

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3202/82

12/7-82

9-82-214

В.П.Заболотин, А.С.Исаев, В.Н.Перфеев,
С.В.Федуков, Д.И.Шерстянов,
А.П.Царенков, И.Н.Яловой

ПОЛОЖЕНИЕ МАГНИТНОЙ МЕДИАННОЙ
ПОВЕРХНОСТИ В МАГНИТЕ
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

1982

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Зазор магнита синхрофазотрона на среднем радиусе равен 40 см, но за счет уплотняющих элементов вакуумной камеры и размещения у поверхности полюсов шин обмоток вывода пучка, проводников корректирующих обмоток и рельс для перемещения внутри камеры размер рабочей области по вертикали на радиусе R_0 сокращается до 30 см.

Если первая гармоника азимутального распределения магнитной медианной поверхности /ММП/ с амплитудой в 1 см уменьшает рабочую область по вертикали на 10 см, то в этом случае частицы с амплитудой вертикальных колебаний, большей, чем 10 см, будут потеряны на стенках камеры. Поэтому необходимо постоянно знать о положении магнитной медианной поверхности, чтобы скорректировать имеющиеся искажения, если невозможно устранить причины, вызвавшие их.

Положение ММП по кольцу магнита нами было измерено в 1960 г. при напряженности поля 160 Гс на радиусах R_0 и $R_0 \pm 60$ см. Данные этих измерений с достаточной точностью совпали с данными послемонтажных измерений 1954 г.^{1/}.

После работ по измерению и корректированию положения орбиты пучка по вертикали при $H = 160$ Гс в 1962 г., в которых принимали участие некоторые из авторов, нами систематически контролировалось положение ММП путем уточнения ее коррекции. Благодаря такому контролю, в 1968 г. пришлось изменить распределение ампервитков в обмотках коррекции ММП как по азимуту, так и по радиусу, чтобы устранить заметно возросшие потери пучка при ускорении /табл.1/. Анализ этого измерения показал, что на II квадранте ММП сместилась вверх на значительную величину, и позволил предположить, что наиболее вероятной причиной, вызвавшей такое искажение, является деформация фундамента за счет увеличения на него нагрузки от вновь построенного здания. Проведенное с нашим участием нивелирование поверхности нижних полюсов магнита в 1969 г. подтвердило это предположение.

В дальнейшем не было замечено особых изменений в положении ММП, кроме случаев ошибок в схеме соединений обмоток коррекции и смещения ММП на отдельных полюсах магнита, образовавшихся в результате нарушения изоляции между элементами вакуумной камеры. Когда была создана система регистрации положения пучка

Таблица 1

Влияние на ускоренный пучок смещения ММП на II квадранте вверх на 13 мм /инжектировалось $1,7 \cdot 10^{12}$ частиц/импульс, давление в камере - $2 \cdot 10^{-6}$ Тор/

	Н/Гс/	Интенсивность пучка /х 10^{10} част./имп. Потери до					
		170	250	570	12000	570	12000
Оптимальная коррекция ММП	1965 г.	22	12	9	8	2,4	2,9
	1969 г.	19	10,5	8,2	7,1	2,4	2,7
ММП смещена на II квадранте на 13 мм	1968 г.	22	9	4,5	3	5	7,3

в камере ускорителя^{1/2/}, то она показала, что искажение орбиты пучка по вертикали не превышает 1 см при $H=170$ Гс и 2 см при $H=500$ Гс /табл.2/. Все это подтвердило, что в 1969 г. ММП была скорректирована с большой точностью.

Несмотря на эти результаты, у ряда специалистов было мнение, что причиной заниженного захвата пучка в режим ускорения и повышенных потерь его при ускорении является наличие нескорректированных искажений в положении ММП^{3,4/}, и была начата подготовка к демонтажу магнита синхрофазотрона и его юстировке. Чтобы доказать ошибочность этого утверждения, было измерено положение ММП на каждом полюсе магнита на радиусах R_0 , $R_0 \pm 30$ см, $R_0 \pm 60$ см при $H=230$ Гс /поле инжекции/ и проведен необходимый анализ причин выявленных искажений и их влияния на ускоряемый пучок. Результаты этого исследования и представлены в данной работе.

2. МЕТОДИКА И ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Положение поверхности, в точках которой горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля H_r равна нулю, определяется по величине H_r в двух точках вблизи средней геометрической плоскости z_0 , вверху и внизу, где закон изменения H_r с достаточной точностью линеен. Измерения проводились индукционными катушками и баллистическим гальванометром. Постоянные катушек / 250000 см^2 x число витков/ одинаковы с точностью до $5 \cdot 10^{-3}$. Измерительные катушки вмонтированы в обойму одна над

Таблица 2

Данные измерительных электродов о положении скорректированной орбиты пучка по вертикали /мм/

Н /Гс/	№ квадр.	I	II	III	IV	θ°			
						$r, \text{ см}$			
240	$R_0 + 50$	27°	66°	27°	66°	27°	72°		
		+9	+5	+10	+9	+9	+10	+9	
		+3	0	-1	-3	-3	-2	+7	
320	$R_0 - 45$	0	0	+4	0	+6	+5	0	
		+2	+2	+5	+5	+6	+4	+6	+8
		0	+2	+9	+12	+15	+12	+7	+7
440	R_0	0	0	+10	+14	+19	+18	+6	
		0	0	+8	+15	+21	+19	+10	+2
		0	-1						

другой на расстоянии 60 мм. Обойма с катушками подвешена к каретке на двух нитях из некрученого шелка. Каретка с катушками устанавливается на приспособлении так, чтобы катушки находились по обе стороны средней геометрической плоскости z_0 на расстоянии ± 30 см. В измерительных катушках вертикальная составляющая магнитного поля H_z компенсируется отдельными компенсационными катушками. Незначительная некомпенсированность H_z исключается поворотом каретки с измерительными катушками на 180° вокруг вертикальной оси.

Величина смещения ММП относительно z_0 определяется по формуле

$$\Delta z_{\text{мм}} = 30 \frac{\alpha_0 - \alpha_{180}}{\beta_0 - \beta_{180}},$$

где α_0 - показания гальванометра при согласном включении измерительных катушек относительно H_z ; α_{180} - то же, но при повернутых катушках на 180° вокруг вертикальной оси; β_0 - показания гальванометра при встречном включении измерительных катушек относительно H_z ; β_{180} - то же, но при повернутых катушках на 180° вокруг вертикальной оси.

При коммутировании верхней катушки знак "плюс" указывает на смещение ММП вверх и знак "минус" - на смещение ММП вниз, а при коммутировании нижней катушки - наоборот.

Погрешность в измерении положения ММП не хуже, чем $\pm 0,6$ мм. Она складывается из погрешности из-за несовпадения электрических и механических осей катушек $\delta z_{ок} = \pm 0,25$ мм, погрешности из-за неточной подгонки катушек $\delta z_k = \pm 0,03$ мм и погрешности из-за неточности снятия показаний гальванометра $\delta z_a = \pm 0,25$ мм.

В десяти точках произведена проверка повторяемости показаний положения ММП при измерении разными операторами и в разное время. Повторяемость показаний оказалась не хуже, чем $\pm 0,2$ мм.

Для проверки схемы измерений был проведен следующий опыт. На радиусе R_0 полюса №27 на I квадранте было определено, что ММП находится на $z = z_0 + 30$ мм. Если это так, то при условии полной компенсации H_z верхняя катушка должна выдать нулевое значение H_r . Для этого от схемы была отключена нижняя катушка и была скомпенсирована H_z в верхней. После этого гальванометр показал нулевое значение H_r как до, так и после поворота каретки с катушками на 180° вокруг вертикальной оси.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы убедиться в возможности сравнения результатов измерения положения ММП при $H = 230$ Гс с результатами при $H = 160$ Гс, полученными в 1960 г., было замерено положение ММП в пяти

точках при 160 и 230 Гс. Данные замеров приведены в табл.3, из которой видно, что с точностью измерений положение ММП одинаково при 160 и 230 Гс.

Таблица 3

Δz /мм/ на полюсе №35 квадранта I при $H = 160$ и 230 Гс

r /см/	R_0+63	R_0+30	R_0	R_0-30	R_0-63
160	+14,7	+10,4	+9,9	+8,3	-1
230	+15	+10,4	+10,1	+8,7	-0,6

При $H = 230$ Гс было измерено положение ММП на 174 полюсах магнита /из 192/ на радиусах R_0 , $R_0 \pm 30$ см и $R_0 \pm 63$ см. Усредненные значения положения ММП на квадрантах приведены в табл.4, где они сравниваются с данными 1960 г.

Таблица 4

Распределение усредненного положения ММП /в мм/ по квадрантам магнита в сравнении с данными 1960 г.

№№ квадр.	r /см/	R_0+63	R_0+30	R_0	R_0-30	R_0-63
I		14,5	19,5	21,9	20,7	23,8
	1960 г.	18,3	-	17,5	-	21,8
II		34,5	32,7	33	36,9	39,8
	1960 г.	18,2	-	22	-	26,4
III		-0,5	3,5	9,2	13	17
	1960 г.	6,5	-	7,4	-	13,2
IV		14,5	16	15	16,8	22,6
	1960 г.	13,7	-	13,3	-	20,6

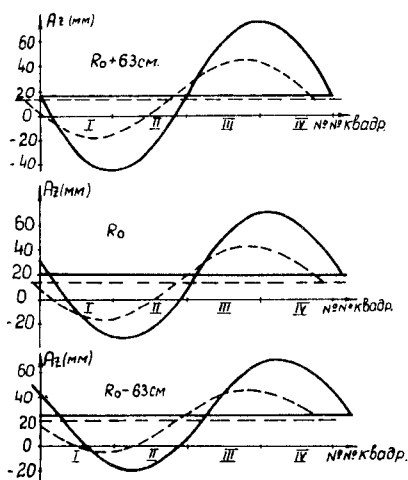


Рис.1. Первая гармоника искажения орбиты пучка по вертикали, $H = 230$ Гс, - - - - данные 1960 г.

Из этой таблицы видно, что по сравнению с 1960 г. особенно сильно изменилось положение ММП на квадранте II. Ее положение сместилось вверх на $R_0 + 63$ см на 16 мм, на $R_0 -$ на 11 мм и на $R_0 - 63$ см на 13 мм. Характер этого искажения позволяет заключить, что его основной причиной является деформация фундамента и особенно его перекося под этим квадрантом, возникающий в результате построения здания.

Для такого изменения положения ММП величина перекося фундамента на базе 140 см / $R_0 + 70$ см / должна составлять 0,55 мм.

В табл.5 приведены значения амплитуд первой гармоники искажения магнитной медианной поверхности $A_{ММП}$ /в мм/ и искажения орбиты пучка по вертикали A_z /в мм/ на радиусах R_0 , $R_0 + 30$ см, $R_0 + 63$ см при $H = 230$ Гс, а на рис.1 показано положение первой гармоники искажения орбиты пучка по вертикали в сравнении с данными 1960 г.

Данные табл.5 показывают, что изменение в положении ММП относительно данных 1960 г. привело к увеличению амплитуды первой гармоники орбиты пучка по вертикали при $H = 230$ Гс на радиусах $R_0 + 63$ см, R_0 и $R_0 - 63$ см соответственно на 30, 22 и 21 мм.

С целью проверки достоверности величины и положения первой гармоники искажения орбиты пучка по вертикали при $H = 230$ Гс, полученных при магнитных измерениях с помощью измерительных электродов^{2/}, было определено положение пучка по вертикали при $H = 240$ Гс с отключенной коррекцией ММП. Данные этих измерений приведены в табл.6, а на рис.2 они сравниваются с данными, полученными в результате магнитных измерений.

Из этого сравнения видно, что данные о положении орбиты пучка по вертикали при 230 Гс, полученные двумя независимыми методами, совпадают с хорошей точностью. Эти данные показывают, что при отсутствии коррекции ММП размер рабочей области по вертикали сокращается на 16 см и в этом случае ускоряются только частицы с амплитудами колебаний по вертикали, которые меньше 7 см.

Таблица 5

Год. измерен.		$R_0 + 63$ см	$R_0 + 30$ см	R_0	$R_0 - 30$ см	$R_0 - 63$ см
1974 г.	$A_{ММП}$	11,5	10,4	9,9	9,7	8,7
	A_z	61	55	52	51	46
	Постоян. составл.	16	19	20	22	26
1960 г.	$\Delta\phi^\circ$	0	0	+12	+24	+24
	$A_{ММП}$	5,8	-	5,6	-	4,8
	A_z	31	-	30	-	25
	Постоян. составл.	14	-	14	-	21
	$\Delta\phi^\circ$	-21	-	-12	-	-12

Таблица 6

№№ квадр.	I		II		III		IV	
	угол в град.		угол в град.		угол в град.		угол в град.	
r /см/	27°	66°	18°	63°	27°	66°	27°	72°
$R_0 + 48$	-15	-45	-50	-20	+51	+86	+95	+54
R_0	+8	-27	-40	-23	+31	+55	+67	+47
$R_0 - 28$	+13	-24	-35	-22	+30	+60	+80	+57

Эффект влияния искажения ММП в магните синхрофазотрона на ускоряемый пучок хорошо виден из табл.7, в которой приведены данные о захвате пучка протонов в режим ускорения и темпе потери его при ускорении.

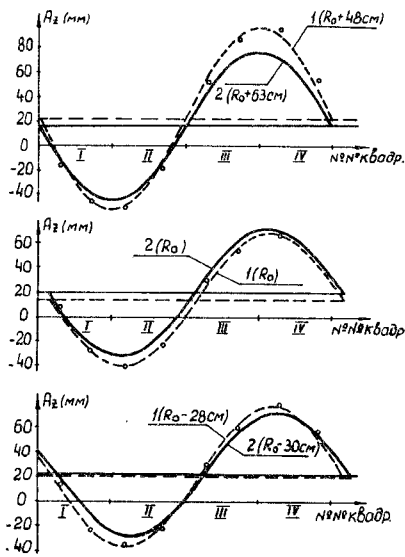


Рис. 2. $a=f(\theta)$, $N=230$ Гс. 1 - показания измерительных электродов; 2 - результат магнитных измерений.

Из этой таблицы видно, что коррекция ММП повышает захват пучка в режим ускорения в 4 раза и уменьшает его потери при ускорении в 8 раз.

После анализа данных о положении ММП на полюсах магнита было устранено ее искажение на полюсах №2 и 3 квадранта III путем улучшения изоляции рельс относительно элементов вакуумной камеры. После этого распределение положения ММП /в мм/ по радиусу на квадранте III стало иным. Оно представлено в табл. 8.

Таблица 7

$N=f(H)$ частиц/импульс при наличии коррекции ММП и без нее

H /Гс/	$N \times 10^{10}$ частиц/импульс				Потери до	
	240	320	640	11500	640	11500
с коррекцией	80	40	32	30	2,5	2,7
без коррекции	20	3	1	0,9	20	22

Таблица 8

r, см	R_0+63	R_0+30	R_0	R_0-30	R_0-63
$A_{ММП}$, мм	+9,7	+9,6	+9,4	+10,1	+13,6

С учетом данных табл. 8 рассчитаны амплитуды первой гармоники искажения магнитной медианной поверхности $A_{ММП}$ и орбиты пучка по вертикали A_z при 230 Гс, которые приведены в табл. 9. Положение первой гармоники искажения орбиты по вертикали в сравнении с данными, полученными до улучшения изоляции на указанных полюсах, представлены на рис. 3.

Таблица 9

$A_{ММП}$ и $A_z=f(r)$ /в мм/ после устранения искажений ММП на полюсах №2 и 3 квадранта III, $N=230$ Гс

r, см	R_0+63	R_0+30	R_0	R_0-30	R_0-63
$A_{ММП}$ /мм/	9,6	9,1	9,9	10,4	9,6
A_z /мм/	51	48	52	55	51
Постоян. составл. /мм/	19	20	20	21	24
$\Delta\phi^\circ$	+27	+9	+12	+15	+15

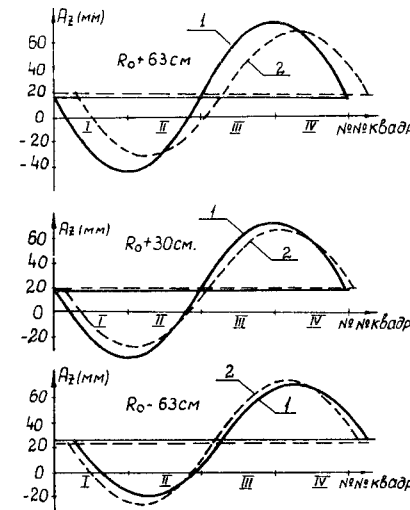


Рис. 3. $a_z=f(\theta)$, $N=230$ Гс. 1 - до устранения искажений ММП на полюсах №2 и 3 квадранта III. 2 - после устранения искажений.

Устранение искажения ММП на полюсах №2 и 3 квадранта III привело к незначительному сдвигу по фазе первой гармоники искажения орбиты пучка по вертикали и уменьшению ее амплитуды на радиусах R_0+63 см и R_0+30 см на 10 и 7 мм соответственно и увеличению на внутреннем радиусе на 5 мм.

ВЫВОДЫ

- Дополнительные искажения магнитной медианной поверхности вызваны в основном перекосом фундамента магнита под квадрантом II.
- Имеющиеся искажения магнитной медианной поверхности орбиты пучка скорректированы в достаточной степени, благодаря чему искажение орбиты пучка по вертикали при напряженности поля до 650 Гс не превышает 25 мм.

3. С 1969 г. величина ампервитков в корректирующих обмотках остается практически неизменной. Это указывает на неизменность перекоса фундамента магнита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов Н.Д. и др. Доклады на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий. Изд-во АН СССР, отделение физ.-мат. наук, М.; 1956, с.154.
2. Конский Г.Н., Царенков А.П., Штырляев В.А. ОИЯИ, 9-5419, Дубна, 1970.
3. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Б1-9-8374, Дубна, 1974.
4. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Б1-9-8460, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 марта 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. 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.

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

Заболотин В.П. и др. 9-82-214

Положение магнитной медианной поверхности в магните синхрофазотрона ОИЯИ

Приводятся сведения о положении магнитной медианной поверхности в электромагните синхрофазотрона при напряженности поля 230 Гс и об изменении величины амплитуд и фазы первых гармоник искажения магнитной медианной поверхности и орбиты пучка в вертикальной плоскости при 230 Гс по сравнению с 1960 годом. Данные о положении орбиты, полученные при помощи магнитных измерений и измерительных электродов, совпадают. Приведены результаты корректировки искажений и влияния рабочей коррекции на ускоренный пучок.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Zabolotin V.P. et al. 9-82-214

Position of the Magnetic Median Surface in the Magnet of the JINR Synchrophasotron

Information is presented on the position of the magnetic median surface on the quadrants of the synchrophasotron magnet for a field of 230 Gs on the base of the present measurements and of those performed in 1960. The amplitude and position of first harmonics of distortion of the magnetic median surface and the beam orbit in the vertical plane for a field of 230 Gs are compared to the 1960 data. The coincidence is shown of the results of measurements of the position of the beam orbit in the vertical plane obtained by two independent methods: by means of magnetic measurements and peak-up electrodes. It is shown that distortions in the position of the magnetic median surface in a field interval of 230-650 Gs were to a sufficient extent corrected in 1969. The results are presented of correcting distortions and the influence of operating correction on an accelerated beam.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.