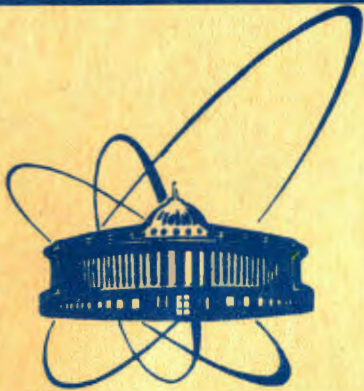


9/IV-84



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

1795/84

P9-84-25

С.Б.Ворожцов, В.П.Дмитриевский, Л.М.Онищенко

**БАМПОВЫЙ РЕЖИМ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ФАЗОТРОНА ОИЯИ**

1984

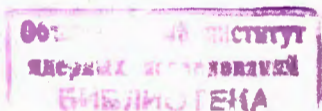
Для фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля характерна слабая продольная фокусировка пучка в центральной области ^{/1/} ввиду малого значения параметра

$$K = - \frac{d \ln f}{d \ln E} \approx 1 - \frac{n}{1+n} \cdot \frac{1}{\beta^2},$$

где f - частота обращения частиц; E - полная энергия; n - показатель роста магнитного поля; β - отношение скорости частицы к скорости света. Например, $K \approx 0,1$ для синхроциклотрона Упсала ^{/2/} и $K \approx 0,3$ - для фазотрона ОИЯИ ^{/3/}. В результате этого амплитуды радиально-фазовых колебаний значительны, что приводит к повторному попаданию части пучка при прохождении первого радиального минимума в область слабой или отсутствующей вообще /например, из-за эффектов пространственного заряда/ фокусировки по z -движению. Таким образом возникает дополнительное увеличение аксиальной огибающей пучка, приводящее к потере интенсивности. Потери частиц в этой зоне возникают также из-за повышенной чувствительности пучка к искажениям медианной плоскости ^{/4/}. Кроме того, имеет место ухудшение радиального качества пучка при многократном прохождении центральной области.

В данной работе предлагаются способы преодоления этих трудностей, направленные как на усиление аксиальной фокусировки, так и на уменьшение времени нахождения частиц в центре ускорителя. Расчет проводился по программам для ЭВМ, описанным в ^{/5,6/}.

Прежде чем перейти к изложению этих способов, необходимо найти при заданном магнитном поле ^{/7/} и частотной программе ^{/8/} оптимальные параметры ускоряющей системы, при которых аксептанс ускорителя по фазовому движению принимает наибольшее значение. На рис.1 показана зависимость предельной интенсивности пучка $I = f_M \cdot A_{ВД\min}$ в условных единицах /у.е./, где f_M - частота модуляции; $A_{ВД\min}$ - минимальная в диапазоне рабочих радиусов площадь сепаратрисы при различных значениях амплитуды ускоряющего напряжения. Эти кривые получены с учетом функции возврата частиц в центр и дают представление о фазовом аксептансе ускорителя. На основании данных рис.1 можно найти оптимальные параметры ускоряющей системы /рис.2/. Опираясь на эти расчеты, можно выделить два режима: проектный /50 кВ, 480 Гц/ и реально существующий для запуска ускорителя /35 кВ, 200 Гц/. Большая часть последующих расчетов относится к реально существующему режиму, если это не оговорено особо.



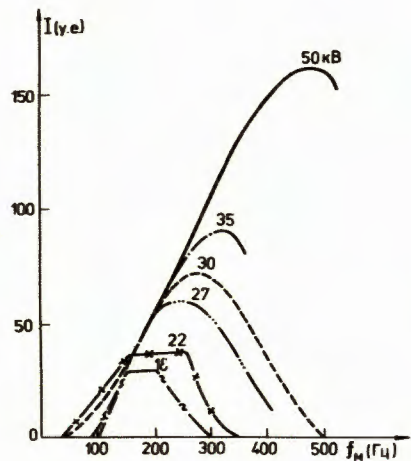


Рис.1. Акцептанс ускорителя по фазовому движению.

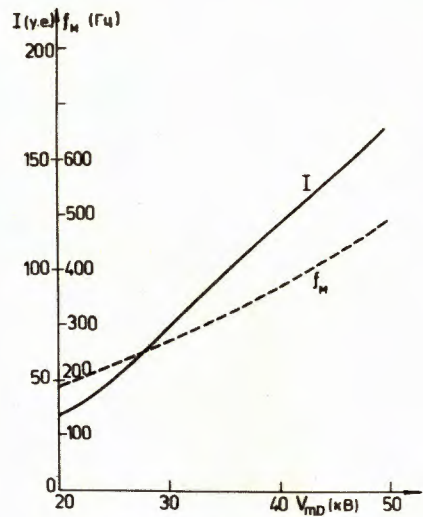


Рис.2. Оптимальные параметры ускоряющей системы.

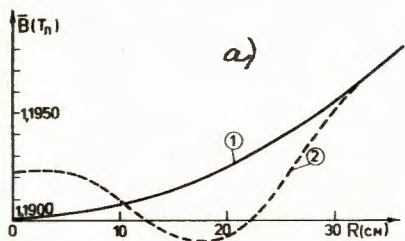
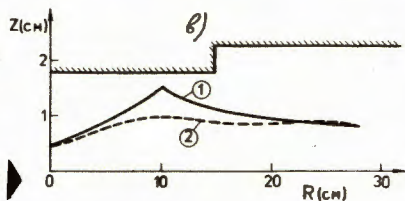
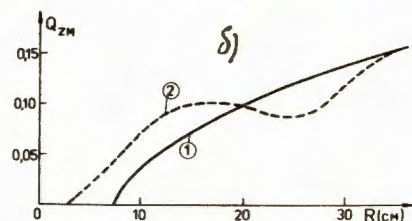


Рис.3. а/ Среднее магнитное поле. б/ Частота аксиальных колебаний. в/ Максимальное значение огибающей группы частиц с начальной фазой $-21,5^\circ$. 1 - проектное поле; 2 - бамп поля.



Устранение трудностей захвата пучка в центре фазотрона может быть достигнуто за счет введения волны изменения поля /бамп/ вблизи исходного /рис.3а/. В результате этого увеличивается магнитная аксиальная фокусировка в потенциально слабой зоне вблизи $R \approx 10$ см /рис.3б/, что приводит к уменьшению огибающей пучка /рис.3в/. Кроме того, существенно ослабляется допуск на искажение медианной плоскости /рис.4/.

Одновременно с этим введение нового магнитного поля приводит к росту по абсолютной величине параметра K /рис.5/. Воздействие указанной волны поля на пучок можно в данном случае рассматривать

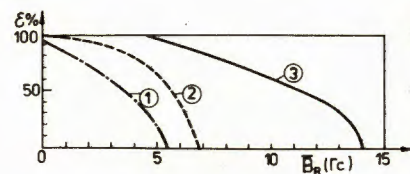


Рис.4. Эффективность прохождения группой частиц с начальной фазой $-21,5^\circ$ первых 95 оборотов при наличии искажения медианной плоскости. 1 - проектное поле, апертура 25 мм. 2 - проектное поле, апертура 36 мм. 3 - бамповое поле, апертура 36 мм.

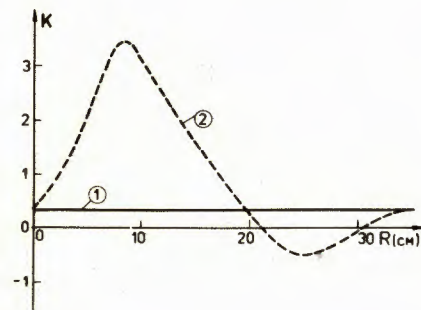


Рис.5. Зависимость параметра K от радиуса. 1 - проектное поле; 2 - бамп поля.

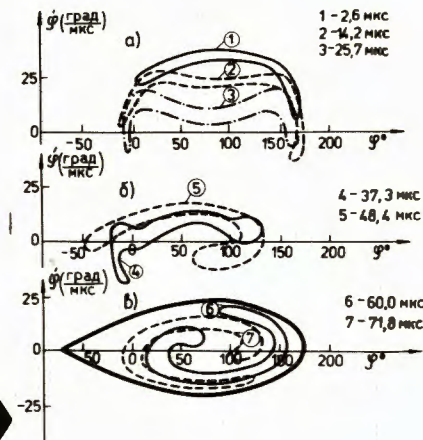


Рис.6. Процесс захвата пучка для бампового поля.

как аналог жесткой фокусировки по фазовому движению. В результате быстрого по сравнению с периодом синхротронных колебаний перехода через критическую энергию $K = 0$ фазовые колебания сильно затухают за счет увеличения "эффективной массы" $M \approx E / (2\pi f)^2 K^{9/}$. Процесс захвата пучка для бампового поля показан на рис.6. Здесь отмечено положение областей, заполненных частицами, в различные моменты времени. Начало инъекции соответствует $t = -9$ мкс, конец - при $t \approx 40$ мкс. Далее идет обычный процесс ускорения в установившейся сепаратрисе /рис.6в/. Можно отметить, что в результате уменьшения величины ϕ значительной части пучка /рис.6а, область 3/ по сравнению с проектным режимом захваченные частицы дольше удерживаются при ускоряющих фазах $-90^\circ < \phi < 90^\circ$. Это приводит к увеличению радиуса первого радиального минимума частиц для бампового поля /рис.7б/ по сравнению с исходным вариантом /рис.7а/. Для проектного режима /50 кВ, 480 Гц/ проблема первого радиального минимума менее актуальна /рис.7в/.

Итогом применения бампового поля явилось увеличение расчетной интенсивности пучка, захваченного в фазотронный режим ускорения /рис.8, кривая 1/. Можно отметить, что действие бампа поля зависит от амплитуды ускоряющего напряжения и в данном случае рассчитано на режим /35 кВ, 200 Гц/.

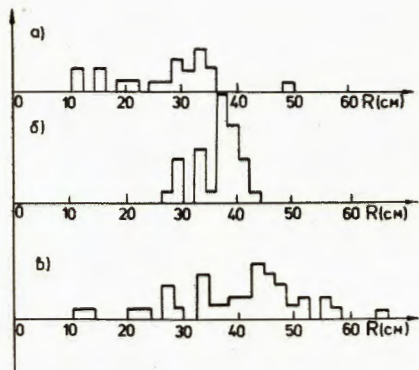


Рис.7. Распределение частиц по первому радиальному минимуму.
а/ проектное поле, 35 кВ, 200 Гц;
б/ бамп поля, 35 кВ, 200 Гц; в/ проектное поле, 50 кВ, 480 Гц.

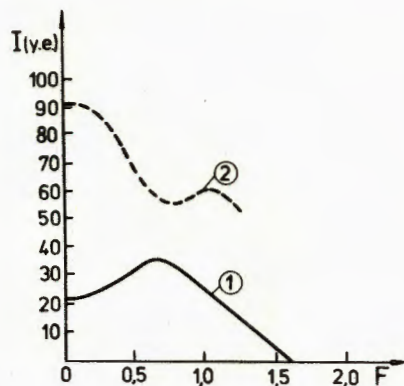


Рис.8. Зависимость интенсивности пучка от фактора усиления бампа.
1 - 35 кВ, 200 Гц; 2 - 50 кВ, 480 Гц.

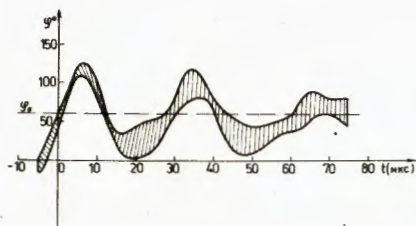


Рис.9. Затухание фазовых колебаний.

При введении волны поля во всем диапазоне ускорения в пределах величин, которые определяются допустимыми значениями $Q_{z,м}$ при заданной пространственной вариации поля, можно добиться минимальных амплитуд радиально-фазовых колебаний. Так, например, организовав волну среднего поля по отношению к проектному для $0 < R < R_L$ типа

$$\Delta V = \Delta V_m \left[1 - \left(\frac{R}{R_L} \right)^2 \right] \cdot \cos \left(\frac{2\pi R}{\lambda} \right),$$

где $\Delta V_m = 10$ Гс, $R_L = 150$ см, $\lambda = 30$ см, можно добиться затухания фазовых колебаний пучка частиц для режима /50 кВ, 480 Гц/ в течение двух периодов этих колебаний /рис.9/. Таким образом можно надеяться получить повышенную устойчивость фазового движения к неконтролируемым изменениям параметров ВЧ-системы и снизить энергетический разброс пучка на входе в систему вывода из камеры ускорителя. В частности, можно обеспечить прохождение

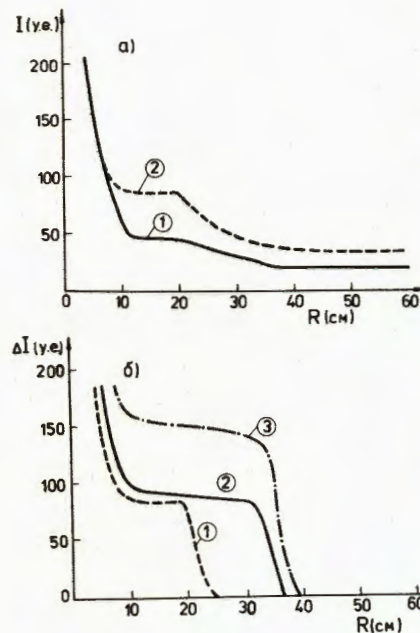


Рис.10. а/ Интенсивность пучка в зависимости от радиуса. б/ Добавка к интенсивности за счет циклотронного ускорения. 1 - исходное поле, 35 кВ, 200 Гц; 2 - бамп поля, 35 кВ, 200 Гц; 3 - исходное поле, 50 кВ, 480 Гц.

без фазовых потерь области минимальной площади области сепаратрисы при $R \approx 120$ см /10/.

Увеличения интенсивности и максимально быстрого прохождения "слабой" центральной области в диапазоне радиусов $0 < R < 30 \div 40$ см/ можно добиться за счет циклотронного ускорения в начале рабочего цикла. При этом частота ускоряющего напряжения поддерживается постоянной в течение 20-30 мкс при сохранении частоты повторения циклов. Далее идет обычный фазотронный режим с инжекцией, в том числе и из накопленного пучка. При этом несколько растет конечная, фазотронная интенсивность /изменились условия инжекции/. Кроме того, пропорционально времени циклотронного ускорения растет средняя за цикл интенсивность на начальных радиусах. Последнее обстоятельство позволит с большей надежностью провести экспериментальное измерение пропускаемого эмиттанса пучка в центральной зоне по z-движению. На рис.10а показана зависимость интенсивности пучка от радиуса для $V_{mD} = 35$ кВ. По рис.10б можно оценить возрастание средней интенсивности пучка за счет циклотронного ускорения при различных формах магнитного поля и параметров ВЧ-системы. Для кривых 1 и 2 на рис.10б циклотронные частоты отличаются на 32 кГц, что приводит к изменению предельного радиуса циклотронного ускорения на 12 см. Варьируя в небольших пределах уровень магнитного поля / ≈ 20 Гс/ и циклотронную частоту / ≈ 30 кГц/, можно добиться максимального предельного радиуса циклотронного ускорения.

В заключение необходимо отметить, что в работе рассмотрены различные режимы фазотронного ускорения для установки "Ф".

Первый соответствует режиму, наиболее близкому к проектному / $K \approx 0,32$ /, который при проектной амплитуде высокочастотного напряжения / $V_{mD} = 50$ кВ/ обеспечивает фазотронный захват в течение ≈ 23 мкс без потерь на первом фазовом колебании. Недостатком режима является существенно неоднородное магнитное поле в зоне радиусов 0-15 см, при котором возникает жесткий допуск на поперечную компоненту (B_R) поля в этой области.

Второй - бамповый режим по среднему полю существенно ослабляет этот допуск и позволяет реализовать жестко-фокусирующий фазовый режим при сохранении времени захвата. К видимому недостатку относится допуск на первую гармонику структуры поля в области $Q_R = 1$, где ее величина не должна превышать 1-2 Гс /R $\approx 10 \div 20$ см/.

Третий - циклотронно-фазотронный режим базируется на циклотронном ускорении / $f_D \approx 18,2$ МГц/ до радиуса 30-40 см при $f_D = 0$ в течение $20 \div 30$ мкс с последующим переходом в стандартный фазотронный режим, соответствующий частотной характеристике ($f_D(t)$). Привлекательность режима заключается в возможности наблюдения циклотронного тока на больших радиусах /вплоть до 40 см/. В этом случае появляется необходимость перестройки частотной характеристики ускоряющей системы на частоте захвата /бамп частотной характеристики/.

На этапе расчета, приведенного в работе, нельзя отдать предпочтение одному из режимов из-за неопределенности величины пропущаемого эмиттанта пучка по z-движению. Для всех режимов необходимо предусмотреть наличие токовых обмоток на малых радиусах /10 \div 40 см/ для возможности регулирования этого параметра. Подготовка ускорителя для возможности реализации всех указанных режимов фазотронного ускорения позволит оптимально решить проблему пусковых работ.

Авторы выражают благодарность В.П.Джелепову и В.В.Кольге за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dmitrievsky V.P. et al. V-th Int. Conf., Oxford, 1969, p.717.
2. Dahlgren S. et al. Status Report on the Synchro-cyclotron Improvement Programme. The Gustaf Werner Inst. Uppsala Univ., 1980.
3. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-3211, Дубна, 1967.
4. Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. ОИЯИ, Р9-83-719, Дубна, 1983.
5. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П. ОИЯИ, Р9-80-410, Дубна, 1980.
6. Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. ОИЯИ, Р9-83-658, Дубна, 1983.
7. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-83-123, Дубна, 1983.
8. Dzheleпов V.P., Dmitrievsky V.P., Onishchenko L.M. IEEE Trans.on Nucl.Sci., NS-30, No.4, p.2134.
9. Коломенский А.А. Теория циклических ускорителей. ФМ, М., 1962, с.173.
10. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П., Заплатин Н.Л. ОИЯИ, Р9-12882, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1984 года

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды V Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 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

Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П., Онищенко Л.И. P9-84-25
Бамповый режим в центральной области фазотрона ОИЯИ

Рассмотрен новый режим ускорения частиц в центральной области фазотрона ОИЯИ. Целью работы является определение таких параметров магнитного и ускоряющего полей ускорителя, при которых повышается продольная и поперечная устойчивость пучка по сравнению с ранее принятыми величинами. В основе решения задачи было численное моделирование на ЭВМ процесса ускорения частиц. В результате возросла устойчивость пучка по отношению к искажениям магнитной медианной плоскости, уменьшились амплитуды фазовых колебаний и достигнуто увеличение интенсивности в центральной зоне ускорителя.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Vorozhtsov S.B., Dmitrievskij V.P., Onishchenko L.I. P9-84-25
Magnetic Field Bump in the Central Region of the JINR Phasotron

New regime of particle acceleration in the central region of the JINR phasotron is considered. The purpose of the investigation was to find parameters of the magnetic and accelerating fields which would increase the longitudinal and transversal stability of the beam as compared with the previous values. Computer simulation of the particle accelerating process was used to solve the problem. As a result, the beam stability to the magnetic midplane distortions was increased, phase oscillation amplitude decreased, and intensity gain in the central region was obtained.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984