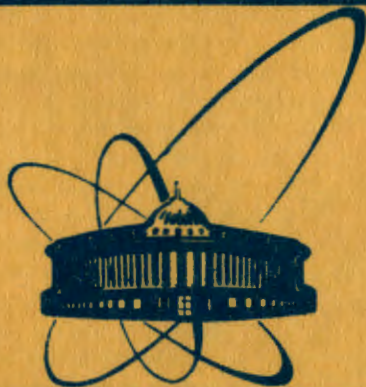


9/1-84



СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

274/84

P9-83-719

С.Б.Ворожцов, Н.Г.Шакун

ПАРАМЕТРЫ ОРБИТ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ
ФАЗОТРОНА ОИЯИ.

Аксиальное движение

1983

Исследование аксиальной устойчивости движения частиц в центральной области фазотрона связывается с вычислением длины волны λ_z аксиальной огибающей группы частиц с одной и той же стартовой фазой вылета из источника по отношению к ускоряющему полю. Наиболее реалистичный анализ требует вычисления λ_z в динамике, на орбитах ускоренных частиц и в условиях сложных трехмерных конфигураций электрического и магнитного полей в центре ускорителя. Кроме того, определяется аксептанс аксиального движения на первых оборотах с учетом ограничивающей апертуру конфигурации электродов в центре ^{1/1}. Рассматривается также устойчивость динамической системы "пучок - внешние поля" к различным факторам искажения электрической и магнитной медианной плоскости. Методы расчета орбит в центре ускорителя и соответствующие программы для ЭВМ рассматривались в ^{2/2}.

Частота аксиальных колебаний $Q_z = 1/\lambda_z$, определяемая на границе диапазона начальных фаз ϕ_{st} , с наилучшим условием по z-фокусировке, представлена на рис.1. Для сравнения на этом же рисунке показана зависимость Q_z , вычисленная в статическом режиме, на равновесных орбитах соответствующей энергии для заданного магнитного поля. Как видно из рисунка, имеется значительное усиление аксиальной устойчивости для реальной расчетной траектории по сравнению со статическим случаем. Это объясняется не только наличием фокусировки ускоряющим электрическим полем, но и динамическими эффектами /конечное число оборотов при прохождении зоны минимальной фокусировки/.

Расчеты показывают, что кривые 1 и 2 совпадают после 50 оборотов /энергия ≈ 4 МэВ/, когда фокусировка определяется в основном магнитным полем. Вариант конфигурации центра ускорителя без пуллера /филлерный вариант/ характеризуется /см.рис.2/ некоторым понижением минимального значения Q_z с 0,14 до 0,10, причем увеличение амплитуды ускоряющего напряжения V_{mD} не улучшает ситуа-

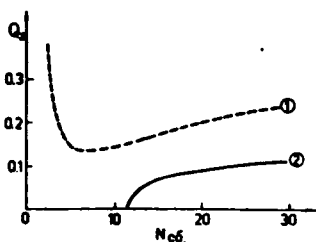


Рис.1. Частота свободных аксиальных колебаний для $\phi_{st} = -18,5^\circ$, напряжения на дуанте $V_{mD} = 50$ кВ и пуллерного варианта центра. 1 - динамическая фокусировка, 2 - магнитная фокусировка на равновесных орбитах.

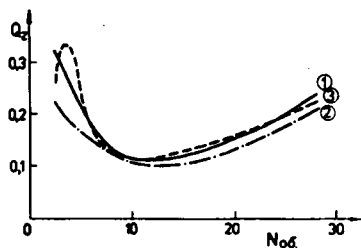
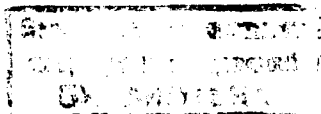


Рис.2. Частота аксиальных колебаний для филлерного варианта. 1 - $\phi_{st} = -4,8^\circ$, $V_{mD} = 35$ кВ; 2 - $\phi_{st} = -15,4^\circ$, $V_{mD} = 35$ кВ; 3 - $\phi_{st} = -4,8^\circ$, $V_{mD} = 40$ кВ.



цию. Это обстоятельство связывается с некоторым рассогласованием акцептанса первых оборотов для филлерного варианта при увеличении V_{mD} , что видно из сравнения рис.3а и 3б.

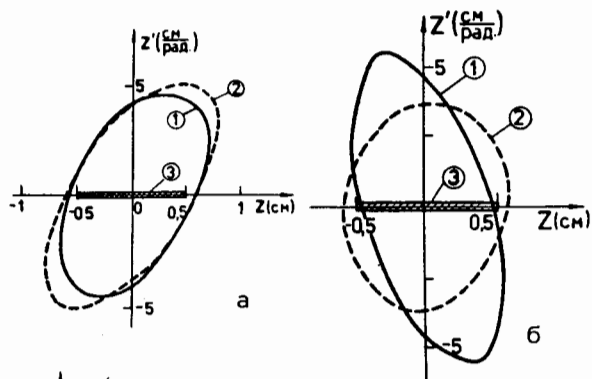


Рис.3. Акцептанс первых 20 оборотов: а/для пуллерного варианта: 1 - $\phi_{st} = -18,5^\circ$, 2 - $\phi_{st} = -7^\circ$, 3 - эмиттанс источника ионов; б/для филлерного варианта при $\phi_{st} = -7^\circ$: 1 - $V_{mD} = 50$ кВ, 2 - $V_{mD} = 35$ кВ, 3 - эмиттанс.

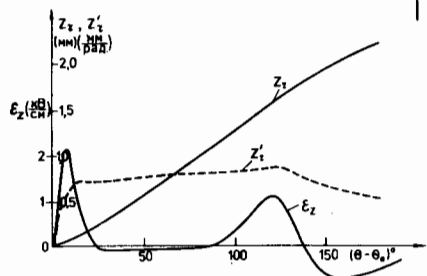


Рис.4. Эффект смещения медианной плоскости электрического поля для первого полуоборота. $z_E = 2$ мм, $\phi_{st} = -18,5^\circ$, $z_{\text{ч}}$, $z'_{\text{ч}}$ - частное решение.

Акцептанс первых оборотов определяется при помощи обратной трансформации ограничивающих z -апертуру филлеров на цель ионного источника с использованием матрицы перехода аксиального движения. При этом, хотя площадь акцептанса растет, наблюдаются потери частиц на филлерах. Для пуллерного варианта отсутствуют потери пучка во всем диапазоне начальных фаз /в этом случае не учитывается пространственный заряд/. Таким образом, в отсутствие возмущающих факторов имеется достаточная аксиальная устойчивость пучка на первых 30 оборотах.

Влияние искажения медианной плоскости ускоряющего поля на аксиальное движение можно проследить, опираясь на принятое нами предположение о линейности уравнения z -движения частиц. В общем случае считаем, что это уравнение имеет вид

$$z'' + a(\theta)z' + \beta(\theta)z = b(\theta), \quad /1/$$

где штрих означает дифференцирование по азимуту θ ;

$$b(\theta) = \frac{E}{T(E + E_0)} (R'^2 + R^2) \cdot \epsilon_z [R, \theta, (-z_E), t] - \frac{e}{p} \sqrt{R'^2 + R^2} \cdot R \cdot B_R, \quad /2/$$

e - заряд частицы, E - полная энергия частиц, p - импульс частицы, E_0 - энергия покоя, T - кинетическая энергия, ϵ_z - отличная от нуля аксиальная составляющая электрического поля, появляющаяся в геометрической медианной плоскости при смещении дуанта и рамки по оси z на величину z_E , B_R - радиальная компонента искажения магнитного поля. При этом согласно /3/ частное решение /1/, или траекторию движения центра пучка, имеющего начальные данные $z_0 = z'_0 = 0$, можно представить в виде

$$\begin{pmatrix} z_{\text{ч}} \\ z'_{\text{ч}} \end{pmatrix}_{\theta_{i+1}} = \Phi(\theta_{i+1}) \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} \frac{b(\theta)}{W(\theta)} \begin{pmatrix} -z_2 \\ z_1 \end{pmatrix}_{\theta} d\theta, \quad /3/$$

где фундаментальная матрица

$$\Phi(\theta) = \begin{pmatrix} z_1 & z_2 \\ z'_1 & z'_2 \end{pmatrix}_{\theta_i}, \quad /4/$$

z_1 и z_2 - любые линейно-независимые решения уравнения /1/ при $b(\theta) \equiv 0$, и где определитель Вронского $W(\theta) = \det[\Phi(\theta)]$.

Рис.5. Эффективность прохождения группой частиц с начальной фазой $\phi_{st} = -21,5^\circ$ первых 30 оборотов при наличии искажения медианной плоскости. $V_{mD} = 35$ кВ, филлерный вариант.

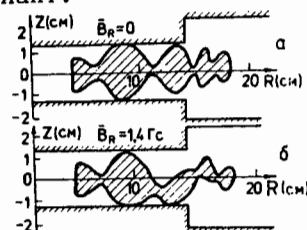
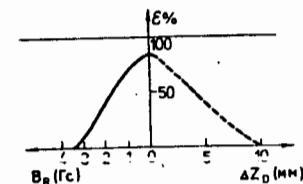


Рис.6. Огибающая группы частиц с фазой $\phi_{st} = -21,5^\circ$: а/ $B_R = 0$; б/ $B_R = 1,4$ Гс.

На рис.4 показаны результаты расчета по /3/ движения центра пучка для первого полуоборота при сдвиге дуанта и рамки по оси z . На этом же рисунке показано электрическое поле, возникающее при этом вдоль радиальной траектории частицы. Расчет траектории с начальными данными $z_0 = z'_0 = 0$ по полным уравнениям движения при всех прочих равных условиях по отношению к вышеприведенному результату дал практически совпадение с расчетом по /3/, даже для первого полуоборота, что подтверждает правильность предположения о линейности уравнения z -движения.

Результаты анализа влияния электрической и магнитной медианной плоскостей на эффективность прохождения пучком первых 30 оборотов приведены на рис.5. При этом рассматривалась $\phi_{st} = -21,5^\circ$ для филлерного варианта, где эффекты дефокусировки играют замет-

ную роль. Амплитуда ускоряющего поля была ниже номинальной на 15 кВ. Распределение средней составляющей магнитного поля вдоль радиуса имело форму экспериментальной зависимости, приведенной в работе ^{1/4}. Из рис.5 видно, что при минимальной апертуре филлеров 25 мм аксиальные сдвиги дуанта и рамки не должны превышать 2 мм, V_R в области $R < 20$ см должна быть не выше 0,8 Гс.

Характер поведения огибающей соответствующей группы частиц для неискаженной медианной плоскости и при наличии остаточной V_R , приведенной в ^{1/4}, показан на рис.6. На рис.7 иллюстрируется эффект потери пучка при $V_R = 5,6$ Гс. При этом инжекция происходила в интервале начальных фаз $\phi_{st} = -75^\circ + 75^\circ$. Из рисунка видно, что для $R < 7$ см имеют место потери частиц отрицательных фаз из-за дефокусировки. Начиная с $R > 8$ см проявляется эффект искажения магнитной медианной плоскости.

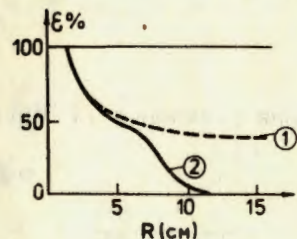


Рис.7. Зависимость интенсивности пучка от радиуса при $\phi_{st} = 7^\circ$; $V_{mD} = 35$ кВ, филлерный вариант. 1 - $\bar{V}_R = 0$, 2 - $\bar{V}_R = 5,6$ Гс.

В заключение необходимо отметить, что анализ аксиального движения пучка приводит к выводу о наличии достаточной аксиальной устойчивости частиц в диапазоне начальных фаз ($25^\circ - 35^\circ$) за счет сочетания фокусировки ускоряющим и магнитным полями, а также динамических эффектов.

Для филлерного варианта и пониженных значений амплитуды ускоряющего поля при заданной аксиальной апертуре в центре 25 мм имеет место излишняя критичность к величине искажения магнитной медианной плоскости $V_{Rдоп.} < 0,8$ Гс/. В этом случае ослабления допуска на искажения магнитной медианной плоскости, по-видимому, можно добиться путем введения знакопеременного всплеска средней аксиальной компоненты магнитного поля или увеличения аксиальной апертуры филлеров на первых оборотах.

Авторы выражают свою глубокую благодарность В.П.Дмитриевскому за постановку задачи и поддержку при работе, а также Л.М.Онищенко и В.В.Кольге за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Botman J.I.M., Hagedorn H.L. IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1981, vol.NS-28, p.2128.
2. Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г. ОИЯИ, Р9-83-658, Дубна, 1983.
3. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. "Наука", М., 1970, с.135.
4. Заплатин Н.Л. и др. ОИЯИ, Р9-82-925, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1983 года.

Ворожцов С.Б., Шакун Н.Г.

Р9-83-719

Параметры орбит в центральной области фазотрона ОИЯИ.
Аксиальное движение

Исследуется аксиальная устойчивость первых оборотов в фазотроне ОИЯИ при различных режимах работы. В динамическом режиме вычислялась длина волны огибающей группы частиц для сравнения с требуемым значением. В результате было показано, что существует достаточная аксиальная фокусировка пучка. Обнаружены также повышенные требования к точности формирования медианной плоскости магнитного поля одного из режимов работы. Намечены пути ослабления допуска на горизонтальную компоненту поля.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Vorozhtsov S.B., Shakun N.G.

Р9-83-719

Orbit Parameters in the Central Region of the JINR Phasotron.
Axial Motion

The purpose of the study was the investigation of the axial stability of the first turns in the JINR phasotron for various modes of operation. The wave length of the axial envelope of the set particles was calculated in dynamical regime for comparison with the prescribed one. As a result, it was shown that there exists the sufficient axial focusing of the beam. For some mode of acceleration the increased requirements to the accuracy of magnetic field median plane shaping are found. The ways for weakening of allowance for horizontal field component are designed.

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