

СЗУ5е4
И-125

29/IV-70

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 4971



М. Ианович, Э.А. Полферов

ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НАМАГНИЧЕННЫХ БРУСКОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ
КОНФИГУРАЦИИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

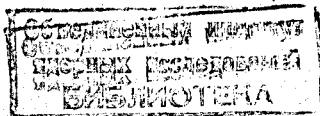
1970

P9 - 4971

М. Ианович, Э.А. Полферов

ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НАМАГНИЧЕННЫХ БРУСКОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ
КОНФИГУРАЦИИ

8296/2
уф



1. В в е д е н и е

В циклотронах и синхроциклотронах вывод пучка заряженных частиц осуществляется с помощью магнитных каналов, состоящих из фокусирующих и выводных секций.

Для проведения быстрых предварительных расчётов секций необходимо иметь хотя бы приблизительную зависимость напряженности их магнитного поля от радиуса. Для расчёта на ЭВМ магнитного канала синхроциклотрона были составлены две программы, написанные на языке ФОРТРАН-63. Эти программы могут быть использованы и для расчёта подобных каналов циклотрона.

1. Программа **IRON** считает распределение магнитного поля совокупности пластин магнитного канала и корректирующих шимм, располагаемых по направлению к центру машины (рис. 1).

2. Программа **CFIELD** считает распределение магнитного поля внутри или вне канала вдоль него (рис. 2).

В синхроциклотроне магнитный канал состоит, как правило, из нескольких выводных и фокусирующих секций.

Программы считают распределение поля для каждой секции без учёта влияния других секций.

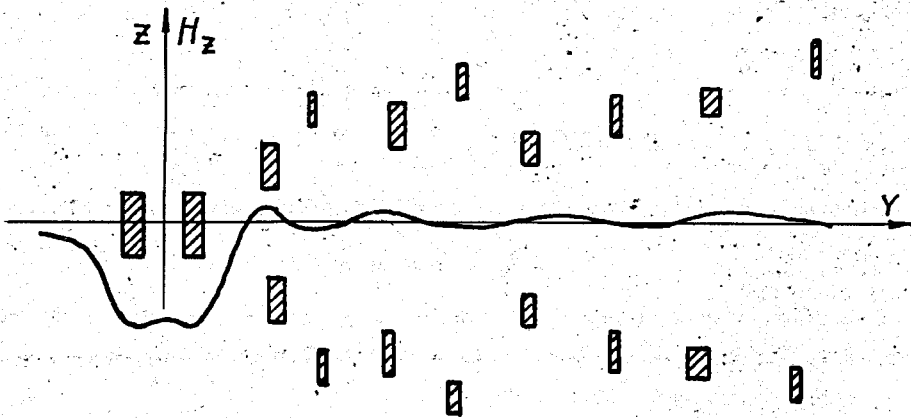


Рис. 1

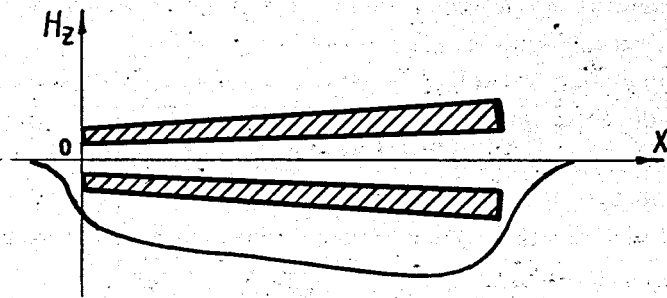


Рис. 2

Формула для расчёта магнитного поля

Расчёт напряженности магнитного поля канала или шимм, находящихся в магнитном поле ускорителя, основан на предположении их равномерного намагничивания/1/.

Распределение поля считается в медианной плоскости ускорителя ($Z=0$), поэтому все компоненты поля брусков, из которых изготовлены канал и шиммы, кроме Z -составляющей (H_z), равны нулю.

В программе IRON мы предполагали, что бруски и шиммы являются прямоугольными. Использовалось следующее выражение для описания магнитного поля/1/:

$$\begin{aligned}
 H_z(X, Y, 0) = M \{ & \operatorname{arctg} \frac{Y-R-A}{G-B} \cdot \frac{X-C}{\sqrt{(Y-R-A)^2 + (G-B)^2 + (X-C)^2}} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{Y-R+A}{G-B} \cdot \frac{X-C}{\sqrt{(Y-R+A)^2 + (G-B)^2 + (X-C)^2}} + \\
 & + \operatorname{arctg} \frac{Y-R+A}{G+B} \cdot \frac{X-C}{\sqrt{(Y-R+A)^2 + (G+B)^2 + (X-C)^2}} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{Y-R-A}{G+B} \cdot \frac{X-C}{\sqrt{(Y-R-A)^2 + (G+B)^2 + (X-C)^2}} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{Y-R-A}{G-B} \cdot \frac{X+C}{\sqrt{(Y-R-A)^2 + (G-B)^2 + (X+C)^2}} + \\
 & + \operatorname{arctg} \frac{Y-R+A}{G-B} \cdot \frac{X+C}{\sqrt{(Y-R+A)^2 + (G-B)^2 + (X+C)^2}} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \operatorname{arctg} \frac{Y-R+A}{G+B} \cdot \frac{X+C}{\sqrt{(Y-R+A)^2 + (G+B)^2 + (X+C)^2}} + \\
& + \operatorname{arctg} \frac{Y-R-A}{G+B} \cdot \frac{X+C}{\sqrt{(Y-R-A)^2 + (G+B)^2 + (X+C)^2}} \} .
\end{aligned} \quad (1)$$

где M - намагниченность, которая при напряженности поля ускорителя выше 15000 э принимается равной $M_s = 21000/4\pi$ э. $2A, 2B, 2C$ - ширина, высота и длина прямоугольного бруска, а R и G определяют положение каждого бруска относительно осей Z и Y , соответственно (см. рис. 3).

При расчёте распределения поля вдоль магнитного канала внутри его (программа CFIELD) необходимо учитывать тот факт, что как ширина пластин, из которых состоит канал, так и зазор между ними увеличиваются.

В этом случае для Z -составляющей магнитного поля в медианной плоскости имеем:

$$\begin{aligned}
H_z(X, Y, 0) = 2M \int_x^{x-l} \left\{ \frac{B[Y-A-k(X-\xi)]}{(\xi^2+B^2)\sqrt{\xi^2+[Y-A-k(X-\xi)]^2+B^2}} + \right. \\
\left. + \frac{B[Y+A+k(X-\xi)]}{(\xi^2+B^2)\sqrt{\xi^2+[Y+A+k(X-\xi)]^2+B^2}} \right\} d\xi,
\end{aligned} \quad (2)$$

где $l = DS(J)$ - длина, A - полуширина при $X=0$, B - полувисота, а k - угловой коэффициент линейного расширения полуширины (см.рис.5),

$$\xi = X' - X, \quad (3)$$

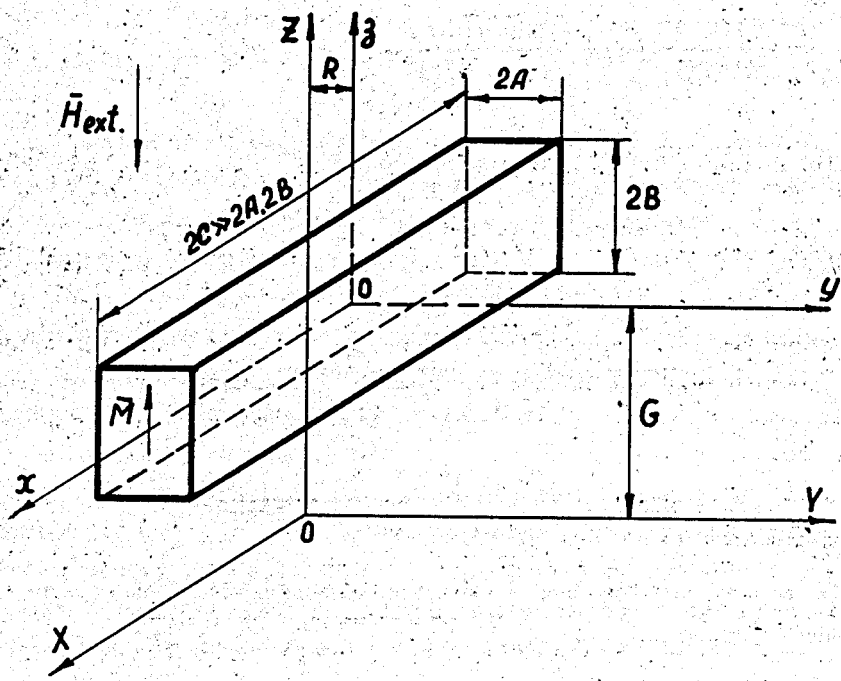


Рис. 3

где X' - координата элементарного объема, а X, Y - координаты точки наблюдения.

Если ввести другой коэффициент расширения

$$CT(J) = \frac{TH(J+1) - TH(J)}{TH(J)}, \quad (4)$$

то получим, что

$$k = \frac{CT(J) TH(J)}{2 DS(J)} = \frac{CT(J) A(J)}{DS(J)}. \quad (5)$$

Тогда выражение (2) можно переписать:

$$H_z(X, Y, 0) = 2M \int_x^{x-DS} \frac{B}{[\xi^2 + B^2]} \times \\ \times \left\{ - \frac{Y - A - (A \cdot CT/DS)(X - \xi)}{\sqrt{\xi^2 + [Y - A - (A \cdot CT/DS)(X - \xi)]^2 + B^2}} + \right. \\ \left. + \frac{Y + A + (A \cdot CT/DS)(X - \xi)}{\sqrt{\xi^2 + [Y + A + (A \cdot CT/DS)(X - \xi)]^2 + B^2}} \right\} d\xi. \quad (6)$$

В дальнейшем величина магнитного поля находилась численным интегрированием. Имеем

$$H_z(X, Y, 0) = 2MF(X), \quad (7)$$

а

$$F(X) = \int_x^{x-DS} FF(\xi) d\xi, \quad (8)$$

где $FF(\xi)$ – подинтегральное выражение в формуле (6). Расчёт интеграла производился с помощью стандартной программы SIMPS.

III. Описание программ

1. Программа IRON

Каждая секция магнитного канала синхротрона состоит из железных пластин, площадь поперечного сечения которых может увеличиваться.

Однако программа считает поле только для прямоугольных брусков и поэтому в случае расширяющихся брусков в программу необходимо ввести средние величины ширины и высоты. Возникающая в этом случае погрешность будет незначительна.

В реальных условиях при формировании магнитных полей необходимо учитывать влияние полюсных наконечников на магнитное поле канала или шимм, так как они обычно располагаются на поверхности полюсов или в непосредственной близости от них.

Так как магнитный зазор ограничен двумя поверхностями, то результирующее магнитное поле в зазоре электромагнита будет включать в себя поля от двух бесконечных систем зеркально отраженных шимм. Можно считать, что зеркально отраженные шиммы имеют такую же величину намагниченности. Вклад отражений выше третьего как по величине, так и по производной является малым^{1/2}. Поэтому в программе считается только вклад первых двух отражений.

Магнитное поле одной секции следует рассматривать состоящим из полей двух брусков и их отражений и из некоторых корректирующих пар шимм также со своими отражениями. Такая секция является выводной. Способ обозначения в программе этих брусков, пар шимм и соответствующих отражений показан на рис. 4. Фокусирующую секцию можно рассматривать как частный случай, где все геометрические размеры бруска №6 равны нулю.

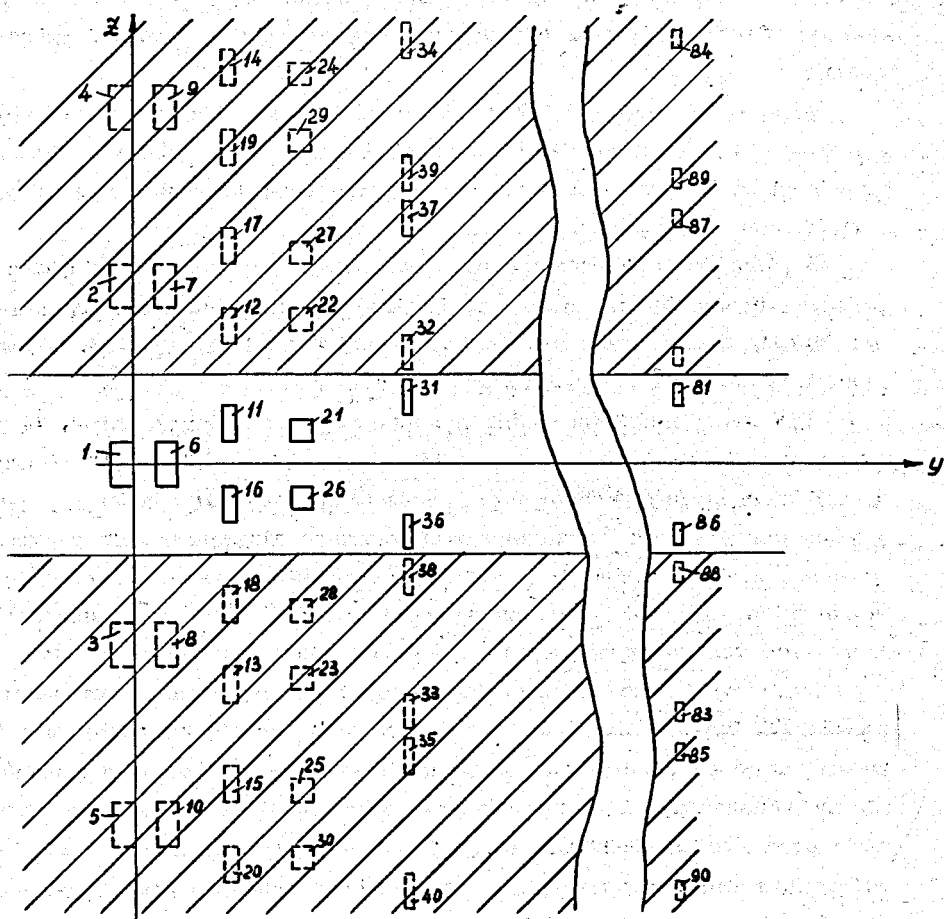


Рис. 4

В начале программы вводятся геометрические размеры брусков канала C, A_1, B_1, A_6, B_6 и 8 корректирующих пар шимм $A_{11}, \dots, B_{11}, \dots, A_{61}, \dots, B_{61}, \dots$, а также величины, определяющие положение в пространстве этих брусков и шимм, т.е. $R_1, R_6, R_{11}, \dots, G_1 = G_6 = 0, G_{11}, \dots$ (см. раздел V.I).

После этого определяются параметры соответствующих отражений брусков и шимм и их положения относительно осей OZ и OY .

Данные параметры секции канала и шимм вводятся в машину, после чего начинается расчёт поля $H_z = f(Y)$ в плоскости $X = 0$. Расчёт начинается при $Y = 0$, а затем находится распределение поля по оси OY , т.е. значение магнитного поля, полученного от совокупности канала и шимм в ряде точек путем варьирования величины Y с определенным шагом, например, 0,5 см.

Метод расчёта для любой точки следующий: считается поле бруска №1 в точке $Y = Y(J)$, потом первого и второго отражений этого бруска, поле второго бруска с его отражениями и поля всех пар шимм с отражениями. При этом следует иметь в виду, что вклад разных отражений может быть как положительным, так и отрицательным. Поле самого бруска шимм и второго отражения считается положительным, а поле первого отражения - отрицательным. В программе знак поля определяется коэффициентом F .

Когда величина поля $H(J)$ в точке $Y(J)$ определена, программа считает величину поля $H(J+1)$ в точке $Y(J+1)$ и т.д., пока $Y < Y_M$, где Y_M - заданная предельная величина Y .

В конце программы в виде таблицы величин Y и H печатается распределение магнитного поля по Y .

2. Программа CFIELD

Эта программа состоит из:

- а) основной части;
- б) расчёта функции $F(X)$ (см. формулу (7));
- в) SUBROUTINE SIMPS, которая считает интеграл в формуле (8);
- г) расчёта функции $FF(\xi)$.

Программа составлена для расчёта поля вдоль трех секций магнитного канала, отдельно для каждой, без учёта влияния на нее соседних секций. Таким же образом можно считать поле вдоль любого числа подобных секций.

В начале основной части программы вводятся параметры секции, т.е. $DS(J)$, $CT(J)$, $CS(J)$, B , $TH(1)$ и $S(1)$, значения которых приведены в разделе V.2 и на рис. 5. После этого считаются величины ширины брусков и зазора в начале следующих секций с помощью формул

$$TH(I) = TH(J)[1 + CT(J)], \quad (9)$$

$$S(I) = S(J)[1 + CS(J)], \quad (10)$$

где $J=1,2,\dots$ а $I=J+1$.

Полученные величины печатаются. Затем начинается расчёт поля вдоль первой секции ($J=1$). Расчёт начинается для $X = -10$ см и кончается при $X = DS(J) + 10$ см, с шагом 1 см. В зазоре суммарное магнитное поле является суммой магнитных полей от двух брусков. Поле каждого бруска считается отдельно, а потом полученные величины складываются. Чтобы использовать формулу (6), необходимо определить величины Y_1 и Y_2 относительно каждого бруска (см. рис. 5)

$$Y_1 = (GAP + YD)[1 + BS \cdot X / VS] + A[1 + ASX / VS], \quad (11)$$

$$Y_2 = -(GAP - YD)[1 + BS \cdot X / VS] - A[1 + ASX / VS], \quad (12)$$

где $GAP = \frac{S(J)}{2}$, $VS = DS(J)$, $A = \frac{TH(J)}{2}$, $BS = CS(J)$,

$AS = CT(J)$.

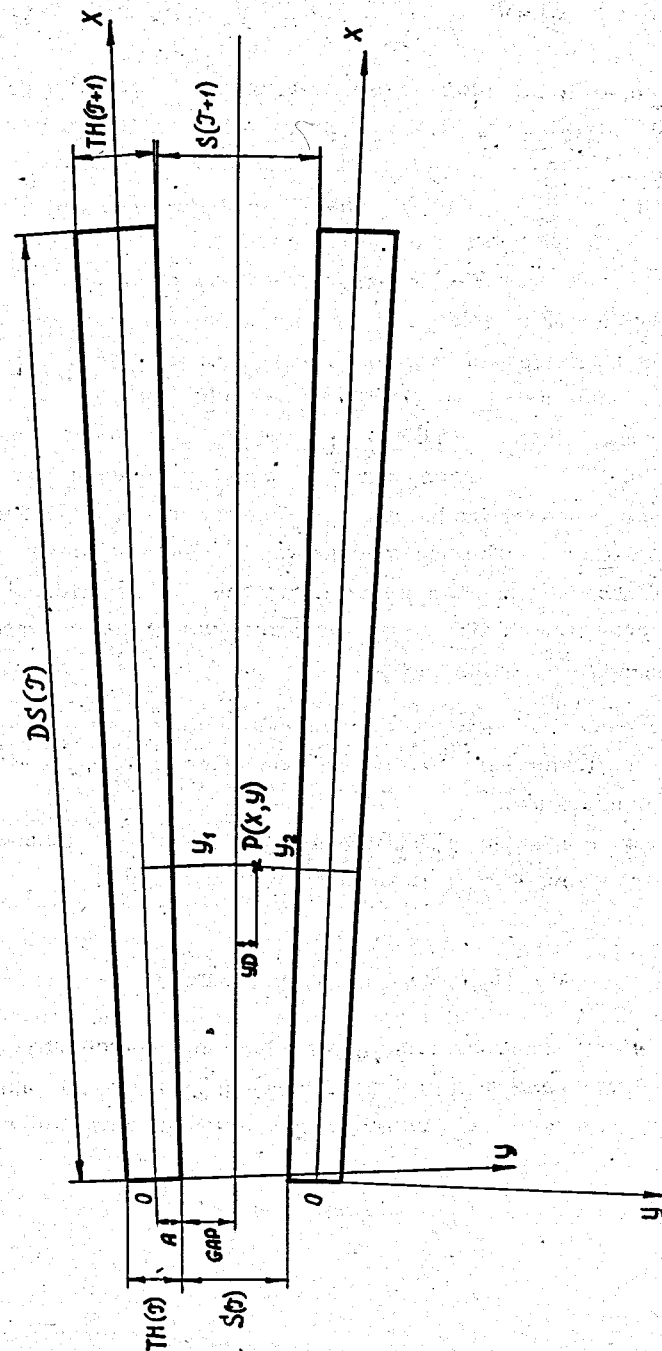


Рис. 5

В нашем случае $YD = 0$, т.е. поле считается вдоль оси магнитного канала.

После расчёта в каждой точке печатаются величины X , ΠZ (суммарное поле) и $HZ1$, $HZ2$ - поле каждого бруска в соответствующей точке.

При $X = DS(1) + 10$ см расчёт поля первой секции кончается и начинается подобный расчёт для следующей секции.

Для расчёта функции $F(X)$ соответствующая подпрограмма - функция вызывает **SUBROUTINE SIMPS**. Значения параметров, необходимых для работы этой стандартной подпрограммы, следующие: $A1 = X - VS$ и $B1 = X$ - пределы интегрирования, $H1 = \Pi = VS / 20$ - начальный шаг интегрирования, $REPS1 = 0,001$, относительная точность интегрирования, $AEPS1 = 10^{-11}$ - абсолютная точность интегрирования, **FUNCT** - название подпрограммы-функции для вычисления подинтегральной функции $FF(XI)$, $X = \xi$ (или в программе XI) - аргумент подинтегральной функции, AI - значение интеграла, AII - значение интеграла с шагом интегрирования, $AIABS$ - значение интеграла от модуля подинтегральной функции $\int_{A1}^{B1} |FUNCT(\xi)| d\xi$.

Эта подпрограмма вычисляет определенный интеграл с относительной или абсолютной точностью методом Симпсона с автоматическим выбором шага интегрирования.

Подпрограмма - функция **FUNCTION FF(XI)** вычисляет величину подинтегрального выражения $FF(\xi)$ с помощью формулы (6).

IV. Недостатки программ

Программа **IRON** считает поле только для прямоугольных брусков. Поэтому для секции канала и для шимм, расширяющихся по ширине (или высоте), расчеты справедливы только в средней плоскости брусков (при $X = 0$).

Что касается программы **CFIELD**, ее недостатком можно считать то, что она считает поле без учёта отражений. Хотя вклад первых двух отражений является существенным, для упрощения программы мы решили им пренебречь, так как эти расчёты были использованы только для предварительных оценок магнитного поля канала.

V. Требуемая информация и результаты

1. Программа IRON

В числовом материале нужно ввести следующие величины: $A(1)$, $A(6)$, $A(11), \dots, A(81)$ - полуширины брусков и шимм, $B(1)$, $B(6)$, $B(11), \dots, B(81)$ - полувысоты брусков и шимм, $R(1)$, $R(6)$, $R(11), \dots, R(81)$ - расстояния по Y брусков или шимм от оси OZ , $G(1)$, $G(6)$, $G(11)$, $G(16), \dots, G(81)$, $G(86)$ - расстояния по Z , брусков или шимм от оси OY . При этом следует отметить, что $G(k) = -G(k+5)$.

Величины C - длина бруска или шиммы и E - зазор электромагнита машины, где находится магнитный канал, было удобнее ввести непосредственно в программе.

На рис. 6 показаны результаты расчёта магнитного поля для брусков, параметры которых приведены в таблице 1.

2. Программа CFIELD

В числовом материале находятся следующие величины: $DS(J)$ - длины секции, $ST(J)$ - коэффициенты линейного расширения ширины брусков, $CS(J)$ - коэффициенты линейного расширения зазоров.

Величины B - полувысота брусков, $TH(1)$ и $S(1)$ - ширина брусков и зазоров канала в начале первой секции приведены непосредственно в программе в см.

При помощи данной программы рассчитано магнитное поле вдоль 3-х секций канала. Расчёт проводился следующим образом. Определялось поле вдоль каждой секции, включая краевое поле на ± 10 см от ее торцов. Затем поля соседних секций складывались. Результат показан на рис. 7, а параметры секций - в таблице 2.

Таблица 1

№ бруска или шиммы, К	R(k) СМ	A(k) СМ	G(k) СМ	B(k) СМ
I	-0,83	0,83	0,00	3,II
6	3,83	0,93	0,00	2,07
II	5,25	0,II	9,96	7,77
2I	6,10	0,II	10,10	7,77
3I	7,48	0,26	10,50	6,50
4I	10,00	0,05	19,00	5,00
5I	11,90	0,16	13,00	5,70
6I	18,00	0,15	13,00	3,00
7I	25,00	0,08	13,00	3,00
8I	35,00	0,20	13,00	3,00

C = 20 см и E = 46 см.

Таблица 2

№ секции J	DS(J) СМ	CT(J)	CS(J)	TH(J) СМ	S(J) СМ
I	40	0,92I2	0,92I2	0,70	1,4
2	50	1,0II	0,26	1,345	2,69
3	45	0,9I	0,13	2,70	3,39

B = 2 см.

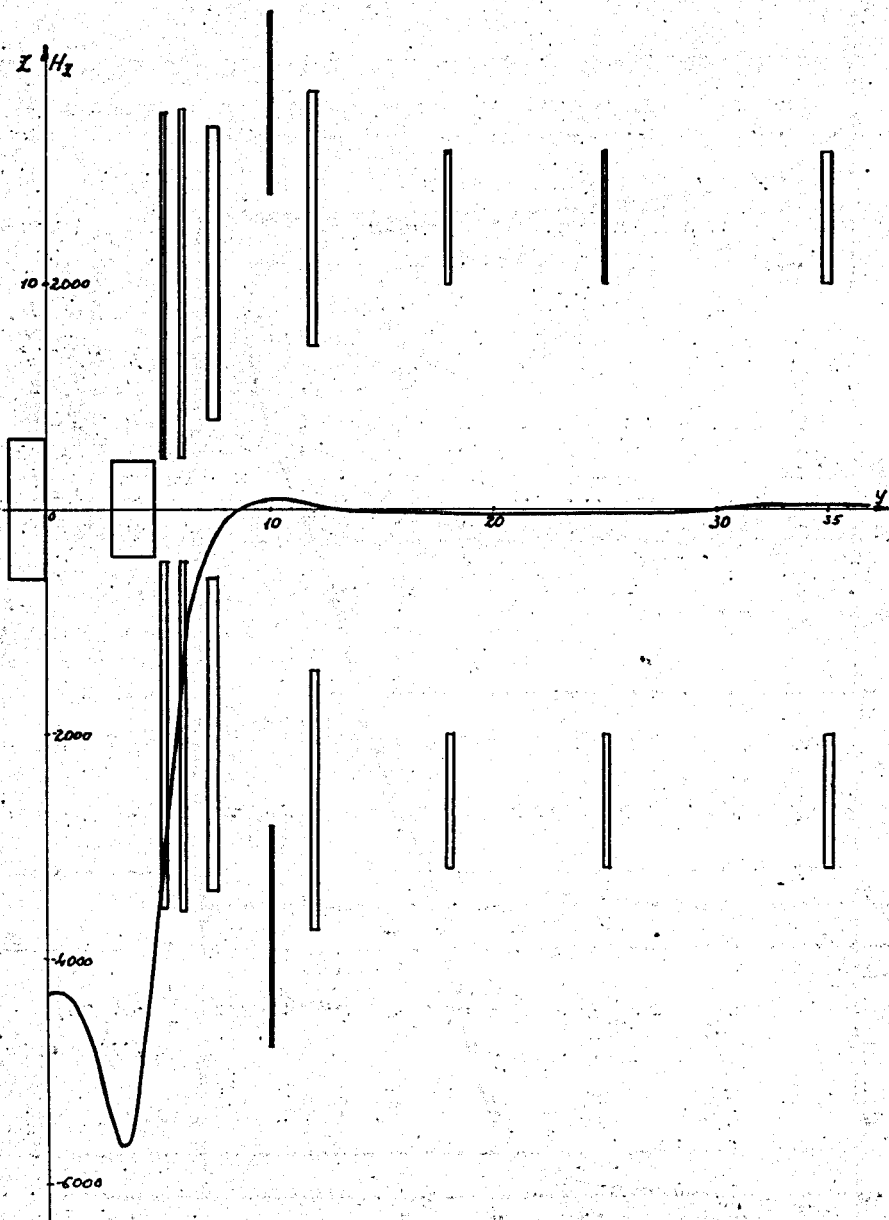


Рис. 6

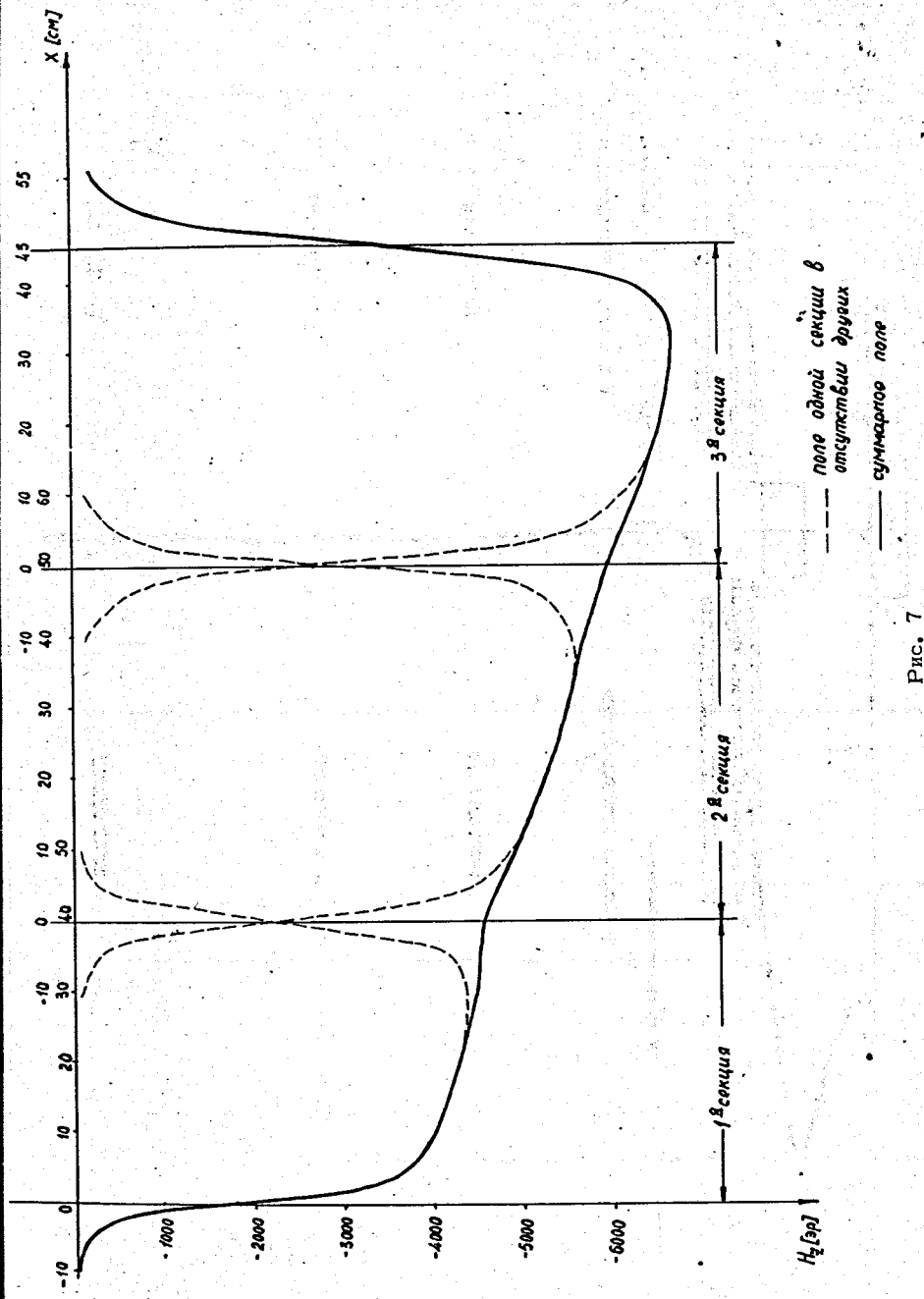


Рис. 7

Л и т е р а т у р а

1. В.И. Данилов, О.В. Савченко. ПТЭ, 3 (1959), №3, 17.
2. В.И. Данилов и др. Препринт ОИЯИ, Р-344, Дубна, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
 10 марта 1970 года.

```

PROGRAM CFIELD
DIMENSION DS(3),CT(3),CS(3),TH(4),S(4)
COMMON/BLOCK1/VS
COMMON/BLOCK2/X,Y,A,B,AS
READ 100,(DS(IA),IA=1,3)
100 FORMAT(3E8.4)
PRINT 103,(DS(IF),IF=1,3)
103 FORMAT(1H,3HDS=3E13.5,/)
READ 100,(CT(IB),IB=1,3)
PRINT 104,(CT(IG),IG=1,3)
104 FORMAT(1H,3HCT=3E13.5,/)
READ 100,(CS(IC),IC=1,3)
PRINT 105,(CS(IH),IH=1,3)
105 FORMAT(1H,3HCS=3E13.5,/)
B=2.
TH(1)=0.7
S(1)=1.4
DO 35 I=2,4
J=I-1
TH(I)=TH(J)*(1.+CT(J))
S(I)=S(J)*(1.+CS(J))
35 CONTINUE
PRINT 101,(TH(ID),ID=1,4)
101 FORMAT(1H,6HTH(1)=E13.5,2X,6HTH(2)=E13.5,2X,6HTH(3)=E13.5,
12X,6HTH(4)=E13.5,/)
PRINT 102,(S(IE),IE=1,4)
102 FORMAT(1H,5HS(1)=E13.5,2X,5HS(2)=E13.5,2X,5HS(3)=E13.5,
12X,5HS(4)=E13.5,/)
J=1
PRINT 619
600 VS=DS(J)
GAP=S(J)/2.
A=TH(J)/2.
AS=CT(J)
BS=CS(J)
X=-10.
PRINT 623
601 YD=0.
602 Y1=(GAP+YD)*(1.+BS*X/VS)*A*(1.+AS*X/VS)
Y2=-(GAP-YD)*(1.+BS*X/VS)-A*(1.+AS*X/VS)
Y=Y1
HZ1=2.*1670.*F(X)
Y=Y2
HZ2=2.*1670.*F(X)
HZ=HZ1+HZ2
PRINT 624,X,HZ,HZ1,HZ2
603 X=X+1.
IF(X-(DS(J)+10.))601,601,604
604 J=J+1
GO TO(608,605,607,608),J
605 PRINT 620
GO TO 600
607 PRINT 621
GO TO 600
608 STOP
619 FORMAT(12H ST SECTION)

```

3.09.69

620 FORMAT(12H 2ND SECTION)
621 FORMAT(12H 3RD SECTION)
623 FORMAT(8X,1HX,8X,2HHZ,9X,3HHZ1,8X,3HHZ2)
624 FORMAT(4F11,2)
END

3.09.69

```
FUNCTION F(X)  
COMMON/BLOCK1/VS  
EXTERNAL FF  
H=VS/100.  
CALL SIMPS(X-VS,X,H,0.001,.1E-10,FF,XI,AI,AIH,AIABS)  
F=AI  
RETURN  
END
```

```

SUBROUTINE SIMPS(A1,B1,H1,REPS1,AEPS1,FUNCT,X,AI,AIH,AIABS)
C SIMPS
C A1,B1 -THE LIMITS OF INTEGRATION
C H1 -AN INITIAL STEP OF INTEGRATION
C REPS1,AEPS1 - RELATIVE AND ABSOLUTE PRECISION OF INTEGRATION
C FUNCT -A NAME OF FUNCTION SUBPROGRAM FOR CALCULATION OF INTEGRAND +
C FLNCTION FUNCT(X)
C X - AN ARGUMENT OF THE INTEGRAND
C AI - THE VALUE OF INTEGRAL
C AIH- THE VALUE OF INTEGRAL WITH THE STEP OF INTEGRATION
C AIABS- THE VALUE OF INTEGRAL FOR MODULE OF THE INTEGRAND
C THIS SUBROGRAM CALCULATES THE DEFINITE INTEGRAL WITH THE RELATIVE OR
C ABSOLUTE PRECISION BY SIMPSON'S METHOD WITH THE AUTOMATICAL CHOICE
C OF THE STEP OF INTEGRATION
C IF AEPS1 IS VERY SMALL (LIKE 1.E-17), THEN CALCULATION OF INTEGRAL
C WITH REPS1, AND IF REPS1 IS VERY SMALL (LIKE 1.E-10), THEN CALCULATION
C OF INTEGRAL WITH AEPS1
C WHEN AEPS1=REPS1=0. THEN CALCULATION WITH THE CONSTANT STEP H1
C

```

```

DIMENSION F(7),P(5)
H=SIGN(H1,B1-A1)
S=SIGN(1.,H)
A=A1
B=B1
AI=0.
AIH=0.
AIAES=0.
P(2)=4.
P(4)=4.
P(3)=2.
P(5)=1.
IF(B-A) 1,2,1
1 REPS=ABS(REPS1)
AEPS=ABS(AEPS1)
DO 3 K=1,7
3 F(K)=10.E16
X=A
C=0.
F(1)=FUNCT(X)/3.
4 X=X
IF((X)+4.*H-B)*S) 5,5,6
6 H=(B-X0)/4.
IF(H) 7,2,7
DO 8 K=2,7
8 F(K)=10.E16
C=1.
5 DI2=F(1)
DI3=ABS(F(1))
DO 9 K=2,5
X=X+H
IF((X-B)*S) 23,24,24
24 X=B
23 IF(F(K)-1).E16) 10,11,10
1 F(K)=FUNCT(X)/3.
DI2=DI2+P(K)*F(K)
9 DI3=DI3+P(K)*ABS(F(K))

```

```

DI1=(F(1)+4.*F(3)+F(5))*2.*H
DI2=DI2*H
DI3=DI3*H
IF(REPS) 12,13,12
13 IF(AEPS) 12,14,12
12 EPS=ABS((AIABS+DI3)*REPS)
IF(EPS-AEPS) 15,16,16
15 EPS=AEPS
16 DELTA=ABS(DI2-DI1)
IF(DELTA-EPS) 20,21,21
20 IF(DELTA-EPS/8.) 17,14,14
17 H=2.*H
F(1)=F(5)
F(2)=F(6)
F(3)=F(7)
DO 19 K=4,7
19 F(K)=10.E16
GO TO 18
14 F(1)=F(5)
F(3)=F(6)
F(5)=F(7)
F(2)=10.E16
F(4)=10.E16
F(6)=10.E16
F(7)=10.E16
18 DI1=DI2+(DI2-DI1)/15.
AI=AI+DI1
AIH=AIH+DI2
AIABS=AIABS+DI3
GO TO 22
21 H=H/2.
F(7)=F(5)
F(6)=F(4)
F(5)=F(3)
F(3)=F(2)
F(2)=10.E16
F(4)=10.E16
X=X0
C=0.
GO TO 5
22 IF(C) 2,4,2
2 RETURN
END

```

3.09.69

```
FUNCTION FF(XI)
COMMON/BLCK1/VS
COMMON/BLCK2/X,Y,A,F,AS
FF=E/(XI**2+B**2)*
1((Y-A-(A*AS/VS)*(X-XI))/
2SQRT(XI**2+(Y-A-(A*AS/VS)*(X-XI))**2+B**2)-
3(Y+A+(A*AS/VS)*(X-XI))/
4SQRT(XI**2+(Y+A+(A*AS/VS)*(X-XI))**2+B**2))
RETURN
END
```

```

PROGRAM IRON
DIMENSION G(100),B(100),R(100),Y(50),H(50),W(100),A(100)
18 READ 10,A(1),A(6),A(11),A(21),A(31),A(41),A(51),A(61),A(71)
1,A(81)
READ 10,R(1),R(6),R(11),R(21),R(31),R(41),R(51),R(61),R(71)
1,R(81)
READ 10,B(1),B(6),B(11),B(21),B(31),B(41),B(51),B(61),B(71)
1,B(81)
READ 10,G(1),G(6),G(11),G(16),G(21),G(26),G(31),G(36),
1G(41),G(46),G(51),G(56),G(61),G(66),G(71),G(76),G(81),G(86)
E=46.
C=20.
X=0.
DO 1 I=2,5
R(I)=R(1)
A(I)=A(1)
B(I)=B(1)
R(I+5)=R(6)
A(I+5)=A(6)
1 B(I+5)=B(6)
DO 2 J=1,8
K=10*J
DO 3 I=2,10
R(I+K)=R(K+1)
A(I+K)=A(K+1)
3 B(I+K)=B(K+1)
2 CONTINUE
DO 4 J=1,18
K=5*J-3
M=5*J-4
G(K)=E-G(M)
G(K+1)=-E-G(M)
G(K+2)=2.*E+G(M)
4 G(K+3)=-2.*E+G(M)
52 PRINT 40
PRINT 31,R(1),A(1),G(1),B(1)
PRINT 32,R(6),A(6),G(6),B(6)
PRINT 33,R(11),A(11),G(11),B(11)
PRINT 34,R(21),A(21),G(21),B(21)
PRINT 35,R(31),A(31),G(31),B(31)
PRINT 36,R(41),A(41),G(41),B(41)
PRINT 37,R(51),A(51),G(51),B(51)
PRINT 38,R(61),A(61),G(61),B(61)
PRINT 39,R(71),A(71),G(71),B(71)
PRINT 41,R(81),A(81),G(81),B(81)
19 J=1
Y(J)=0.
6 H(J)=0.
K=2
DO 5 I=1,90
IF(I-K)21,22,22
22 F=-1.
IF(I-K)24,24,23
23 K=K+5
GO TO 24
24 F=1.

```



```

24 H(J)=H(J)+1671.5*F*(
1   ATANF((Y(J)-R(I)-A(I))/(G(I)-B(I))*(X-C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)-A(I))**2+(G(I)-H(I))**2+(X-C)**2))
1   -ATANF((Y(J)-R(I)+A(I))/(G(I)-B(I))*(X-C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)+A(I))**2+(G(I)-H(I))**2+(X-C)**2)))
H(J)=H(J)+1671.5*F*(
1   +ATANF((Y(J)-R(I)+A(I))/(G(I)+B(I))*(X-C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)+A(I))**2+(G(I)+H(I))**2+(X-C)**2))
1   -ATANF((Y(J)-R(I)-A(I))/(G(I)+B(I))*(X-C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)-A(I))**2+(G(I)+H(I))**2+(X-C)**2)))
H(J)=H(J)+1671.5*F*(
1   -ATANF((Y(J)-R(I)-A(I))/(G(I)-B(I))*(X+C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)-A(I))**2+(G(I)-H(I))**2+(X+C)**2))
1   +ATANF((Y(J)-R(I)+A(I))/(G(I)-B(I))*(X+C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)+A(I))**2+(G(I)-H(I))**2+(X+C)**2)))
H(J)=H(J)+1671.5*F*(
1   -ATANF((Y(J)-R(I)+A(I))/(G(I)+B(I))*(X+C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)+A(I))**2+(G(I)+H(I))**2+(X+C)**2))
1   +ATANF((Y(J)-R(I)-A(I))/(G(I)+B(I))*(X+C)/
1   SQRTF((Y(J)-R(I)-A(I))**2+(G(I)+H(I))**2+(X+C)**2)))
5 CONTINUE
J=J+1
Y(J)=Y(J-1)+0.5
IF(Y(J)-15.)6,6,7
7 Y(J)=Y(J-1)+3.
IF(Y(J)-60.)6,8,8
8 MJ=J
M=1
J=1
17 W(M )=Y(J)
W(M+1)=F(J)
M=M+2
J=J+1
IF(J-MJ)17,17,9
9 MM=M-1
PRINT 11,(W(M),M=1,MM)
GO TO 18
10 FORMAT(8F10.3)
11 FORMAT(2X2F12.3)
31 FORMAT(11H RODE 1 4F10.2)
32 FORMAT(11H RODE 2 4F10.2)
33 FORMAT(11H SHIM 1 4F10.2)
34 FORMAT(11H SHIM 2 4F10.2)
35 FORMAT(11H SHIM 3 4F10.2)
36 FORMAT(11H SHIM 4 4F10.2)
37 FORMAT(11H SHIM 5 4F10.2)
38 FORMAT(11H SHIM 6 4F10.2)
39 FORMAT(11H SHIM 7 4F10.2)
40 FORMAT(49H R A Z B)
41 FORMAT(11H SHIM 8 4F10.2)
END

```