

С 345e4

B-611

Вовенко А.С. и др.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б 2-13-4545

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

А.С.Вовенко, А.Д.Кириллов, В.В.Кухтин,

Л.Н.Комолов, И.А.Савин, М.И.Яцута

БЭ-13-4545

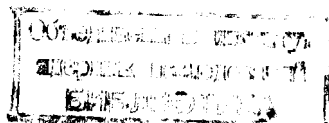
С.Ф.2508

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

МАГНИТА СП-40А.

18 июля 68

г.Дубна, 1968 г.



КАРТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ СП-40

Измерения магнитного поля, электрическая блок-схема которых показана на рис.1, проводились с помощью двух датчиков Холла. Напряжение, снимаемое с одного из датчиков Холла (далее ДХ), пропорционально величине магнитного поля в точке измерений. Вторым ДХ₂ (мониторный) позволял учитывать изменения напряжения, снимаемые с рабочего ДХ, связанные с колебаниями температуры, флуктуациями магнитного поля, вследствие случайных изменений тока в обмотках магнита, и другими причинами.

Относительная точность измерений напряжения с ДХ была на уровне 0.1%.

Форма и размеры полюсов магнита СП-40, для которого проводились измерения поля, показаны на рисунке 2.

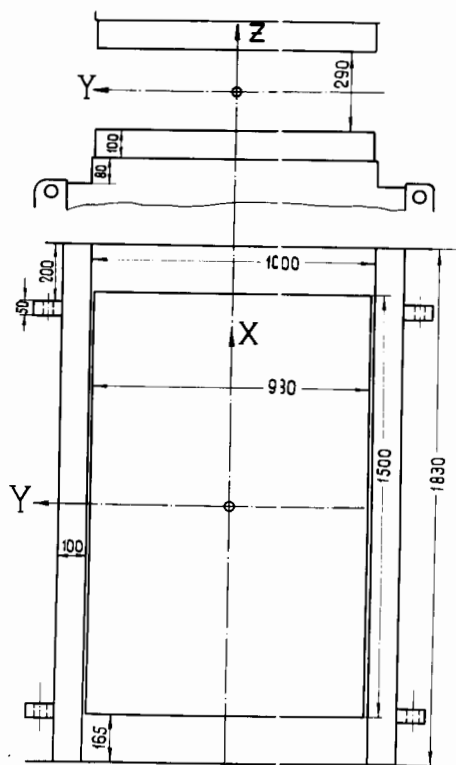


Рис. 2
Форма верхней части полюсов магнита СП-40.

Измерения магнитного поля проводились в медианной плоскости вдоль осей X и Y (см. рис.2) и внутри одного квадранта полюсов магнита СП-40 ($X > 0, Y > 0$). Были проведены две серии измерений при токах в магните 301а и 608а, что соответствует величинам полей в центре магнита 4 кгс и 8 кгс, соответственно.

Контроль за токами в магните осуществлялся с помощью шунта с параметрами 2000А - 75 мв. Значения напряжения, снимаемого с шунта, при измерениях поля в центре магнита были 11,3 мв и 22.8 мв.

Процедура обработки данных серии измерений.

При обработке данных восстанавливались истинные значения магнитного поля с использованием экспериментально полученной ранее зависимости отношения значения измеряемого магнитного поля к напряжению, снимаемому с ДХ, от напряжения на ДХ. Затем проводилась нормировка на значение магнитного поля в центре полюсов СП-40 и умножение на поправочный коэффициент, зависящий от показаний мониторингового ДХ.

Т.о. осуществлялся переход от напряжений на датчиках в точках измерения к нормированной на I карте поля в квадранте $X > 0, Y > 0$ и вдоль осей X и Y .

Все эти операции можно записать формулой:

$$mmf_i = \left[\left(\frac{B}{u_x} \right)_i \cdot u_{x_i} / \left\{ \left(\frac{B}{u_x} \right)_0 \cdot u_{x_0} \right\} \right] \cdot \frac{m_0}{m_i} ;$$

где

m_i - значение поля в i -той точке измерения в относительных единицах,

u_{xi} - напряжение на ДХ в i -той точке (см.табл.У1),

$(B/u_x)_i$ - градуировочная величина для ДХ (см.табл.У),

$(B/u_x)_i \cdot u_{xi}$ - значение магнитного поля в i -той точке измерения,

$u_{x_0}, (B/u_x)_0, (B/u_x)_0 \cdot u_{x_0}$ - аналогичные параметры для центра полюсов СП-40,

m_0 - показание монитрного ДХ при измерении поля в центре магнита,

m_i - показание монитрного ДХ при измерении поля в i -той точке магнита (см.табл.У1).

Для получения общей карты поля измерения для одного квадранта переносились в другие симметрично относительно соответствующей оси с умножением на коэффициент, равный отношению значений поля в данных точках на оси координат, вдоль которой осуществляется перенос. Например,

$$B(x_i, -y_i) = B(x_i, y_i) \frac{B(0, -y_i)}{B(0, y_i)}$$

Вычисления проводились на ЭВМ с помощью программы на языке АЛГОЛ-60, описанной в Приложении I.

Дальнейшая работа проводилась с полной картой поля в относительных единицах.

Были построены графики изменения магнитного поля в зависимости от координаты X при фиксированных значениях координаты Y (направление, перпендикулярное пучку). Кроме этого были вычислены и построены графики функций вида

$$\varphi(y) = \int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dx \quad \text{и}$$

$$\varphi(x, y) = \int_0^x B(\xi, y) d\xi, \quad \text{где}$$

$B(x, y), B(\xi, y)$ - текущие величины магнитного поля.

Результаты обработки представлены в таблицах I-IV и на рисунках 3-7.

Табл. I и рис. 3 - карта магнитного поля СП-40 в относительных единицах (в % к величине поля в центре магнита),

Табл. II и рис. 4 - изменение магнитного поля СП-40 вдоль оси Y .

Табл. III и рис. 5 и 6 - $\varphi(y)$ и $\varphi(y)/\varphi(0)$,

Табл. IV и рис. 7 $\varphi(x, y)$ [кгс х м]

Результаты измерений и выводы.

I. Рассмотрим характер изменения магнитного поля в направлении, параллельном падающему пучку, т.е. в зависимости от координаты X ; координата Y выступает как параметр, - рис. 3. Прежде всего видно, что магнитное поле при $Y = 0, 20$ см спадает до уровня $\sim 1\%$ от максимального на расстоянии ~ 170 см, и до уровня $\sim 0,1\%$ на расстоянии ~ 200 см от центра магнита. На расстояниях $\sim 220+230$ см поля практически нет по всей ширине магнита. Поведение кривых на рис. 7 подтверждает сделанное заключение. При $Y = 40, 45$ см кривые магнитного поля лежат систематически ниже кривых при $Y = 0, 20$ см. На конце полюса

магнита поле спадает до уровня $\sim 87\%$ от значения в центре для $Y = 0.20$ см и до $\sim 75\%$ для $Y = 40,45$ см.

Эффективная длина данного магнитного поля вдоль оси X $L_{эф}$, определяемая здесь как отношение

$$L_{эф} = \int_{-\infty}^{\infty} B(0, x) dx / B(0, 0)$$

где $B(0, 0)$ - величина поля в центре магнита, оказалась равной 203 см.

2. Рассмотрим теперь параметры, характеризующие изменения поля в направлении, перпендикулярном пучку - рис.4.

Таблица VII

Y [см]	0	10	20	30	40	45	50	55
K [%]	0	0	0	0.35	3.35	8.45	17.75	29.3

В таблице VII приведены значения величины $K = \frac{mmf_{max} - mmf_c}{mmf_c}$, характеризующей спадание магнитного поля вдоль оси Y .

Границы полюсов магнита проходят на ± 49 см от центра, т.о. на краях поля спадает на $\sim 17\%$.

Таблица VIII характеризует изменение интеграла поля вдоль направления параллельного оси X для разных значений координаты Y .

Таблица УПІ

Y [см]	0	20	40	45
K [%]	0	0.5	4.2	9

Здесь $K = \varphi(y) - \varphi(0)$.

Даже при отсутствии измерений $\int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dx$ на краях магнита можно говорить, что интеграл от поля магнита падает при приближении к краю полюса на величину порядка 15% (см. рис. 5).

Для более точного определения спадания интеграла поля следует произвести измерения для большего набора значений координаты особенно вблизи края полюса.

3. Следует отметить, что все измерения показывают плавное изменение магнитного поля СП-40 и не обнаруживают явно выделенных неоднородностей.

4. Профиль поля вдоль оси X указывает минимальное расстояние детекторов от центра магнита, на котором влияние магнитного поля на прибор пренебрежимо мало:

$$x_{min} \geq 230 \text{ см.}$$

5. Область постоянного поля вдоль направления параллельного оси Y (поперек пучка) заключена в пределах ± 25 см от продольной оси магнита. При необходимости увеличить эту область требуется шиммирование на краях полюсов.

6. Для полноты сведений о карте магнитного поля в объеме требуются измерения вне медианной плоскости полюсов магнита.

7. Для абсолютных измерений значений поля требуется точное измерение поля хотя бы в одной точке (в центре магнита) с помощью ядерного магнитного резонанса.

Давид
Горюх
Иванов
Косов
Курин
Сидоров

Таблица I

Карта магнитного поля магнита СП-40.

В таблице приведены отношения значений поля в данной точке к значению поля в центре магнита.

X координаты точки измерения, [см]	-45	-40	-20	0	+20	+40	+45
1	2	3	4	5	6	7	8
-250	0.95	1.07	0.35	1.22	0.35	1.07	0.96
-240	0.58	0.65	0.20	0.74	0.20	0.65	0.58
-230	0.31	0.35	0.11	0.40	0.11	0.35	0.31
-220	0.15	0.17	0.09	0.19	0.09	0.17	0.15
-210	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11
-200	0.17	0.16	0.21	0.19	0.21	0.16	0.17
-190	0.34	0.34	0.36	0.35	0.36	0.34	0.34
-180	0.49	0.49	0.63	0.52	0.63	0.49	0.49
-170	1.02	1.04	1.14	1.12	1.14	1.04	1.02
-160	1.67	1.92	2.08	2.706	2.08	1.93	1.88
-150	3.86	3.99	4.32	4.30	4.32	4.00	3.88
-140	7.74	7.99	8.59	6.63	8.59	8.01	7.78
-130	13.60	13.81	14.64	14.81	14.65	13.85	13.68
-120	20.56	21.20	22.39	22.64	22.39	21.25	20.67
-110	30.25	31.20	32.92	33.21	32.92	31.28	30.42
-100	41.39	42.86	45.10	45.44	45.10	42.98	41.61
- 90	53.67	56.06	59.04	59.41	59.05	56.21	53.96
- 80	70.09	74.06	77.76	78.08	77.77	74.26	70.47
- 70	85.40	90.63	94.43	94.43	94.44	90.67	85.86
- 60	90.03	95.48	99.16	99.11	99.17	95.74	90.51

I	2	3	4	5	6	7	8
- 50	90.62	96.04	99.69	100.00	99.70	96.30	91.11
- 40	90.84	96.23	99.91	99.91	99.92	96.49	91.34
- 30	90.93	93.30	99.98	99.93	99.99	96.56	91.42
- 20	90.55	96.32	99.96	99.96	99.97	96.58	91.44
- 10	90.97	96.33	99.97	99.98	99.99	96.59	91.46
0	90.98	96.35	99.99	100.00	100.00	96.60	91.47
+10	90.98	96.35	99.99	100.00	100.00	96.61	91.48
+20	90.98	96.35	99.99	100.00	100.00	96.60	91.47
+30	90.98	96.35	100.03	100.00	100.00	96.61	91.47
+40	90.92	96.32	100.00	100.00	100.00	96.58	91.41
+50	90.81	96.24	99.90	100.00	99.91	96.50	91.30
+60	89.97	95.42	99.10	99.05	99.11	95.68	90.46
+ 70	84.75	69.94	93.71	93.70	93.72	90.18	85.21
+ 80	68.92	72.83	76.46	76.78	76.47	73.02	69.29
+ 90	53.05	55.41	58.36	58.72	58.37	55.58	53.34
+100	40.68	42.34	44.54	44.88	44.55	42.45	41.10
+110	29.83	30.77	32.46	32.74	32.46	30.85	29.99
+120	20.28	20.90	22.08	22.33	22.08	20.96	20.39
+130	13.33	13.54	14.35	14.51	14.35	13.57	13.41
+140	7.63	7.88	6.47	6.50	6.47	7.90	7.67
+150	3.86	4.00	4.34	4.31	4.34	4.01	3.89
+160	1.94	2.00	2.17	2.15	2.17	2.01	1.95
+170	1.01	1.04	1.14	1.12	1.14	1.04	1.02
+180	0.49	0.49	0.63	0.52	0.63	0.49	0.49
+190	0.34	0.34	0.36	0.35	0.36	0.34	0.34

I	2	3	4	5	6	7	8
+200	0.17	0.16	0.21	0.16	0.21	0.16	0.17
+210	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11
+220	0.15	0.170	0.09	0.19	0.09	0.17	0.15
+230	0.31	0.35	0.11	0.40	0.11	0.35	0.31
+240	0.58	0.65	0.20	0.74	0.20	0.65	0.58
+250	0.95	1.07	0.35	1.22	0.35	1.07	0.96

Таблица II

Изменение магнитного поля вдоль оси Y

Y [см]	$\frac{B(y)}{B(0)}$ [%]
-55	71.67
-50	83.07
-45	92.01
-40	96.94
-30	99.70
-20	100.00
- 5	100.00
0	100.00
5	100.00
20	100.00
30	99.67
40	96.68
45	91.52
50	82.28
55	70.78

Таблица III

Интегралы поля вдоль прямых, параллельных оси X

Y [см]	$\int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dx$ [кгс·см]	$\frac{\int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} B(x, 0) dx}$ [%]
-45	7.36	90.5
-40	7.76	95.5
-20	8.09	99.5
0	8.12	100.00
20	8.09	99.5
40	7.79	95.8
45	7.40	91.0

Таблица IY

Интегралы поля вдоль прямых параллельных оси X
в пределах от 0 до X, в единицах кгаусс x м.

X [см] \ Y [см]		0	20	40	45
1	2	3	4	5	6
	+10	0.40	0.40	0.3	0.37
	20	0.80	0.80	0.7	0.73
	30	1.20	1.20	1.16	1.10
	40	1.60	1.60	1.55	1.46
	50	2.00	2.00	1.93	1.83
	60	2.40	2.40	2.32	2.19
	70	2.79	2.73	2.69	2.54
	80	3.13	3.12	3.01	2.85
	90	3.40	3.39	3.27	3.10
	100	3.61	3.60	3.48	3.29
	110	3.76	3.75	3.61	3.43
	120	3.87	3.86	3.72	3.53
	130	3.95	3.94	3.79	3.60
	140	3.99	3.98	3.83	3.64
	150	4.02	4.01	3.85	3.66
	160	4.03	4.02	3.87	3.67
	170	4.04	4.03	3.87	3.68

I	2	3	4	5	6
	180	4.04	4.03	3.87	3.68
	190	4.04	4.03	3.88	3.69
	200	4.04	4.03	3.88	3.69
	210	4.04	4.03	3.88	3.69
	220	4.04	4.03	3.88	3.69
	230	4.05	4.03	3.89	3.69
	240	4.05	4.04	3.88	3.69
	250	4.05	4.04	3.88	3.69

Таблица У

Градуировочная таблица

U_x - напряжение, снимаемое с датчиков Холла	B/U_x - отношение величины измеряемого магнитного поля к напряжению на датчике Холла
2,73	94,78
4,13	100,15
6,52	100,41
8,90	99,96
13,62	101,29
17,27	101,12
21,39	100,88
25,62	100,61
32,85	100,09
43,11	99,93
54,55	98,62
65,30	97,93
77,20	97,26
88,62	96,69
135,45	94,65
156,44	94,44
178,77	94,07
195,55	93,84

таблица УІ.

Экспериментальные данные

$$X = 0 \text{ [см]}$$

Y [см]	Показания мониторингового датчика	Показания рабочего датчика
	um [мв]	ux [мв]
1	2	3
-55	55.36	28.38
-50	55.36	33.01
-45	55.36	36.654
-40	55.36	36.671
-30	55.36	39.8
-20	55.36	39.955
0	55.36	39.97
20	55.36	39.95
30	55.36	39.79
40	55.36	38.565
45	55.36	36.452
50	55.36	36.688
55	55.36	28.023

$$\underline{Y} = 0 \text{ [см]}$$

X [см]	Показания мониторингового датчика	Показания рабочего датчика
	иm [мв]	иx [мв]
1	2	3
-158	55.35	1.155
-150	55.35	1.904
-145	55.35	2.609
-140	55.35	3.493
-130	55.35	5.863
-120	55.35	9.007
-110	55.35	13.043
-100	55.35	17.872
- 95	55.35	20.534
- 90	55.35	23.443
- 85	55.35	26.915
- 80	55.35	30.977
- 75	55.35	34.92
- 70	55.35	37.634
- 60	55.35	39.552
- 40	55.35	39.879
- 20	55.35	39.899
0	55.34	39.909
10	55.33	39.9
20	55.16	39.77
40	55.06	39.7

I	2	3
60	55.00	39.27
70	54.86	37
73	55.35	35.814
75	55.35	34.5
77	55.35	32.91
80	55.34	30.44
82	55.34	28.8
85	55.34	26.51
90	55.33	23.16
95	55.37	20.3
100	55.38	17.66
105	55.37	15.19
110	55.37	12.87
115	55.37	10.77
120	55.37	8.885
125	55.37	7.215
130	55.37	5.75
140	55.37	3.45
150	55.37	1.91
160	55.37	1.029
170	55.37	0.564
190	55.37	0.185
210	55.37	0.059

- 4 -
 $\bar{Y} = 20$ [см]

X [см]	Показания мониторингового датчика	Показания рабочего датчика
	цм [мб]	цх [мб]
1	2	3
0	57.77	41.714
20	57.77	41.714
40	57.77	41.718
50	57.77	41.674
60	57.77	41.331
65	57.77	40.652
70	57.77	39.022
75	57.77	35.91
80	57.77	31.68
85	57.77	27.556
90	57.76	24.046
95	57.76	21.058
100	57.76	18.288
105	57.76	15.717
110	57.75	13.3
115	57.75	11.115
120	57.75	9.164
125	57.75	7.44
130	57.745	5.93
140	57.745	3.568
150	57.745	1.991
160	57.73	1.076

1	2	3
170	57.79	0.596
180	57.71	0.341
190	57.79	0.2
200	57.775	0.117
210	57.775	0.066

$$Y = 40 \text{ [см]}$$

X [см]	Показания мониторингового датчика	Показания рабочего датчика
	U _m [мВ]	U _x [мВ]
0	57.78	40,263
20	57.78	40.263
40	57.78	40.251
50	57.77	40.21
60	57.77	39.86
65	57.77	39.16
70	57.77	37.51
75	57.77	34.375
80	57.77	30.215
85	57.77	26.192
90	57.77	22.875
95	57.77	20.015
100	57.77	17.421
105	57.77	14.94
110	57.77	12.655
115	57.77	10.57
120	57.77	8.7
125	57.77	7.05
130	57.77	5.61
140	57.77	3.357
150	57.77	1.86
160	57.77	1.005
170	57.77	0.55
190	57.77	0.187
210	57.77	0.061

$$Y = 45 \text{ [cm]}$$

X [cm]	Показания мониторингового датчика	Показания рабочего датчика
	U_m [mb]	U_x [mb]
1	2	3
0	57.77	38.061
20	57.77	38.061
40	57.77	38.038
50	57.77	37.988
60	57.77	37.628
65	57.77	36.95
70	57.77	35.39
75	57.77	32.49
80	57.77	28.64
85	57.77	25
90	57.77	21.95
95	57.76	19.3
100	57.76	16.86
105	57.76	14.52
110	57.76	12.31
115	57.76	10.28
120	57.76	8.46
125	57.76	6.87
130	57.76	5.47
140	57.76	3.27
150	57.76	1.81
160	57.76	0.98
170	57.74	0.54
190	57.74	0.19
210	57.74	0.06

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ПРОГРАММА

ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТА СП-40А. (Рис. 8).

Программа для ЭВМ написана с учётом особенностей и порядка измерений магнитного поля.

1. Массив " X_0 " - значения X - координат точек, для которых необходимо определить поле. Вычисление величины поля в точках с координатами X_0 производится по стандартной подпрограмме P1071 - интерполирование по формуле Ньютона с разделёнными разностями. Все числа массива обязаны удовлетворять двум условиям: а) условию неотрицательности ($X_0 \geq 0$); б) $X_i \geq X_{i-1}$. Программа автоматически в нужный момент переводит положительные значения X - координат массива X_0 в отрицательные, поскольку начало координат выбрано в центре магнита.

2. Массив " Y_0 " - значения координат точек на оси Y , для которых необходимо вычислить поле. В массиве Y_0 числа могут быть положительными и отрицательными, но обязательно расположенными так, чтобы $Y_i > Y_{i-1}$. Для программы необходимо, чтобы в массив Y были включены Y - координаты траекторий измерений вдоль оси X в квадранте ($X > 0, Y > 0$).

3. Массив "graph" - градуировочная кривая (см. текст). Этот массив используется только в стандартных подпрограммах интерполирования, которая требует следующего порядка его заполнения числами. Пусть нам известно " N " точек градуировочной кривой, тогда размерность массива "graph" - $[2 \times N]$, т.е. он содержит $2 \times N$ чисел. Первые N чисел массива - значения абсцисс градуировочной кривой, удовлетворяющие условию $a_i > a_{i-1}$; вторые N чисел - ординаты кривой, расположенные в строгом соответствии с абсциссами.

Основной экспериментальный материал, подлежащий обработке вводится порциями, для этого в программе организован "большой" цикл, количество повторений в цикле задается в первом вводе. Сначала вводится количество точек измерений на траектории, а затем тремя массивами вводятся координаты точек этой траектории, значения напряжений мониторингового датчика Холла и, наконец, напряжения с рабочего ЮХ. Все эти три массива имеют одинаковую размерность. Порядок ввода экспериментального материала таков. Первыми вводятся данные измерений по оси Y. После обработки измерений по оси Y вводятся экспериментальные данные по оси X следующим образом вся совокупность данных для оси X разбивается на две группы. В первую входят только измерения при $x < 0$, а во вторую группу - для $x > 0$. Каждая из этих трёх групп данных (Y, $x < 0$, $x > 0$) обрабатывается отдельными кусками программы, поэтому необходимо строго соблюдать порядок

их введения. На следующем этапе работы программа вводит данные для траекторий - каждая траектория вводится отдельно. Первой вводится траектория с минимальной Y - координатой, а затем в порядке возрастания параметра Y .

Общим для всего вводимого числового материала является требование на порядок расположения данных при подготовке числового материала для программы - все данные надлежит располагать в порядке возрастания координат точек измерения.

Колоду карт, подготавливаясь к счёту на ЭВМ, следует составлять так. Первыми располагаются карты вызова транслятора, затем непосредственно перфокарты программы с контрольной суммой, которую можно получить на ЭВМ либо на сумматоре, а затем уже числовой материал в порядке, данном в распечатке программы.

Перейдём к описанию идентификаторов переменных и массивов, используемых в программе.

- " b_c " - вводится значение напряжения на рабочем Bx для центра магнита;
- " m_c " - вводится значение напряжения на мониторинг Bx для центра магнита;
- " j " - переменная "большого" цикла;
- " n " - вводится, задает размерности массивов экспериментальных данных для траекторий при вычислении интегралов используется как переменная циклов;
- " m " - вводится, задает количество циклов ввода экспериментальных данных для траекторий;

- "m₂" - вводится, задает количество траекторий измерения в квадранте +I;
- "m₃" - количество траекторий измерения в квадранте;
- "k" - рабочая переменная, м.б. переменной цикла, номером траектории в полной карте поля;
- "i" - переменная "малых" циклов;
- "in" - переменная, используется для вычисления интегралов,
- "h_g" - вводится, задает магнитное поле в центре магнита ;
- "met" - вводится, переводной коэффициент от [см] к [м], равный 0.01;
- "g₂ph" - массив, вводится градуировочная кривая;
- "y₀" - массив, вводится координаты по оси Y;
- "x₀" - массив, вводится координаты по оси X;
- "y₁" - массив, используется для запоминания координат и значений поля по оси X, заполняется программой;
- "c₁" - массив, используется в подпрограмме интерполирования P1071;
- "a₁" - массив, является рабочим для стандартной подпрограммы интерполирования P1071, больше нигде не используется;
- "mmf" - массив, заполняется вычисленными значениями поля в медианной плоскости, является основным результатом работы программы;

- " y_x " - массив, вводится, содержит y - координаты траекторий измерения в квадранте в порядке их возрастания;
- " m_l " - массив, заполняется вычисленными значениями поля для всей траектории, параллельной оси X ;
- " x " - массив, вводится, содержит координаты точек измерения;
- " u_m " - массив, вводится, содержит значения напряжений монитора ;
- " u_x " - массив, вводится, содержит значения напряжений рабочего ;
- " c " - массив, содержит значения координат точек измерения и истинные значения поля для них;
- a_1, a_2, a_3 - массивы, являются рабочими для стандартной подпрограммы интерполирования PI07I, больше в программе нигде не используются;
- " d_0 " - массив, служит для хранения в памяти машины координат массива " Y_0 " и вычисленных значений поля для него;
- " d_1 " - массив, используется для промежуточного хранения в памяти машины координат массива " X_0 " и соответствующих же значений поля на траекториях измерения;

" x_{oi} " - массив, содержит значения координат по оси
для вычисления интегралов;

" $iatp$ " - массив, содержит значения интегралов поля
 $\varphi(y)$ вдоль траекторий при $\underline{y} \geq 0$;

" $ittp$ " - массив, содержит значения интегралов поля
 $\varphi(x, y)$ вдоль траекторий при $\underline{y} \geq 0$ и $x \geq 0$.

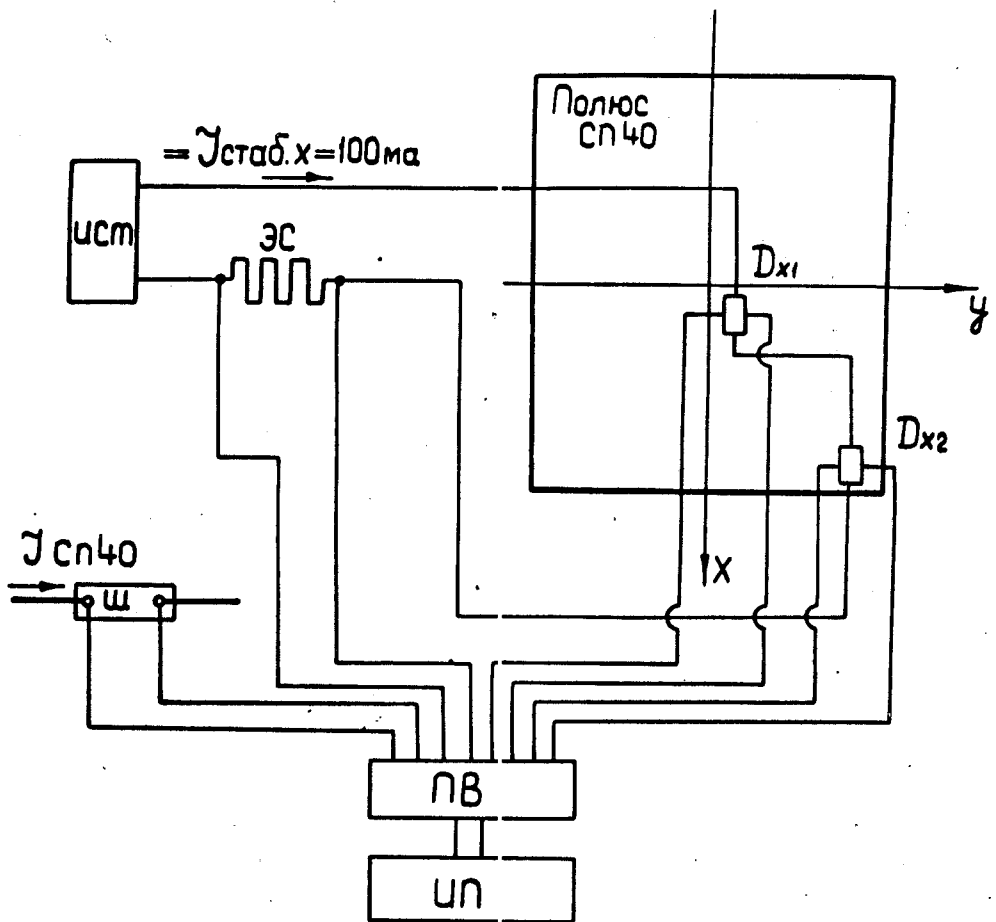


Рис. 2. Схема измерения магнитного поля с помощью датчиков Холла.

ИСТ — стабилизированный источник постоянного тока.

ЭС — эталонное сопротивление.

D_{x1} , D_{x2} — датчики Холла.

Ш — измерительный шунт в обмотке СП-40.

ПВ — переключатель выбора измерительных цепей.

ИП — измерительный прибор.

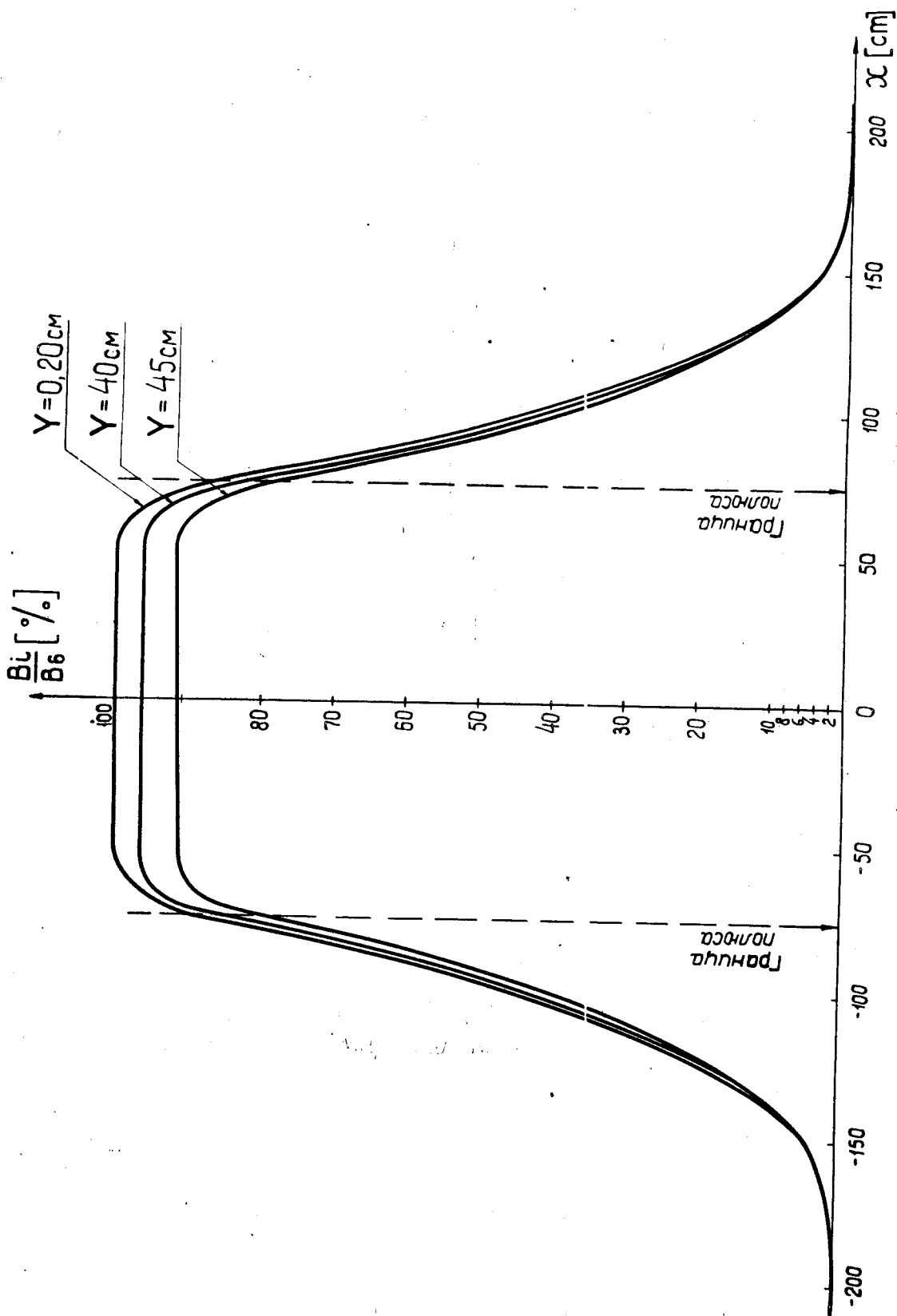


Рис. 3 Магнитное поле магнита СП-40А
вдоль направлений, параллельных оси x .

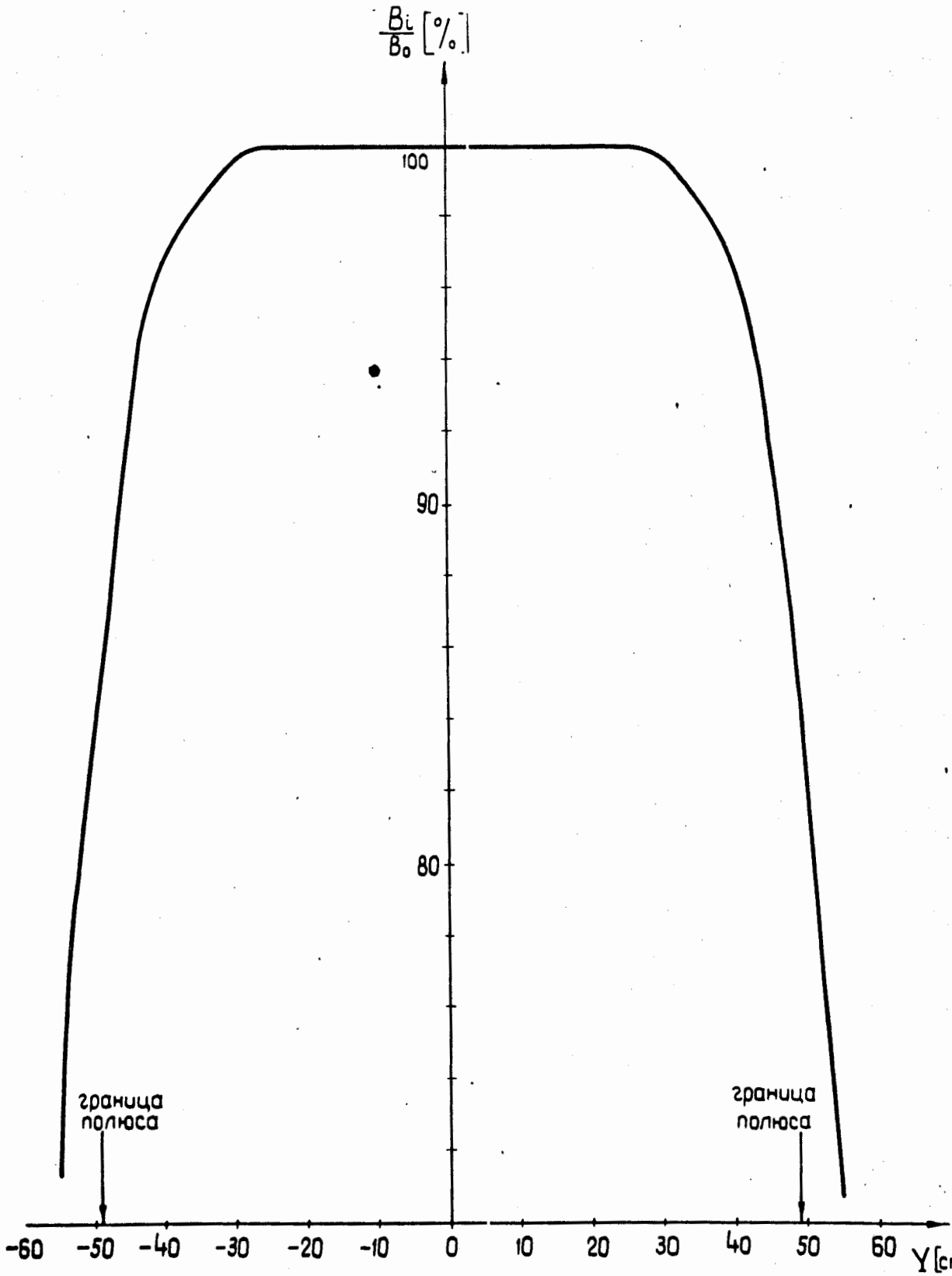


Рис.4 Магнитное поле магнита СП-40А вдоль оси Y.

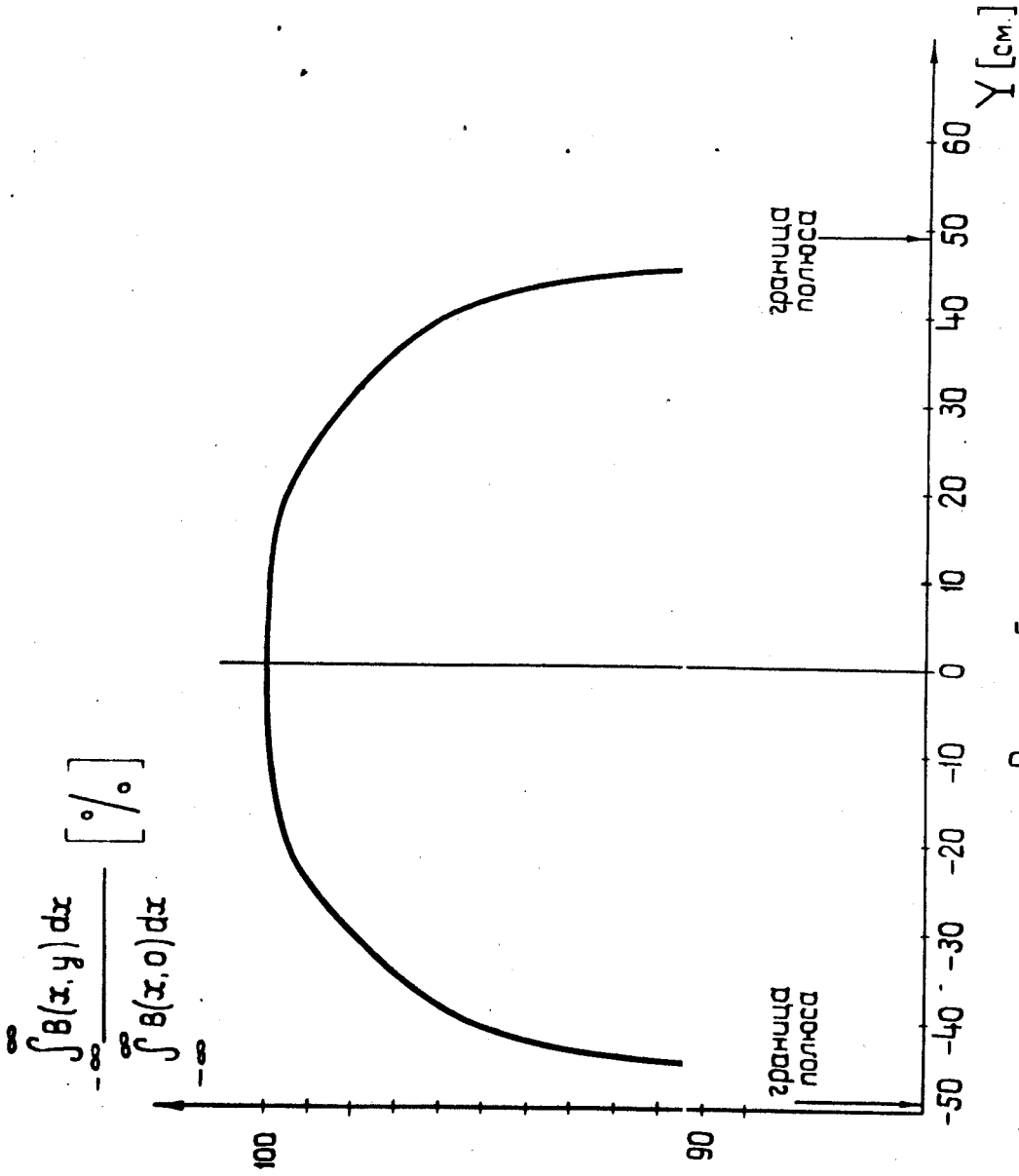


Рисунок 5.

Интегралы поля вдоль направления, параллельного оси X в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ для разных значений координата Y в относительных единицах.

$$\int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dx \text{ [кэс} \cdot \text{м]}$$

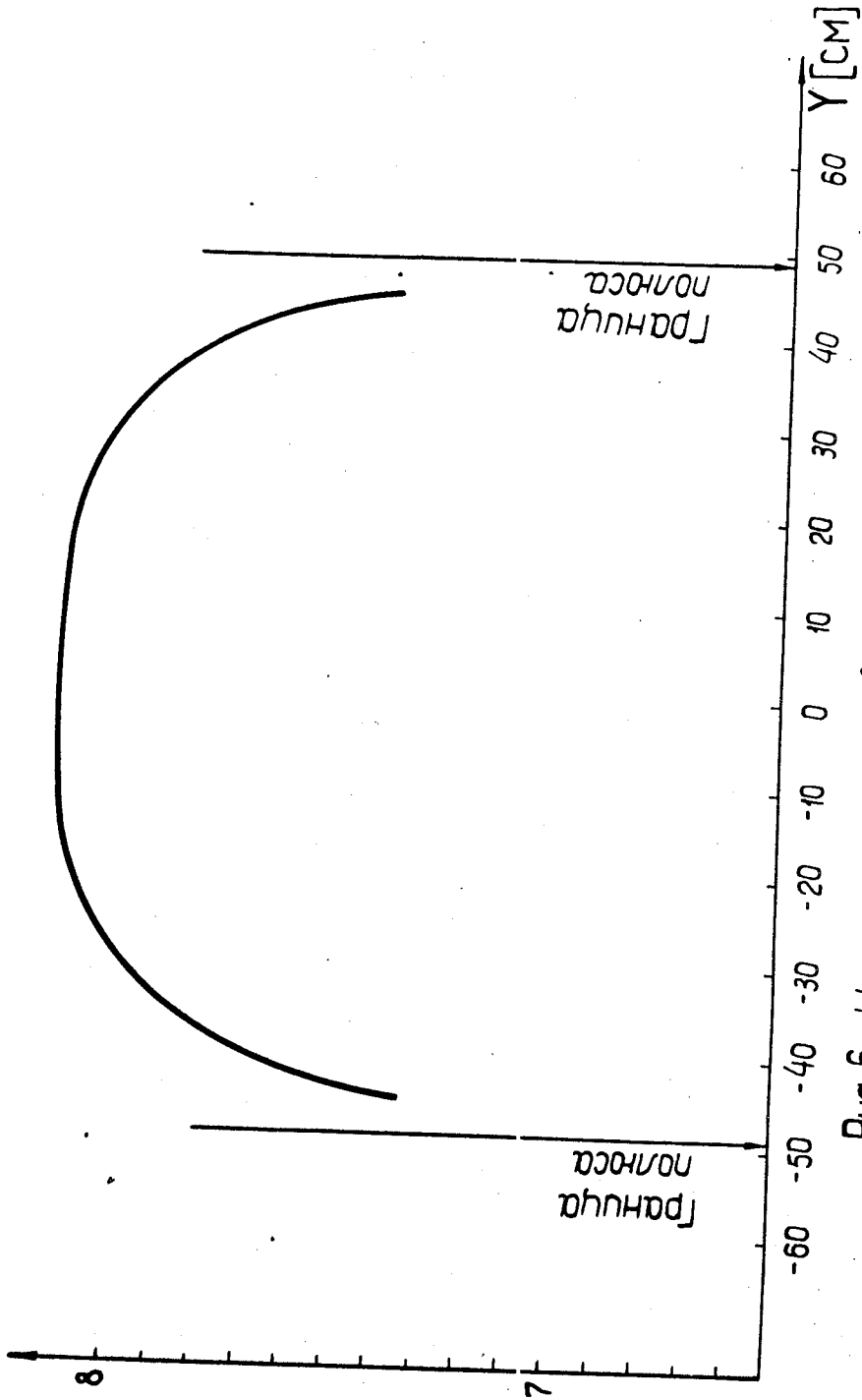


Рис. 6 Интегралы поля вдоль направления параллельного оси X в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ при различных значениях координата Y в единицах КЭУССХМ

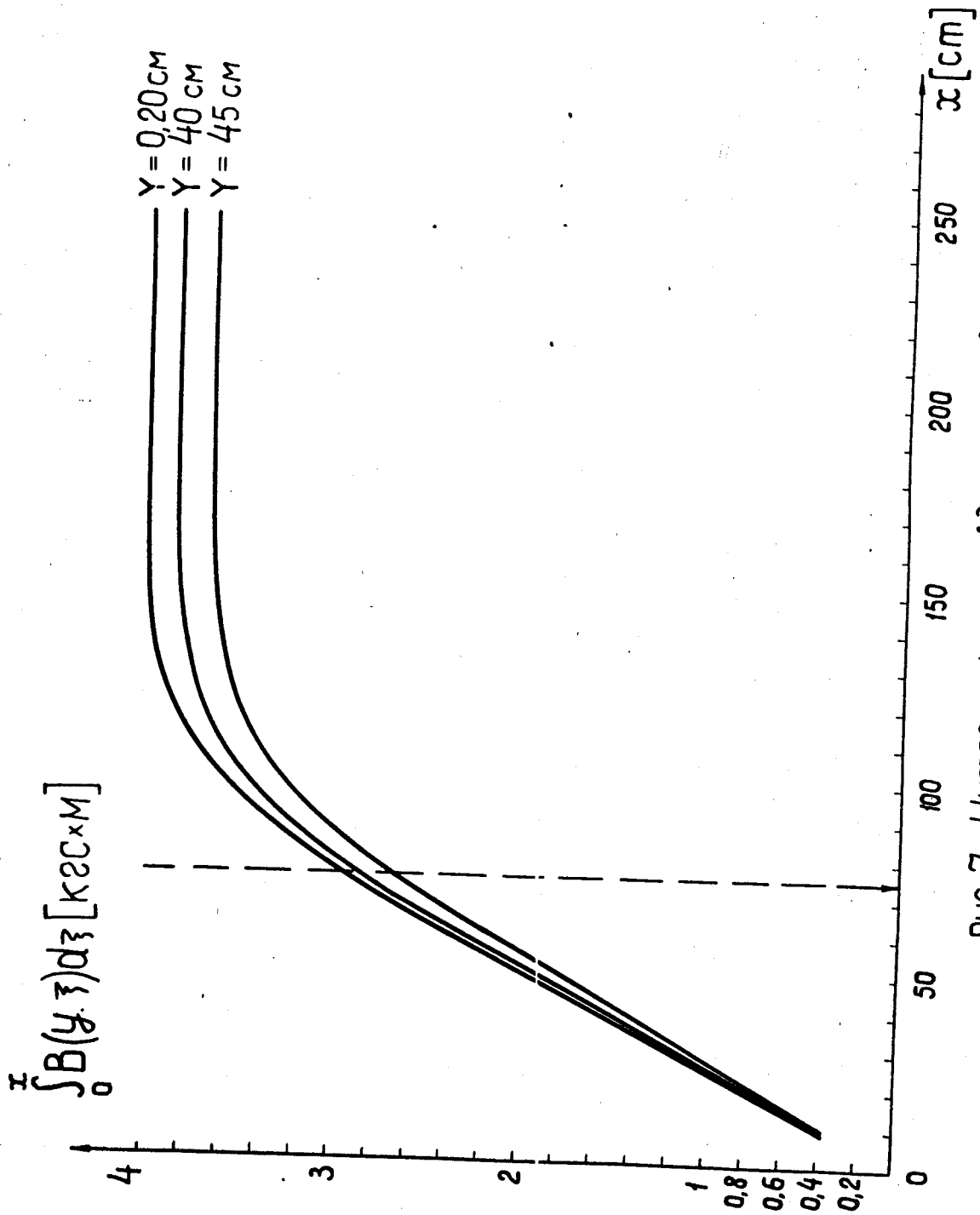


Рис. 7 Интегралы поля вдоль направления, параллельного оси X в пределах от 0 до x .

```

7          ***** **          **          *          *          *          *          *
7          **          **          **          *          **          ****          **
7          *          *****          *****          *****          **          **
7
7
7

```

Handwritten signature

```

'BEGIN' 'REAL' B0, M0; 'INTEGER' J, N, M, M2, M3, K;
'ARRAY' GRAPH(1936), V0(1:15), X0(1:26),
V1(1:30), C1(1:2), A1(1:6);
P0042(M, M2, B0, M0, X0, V0, GRAPH);
P1041(M, M2, B0, M0, X0, V0, GRAPH);
C1(1):=B0; P1071(18, 1, GRAPH, C1, A1, 1, 2,
'FALSE'); B0:=B0-C1(2); M3:=(M2-1)/2;
'BEGIN' 'ARRAY' MMF(1:M2, 1:51), VX(1:43), ML(1:51);
P0042(VX); P1041(VX);
'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M 'DO' 'BEGIN'
P0042(N); P1041(N);
'BEGIN' 'INTEGER' I; 'ARRAY' X, UM, UX(1:N),
C(1:2*N), A, A2, M3(1:6), D0(1:30), D1(1:52);
P0042(X, UM, UX); P1041(X, UM, UX);
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'BEGIN' C1(1):=0
UX(1):=P1071(18, 1, GRAPH, C1, A2, 1, 2, 'FALSE');
UX(1):=C1(2)*UX(1); UX(1):=UX(1)/B0;
UX(1):=UX(1)*(M0/UM(1)) 'END';
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' N 'DO' 'BEGIN'
C(1):=X(1); C(I+N):=UX(1) 'END';
P1041(C);
'IF' J=1 'THEN' 'GO_TO' Q;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 15 'DO' D0(1):=V0(1);
P1071(N, 15, C, D0, A, 1, 2, 'FALSE');
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 30 'DO' V1(1):=D0(1);
'GO_TO' P; Q;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 26 'DO' D1(1):=X0(1);
'IF' J=2 'THEN' 'BEGIN'
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 26 'DO'
C1(1):=-1*X0(27-I) 'END';
P1071(N, 26, C, D1, A3, 1, 2, 'FALSE');
P1041(D1);
'IF' J=2 'THEN' 'BEGIN'
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 26 'DO'
MMF((M2+1)/2, I):=D1(1+26);
'GO_TO' P 'END';
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 26 'DO'
MMF((M2+1)/2+J*3, 25+I):=D1(1+26);
'IF' J=3 'THEN' 'BEGIN' 'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL'
5 'DO' MMF((M2+1)/2, I):=MMF((M2+1)/2, 52-I) 'END';
'IF' J=1 'OR' J=2 'OR' J=3 'THEN' 'GO_TO' R;
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 25 'DO' 'BEGIN'
MMF((M2+1)/2+J*3, I):= 'IF' MMF((M2+1)/2, 52-I)=0
'THEN' 0 'ELSE' MMF((M2+1)/2+J-3, 52+I)-(MMF((
M2+1)/2, I)/MMF((M2+1)/2, 52-I)) 'END';
'FOR' I:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 7 'DO' 'BEGIN'
'IF' V1(1+8)=VX(J-3) 'THEN' 'BEGIN'
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO' 'BEGIN'
MMF((M2+1)/2+J*3, K):= 'IF' V1(23+I)=0 'THEN' 0
'ELSE' MMF((M2+1)/2-3+J, K)=(V1(23+I)/V1(23-I))
'END'; 'GO_TO' P
'END' 'END' 'END'; P;
'IF' J=1 'OR' J=2 'THEN' 'GO_TO' P1;
'IF' J=3 'THEN' 'BEGIN'
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO'
ML(K):=MMF((M2+1)/2, K); K:=(M2+1)/2;
P1041(K, ML); 'GO_TO' P1 'END';
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO'
ML(K):=MMF((M2+1)/2-3+J, K); K:=(M2+1)/2-3+J;
P1041(K, ML);
'FOR' K:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO'
ML(K):=MMF((M2+1)/2+3-J, K);
K:=(M2+1)/2+3-J; P1041(K, ML);
P1; 'END'; P1041(V1, VX, X0, MMF);
'BEGIN' 'REAL' FN, HKG, MET; 'ARRAY' X0(1:51), IATP
(1:M2), ITP(1:25); P0042(HKG); P0042(MET); P1041(HKG, MET);
'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' 26 'DO' 'BEGIN'
X0(1+25+J):=X0(J); X0(1+27-J):=-1*X0(1+25+J) 'END';
'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M2 'DO' 'BEGIN' IN:=0;
'FOR' N:=2 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO'
IN:=IN+(MMF(J, N)+MMF(J, N-1))/2=(X0(N)-X0(N+1));
IATP(J):=IN*HKG/MET 'END'; P1041(IATP);
'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M2 'DO' 'BEGIN' IN:=0;
'FOR' N:=27 'STEP' 1 'UNTIL' 51 'DO' 'BEGIN' IN:=
IN-(MMF(J, N)+MMF(J, N-1))/2=(X0(N)-X0(N-1));
ITP(N-26):=IN*HKG/MET 'END'; P1041(ITP) 'END';
'FOR' J:=1 'STEP' 1 'UNTIL' M2 'DO' 'BEGIN' IN:=0;
'FOR' N:=26 'STEP' -1 'UNTIL' 2 'DO' 'BEGIN'
IN:=IN-(MMF(J, N)+MMF(J, N-1))/2=(X0(N)-X0(N-1));
ITP(27-N):=IN*HKG/MET 'END'; P1041(ITP) 'END'; 'END';
'END'; STOP 'END'

```