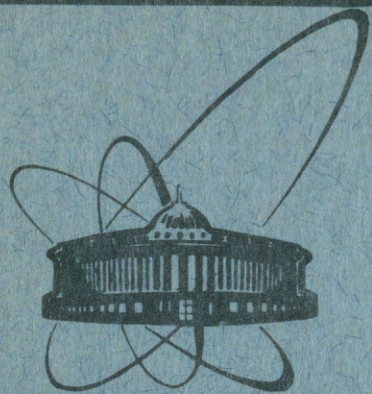


91-203



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P9-91-203

Ю.И.Алексахин, А.Ю.Молодоженцев

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ
ХРОМАТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ ЛИНЗ
ФИНАЛЬНОГО ФОКУСА
МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ С-т ФАБРИКИ

1991

Алексахин Ю.И., Молодоженцев А.Ю.

P9-91-203

Электростатическая коррекция хроматических aberrаций линз финального фокуса монохроматической C-т фабрики

Проанализирована возможность электростатической коррекции хроматических aberrаций линз финального фокуса монохроматической C-т фабрики. Решение электростатической задачи проводилось методом интегральных уравнений для поверхностной плотности заряда. В результате оптимизации размеров и формы электродов сепаратора-секступоля найдена конфигурация, обеспечивающая требуемую величину секступольного градиента и умеренное (≤ 2) отношение максимальной напряженности электрического поля на поверхности к напряженности поля в области пучка.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Alexahin Yu.I., Molodojencev A.Yu.

P9-91-203

Electrostatic Correction of Chromatic Aberration of Final Focus Lenses in Monochromatic C-т Factory

The possibility is discussed of electrostatic correction of the monochromatic C-т factory final focus lenses chromatic aberrations. The electrostatic problem was solved by an integral equation method for the surface charge density. As the result of the performed optimisation of the sextupole-separator electrodes shape and dimensions a configuration is found which provides the required value of the sextupole gradient and a moderate (≤ 2) ratio of the maximum surface electric field strength to the field strength at the beam location.

The investigation has been performed at the Particle Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

ВВЕДЕНИЕ

Хроматические aberrации, то есть зависимость оптических функций и, соответственно, бетатронных частот от энергии частиц, являются серьезной проблемой в кольцевых коллайдерах с мини- β вставками^{/1/}. Как известно, для уменьшения влияния этих aberrаций желателно располагать корректирующие секступольные линзы как можно ближе к месту их зарождения. Однако в установках с нулевой дисперсионной функцией на участках встречи пучков такая возможность отсутствует и aberrации линз финального фокуса приходится устранять с помощью секступолей, размещённых в ячейках магнитной структуры, используя весьма сложные алгоритмы.^{/2/}

В коллайдерах, реализующих принцип монохроматизации по энергии столкновения^{/3/}, дисперсионная функция на участке встречи отлична от нуля, но имеет разные знаки для электронного и позитронного пучков, что исключает возможность использования магнитных секступольных линз до разведения орбит. Однако в установках на небольшие энергии, таких как С - τ - фабрика (энергия частиц 1,5 + 2,5 ГэВ) и В - фабрика (5 ГэВ), можно использовать электростатические или ВЧ - секступоли, причём конструктивно они могут быть совмещены с сепараторами пучков^{/4,5/}.

В настоящей работе рассматриваются основные требования к электростатическим секступолям - сепараторам монохроматической С - τ - фабрики^{/4,5/} и приводятся результаты оптимизации формы их пластин.

КОРРЕКЦИЯ ХРОМАТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ ЛИНЗ ФИНАЛЬНОГО ФОКУСА

Схема С - τ - фабрики, предложенная в работах^{/4,5/}, имеет ряд характерных особенностей:

- монохроматизация энергии столкновения за счёт вертикального разложения пучков по энергии; $\psi_x^* = 0$, $\psi_y^* = \pm 40$ см;
- более сильная фокусировка пучков в месте встречи по горизонтали,

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

чем по вертикали ; $\beta_x^* = 1 \text{ см}$, $\beta_y^* = 15 \text{ см}$;
 - малые значения не только вертикального, но и горизонтального эмиттанса пучков ($\epsilon_x = 3,6 \text{ нм}$, $\epsilon_y = 0,2 \text{ нм}$).

Предполагается также использовать для электронов и позитронов отдельные кольца, расположенные друг над другом ($\Delta y = \pm 70 \text{ см}$), что позволяет генерировать вертикальную дисперсионную функцию на вертикально-отклоняющих магнитах перед участком встречи. Малый горизонтальный размер пучков на участке встречи даёт возможность применить специфическую схему разведения орбит с их предварительным горизонтальным отклонением в электростатических сепараторах $ES1, ES2$ (рис.1).

Поскольку $\beta_x^* \ll \beta_y^*$, линзы финального фокуса ($Q1, Q2$) создают наиболее сильные хроматические aberrации в горизонтальной плоскости - их вклад в горизонтальную и вертикальную хроматичности соответственно равен: $\Delta \xi_x = -4,272$, $\Delta \xi_y = -0,007$ на один участок встречи. Выбранная схема участка встречи допускает эффективную компенсацию горизонтального хроматизма:

- в области сепараторов $ES1$ $\beta_x \gg \beta_y$ (рис.2), что позволяет

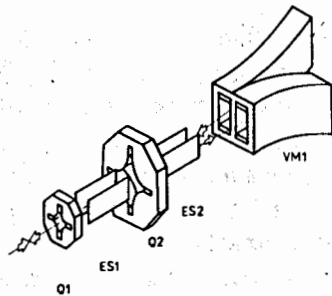


Рис.1

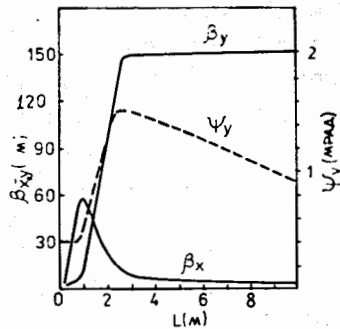


Рис.2

скомпенсировать горизонтальный хроматизм, не увеличивая существенно вертикальный, путем добавления в их поле секступольной составляющей; - поскольку такие сепараторы-корректоры $ES1$, расположенные по разные стороны от точки встречи, разнесены по горизонтальной бетатронной фазе приблизительно на 180° , то вносимые ими в горизонтальные бетатронные колебания нелинейности компенсируют друг друга в четных порядках теории возмущений (см., например, лекцию /6/).

Коррекция хроматизма вертикальных колебаний осуществляется магнитными секступольями после разведения орбит.

Таким образом, задача коррекции горизонтального хроматизма линз финального фокуса может быть решена формированием с помощью пластин сепараторов $ES1$ электростатического поля с потенциалом вида

$$\phi(x, y) = -E_0 x + \frac{k}{2} (x^2 y - \frac{1}{3} y^3), \quad (I)$$

где E_0 - отклоняющее электрическое поле, k - секступольный градиент.

Как показали расчёты /4,5/, для обеспечения допустимой частоты следования банчей 30 МГц достаточно отклоняющее электрическое поле напряжённостью 20 кВ/см , а секступольный градиент, требуемый для коррекции горизонтального хроматизма, равен 6 кВ/см³. На рис.4 показана штрихпунктиром получающаяся для $k = 6,6 \text{ кВ/см}^3$ и $E_0 = 20 \text{ кВ/см}$ форма эквипотенциалов при $\phi(x, y) = 20, 0, -20$ (кВ). На рис.4 показаны также электроды, внутренняя граница которых на некоторой длине точно совпадает с соответствующей идеальной эквипотенциалью.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПЛАСТИН ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА-КОРРЕКТОРА

При выборе реальной формы электродов должен быть учтён ряд требований.

1. Электрическое поле должно соответствовать идеальному распределению (I) в рабочей области $|x| \leq 10\sigma_x \approx 0,5 \text{ см}$, $|y| \leq 10\sigma_y \approx 1 \text{ см}$, где $\sigma_{x,y}$ - среднеквадратичные размеры пучков.

2. Для устранения вероятности пробоев поверхностная напряжённость электрического поля в местах наибольшего сближения электродов должна быть минимальна, не превосходя значения 50 кВ/см.

3. Синхротронное излучение, генерируемое в вертикально отклоняющих магнитах $VM1$ (рис.1), а также в сепараторах и квадрупольях $Q2$, должно, в целях повышения электрической прочности сепараторов и защиты детектора от переотражённых фотонов, проходить между электродами, не попадая на них. Сектор, в который светит приближающийся к месту встречи сгусток частиц, заштрихован на рис.3.

Для решения поставленной задачи использован метод интегральных уравнений для поверхностной плотности заряда /7/, позволяющий с высокой точностью находить высшие производные потенциала электрического поля.

В расчетах границы поперечного сечения электродов (рис.3,4) задавались отрезками аналитических кривых:

AB - идеальная эквипотенциаль (I), соответствующая $\phi = \pm 20 \text{ кВ}$; BC, DA - дуги окружностей радиуса r_c ; CD - прямая линия (либо параллельно перенесенная идеальная эквипотенциаль).

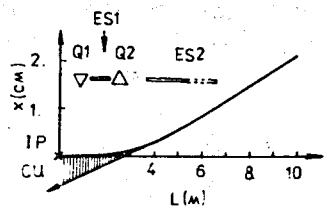


Рис.3

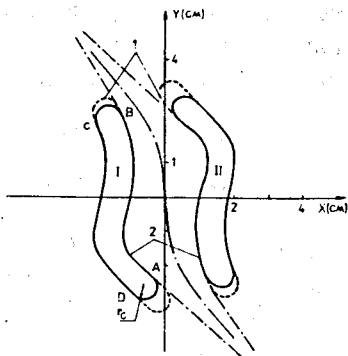


Рис.4

Расстояние электродов от вертикальной плоскости обеспечивает прохождение синхротронного излучения. Качество электростатического поля характеризуется отклонением от идеальных зависимостей:

а) E_y - составляющей $P_y = [(\partial E_y / \partial y) - (\partial E_y / \partial y)_0] / (\frac{\partial E_y}{\partial y})_0$, где $(\partial E_y / \partial y)_0$ - идеальное значение, для выбранной формы потенциала $(\partial E_y / \partial y)_0 = k_y$; б) E_x - составляющей $P_x = (E_0 - E_x) / E_0$.

При идеальном качестве поля $P_x = P_y = 0$.

Варьированию подвергались параметры:

- 1) "полувысота" пластин (Y_A, Y_B);
- 2) радиус закругления пластин (r_2);
- 3) радиус внешней трубы (R_+).

При оптимизации использовались следующие закономерности. Увеличение "полувысоты" пластин приводит к улучшению качества электростатического поля в рабочей области сепаратора, однако при $|Y_A|, Y_B \geq 2,7$ см возникает значительное "перенапряжение" на краях электродов ввиду их сближения. Уменьшение "полувысоты" пластин $|Y_A|, Y_B < 2$ см приводит к ухудшению качества поля P_x в рассматриваемой области. Радиус закругления электродов (r_2) влияет на E_y - составляющую электростатического поля, при уменьшении r_2 её отклонение от идеального значения P_y увеличивается, а кроме этого, появляется опасность пробоя между электродами и внешней трубой. Радиус внешней трубы (R_+) должен быть таким, чтобы отсутствовал пробой между трубой и электродом. На качество поля электростатического сепаратора - секступоля в рабочей области радиус R_+ заметного влияния не оказывает. На рис.4 сплошной линией показана граница электродов электростатического сепаратора-секступоля, предложенных в ранее опубликованной работе [4]. При анализе пластин такой формы и размеров обнаружено, что нет запаса на пробой между электро-

дами. Значение напряженности поля в этом случае на концах пластин составляет $E_{max}^{(2)} \approx 45 + 46$ кВ/см. Удлинение электродов вдоль соответствующих эквипотенциалей (рис.4 (I)) позволяет получить нулевую эквипотенциаль в рабочей области, близкую к идеальной. В этом случае, как показал анализ качества поля (рис.6 (I), рис.7 (I)), и E_x - и

Рис.5: A diagram showing the cross-section of an electrostatic separator with optimized electrode boundaries. It features two curved electrodes labeled I and II, and an outer tube labeled D. Points A, B, C, and D are marked. A vertical axis Y (cm) and a horizontal axis X (cm) are shown.

Рис.5

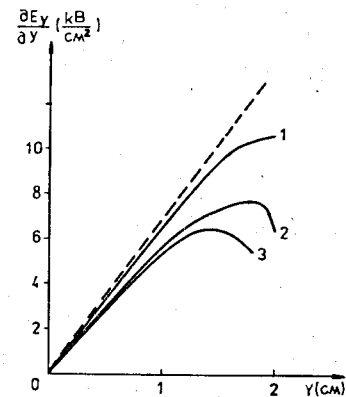


Рис.6

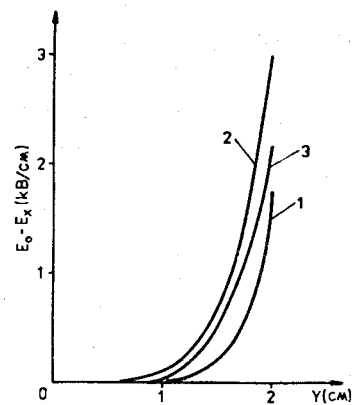


Рис.7

E_y - составляющие электростатического поля близки к необходимому значению, однако не выполняется требование на пробой между электродами. Как видно из рис.4 (I), при удлинении пластин края их сближаются, что приводит к росту напряженности поля $E_{max}^{(1)} \approx 55 + 56$ кВ/см. На рис.5 представлена оптимизированная форма границ электродов сепаратора-секступоля. Как следует из рис.6 (3), рис.7 (3), качество поля в этом случае в рабочей области удовлетворительно. Максимальная напряженность электростатического поля составляет $E_{max}^{(3)} \approx 33$ кВ/см,

так что имеется достаточный запас по пробойному напряжению, который может быть использован, если потребуется, при переходе коллайдера на энергии частиц, превышающие опорное значение 2,5 ГэВ. Полученная форма электродов удовлетворяет и требованию по прохождению синхротронного излучения от пучка, генерируемого в вертикально отклоняющем магните $VM1$ и в электростатическом сепараторе $ES2$. Радиус трубы R_{\pm} должен быть не менее 4 см, при меньших значениях возникает опасность пробоя между трубой и одним из электродов.

Л и т е р а т у р а

1. Chasman R.W., Courant E.D., Month M.—IEEE Trans. NS-22, N.3, 1429, 1975.
2. Montague B.W.—CERN Advanced Accelerat. Physics School, v.I, p.75, 1985, CERN 87-03.
3. Жоленц А.А., Протопопов И.Я., Скринский А.Н.—Труды VI Всесоюзн. сов. по ускор. зар. частиц, ОИЯИ, Дубна, 1978, т.I, с.132.
4. Alexahin Yu.I., Dubrovin A.N., Zholents A.A.—Proc. II European Part. Acc. Conf., 1990.
5. Алексахин Ю.И. и др.—Препринт ИТЭФ 67-90, Москва, 1990.
6. Brown K.L., Servranckx R.V.—SLAC-PUB-3381, 1984.
7. Колечицкий Е.С.—Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1983, 168 с.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 мая 1991 года.