

4494/82

20/1x-82



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P9-82-384

Е.П.Жидков, Р.В.Полякова, И.А.Шелаев, И.П.Юдин

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДВУМЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ
СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КВАДРУПОЛЯ**

1982

В настоящей работе приведены результаты расчета двумерно-го магнитного поля сверхпроводящего /СП/ квадрупольа с прямоугольной апертурой и железным ярмом. Расчет проводился двумя методами:

- 1/ конечно-разностным /система программ POISSON ^{1,2/ / и}
- 2/ методом токовых изображений ^{3/ /программа MIC2 /.}

Компоненты магнитного поля СП квадрупольа представлялись внутри апертуры через полярные координаты r и θ в виде разложения по гармоникам ^{4/}:

$$H_y(r, \theta) = \sum_{n=2,4,6,\dots} h_n \cdot r^{n-1} \cdot \cos(n-1) \cdot \theta,$$

$$H_x(r, \theta) = \sum_{n=2,4,6,\dots} h_n \cdot r^{n-1} \cdot \sin(n-1) \theta.$$

Здесь амплитуда основной, квадрупольной гармоники равна

$$h_2 = G = \left. \frac{\partial H_y}{\partial x} \right|_{x=y=0} = \left. \frac{\partial H_x}{\partial y} \right|_{x=y=0}.$$

Аналогично амплитуды h_n являются $(n-1)$ производными поля. В данной работе в качестве удобных характеристик магнитного поля выбраны величины G - градиент поля ^{4/} и c_n - относительные амплитуды высших гармоник на радиусе r :

$$c_n = \frac{H_n}{H_2}, \quad H_n = h_n \cdot r^{n-1} \quad \text{и} \quad H_2 = G \cdot r.$$

Целью работы является исследование возможности получения квадрупольного магнитного поля с $c_n \sim 10^{-4}$ при $r \leq 1,5$ см, исследование нелинейных эффектов при изменении градиента в диапазоне $G = /2000 \div 12000/$ Гс/см, а также оценка точности проведенных расчетов.

1. ПОЛУЧЕНИЕ КВАДРУПОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, БЛИЗКОГО К ИДЕАЛЬНОМУ

Исследуемый СП квадруполь является структурным магнитным элементом регулярного периода СП синхротрона-инжектора на 1,5 ГэВ по протонам ^{5/}. Конфигурация поперечного сечения рассматриваемого СП квадрупольа показана на рис.1, где размеры

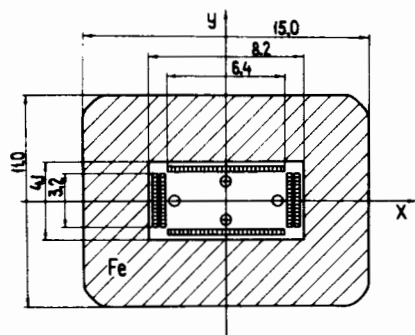


Рис. 1

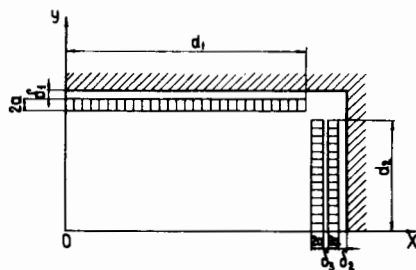


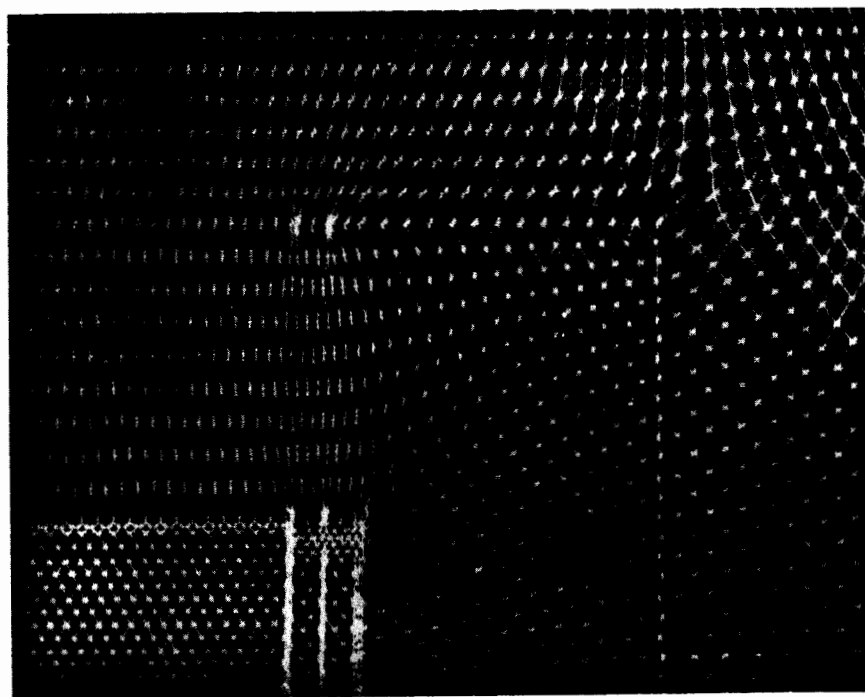
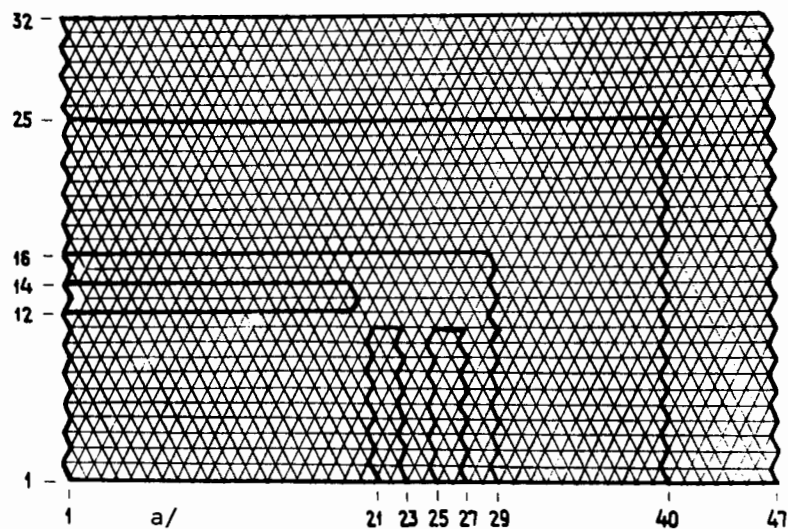
Рис. 2

даны в см. Более детальное расположение токовых обмоток приведено на рис.2. Ширина токового слоя $2a=0,325$ см, толщина изоляции $\delta_1=0,1125$ см, $\delta_2=\delta_1$, $\delta_3=0,05$ см. Собственная изоляция СП проводника имеет толщину 0,125 мм. Количество СП проводников в одной четверти апертury равно 28 для положительных значений тока и столько же $/2 \times 14=28/$ - для отрицательных. Величины d_1 и d_2 соответственно равны 3,2 см и 1,6 см. На рис.3 приведена расчетная сетка исследуемого СП квадруполь для системы программ POISSON. На рис.3а дана логическая диаграмма СП квадруполь. Цифрами выделены номера основных узлов сетки. На рис.3б - фотографии с дисплея - приведена та же расчетная сетка, но в реальном масштабе. С помощью этой сетки получены основные результаты данной работы. Зависимость магнитной проницаемости μ от величины магнитной индукции B для температур $T=4,2$ К и $T=300$ К была взята такой же, как и в [6].

Как показано методом токовых изображений [3], при малых индукциях на полюсах $\approx 1,5$ т описанная выше геометрия токовых обмоток формирует в апертуре $r \leq 1,5$ см квадрупольное поле, амплитуды e_n в котором составляют $\sim 10^{-4}$ В табл.1 сравниваются результаты расчетов, полученных с помощью программ POISSON и MIC2. Как видно из этой таблицы, результаты расчетов при малых индукциях с зависимостью $\mu=\mu(B)$ для $T=300$ К и $T=4,2$ К отличаются друг от друга на величину, меньшую, чем $1 \cdot 10^{-4}$. Поэтому в дальнейшем исследование проводилось с системой программ POISSON лишь с $\mu=\mu(B)$ для $T=4,2$ К.

При сравнении результатов, полученных с помощью системы программ POISSON и MIC2, можно заметить, что они отличаются на величину $\sim 1 \cdot 10^{-4}$.

Суммируя предыдущее, можно сказать, что описанная выше геометрия токовых обмоток СП квадруполь создает при малых индукциях на полюсах $\approx 1,1$ т /ток в одном СП витке $I=500$ А/ в апер-



б/

Рис. 3

Таблица 1

Величины G , H_2 и c_n на радиусе $r = 1,5$ см, рассчитанные методом отраженных токов [MIC2] и с помощью системы программ POISSON. Число ампервитков в одной четверти обмотки равно $n \cdot I = 28 \times 500$ А.

	POISSON			MIC2
	$\mu = \mu(B)$ $T = 300$ К	$\mu = \mu(B)$ $T = 4,2$ К	$\mu = \infty$	$\mu = \infty$
G , Гс/см	2686,0	2686,2	2686,5	2681,83
H_2 ; Гс	4029,0	4029,3	4029,8	4022,75
C_4 , 10^{-4}	5,0623	5,0356	4,2573	0,040
C_6 , 10^{-4}	-8,1853	-8,1838	-8,4367	-3,680
C_8 , 10^{-4}	5,5464	5,3657	5,2875	1,750
C_{10} , 10^{-4}	-5,5893	-5,7014	-5,6482	-1,800
C_{12} , 10^{-4}	6,7436	6,8117	6,7070	-0,090
C_{14} , 10^{-4}	-4,1734	-4,3443	-4,0222	0,0
C_{16} , 10^{-4}	5,1807	5,2825	6,1320	0,0

туре $r \leq 1,5$ см квадрупольное поле, близкое к идеальному. При этом относительные амплитуды высших гармоник $c_n \sim 10^{-4}$.

2. ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ

При работе СП квадруполя в области больших индукций вследствие эффектов насыщения железа наблюдается уменьшение роста

амплитуды второй и увеличение относительных амплитуд высших гармоник. Рабочим диапазоном для исходной величины - тока в одном СП витке - является интервал $I = /25 \div 1631/$ А.

В табл.2 приведены величины G /градиент поля/, $\frac{G}{I}$ /отношение градиента к величине тока в витке/, H_2 - величина амплитуды квадрупольной гармоники на $r = 1,5$ см, c_n - величины относительных амплитуд высших гармоник на $r = 1,5$ см при увеличении тока в СП витке от $I = 500$ А до $I = 2500$ А. Данные, приведенные в табл.2, показывают, что относительные амплитуды высших гармоник увеличиваются на этом интервале примерно на порядок, а c_4 и c_6 по мере роста тока меняют знак.

В последней графе табл.2 для сравнения приведены величины G , $\frac{G}{I}$, H_2 и c_n на радиусе $r = 1,5$ см для токовой конфигурации, описанной выше, но лишенной окружающего железного яра. Эти величины получены с помощью программы MIC2 для $I = 500$ А. Для других значений тока в обмотке безжелезного СП квадруполя величины G и H_2 находятся в линейной зависимости от тока, а $\frac{G}{I}$ и c_n остаются константами.

На рис.4а показан ход кривой $\frac{G}{I}$ в зависимости от величины тока I в одном витке обмотки СП квадруполя. На рис.4а дано значение $\frac{G}{I}$, соответствующее максимальному значению тока в рабочем диапазоне $I = /25 \div 1631/$ А. Из этого рисунка видно, что величина нелинейной зависимости градиента G от тока, т.е. $\Delta G/G$, на этом диапазоне составляет не более 0,4%.

На рис.4б приведены величины G и c_n на радиусе $r = 1,5$ см для значений тока в витке СП обмотки $I = /0 \div 2500/$ А. Звездочкой отмечена зависимость градиента G от тока I для безжелезного СП квадруполя. Из рис.4б видно, что для максимального значения тока $I_{max} = 1631$ А величины $|c_n|$ не превышают 10^{-3} .

На рис.5а и б показано распределение силовых линий магнитного поля соответственно для $I = 500$ А и $I = 2500$ А. Можно заметить, что внутри апертуры это распределение практически не меняется.

3. О ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для проведения расчетов двумерного магнитного поля СП квадруполя система программ POISSON, использованная в [6], была модернизирована в направлении увеличения числа расчетных узлов с 1135 до 1700. Числом узлов сетки 1700 ограничиваются внутренние ресурсы системы программ POISSON, реализованной на ЭВМ CDC-6500 ОИЯИ. Необходимость в увеличении числа узлов была вызвана тем, что исследуемый СП квадруполь требует большого числа узлов сетки для описания областей с токами и электрической изоляцией. Достигнутое увеличение количества узлов позво-

Таблица 2

Величины G , G/I , H_z и c_n на радиусе $r = 1,5$ см/ в зависимости от тока I в витке СП обмотки [POISSON]. Звездочкой обозначена графа с результатами расчета для безжелезного СП квадратополя [MIC2].

	I=500A	1000A	1500A	1700A	2000A	2500A	$I^*_n=500A$
G , Гс/см	2686,2	5371,9	8037,3	9084,0	10600,0	12998,7	1548,53
$\frac{G}{I}$, $\frac{Гс}{см \cdot A}$	5,3724	5,3719	5,3530	5,3435	5,3000	5,1995	3,0971
H_z , гс	4029,3	8057,9	12056,0	13626,0	15900,0	19498,0	2322,8
C_4 , 10^{-4}	5,0356	4,0812	-10,145	-22,666	-52,631	-86,208	-536,21
C_6 , 10^{-4}	-8,1838	-8,4009	-6,9626	-4,6672	4,1109	27,911	12,502
C_8 , 10^{-4}	5,3657	5,3357	6,2340	6,3491	6,9012	3,6046	2,9124
C_{10} , 10^{-4}	-5,7014	-5,6423	-5,7533	-6,0456	-6,7069	-7,0613	-0,4448
C_{12} , 10^{-4}	6,8117	6,7012	6,2024	5,8461	5,6978	7,9235	0,0140
C_{14} , 10^{-4}	-4,3443	-4,0469	-5,1980	-7,0970	-13,617	-33,108	0,0
C_{16} , 10^{-4}	5,2825	6,3814	25,341	41,825	81,460	126,84	0,0

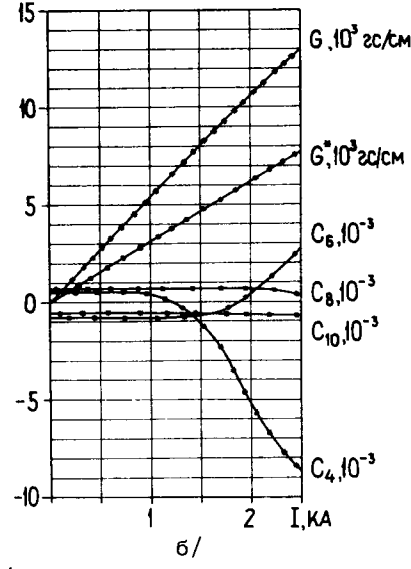
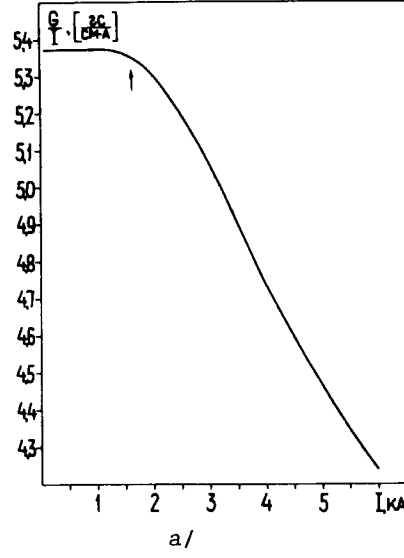


Рис. 4

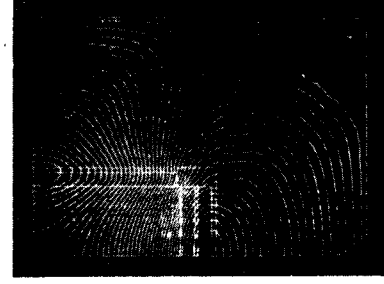
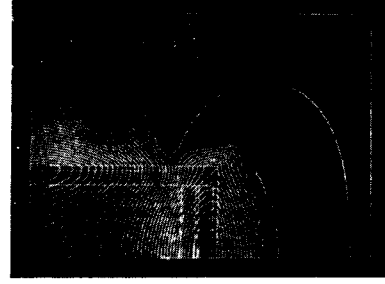


Рис. 5

лило несколько повысить точность расчетов. Тем не менее результаты существенно зависят от способа выбора расчетной сетки /см. рис. 3а/. Проведенные многочисленные тесты показали нестабильность результатов при нарушении равномерности шага сетки.

В выборе окончательного рабочего варианта расчетной сетки помогает дисплей. Графическое изображение сетки на дисплее приведено на рис. 3б.

В табл. 3 и 4 приведен разброс величин G и c_n , пересчитанных на радиус $r = 1,5$ см в зависимости от вычисления их на разных радиусах r_0 : от $r_0 = 1$ см до $r_0 = 1,5$ см. Результаты приведены

Таблица 3

Разброс величин G и c_n /пересчитанных на радиус $r = 1,5$ см/ в зависимости от вычисления их на разных радиусах r_0 /POISSON, $n \cdot I = 28 \times 500$ А/.

$Z_0 = I$ см	1,1 см	1,2 см	1,3 см	1,4 см	1,5 см	ΔC_n
$G, Гс/см$	2686,1	2685,9	2686,1	2685,9	2686,5	$2 \cdot 10^{-4}$
C_4	$4,3763 \cdot 10^{-4}$	$6,3203 \cdot 10^{-4}$	$9,9272 \cdot 10^{-4}$	$5,5608 \cdot 10^{-4}$	$5,9438 \cdot 10^{-4}$	$4,2573 \cdot 10^{-4}$
C_6	$8,3572 \cdot 10^{-4}$	$-7,2236 \cdot 10^{-4}$	$-2,0658 \cdot 10^{-3}$	$-1,1296 \cdot 10^{-3}$	$-1,1198 \cdot 10^{-3}$	$-8,4367 \cdot 10^{-4}$
C_8	$-9,4345 \cdot 10^{-3}$	$-1,8083 \cdot 10^{-3}$	$2,2153 \cdot 10^{-3}$	$8,3863 \cdot 10^{-4}$	$8,2948 \cdot 10^{-4}$	$5,2875 \cdot 10^{-4}$
C_{10}	$3,1298 \cdot 10^{-2}$	$6,782 \cdot 10^{-3}$	$-2,0715 \cdot 10^{-3}$	$-8,3576 \cdot 10^{-4}$	$-7,8462 \cdot 10^{-4}$	$-5,6482 \cdot 10^{-4}$
C_{12}	$-4,9634 \cdot 10^{-2}$	$-1,2981 \cdot 10^{-2}$	$-4,4260 \cdot 10^{-4}$	$8,1705 \cdot 10^{-4}$	$6,9305 \cdot 10^{-4}$	$6,7070 \cdot 10^{-4}$
C_{14}	$4,1060 \cdot 10^{-2}$	$5,2780 \cdot 10^{-2}$	$2,0747 \cdot 10^{-2}$	$2,4164 \cdot 10^{-3}$	$5,1888 \cdot 10^{-4}$	$-4,0222 \cdot 10^{-4}$
C_{16}	$-2,2486 \cdot 10^{-1}$	$-2,4069 \cdot 10^{-1}$	$-7,5422 \cdot 10^{-2}$	$-6,152 \cdot 10^{-3}$	$-1,0611 \cdot 10^{-3}$	$6,1320 \cdot 10^{-4}$

Таблица 4

Разброс величин G и c_n /пересчитанных на радиус $r = 1,5$ см/ в зависимости от вычисления их на разных радиусах r_0 / POISSON, $n \cdot I = 28 \times 2500$ А/

$Z_0 = I$ см	1,1 см	1,2 см	1,3 см	1,4 см	1,5 см
$G, Гс/см$	12994,7	12993,3	12995,3	12994,7	12998,7
C_4	$-1,4280 \cdot 10^{-2}$	$-1,2458 \cdot 10^{-2}$	$-1,0771 \cdot 10^{-2}$	$-1,0197 \cdot 10^{-2}$	$-9,2925 \cdot 10^{-3}$
C_6	$8,3916 \cdot 10^{-3}$	$5,6811 \cdot 10^{-3}$	$3,3545 \cdot 10^{-3}$	$3,6032 \cdot 10^{-3}$	$2,2947 \cdot 10^{-3}$
C_8	$-1,1391 \cdot 10^{-2}$	$-4,3661 \cdot 10^{-3}$	$1,2067 \cdot 10^{-3}$	$2,9199 \cdot 10^{-4}$	$5,4336 \cdot 10^{-4}$
C_{10}	$3,0181 \cdot 10^{-2}$	$6,1343 \cdot 10^{-3}$	$-2,6818 \cdot 10^{-3}$	$1,1323 \cdot 10^{-3}$	$-9,8331 \cdot 10^{-4}$
C_{12}	$-4,7236 \cdot 10^{-2}$	$-1,2058 \cdot 10^{-2}$	$-8,5566 \cdot 10^{-5}$	$1,0731 \cdot 10^{-3}$	$8,6553 \cdot 10^{-4}$
C_{14}	$-7,3939 \cdot 10^{-2}$	$-1,5105 \cdot 10^{-1}$	$-4,0997 \cdot 10^{-2}$	$-1,8238 \cdot 10^{-2}$	$-6,8917 \cdot 10^{-3}$

для двух значений тока в одном СП витке: $I = 500 \text{ А}$ /табл.3/ и $I = 2500 \text{ А}$ /табл.4/. Проведенное сравнение показывает, что расчет величин G и c_n на радиусах от $r_0 = 1,3 \text{ см}$ до $r_0 = 1,5 \text{ см}$ имеет небольшой разброс, $\sim 10^{-4}$. Увеличение разброса этих величин для меньших радиусов вызывается тем, что внутри одного элемента расчетной сетки попадает более одной точки, в которой вычисляется поле для проведения гармонического анализа. Поэтому в качестве рабочего был выбран радиус $r_0 = r = 1,5 \text{ см}$, на котором и получены основные результаты.

Анализ табл.3 и 4 показывает некоторое ухудшение точности вычисления величин G и c_n на указанном интервале $r_0 = /1 \div 1,5/ \text{ см}$ для высших гармоник поля. Это связано с тем обстоятельством, что система программ POISSON первоначально определяет амплитуды гармоник потенциала U_n , а затем умножением на номер гармоники получает величины амплитуд гармоник магнитного поля H_n .

Отметим, что при увеличении тока в СП витке с $I = 500 \text{ А}$ до $I = 2500 \text{ А}$ разброс величин c_n при вычислении их на разных r_0 остается практически неизменным.

Таким образом, приведенные выше результаты численных экспериментов позволяют сделать следующее заключение:

1. Для СП квадруполь с прямоугольной апертурой возможно создание при малых индукциях в апертуре $r \leq 1,5 \text{ см}$ квадрупольного поля, близкого к идеальному. При этом относительные амплитуды высших гармоник $c_n \sim 10^{-4}$.

2. При номинальной рабочей величине градиента $G = 8,75 \text{ кгс/см}^{-1}$ - что соответствует $I_{\text{max}} = 1631 \text{ А}$ - нелинейные эффекты, связанные с насыщением железа, проявляют себя незначительно. Практически на всем рабочем диапазоне величины амплитуд высших гармоник H_n не превышают 0,1% от величины амплитуды второй, основной гармоники магнитного поля.

3. Результаты расчетов по методу токовых изображений и конечно-разностному методу при их сравнении отличаются на величину $\sim 10^{-4}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. POISSON Group Programs. User's Guide, CERN, 1975.
2. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Б1-11-12070, Дубна, 1978.
3. Шелаев И.А., Юдин И.П. ОИЯИ, Р9-80-334, Дубна, 1980.
4. Котов В.И., Миллер В.В. Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий. Атомиздат, М., 1969.
5. Шелаев И.А., Юдин И.П. ОИЯИ, 9-12346, Дубна, 1979.
6. Жидков Е.П. и др. ОИЯИ, Р9-81-12, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 мая 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электродинамике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Жидков Е.П. и др.

P9-82-384

Численное моделирование двумерного магнитного поля сверхпроводящего квадрупольа

Исследована возможность создания в апертуре $r \leq 1,5$ см высокооднородного по градиенту магнитного поля в диапазоне $G = (2000-12000)$ Гс/см. Показано влияние нелинейных эффектов, т.е. эффектов, связанных с насыщением ярма. Проведено сравнение двух методов расчета двумерного магнитного поля сверхпроводящего квадрупольа с прямоугольной апертурой: конечно-разностного метода и метода токовых изображений. Для численного расчета конечно-разностным методом использовался пакет программ POISSON. Приведен анализ точности полученных результатов. Результаты расчетов по обоим методам отличаются при их сравнении на величину $\sim 10^{-4}$. Показано, что при малых индукциях на полюсах для $r = 1,5$ см амплитуды высших гармоник не превышают 0,01% от второй, основной гармоники магнитного поля.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и Лаборатории высокой энергии ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Zhidkov E.P. et al.

P9-82-384

Numerical Simulation of the Two-Dimensional Magnetic Field of a Superconducting Quadrupole

A comparison is made of two methods of calculation of the two-dimensional magnetic field of a superconducting quadrupole having rectangular aperture: the finite-difference and the image current methods. The POISSON set of programs is used for numerical calculation by the finite-difference method. The possibility is studied of setting up a high homogeneous magnetic field in gradient over a range of $G = (0.2+1.2)$ T/cm for the $r \leq 1.5$ cm aperture. The influence is shown of nonlinear effects, i.e. of effects which are due to the saturation of an iron yoke. The analysis of the accuracy of the obtained results is performed. The results of two methods of calculation differ by $\sim 10^{-4}$. It is shown that for small inductions on poles for $r = 1.5$ cm amplitudes of higher harmonics do not exceed 0.01% from the second, basic harmonic of magnetic field.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation and the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.