

Расчет параметров системы медленного вывода из У-70 для увеличения эффективности вывода

В.В. Комарова, Ю.С. Федотов
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Введение

Размер устойчивой области при фиксированной величине резонансной гармоники для нелинейного резонанса 3-го порядка зависит от величины расстройки. Для разных амплитуд фазовые траектории, по которым частицы движутся в резонансе, разделены (рис.1).

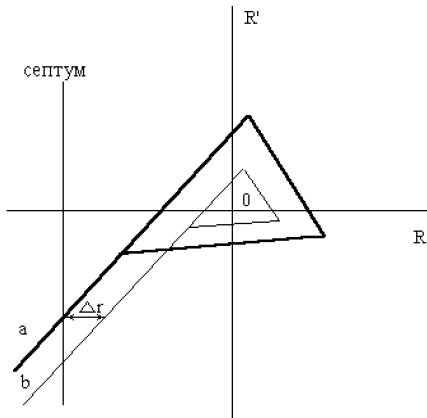


Рис. 1: Треугольник устойчивости для частиц с большими (а) и малыми (б) амплитудами.

Ширина резонанса зависит от начальных размеров пучка и равна

$$\delta_{рез} = \frac{|a|_0 \cdot |A_m|}{2\sqrt{3\pi\sqrt{3}}}, \quad (1)$$

где $|a|_0$ — начальная амплитуда частицы; $|A_m|$ — амплитуда резонансной гармоники.

Наведение на резонанс может осуществляться двумя способами: изменением частоты с помощью системы коррекции частот бетатронных колебаний и смещением пучка с помощью изменения магнитного поля при ненулевой хроматичности. При наведении полем центр пучка при наведении на резонанс смещается, и выбором соответствующих параметров системы наведения можно совместить фазовые траектории для малых и больших амплитуд. При этом частицы с различными импульсами также движутся по совмещенным траекториям, и отсутствует увеличение эффективного фазового объема выводимого пучка за счет импульсного разброса.

Подберем хроматичность ξ_r так, чтобы при заданной дисперсии $\psi_{\Delta p}$ центр пучка для малых амплитуд сместился на Δr (рис.1), и фазовые траектории для больших и малых амплитуд практически совпали. Необходимое изменение поля при наведении с ненулевой хроматичностью определяется величиной резонансной расстройки

$$-\frac{\Delta B}{B_0} = \frac{\delta_{рез}}{\xi_r}. \quad (2)$$

Смещение пучка при наведении полем определяется как

$$\Delta r = \psi_{\Delta p} \left(-\frac{\Delta B}{B_0} \right). \quad (3)$$

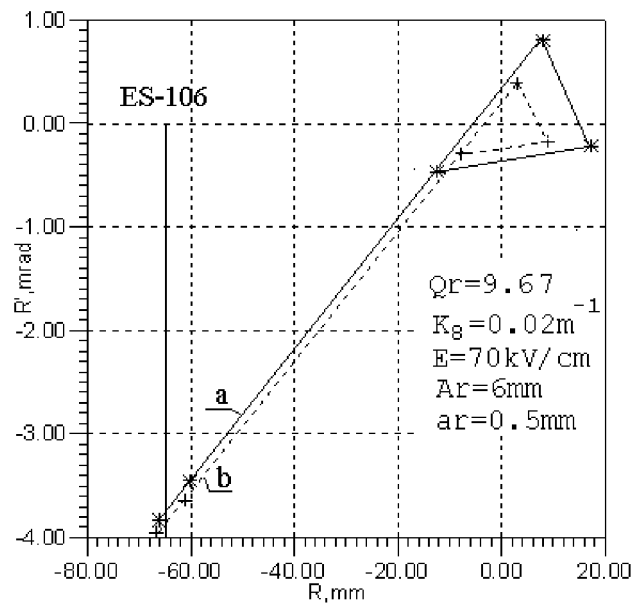
Величина необходимой хроматичности из (2) и (3) равна

$$\xi_r = \delta_{рез} \frac{\psi_{\Delta p}}{\Delta r}. \quad (4)$$

1. Расчет системы наведения для У-70

Для системы медленного вывода У-70 [1] величина резонансной расстройки $\delta_{рез} = -8 \cdot 10^{-3}$, величина дисперсионной функции $\psi_{\Delta p} = 2.5$ м. Из (4) для эмиттansa $\varepsilon = 2$ мм·мрад и расстояния между сепаратрисами $\Delta r = -5$ мм получаем необходимую величину хроматичности $\xi_r = +4$. Численное моделирование процесса наведения при данных параметрах дает практически совмещение сепаратрис для разных амплитуд (рис.2).

Рис. 2: Фазовые траектории для больших (а) и малых (б) амплитуд, полученные в результате численного моделирования.



Необходимая величина тока в системе коррекции хроматичности для получения $\xi_r = +4$ равна $I_{кор} \simeq 240$ А при поле $B_0 = 12000$ Гс и относительной квадратичной нелинейности на краю вакуумной камеры $\frac{\Delta B_2}{B_0} = -0.25\%$ [2]. Величина допустимого тока в системе коррекции хроматичности составляет всего 150 А. Величину необходимого тока в системе коррекции хроматичности удастся значительно снизить при поле $B_0 = 11000$ Гс, при котором $\frac{\Delta B_2}{B_0} = -0.12\%$. Необходимый ток в данном случае составляет 156 А.

2. Потери частиц на электростатическом дефлекторе ЭД-106 и выводном магните СМ-24

Величина потерь на ЭД-106 зависит от углового разброса пучка. При наведении полем значительно уменьшается угловой разброс пучка и осуществляется режим, при котором нет дополнительного увеличения эффективной толщины перегородки, и потери определяются ее геометрической толщиной. Длина электростатического дефлектора $l = 3$ м, а средняя эффективная толщина его равна $h = 0.15$ мм за счет неидеальности расположения проволочек вдоль электростатического дефлектора при толщине проволочки 0.1 мм. Рассматривая различные процессы взаимодействия частиц с веществом перегородки (кулоновское рассеяние, ядерное взаимодействие и ионизационные потери энергии), можно прийти к выводу, что прозрачность его практически равна 0, т.е. почти все попавшие на перегородку частицы теряются.

Если наводить пучок на резонанс изменением частоты бетатронных колебаний, то угловой разброс пучка равен $\Delta r' = 0.3$ мрад. Эффективная толщина увеличится на $\Delta h = \Delta r' \cdot l = 0.9$ мм, и потери составят $\simeq 10\%$. Эффективность вывода зависит также от возможных дополнительных потерь на выводном магните СМ-24. В этом случае они составляют $\simeq 2\%$. Таким образом, суммарные потери на этой трассе составляют примерно 12%. Если же пучок наводится на резонанс изменением поля при положительной хроматичности $\xi_r = +4$, то в этом случае угловой разброс будет существенно меньше и составит $\Delta r' = 0.05$ мрад, а эффективная толщина увеличится на $\Delta h = 0.15$ мм. Для потерь на перегородке электростатического дефлектора получаем оценку $\simeq 2\%$. Потери частиц на выводном магните СМ-24 равны примерно $\simeq 0.5\%$, и суммарные потери составляют $\simeq 2.5\%$.

3. Увеличение эффективности вывода

Уменьшение потерь на СМ-24 возможно осуществить введением дополнительной квадрупольной линзы. Добавка к расстоянию между циркулирующим и выводимым пучком за счет квадрупольной линзы выражается как

$$\Delta r_{24} = -a_{12}^{(1)} a_{12}^{(2)} K \alpha, \quad (5)$$

где $a_{12}^{(1)}$, $a_{12}^{(2)}$ — элементы матриц участков соответственно до и после линзы; K — сила линзы, α — дополнительный угол, получаемый в ЭД-106.

При силе линзы 0.02 м^{-1} , расположенной в 8-м прямолинейном промежутке, и величине $\alpha = -0.3$ мрад при напряженности поля 70 кВ/см величина зазора равна $\Delta r = -8$ мм. Для толщины септума 4 мм зазор гарантирован, и при хорошей настройке можно практически избежать потерь на СМ-24.

Таким образом, наведение пучка на резонанс смещением магнитного поля при положительной хроматичности позволяет значительно снизить потери частиц на электростатическом дефлекторе ЭД-106 и выводном магните СМ-24 и повысить эффективность вывода до 97.5%.

Список литературы

- [1] Максимов А.В. Препринт ИФВЭ 93-90. Протвино, 1993.
- [2] Афонин А.Г., Дианов В.И., Максимов А.В. Препринт ИФВЭ 92-121. Протвино, 1992.