

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУSeЗ
В-19

28/x-74

9-8056

4242/2-74

Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский

**СХЕМА ВЫВОДА УСКОРЕННОГО ПУЧКА ИЗ
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ СТРЕМЯ
ОТКЛОНЯЮЩИМИ МАГНИТАМИ**

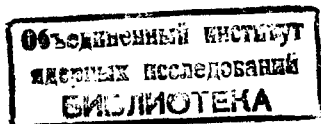
1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

9-8056

Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский

**СХЕМА ВЫВОДА УСКОРЕННОГО ПУЧКА ИЗ
СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ СТРЕМЯ
ОТКЛОНЯЮЩИМИ МАГНИТАМИ**



Василишин Б.В., Иссинский И.Б.

9-8056

Схема вывода ускоренного пучка из синхрофазотрона ОИЯИ
с тремя отклоняющими магнитами

Предложено с помощью дополнительного септум-магнита повысить
эффективность вывода ускоренного пучка с 94% до 99%.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Разработанная в ЛВЭ схема медленного вывода первичного пучка /1,2/ позволяет с помощью двух внутренних магнитов вывести ~94% циркулирующего пучка. Величина потерь определяется толщиной септума-магнита FM и наличием в разложении показателя поля при выводе члена $n_2 x^2$, в силу чего частицы с амплитудой $a_0 < 0,4$ см не выводятся /1/. Эффективная толщина септума FM составляет ~ 5 мм, что вызвано необходимостью получить на выходе следующего квадранта отклонение пучка $\Delta x = 35-40$ см, для того чтобы отклоненный пучок попал в зазор неподвижного выводного магнита BM.

Эффективность вывода можно повысить, используя дополнительный септум-магнит SM, отклоняющий попавшие в его зазор частицы на угол, достаточный для обхода септума магнита FM. Тогда септум магнита SM, толщиной которого будут определяться в этом случае потери, может быть сделан достаточно тонким из-за небольших токов в SM.

Магнит SM наиболее удобно установить во втором прямолинейном промежутке /азимут BM/ на расстоянии +25 см от продольной оси промежутка, так как это позволит, во-первых, применить в качестве механизма перемещения гидропривод магнита быстрого вывода /3/ и, во-вторых, использовать уже существующую часть выводного тракта. Чтобы получить максимум отклонения на азимуте SM, фазу квадратичного возмущения необходимо сдвинуть на π по отношению к фазе возмущения в существующем двухмагнитном варианте. После отклонения в магните SM пучок проходит 1,75 оборота и по-

падает в зазор FM. На рис. 1 показан вид фазовых траекторий частиц на азимутах SM и FM в окрестности резонанса $\nu_x = 2/3$ для линеаризованного уравнения, рассмотренного в /4/.

Присептумная и определяющая границу заброса на азимуте SM частицы в начале вывода обозначены на рисунке точками a и b в конце вывода - точками c и d. В результате отклонения в магните SM точки a и b отображаются в a' и b'. Из рисунка видно, что для совмещения фазовых траекторий на азимуте FM в различные моменты времени, угол отклонения в магните SM должен расти в процессе вывода так, чтобы отрезки a'b' и c'd' на азимутах SM и FM лежали на одной прямой. Из-за увеличения скорости роста амплитуд в течение вывода отрезок c'd' на азимуте FM смещен вдоль фазовой траектории, что несколько увеличивает требуемую апертуру магнита FM.

Используя результаты работы /4/, можно получить основные параметры рассматриваемой схемы вывода. Значение секступольного коэффициента k_2 , необходимое для обеспечения глубины заброса Δx_s в магните SM в конце вывода, равно:

$$k_2 = \frac{b \Delta x_s}{9\pi x_s^2}, \quad /1/$$

где x_s - положение септума магнита SM.

В результате отклонения в SM присептумная частица сместится на азимуте FM на величину

$$\Delta x = \Delta u \cos 30^\circ = \frac{\Delta u \sqrt{3}}{2}, \quad /2/$$

где Δu - изменение угловой координаты на азимуте SM.

($\Delta a = \frac{\nu \Delta x}{R}$). Принимая $\Delta x = 1,5$ см, находим соответствующее значение

углового отклонения в SM в начале вывода $\Delta a = 0,35$ мрад.

В работе /4/ были получены уравнения, описывающие движение на фазовой плоскости точки, находящейся на горизонтальной ветви сепаратрисы

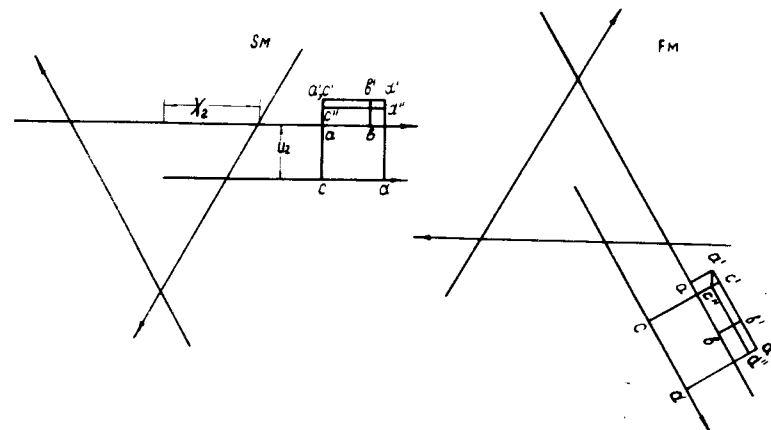


Рис. 1. Вид фазовых траекторий на азимутах SM и FM в окрестности резонанса $\nu_x = 2/3$.

$$\frac{dx}{d\theta} = \frac{3}{16} k_2 (x^2 - x_2^2)$$

$$\frac{du}{d\theta} = 0.$$

/3/

Используя /3/ и предполагая, что точки, представляющие отклоненные в SM частицы, движутся на фазовой плоскости параллельно разомкнутым ветвям сепаратрисы, находим положение септума магнита FM:

$$x_F = (x_s + x_2) \cos 60^\circ + \frac{3}{16} k_2 (x_s^2 - x_2^2) \cdot 1,75 \cdot 2\pi \cdot \cos 60^\circ + \Delta x, \quad /4/$$

Второе слагаемое описывает прирост амплитуды на участке от SM до FM $/\Delta\theta = 1,75 \cdot 2\pi/$. При получении /4/ в системе /3/ дифференциалы заменены приращениями и предполагается, что движение фазовых точек, не лежащих на разомкнутых ветвях сепаратрисы, также описывается системой /3/.

Величина отклонения от центра камеры частицы с максимальным забросом в FM /определяется точкой d' на рис. 1/ равна:

$$x_{FM} = (x_s + \Delta x_s) \cos 60^\circ + \frac{3}{16} k_2 (x_s + \Delta x_s)^2 \cdot 1,75 \cdot 2\pi \cdot \cos 60^\circ + /5/ \\ + (u_2 + \Delta u) \cos 30^\circ.$$

Координаты особых точек x_2 и u_2 в момент начала вывода определяются приравниванием площадей сепаратрисы и площади, занимаемой циркулирующим пучком перед выводом на нормализованной фазовой плоскости, и составляют 10,8 см и 6,2 см соответственно.

Используя /1-4/, находим требуемую апертуру магнита FM

$$\Delta x_F = \frac{1}{2} [\Delta x_s - x_2 + \frac{1,75 \cdot \Delta x_s}{3 x_s^2} (2 x_s \Delta x_s + \Delta x_s^2 + x_2^2)] + /6/ \\ + u_2 \cos 30^\circ.$$

Рабочая апертура FM составляет $\Delta x_F = 17 \text{ см} /2/$. Из этого условия по формуле /6/ определяется $\Delta x_s = 16,2 \text{ см}$. Тогда значение секступольного коэффициента k_2 , найденное из /1/, равно $0,007334 \text{ см}^{-1}$. При $B_0 = 10 \text{ кГс}$ получаем $b_2 = 0,0147 \text{ Гс/см}^2$, что дает следующие значения токов обмотки P2: $i/R_0 \pm 40 \text{ см/} = 288 \text{ А}$, $i/R_0 \pm 20 \text{ см/} = 121 \text{ А}$. При этом угол отклонения в магните SM должен изменяться от $0,35 \text{ мрад}$ в начале вывода до $1,65 \text{ мрад}$ в конце.

Расчет, выполненный по программе MFIELD /5/, позволил уточнить полученные величины. Глубина заброса в магнит SM должна составлять $\Delta x_s = 15,9 \text{ см}$, что выполняется при $i/R_0 \pm 20 \text{ см/} = 114 \text{ А}$, $i/R_0 \pm 40 \text{ см/} = 271 \text{ А}$. Угол отклонения в SM должен изменяться от $0,54 \text{ мрад}$ в начале вывода до $2,88 \text{ мрад}$ в конце. Угол осевой траектории на входе FM остается в течение вывода постоянным, и поэтому отпадает необходимость изменения поля в магните FM.

Кроме того, угол поворота в SM можно менять в течение вывода таким образом, чтобы положение присептумных частиц на азимуте FM было постоянным. На рис. 1 этому случаю соответствует фазовая траектория с "d" в конце вывода. При таком временном законе изменения угла поворота в SM эффективнее используется апертура магнита FM, что позволяет несколько увеличить глубину заброса в SM. Расчет, выполненный по программам MFIELD и FORM/6/, дал следующие значения основных параметров.

Глубина заброса в SM составляет 16,3 см, что соответствует $i/R_0 \pm 20 \text{ см/} = 120 \text{ А}$, $i/R_0 \pm 40 \text{ см/} = 285 \text{ А}$. Угол отклонения в SM должен изменяться от $0,54$ до $2,73 \text{ мрад}$. Для компенсации существующего в этом случае изменения угла на входе FM поле в нем должно возрастать от 2960 Гс в начале вывода до 3070 Гс в конце $/\ell = 1,7 \text{ м/}$. Необходимость в фокусирующей линзе FM отпадает, так как пучок на входе FM сходится, имеет внутри второго квадранта промежуточное изображение в горизонтальной плоскости и вписывается в апертуру второй ступени системы транспортировки.

Требуемую величину угла поворота в SM $/\ell = 1,5 \text{ м/}$ можно обеспечить при толщине септума $\delta \sim 0,2 \text{ мм}$. Кроме того, эффективность вывода дополнительно возрастает, так как снижается в силу большей величины секступольного коэффициента k_2 , верхний предел амплитуд, стабилизируемых квадратичной в окрестности R_0 зависимостью показателя поля, равный в этом случае $0,2 \text{ см}$. С учетом полученных параметров значение эффективности вывода составляет $\sim 99\%$.

Литература

1. Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, Е.М.Кулакова. ОИЯИ, Р9-6972, Дубна, 1973.
2. Б.В.Василишин, В.И.Волков, Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, С.В.Каленов, С.А.Новиков, Б.Д.Омельченко, Н.И.Павлов, В.Ф.Сиколенко. ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.

3. Л.П.Зиновьев, И.Б.Иссинский, В.И.Котов, Е.М.Кулакова, К.П.Мызников, Н.И.Павлов. Препринт ОИЯИ Р-2387, Дубна, 1965.
4. Б.В.Василишин, И.Б.Иссинский, В.А.Михайлов. ОИЯИ 9-7498, Дубна, 1973.
5. Б.В.Василишин, Е.М.Кулакова. ОИЯИ, 9-6720, Дубна, 1972.
6. Б.В.Василишин, Е.М.Кулакова, В.А.Михайлов. ОИЯИ, 9-7670, Дубна, 1974.

*Рукопись поступила в издательский отдел
28 июня 1974 года.*