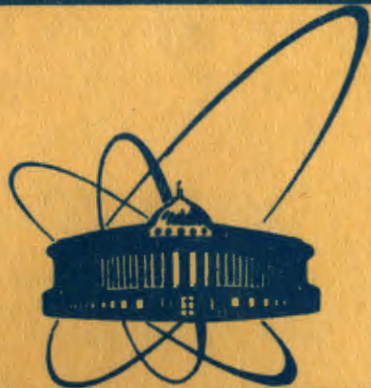


12/ХII-83



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

6495/83

P9-83-658

С.Б.Ворожцов, Н.Г.Шакун

**ПАРАМЕТРЫ ОРБИТ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ
ФАЗОТРОНА ОИЯИ.**

Ускорение микробанча

1983

Проблемы динамики движения частиц в центральной области фазотрона ОИЯИ уже рассматривались в /1/. При этом анализировалось 1-е фазовое колебание пучка при упрощенных предположениях относительно первых оборотов частиц. В данной работе в основном проведены вычисления относительно первых 20 оборотов частиц. Необходимость этих расчетов связывается с появлением новой конфигурации электродов с источником ионов горизонтального ввода /рис.1/ и наличием окончательных данных магнитных измерений для ускорителя/2/.

В этой работе по динамике пучка в центре фазотрона ставились следующие задачи:

1/ анализ аксиальной устойчивости пучка при переходе из области с преимущественно электрической фокусировкой в область с магнитной фокусировкой;

2/ оценка радиального эмиттанта пучка;

3/ выяснение влияния различных возмущающих факторов на параметры орбит /низшие гармоники аксиальной компоненты поля, искажение медианной плоскости электрического и магнитного поля и др./;

4/ подготовка данных о пучке на первых оборотах /аксиальный размер, диапазон фаз, радиальная амплитуда, интенсивность микропучка/ для интерпретации измерений на ускорителе.

Расчет динамики пучка проводился с использованием точных уравнений движения в цилиндрической системе координат. Магнитное поле по оси z рассматривалось в виде разложения в ряд вблизи медианной плоскости с сохранением линейных членов. Поле в медианной плоскости представлялось в виде ряда Фурье с учетом трех основных гармоник при использовании данных магнитных измерений/2/. Электрическое поле для сложной трехмерной конфигурации электродов вычисляли методом конечных разностей, опираясь на программные разработки/3,4/. Проверка данных расчета проводилась методом граничных интегральных уравнений/5/. Полная информация об электрическом поле составляет $1 \cdot 10^5$ слов, что намного превышает возможности оперативной памяти ЭВМ CDC-6500. Однако в линейном приближении достаточно иметь распределение поля в медианной плоскости, что приводит к удержанию в оперативной памяти всего $5 \cdot 10^3$ слов. Интерполяция и численное определение необходимых градиентов ускоряющего поля на траектории частиц проводились методом конечных элементов в соответствии с работой/6/. Распределения в медианной плоскости азимутальной составляющей и градиента аксиальной составляющей электрического поля для конфигурации, представленной на рис.1, и напряжения на

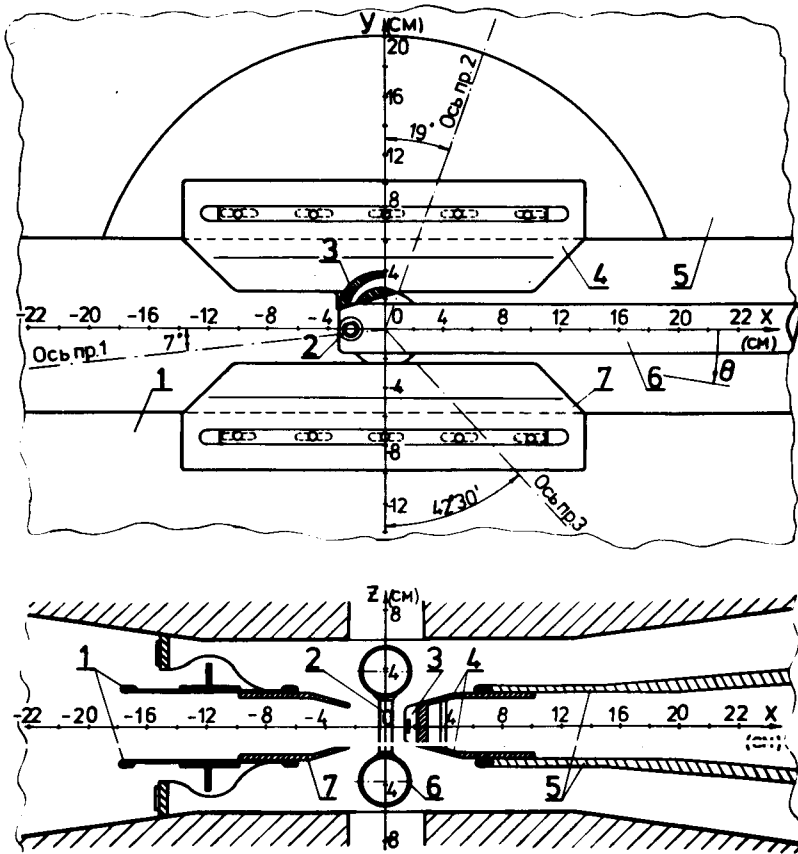


Рис.1. Центральная область ускорителя: 1 - противодуантная рама; 2 - источник ионов горизонтального ввода; 3 - пуллер; 4 - филлер дуанта; 5 - дуант; 6 - шток источника; 7 - филлер рамки.

дуанте 50 кВ приведены на рис.2 и 3. Из рисунков видна асимметрия поля относительно оси ou . В ускоряющем промежутке источник-пуллер имеет место наибольшая аксиальная фокусировка частиц

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial z} < 0\right).$$

Поведение пучка частиц на первых 20 оборотах анализировалось по траекториям 11 R-частиц, равномерно распределенным по диапазону начальных фаз относительно ускоряющего поля в момент вылета из источника ионов. Считалось, что проекция щели источника на плоскость xou /рис.4/ точечная и частицы вылетают под нормальным углом к срезу источника. Варьирование угла вылета в неболь-

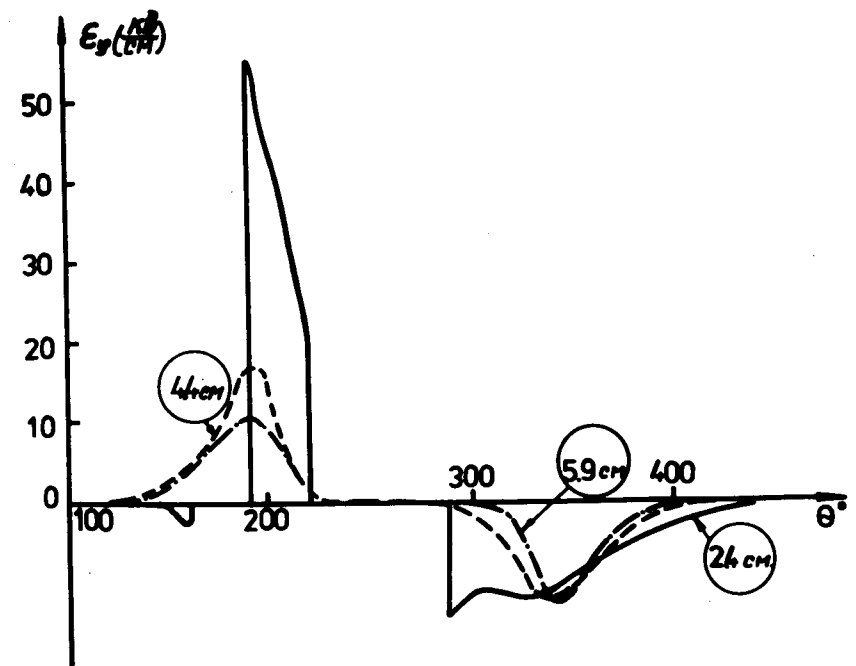


Рис.2. Распределение азимутальной составляющей электрического поля для различных радиусов при $V_{mD} = 50$ кВ.

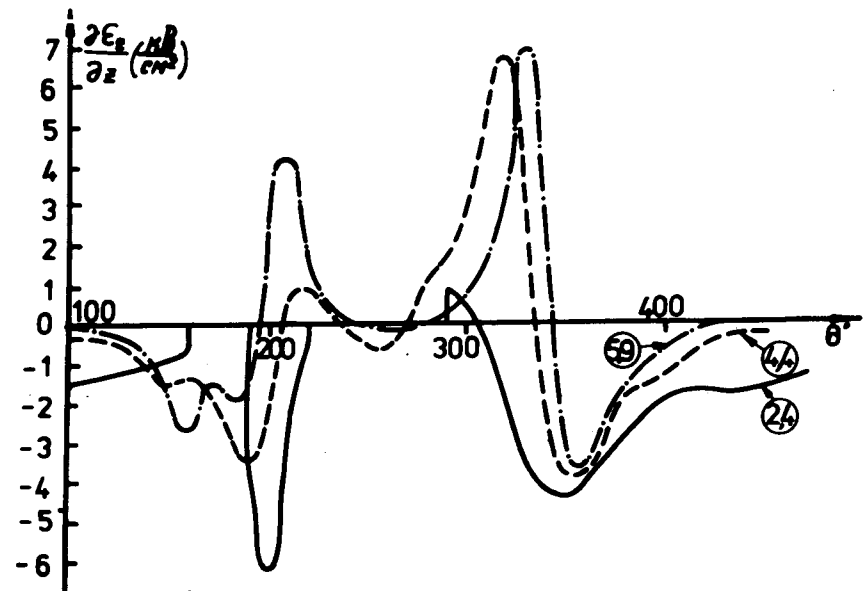


Рис.3. Распределение градиента аксиальной составляющей электрического поля при $V_{mD} = 50$ кВ.

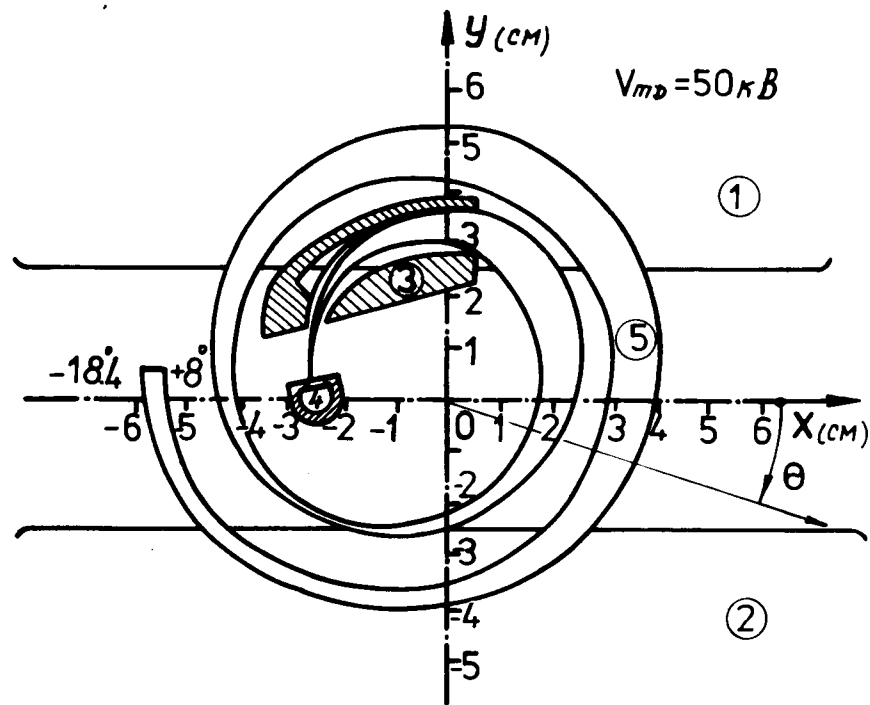


Рис.4. Положение пучка в меридиальной плоскости на первых оборотах: 1 - дуант; 2 - рамка; 3 - пуллер; 4 - источник ионов; 5 - пучок.

ших пределах $\pm 20^\circ$ не оказывало влияния на результаты расчета. Пространственное распределение потенциала в плазме, проникающей из разряда через щель ионного источника в вакуумную область, в расчетах не учитывалось, так как выходящие ионы обладают энергией [7], не превышающей 100 эВ, что при ускоряющем напряжении на дуанте около 50 кВ приводит к пренебрежимо малой погрешности в процессе вычисления. Считалось также, что аксиальное движение приближенно описывается линейным дифференциальным уравнением 2-го порядка. Поэтому для каждой R-частицы по двум линейно независимым траекториям вычислялась матрица перехода аксиального движения через половину оборота. Каждой R-частице ставились в соответствие 50 z-частиц, равномерно распределенных по высоте щели источника. Положение этих частиц определялось с шагом в пол-оборота при помощи полученной матрицы перехода. Начало движения пучка совпадало с высокочастотным периодом, для которого частота ускоряющего поля была равна циклотронной частоте магнитного поля в центре. Таким образом, рассматривался не весь пучок, а микробанч.

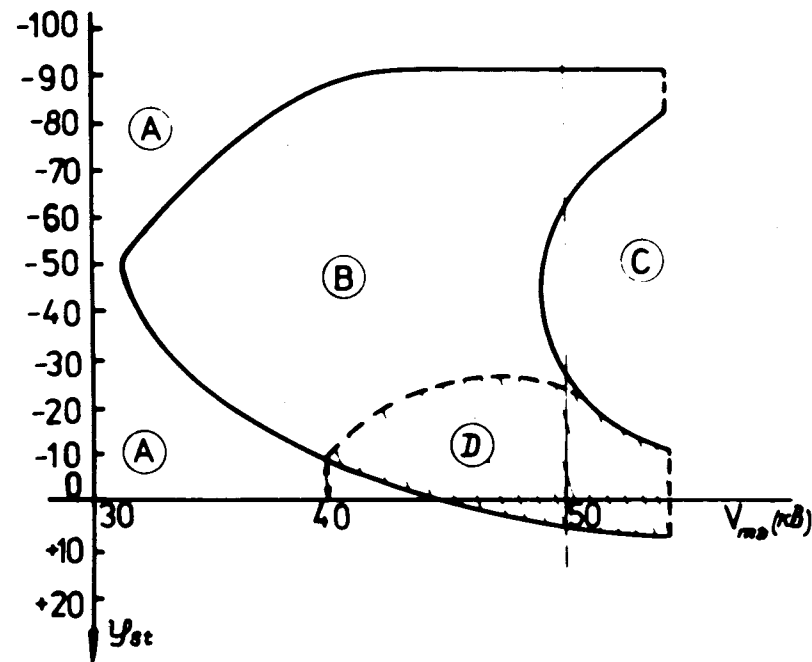


Рис.5. Фазовый акцептанс пуллера.

Эффективность прохождения пучка R-частиц ($z_0 = z'_0 = 0$) через пуллер показана на рис.5, где V_{md} - амплитуда ускоряющего напряжения на дуанте, ϕ_{st} - начальная фаза. Область A определяется частицами, попавшими на переднюю стенку пуллера, на разрядную камеру ионного источника, а также частицами, не обогнувшими ось ускорительной камеры. В последнем случае имеет место либо попадание таких частиц на пуллер при повторном пересечении зазора, либо децентрирование орбит за счет слишком больших установившихся амплитуд свободных радиальных колебаний. Область C определяется потерями частиц внутри пуллера, область B - аксиальными потерями частиц, и только область D соответствует параметрам, при которых частицы проходят без потерь первые 20 оборотов.

С целью сохранения частиц, теряемых на пуллере, был рассмотрен также вариант с филлерами, открытой апертурой и геометрией филлеров дуанта, совпадающей с геометрией пуллера. Для согласования пучка из источника с акцептансом первых оборотов ускорителя был бы полезен аксиальный коллиматор, устанавливаемый на штоках источника горизонтального ввода через пол-оборота после начала движения [8]. Эффективность захвата пучка на первых оборотах для данного варианта показана на рис.6. В этом случае для оптимального центрирования орбит на первых двух оборотах потре-

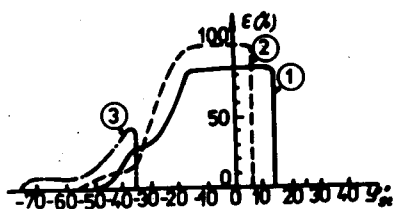


Рис.6. Эффективность захвата пучка для варианта центра без пуллера: 1 - $V_{mD} = 50$ кВ, 2 - $V_{mD} = 30$ кВ, 3 - $V_{mD} = 15$ кВ.

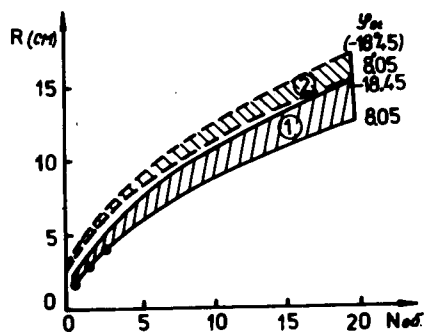


Рис.7. Радиальные размеры пучка: 1 - $\theta = 70^\circ$, 2 - $\theta = 187^\circ$.

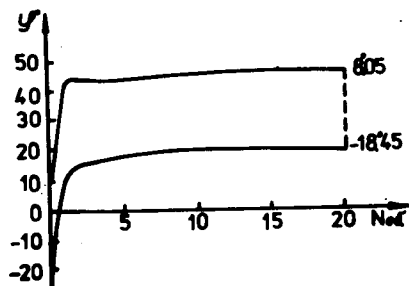


Рис.8. Фазовое движение пучка.

бывало смещение источника по оси x к центру на 7 мм в сравнении с вариантом, представленным на рис.1. При больших начальных фазах ϕ_{st} потери связаны с отсутствием центрирования орбит, при малых ϕ_{st} - с нарушением аксиальной устойчивости. Аксиальные потери частиц при $V_{mD} = 50$ кВ во всем диапазоне начальных фаз объясняются рассогласованием формы акцептанса ускорителя и эмиттанса пучка из источника. Для варианта центра с пуллером на рис.7 и 8 показано радиально-фазовое движение микробанча. Для этого же случая на рис.9 и 10 показаны огибающая пучка при аксиальном движении и z -эмиттанс после 20 оборотов. Пространственный заряд, эффекты которого не рассматриваются в данной работе, приведет к некоторому увеличению z -огибающей и аксиального эмиттанса.

Таким образом, численный анализ первых оборотов микробанча для фазотрона ЛЯП ОИЯИ при окончательной конфигурации центральных электродов показал, что обеспечивается достаточная продольная и поперечная фокусировка частиц для ускорения их в течение первого фазового колебания. Первые эксперименты по запуску ускорителя позволили получить пучок на радиусе 20 см при $V_{mD} = 35$ кВ, что подтверждает выводы данной работы. В дальнейшем будет проведен более подробный анализ поперечных свободных колебаний частиц.

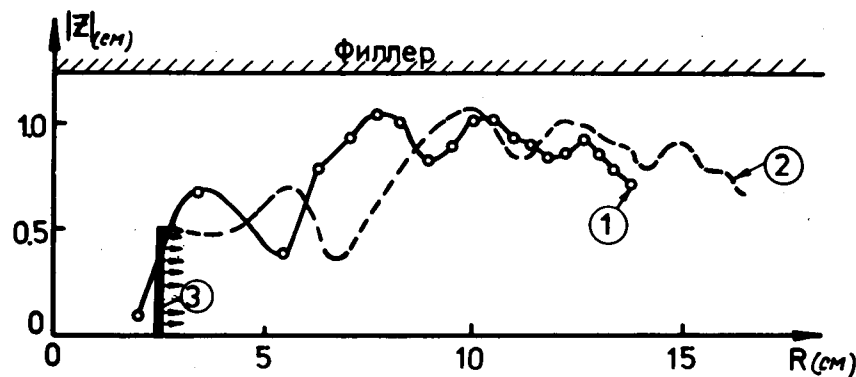


Рис.9. Аксиальная огибающая пучка: 1 - $\theta = 70^\circ$, 2 - $\theta = 187^\circ$, 3 - полувысота пучка из источника.

BEAM DENSITY IN Z-ZP PLANE

550 PARTICLES

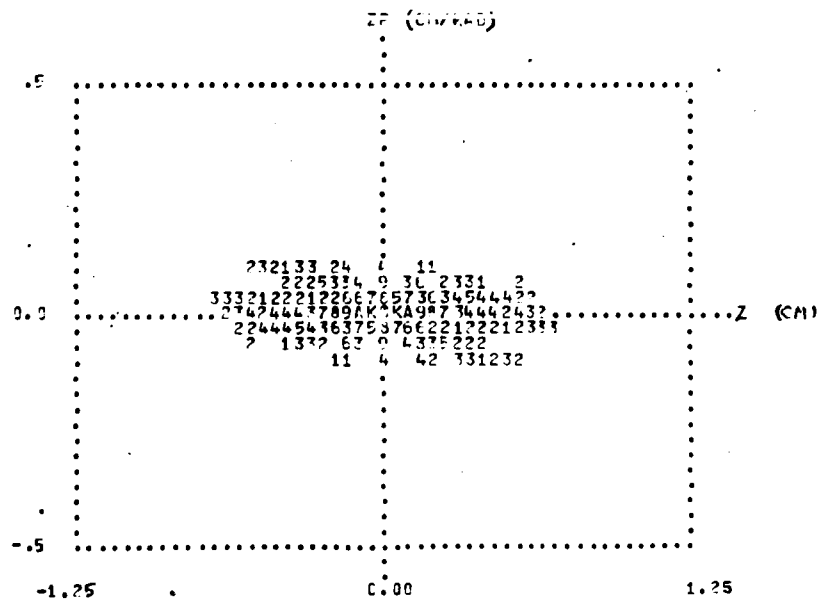


Рис.10. Аксиальный эмиттанс пучка после 20 оборотов.

Авторы благодарны В.П.Дмитриевскому за постановку задачи и поддержку в работе, а также В.В.Кольге за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворожцов С.Б., Дмитриевский В.П. ОИЯИ, Р9-80-410, Дубна, 1980.
2. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-83-123, Дубна, 1983.
3. Ворожцов С.Б. ОИЯИ, Р9-6755, Дубна, 1972.
4. Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1974, с.159.
5. Акишин Н.Г., Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. ОИЯИ, 9-83-2, Дубна, 1983.
6. Ворожцов С.Б. ОИЯИ, Р9-83-90, Дубна, 1983.
7. Габович М.Д. Физика и техника плазменных источников ионов. Атомиздат, М., 1972.
8. Van Nieuwland J.M., Hazewindus N. Nucl.Instr. and Meth., 1977, vol.142, No.3, p.339-351.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 сентября 1983 года.

Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. Р9-83-658
Параметры орбит в центральной области фазотрона ОИЯИ.
Ускорение микробанча

Рассматриваются проблемы динамики пучка в центральной области фазотрона ОИЯИ. Исследование выполнялось с целью анализа аксиальной устойчивости пучка, оценки радиального эмиттанса, выяснения влияния различных возмущающих факторов на параметры орбит. Расчет динамики пучка проводился с использованием точных уравнений движения в измеренных и расчетных электрическом и магнитном полях ускорителя. Численный анализ показал, что обеспечивается достаточная продольная и поперечная фокусировка частиц в течение первого фазового колебания.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Vorozhtsov S.B., Shakun N.G. Р9-83-658
Orbit Parameters in the Central Region of the JINR Phasotron.
Microbunch Acceleration

Beam dynamics problems for the central region of the JINR phasotron are considered. The study was carried out in order to analyse beam axial stabilities, to evaluate the radial emittance and the effects of various perturbations on the particle parameters. Exact equations of motion were used for particle tracing in the measured and calculated electrical and magnetic fields of the accelerator. Computer studies have shown that sufficient longitudinal and transversal particle focusing are provided during the first phase oscillation.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой