

объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

62/2-82

У/1-82

P9-81-711

С.Б.Ворожцов, В.П.Дмитриевский, Н.Л.Заплатин

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПУЧКА  
ДЛЯ СФОРМИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ФАЗОТРОНА ОИЯИ

Направлено на Всесоюзное совещание  
по ускорителям ионов низких и средних энергий  
/Киев, 1-2 декабря 1981 г./

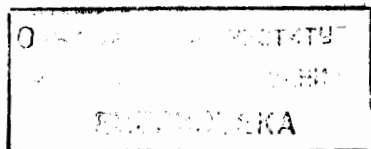
1981

В настоящей работе приводятся результаты расчетов динамических характеристик сформированного магнитного поля фазотрона ОИЯИ<sup>1/</sup>. Данные по созданному магнитному полю обсуждаются в одном из докладов, представленных на настоящее совещание.

Отклонение среднего магнитного поля от требуемого в центре ускорителя не превышает  $\pm 6$  Гс, а амплитуда первой гармоники — менее 5 Гс, однако возмущения радиального градиента среднего поля достигают  $\pm 1,5$  Гс/см. В связи с этим площадь сепаратрисы фазового движения  $A_{\text{вд}}$  дважды снижается до нулевой и частота свободных радиальных колебаний  $Q_R$  приближается к резонансному значению  $Q_R=1$  в диапазоне радиусов  $0 \pm 30$  см /рис.1/.

Однако, как показывает численное моделирование инжекции<sup>2/</sup>, частицы быстро проходят зоны фазовой неустойчивости. На рис.2 видно, что интенсивность пучка, захваченного в режим ускорения, всего на  $\approx 10\%$  ниже получаемой при требуемом поле. Тем не менее, радиальное качество пучка /рис.3а/ не отвечает условиям эффективного вывода частиц из камеры ускорителя. После расчетной коррекции первой гармоники поля в интервале радиусов  $7-30$  см до значения амплитуды 1 Гс был получен приемлемый спектр радиальных амплитуд /рис.3б/. Оценка полосы нелинейного резонанса  $4Q_R=4$  показывает, что ширина его радиального диапазона меньше радиуса первого оборота, что исключает влияние этого резонанса на качество пучка. Рост амплитуды радиальных колебаний под действием параметрического резонанса  $2Q_R=2$  не превышает 30%, что допустимо.

Площадь сепаратрисы фазового движения в рабочем диапазоне радиусов близка для сформированного поля к требуемой /соответственно кривые 2 и 1 на рис.4/. Однако, как показал расчет ускорения пучка от инжекции до вывода из камеры<sup>3/</sup>, в области  $R=150$  см имеют место  $\approx 20\%$  фазовые потери пучка. Ранее<sup>4/</sup> были вычислены поправки к частоте и амплитуде ВЧ-поля для устранения этого эффекта. Коррекцией среднего магнитного поля также можно обеспечить фазовую устойчивость пучка во всем диапазоне радиусов. При этом необходимо сохранить неизменной конечную энергию и радиус пучка, частоты свободных колебаний в зоне вывода и достаточную аксиальную фокусировку в рабочем диапазоне радиусов. На рис.4 показана полученная при этих условиях расчетная коррекция среднего поля и соответствующая ей площадь сепаратрисы /кривая 3/. Указанное исправление среднего поля может быть выполнено запланированными для этих целей



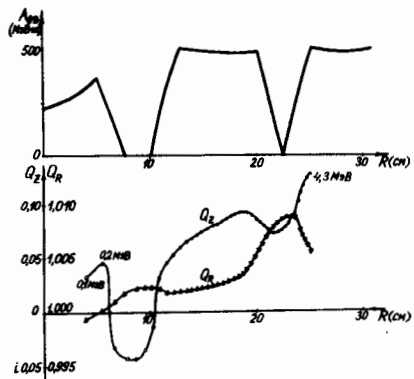


Рис.1. Динамические характеристики пучка в центре ускорителя.

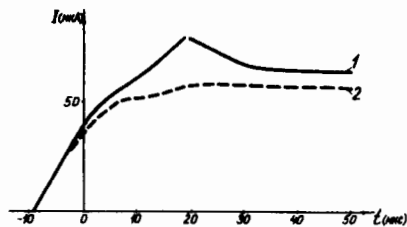


Рис.2. Зависимость интенсивности пучка от времени: 1 - требуемое поле, 2 - сформированное поле.

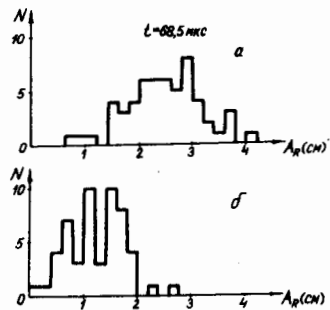


Рис.3. Распределение частиц по амплитудам свободных радиальных колебаний: а - сформированное поле; б - после коррекции 1-й гармоники поля.

Рис.4. Параметры фазового движения: 1 - требуемое поле, 2 - сформированное поле, 3 - после коррекции поля.

шиммирующими элементами после получения окончательных данных по частотной программе ВЧ-системы. Диаграмма частот свободных колебаний для сформированного поля /рис.5/ показывает, что во всем диапазоне ускорения рабочая точка находится вдали от опасных резонансов. В случае пересечения резонанса  $Q_R - Q_z = 1$  при сдвигах частот из-за нелинейностей поля в зоне радиусов 213-216 см необходимо контролировать величину первой гармоники радиальной компоненты для исключения влияния этого резонанса на качество пучка. Из предварительных магнитных измерений радиальной компоненты поля следует, что это требование может быть выполнено. Резонанс  $2Q_R - Q_z = 2$  при измеренных значениях второй гармоники радиальной компоненты поля не приводит к ухудшению эмиттанса пучка.

Частоты свободных колебаний  $Q_R$ ,  $Q_z$  в зоне вывода пучка близки к требуемым  $Q_{RT}Q_{zT}$  /рис.6/. Однако радиальная частота

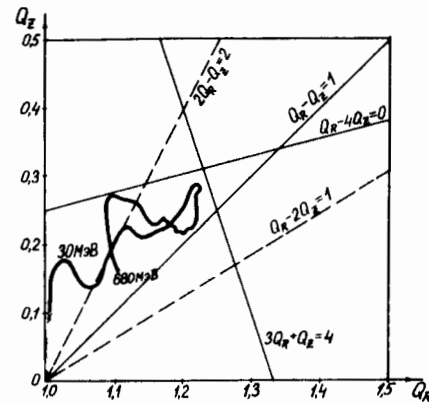
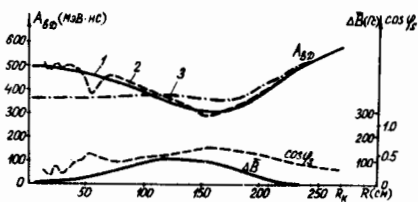


Рис.5. Диаграмма частот свободных колебаний.

Рис.6. Частоты свободных колебаний в зоне вывода.

выше требуемой<sup>5/</sup>, что может повлечь за собой для достижения необходимого заброса пучка на вход канала некоторое увеличение градиента или азимутального размера возбудителя (р) и регенератора (R). Расчет радиальной частоты при установленной системе раскачки пучка ( $Q_R(P+R)$  на рис.6) показал, что удастся снизить частоту до резонансного значения  $Q_R=1$ . Однако величина первой гармоники основного поля достигает в зоне вывода  $\approx 10$  Гс, что недопустимо, так как приводит к затягиванию раскачки частиц из-за искажения фазы первой гармоники возбудителя и регенератора. В результате снижается эффективность заброса пучка на вход в канал. Предварительные оценки показывают, что первая гармоника должна быть уменьшена до 5 Гс в зоне вывода. Доводка поля в зоне вывода будет произведена на этапе шиммирования с установленной системой вывода в камеру ускорителя.

Таким образом, сформированное магнитное поле после некоторой коррекции обеспечивает в динамическом режиме продольную и поперечную устойчивость ускоряемых частиц. Требуемая интенсивность и качество пучка могут быть получены при амплитуде высокочастотного напряжения 50 кВ и токе из источника 100 мА.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Ю.Г.Аленицкому, Н.А.Морозову и А.Ф.Чеснову за предоставление данных по магнитному полю ускорителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов А.А. и др. ОИЯИ, 9-3951, Дубна, 1968.
2. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П. ОИЯИ, Р9-80-410, Дубна, 1980.
3. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П. ОИЯИ, Е9-81-54, Дубна, 1981.
4. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П., Заплатин Н.Л. ОИЯИ, Р9-12882, Дубна, 1979.
5. Кольга В.В. ОИЯИ, 2138, Дубна, 1965.
6. Ворожцов С.Б. и др. ОИЯИ, Р9-7954, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 ноября 1981 года.