS(1,NA)
         SUMZC(L2,NA)=CS*SUMZC(1,NA)+EN*SUMZS(1,NA)
         SUMZS(L2,NA)=CS*SUMZS(1,NA)-EN*SUMZC(1,NA)
52    SUMXS(L2,NA)=CS*SUMXS(1,NA)-EN*SUMXC(1,NA)
       SXC(L2)=CS*SXC(1)+SN*SXS(1)
       SZC(L2)=CS*SZC(1)+SN*SZS(1)
       SZS(L2)=CS*SZS(1)-SN*SZC(1)
       SXS(L2)=CS*SXS(1)-SN*SXC(1)
       SUXC=SUXC+SXC(L2)
       SUXS=SUXS+SXS(L2)
       SUZS=SUZS+SZS(L2)
       SUZC=SUZC+SZC(L2)
2    CONTINUE
     DO 53 J4=1,3
       DO 53 L2=1,NSP
         SUXC(J4)=SUXC(J4)+SUMXC(L2,J4)
         SUZC(J4)=SUZC(J4)+SUMZC(L2,J4)
         SUZS(J4)=SUZS(J4)+SUMZS(L2,J4)
         SUXS(J4)=SUXS(J4)+SUMXS(L2,J4)
53    CONTINUE
     SUMMX=SQRT(SUXC**2+SUXS**2)
     SUMMZ=SQRT(SUZC**2+SUZS**2)
     RETURN
     END

```



```

SUBROUTINE INTG1 (I, J, K, LFL, RSUP)
COMMON/INT1/ N, PU, KI (40), DU (40), BB (40), KU (40), NSP,
*PI, UXU, UZU, UX, UZ, DBB (10, 40), D (40)
COMMON/INT/ EMX, EMZ, DPP, ROU, ALL, RIN (40)
COMMON/CALC/ CMX, CMZ, BIXU, BIZU, PSI, ALXU, ALZU, DPSI,
*BI (40, 3), BIZ (40, 3), DIS (40), DDIS (40), CUMP, AL, AMX (40), AMZ (40)
DIMENSION F (40), FF (40)
IF (LFL.EQ.2.OR.LFL.EQ.3) GOTO 4
FU=BIZU**I*BIXU**J*PSI**K
FFU=I*BIZU** (I-1)* (-2.*ALZU)*BIXU**J*PSI**K+BIZU**I* (-2.*J*ALXU)*
*BIXU** (J-1)*PSI**K+BIZU**I*BIZU**J*PSI** (K-1)*K*DPSI
DO 2 L=1, N
F (L)=BIZ (L, 1)**I*BIX (L, 1)**J*DIS (L)**K
FF (L)=BIZ (L, 1)** (I-1)* (-2.*J)*BIZ (L, 2)*BIX (L, 1)**J*DIS (L)**K+
*BIZ (L, 1)**I*BIX (L, 1)** (J-1)* (-2.*J*BIX (L, 2))*DIS (L)**K+
*BIZ (L, 1)**I*BIX (L, 1)**J*K*DDIS (L)*DIS (L)** (K-1)
CONTINUE
GOTO 6
4
XN=ABS (J/2.)
ZN=ABS (I/2.)
UXZ=J*UX+I*UZ+K
ARGU=-K*2.*PI*RSUP/NSP
ARGUS=J/BIXU+I/BIZU-2.*PI*UXZ/ALL
IF (LFL.EQ.3) GOTO 5
SARG=SIN (ARGU)
FU=BIXU**XN*BIZU**ZN*SARG
FFU=-2.* (XN*BIXU** (XN-1)*ALXJ*BIZU**ZN+ZN*BIZU** (ZN-1)*ALZU*BIXU**XN)
**SARG+BIXU**XN*BIZU**ZN*COS (ARGU)*ARGUS
DO 7 L=1, N
ARG=J*AMX (L)+I*AMZ (L)-2.*PI*UXZ*D (L)/ALL+ARGU
ARGUS=J/BIX (L, 1)+I/BIZ (L, 1)-2.*PI*UXZ/ALL
SARG=SIN (ARG)
F (L)=BIX (L, 1)**XN*BIZ (L, 1)**ZN*SARG
FF (L)=-2.* (XN*BIX (L, 1)** (XN-1)*BIX (L, 2)*BIZ (L, 1)**ZN+ZN*BIZ (L, 1)** (ZN
*-1)*BIZ (L, 2)*BIX (L, 1)**XN)*SARG+BIX (L, 1)**XN*BIZ (L, 1)**ZN*COS (ARG)*ARGUS
CONTINUE
GOTO 6
5
CARG=COS (ARGU)
FU=BIXU**XN*BIZU**ZN*CARG
FFU=-2.* (XN*BIXU** (XN-1)*ALXU*BIZU**ZN+ZN*BIZU** (ZN-1)*ALZU*BIXU**XN)
**CARG-BIXU**XN*BIZU**ZN*SIN (ARGU)*ARGUS
DO 8 L=1, N
ARG=J*AMX (L)+I*AMZ (L)-2.*PI*UXZ*D (L)/ALL+ARGU
ARGUS=J/BIX (L, 1)+I/BIZ (L, 1)-2.*PI*UXZ/ALL
CARG=COS (ARG)
F (L)=BIX (L, 1)**XN*BIZ (L, 1)**ZN*CARG
FF (L)=-2.* (XN*BIX (L, 1)** (XN-1)*BIX (L, 2)*BIZ (L, 1)**ZN+ZN*BIZ (L, 1)** (ZN
*-1)*BIZ (L, 2)*BIX (L, 1)**XN)*CARG-BIX (L, 1)**XN*BIZ (L, 1)**ZN*SIN (ARG)*ARGUS
CONTINUE
8
RIN (1)=DU (1)*(FU+FF (1))/2.+DU (1)**2*(FFU-FF (1))/12.
DO 3 L=2, N
RIN (L)=DU (L)*(F (L-1)+F (L))/2.+DU (L)**2*(FF (L-1)-FF (L))/12.
CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE INIG2(I,J,K,LFL,KSUP)
COMMON/INIT/ N,PO,KI(40),DD(40),BB(40),KD(40),NSP,PI,
*UX,UZ,UX,UZ,DBB(10,40),D(40)
COMMON/CALC/ CMX,CMZ,BIXU,BIZU,PSI,ALXU,ALZU,DPST,
*BIX(40,3),BIZ(40,3),DIS(40),DDIS(40),CUMP,AL,AMX(40),AMZ(40),HIX(40),
*HIZ(40)
COMMON/COEF/ A1,A2,A3,A4,B1,B2,B3,B4,C1,C2,C3,C4,DL,DS,HEX,HEZ,
*UX,UZ,KSP,NSUP
COMMON/INT/ EMX,EMZ,DPP,ROU,ALL,RIN(40)

```

```

UX=UX
UZ=UZ
NSUP=NSP
KSP=KSUP
N1=N-1
EPS=.1E-1
DO 1 L=1,N1
IF(KI(L+1).EQ.1)GOTO 2
DL=DD(L+1)
DS=D(L)

```

C DEFINITION FOR COEFFICIENTS A1.....C4

```

A1=BIZ(L,1)
B1=BIX(L,1)
A2=-2.*BIZ(L,2)
B2=-2.*BIX(L,2)
A3=3.*(BIZ(L+1,1)-BIZ(L,1))/DL**2+2.*(2.*BIZ(L,2)+BIZ(L+1,2))/DL
B3=3.*(BIX(L+1,1)-BIX(L,1))/DL**2+2.*(2.*BIX(L,2)+BIX(L+1,2))/DL
A4=-2.*(DL*(BIZ(L+1,2)+BIZ(L,2))+BIZ(L+1,1)-BIZ(L,1))/DL**3
B4=-2.*(DL*(BIX(L+1,2)+BIX(L,2))+BIX(L+1,1)-BIX(L,1))/DL**3
IF(LFL.EQ.2.OR.LFL.EQ.3)GOTO5
C1=DIS(L)
C2=DDIS(L)
C3=3.*(DIS(L+1)-DIS(L))/DL**2-(2.*DDIS(L)+DDIS(L+1))/DL
C4=(DL*(DDIS(L)+DDIS(L+1))-2.*(DIS(L+1)-DIS(L)))/DL**3

```

C CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,1)

RIN(L+1)=SUM

GOTO 1

5 HEX=HIX(L)

HEZ=HIZ(L)

C1=2.*(AMX(L+1)-AMX(L))/DL-1./BIX(L+1,1)

C3=2.*(AMZ(L+1)-AMZ(L))/DL-1./BIZ(L+1,1)

C2=1./(DL*BIX(L+1,1))-(AMX(L+1)-AMX(L))/(DL*DL)

C4=1./(DL*BIZ(L+1,1))-(AMZ(L+1)-AMZ(L))/(DL*DL)

IF(LFL.EQ.3)GOTO6

C CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,2)

RIN(L+1)=SUM

GOTO 1

6 CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,3)

RIN(L+1)=SUM

GOTO 1

2 RIN(L+1)=0.

1 CONTINUE

C C DEFINITION OF RIN(1)

C IF(KI(1).EQ.1)GOTO10

DS=0.

DL=DD(1)

A1=BIZU

B1=BIXU

A2=-2.*ALZU

B2=-2.*ALXU

A3=3.*(BIZ(1,1)-BIZU)/DL**2+2.*(2.*ALZU+BIZ(1,2))/DL

B3=3.*(BIX(1,1)-BIXU)/DL**2+2.*(2.*ALXU+BIX(1,2))/DL

A4=-2.*(DL*(ALZU+BIZ(1,2))+BIZ(1,1)-BIZU)/DL**3

B4=-2.*(DL*(ALXU+BIX(1,2))+BIX(1,1)-BIXU)/DL**3

IF(LFL.EQ.2.OR.LFL.EQ.3)GOTO7

```
C3=3.*(DIS(1)-PSI)/DL**2-(2.*DPSI+DBIS(1))/DL
C4=(DL*(DBIS(1)+DPSI)-2.*(DIS(1)-PSI))/DL**3
CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,1)
RIN(1)=SUM
GOTO 7
```

C
7

```
HEX=0.
HEZ=0.
C1=2.*AMX(1)/DL-1./BTX(1,1)
C3=2.*AMZ(1)/DL-1./BTZ(1,1)
C2=1./(BTX(1,1)*DL)-AMX(1)/(DL*DL)
C4=1./(BTZ(1,1)*DL)-AMZ(1)/(DL*DL)
IF (LFL.EQ.3)GOTO8
CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,2)
RIN(1)=SUM
GOTO 7
```

C
8

```
CALL SIMPS(EPS,I,J,K,SUM,3)
RIN(1)=SUM
GOTO 7
```

10
9

```
RIN(1)=0.
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE SIMPS(EPS, I, J, K, SUM, LFL)
COMMON/CUEF/ A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, DL, DS, HEX, HEZ
*, UX, UZ, KSUP, NSP
COMMON/INI/ EMX, EMZ, DPP, ROU, ALL, RIN(40)
DIMENSION Y(90)
PI=3.141593
SUMM=1000.
NRU=6
DO 3 LL=1, 15
NR=LL*NRU
H=DL/NR
IF (LFL.EQ.2.OR.LFL.EQ.3) GOTO 6
YU=A1**I*B1**J*C1**K

```

C
C
C
CALCULATIONS OF FUNCTION FOR INTEGRATION

```

DO 1 L=1, NR
S=H*L
Y(L)=(A1+A2*S+A3*S**2+A4*S**3)**I*(B1+B2*S+B3*S**2+B4*S**3)**J*
*(C1+C2*S+C3*S**2+C4*S**3)**K

```

1 CONTINUE

GOTO 5

6 XN=ABS(J/2.)

ZN=ABS(I/2.)

C HERE : NX--J, NZ--I, M--K

UXZ=UX*J+UZ*I+K

ARGU=J*HEX+I*HEZ-K*2.*PI*(KSUP/NSP+DS/ALL)

ARG1=J*C1+I*C3-2.*PI*UXZ/ALL

ARG2=J*C2+I*C4

IF (LFL.EQ.3) GOTO 7

YU=A1**ZN*B1**XN*SIN(ARGU)

DO 8 L=1, NR

S=H*L

ARG=ARGU+ARG1*S+ARG2*S*S

Y(L)=(A1+A2*S+A3*S**2+A4*S**3)**I*N*(B1+B2*S+B3*S**2+B4*S**3)**XN*

*SIN(ARG)

8 CONTINUE

GOTO 5

7 YU=A1**ZN*B1**XN*COS(ARGU)

DO 9 L=1, NR

S=H*L

ARG=ARGU+ARG1*S+ARG2*S*S

Y(L)=(A1+A2*S+A3*S**2+A4*S**3)**I*N*(B1+B2*S+B3*S**2+B4*S**3)**XN*

*COS(ARG)

9 CONTINUE

C
C
C
C
CALCULATION OF INTEGRAL

NE=NR/2-1

HERE NR ONLY EVEN

S1=0.

S2=0.

DO 2 JJ=1, NE

S1=S1+Y(2*JJ)

2 S2=S2+Y(2*JJ-1)

S2=S2+Y(NR-1)

S3=YU+Y(NR)

SUM=(S3+4.*S2+2.*S1)*H/3.

GOTO 4

SS=ABS(SUMM/SUM-1.)

IF (SS.LE.EPS) GOTO 4

3 SUMM=SUM

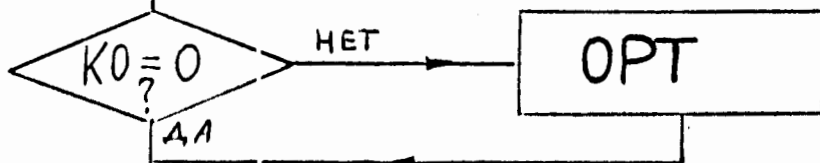
4 RETURN

END

```
READ N NSP:12 UXU RZU:F5.3 ENX ENZ DPP:R10.3 RJ:F4.1
40 08 5.800 5.850 +0.200E-02 +0.225E-02 +0.400E-02 04.0
READ BRIP BFCU BDEF:F3.2 KOU:F6.1 H1 H2 H3 H4:4(1X,F4.1)
20800.00 03487.05 -3443.43 2200.1 01.0 01.0 0.10 0.10
READ EPS:R8.1 KU:11 NITU:T4 MXDEM LEV:12 LSHTF IDEM LOU IVAR:11
+0.1E-07 2 0500 10 05 0 0 1 2
READ NNX:16(1X,I2)
02 00 02 00 01 -1 02 03 00 04 00 02 03 02 01 -1
READ NNZ:16(1X,I2)
00 02 00 02 -1 02 -1 00 03 00 04 -2 01 02 03 03
READ MMM:16(1X,I2)
13 13 14 14 00 07 07 20 20 27 27 00 27 27 27 14
READ KI:40(1X,I1)
3 1 4 1 3 1 2 1 2 1 4 1 2 1 2 1 3 1 2 1
2 1 4 1 2 1 2 1 3 1 2 1 2 1 4 1 2 1 2 1
READ KU:40(1X,I1)
1 0 2 0 1 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 2 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0
READ UB:40(1X,F6.2)
042.50 350.50 042.50 350.50
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
042.50 042.75 144.00 007.00 144.00 012.75
READ DBB1, DBB2..... DBB10:F3.1
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
```

Рис.1. Данные к программе *SYNCEL*.

Ввод данных:
 $N, NSP, QXO, QZO, NITO, KO, KI(i), KD(i),$
 $DD(i), BD, QFOS, QDEF, DBB1(i) \dots DBB10(i), \dots$



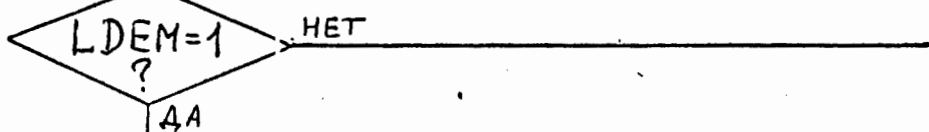
Вычисление матрицы \hat{B} **CELL**

Вычисление функций:
 $\beta(i), \alpha(i), \gamma'(i), \psi(i), \psi'(i),$ **BETDIS**
 $\mu(i), \chi(i), 1 \leq i \leq N ; COMP$

Вычисление $FIXB_i, FIZB_i$ **INTG1**



Вычисление сдвигов частот
 $DQX1(i), DQX2(i) \dots DQX10(i)$ **SHIFT**
 $DQZ1(i), DQZ2(i) \dots DQZ10(i)$



Расширение эмиттанса
 $DEM X (NX, NZ, M)$ **DEMIT**
 $DEM Z (NX, NZ, M)$

Вывод результатов

Рис. 2. Блок-схема **SYNCEL**.

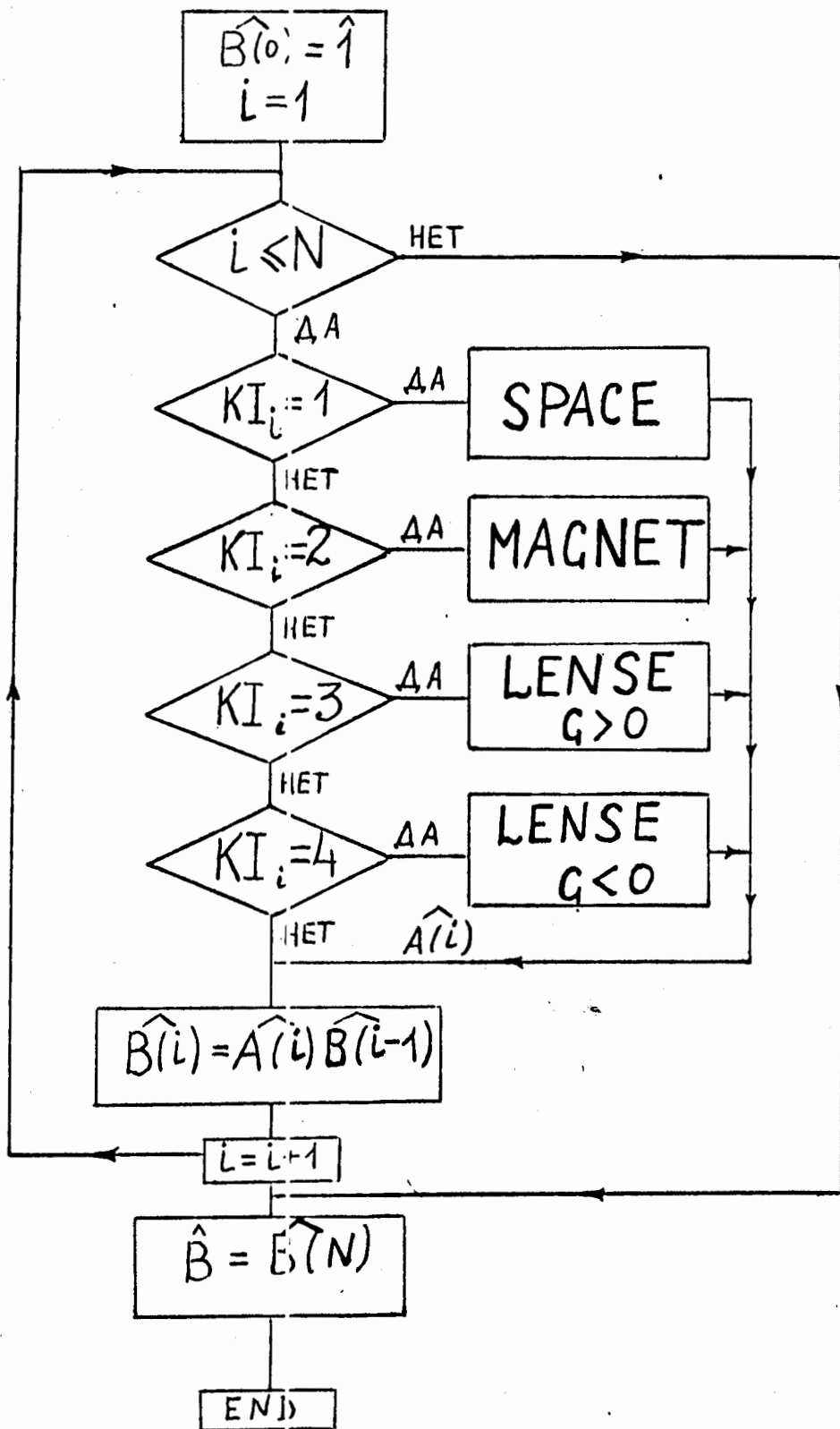


Рис.3. Блок-схема подпрограммы

CELL.