

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

9-84-522

З.В.Борисовская, Е.П.Жидков, Л.А.Смирнова,
И.А.Шелаев, И.П.Юдин

ВЛИЯНИЕ РАЗБРОСОВ
ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОВ И ЛИНЗ
НА ПАРАМЕТРЫ ТРАЕКТОРИЙ ЧАСТИЦ
В УСТАНОВКЕ "СПИН"

1984

I. Магнитная система сверхпроводящего синхротрона ЛВЗ /1/ содержит 24 регулярных ФДО-периода /1/ и 2 согласованных прямолинейных промежутка с набегом фазы $\mathcal{H}-2\pi$. Регулярный период длиной 1,5 м состоит из двух дипольных поворотных магнитов и двух квадрупольных линз типа линз Пановского. Согласованный прямолинейный промежуток содержит две пары согласующих фокусирующих (F) и дефокусирующих (D) линз с квадратной апертурой.

Расчетная частота бетатронных колебаний частиц в синхротроне имеет величину $\nu_x = 7,3$ по горизонтали и $\nu_y = 6,25$ по вертикали.

В работе исследуются влияния разброса эффективных длин дипольных магнитов и эффективных длин и градиентов квадрупольных линз в регулярных периодах и согласованных промежутках на размер поперечного пучка и расчетную частоту бетатронных колебаний.

II. Основой проектирования магнитооптических систем ускорителей заряженных частиц и каналов транспортировки является расчет динамики пучков в линейном приближении. Решение линейных дифференциальных уравнений сводится к линейным преобразованиям с использованием матриц, описывающих каждый элемент синхротронной структуры. Задача решалась при помощи известной программы SYNCH, основу математического аппарата которой составляет расчет матриц преобразования координат частицы при прохождении через элемент синхротронной системы (поворотные магниты, квадрупольные линзы, свободные от поля промежутки). Фазовый объем пучка рассматривался в виде двух некоррелированных эллипсов

$$\epsilon_x = \beta x'^2 + 2\alpha_x \cdot x \cdot x' + \left(\frac{1 + \alpha_x^2}{\beta} \right) \cdot x^2$$

$$\epsilon_y = \beta y'^2 + 2\alpha_y \cdot y \cdot y' + \left(\frac{1 + \alpha_y^2}{\beta} \right) y^2, \quad \text{где } x' = \frac{dx}{ds}, \quad y' = \frac{dy}{ds}.$$

Бетатронные функции α и β есть функции азимутального положения орбиты S. В линейном приближении находились замкнутые орбиты и их параметры в зависимости от расстановки элементов. Подбиралась такая расстановка,

при которой параметры орбит были наилучшими. Таким образом, методом решения большого количества прямых задач решалась обратная задача расстановки магнитных элементов по кольцу.

III. Численное исследование влияния разброса импульсов пучка, допусков на длины и градиенты квадрупольных линз согласованного промежутка на величину максимума β -функции и частоту ν -бетатронных колебаний для установки СПИИ было сделано в работе [2]. Расчеты проводились с учетом проектируемых значений величин, характеризующих элементы магнитной системы.

На рис. 1 представлено распределение эффективных длин дипольных магнитов, полученное в измерениях индукционными катушками при комнатной температуре [3].

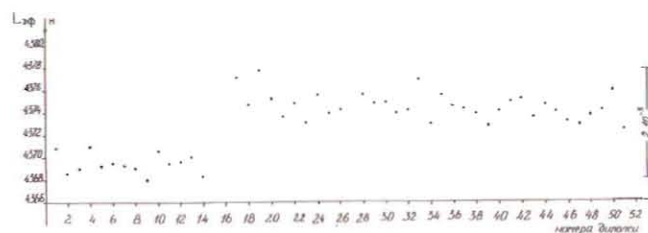


Рис. 1. Длина дипольных магнитов по полю

Аналогичное распределение эффективных длин квадрупольных линз представлено на рис. 2 (а и б). Видно, что разброс эффективных длин диполей составляет $\sim 2.2 \cdot 10^{-3}$, а эффективных длин квадрупольных линз $\sim 6.8 \cdot 10^{-3}$ в относительных единицах.

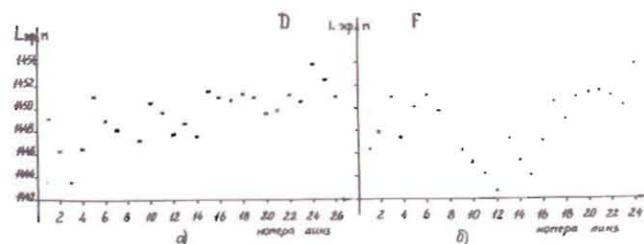


Рис. 2. Длина квадрупольных линз по градиенту:

- а) для дефокусирующих линз D
- б) для фокусирующих линз F

Расчеты замкнутых орбит и их параметров проводились с учетом измеренных эффективных длин и полей. На диаграмме резонансов (рис. 3) точка I соответствует невозмущенной структуре как по линзам регулярных периодов и согласованного промежутка, так и по дипольным магнитам.

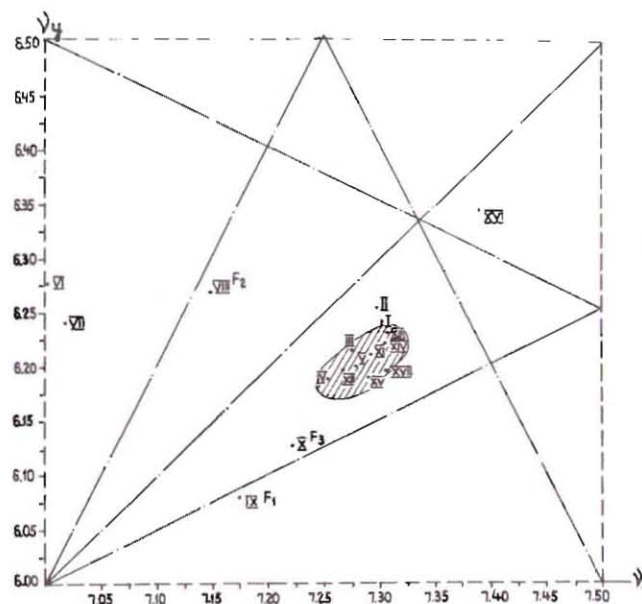


Рис. 3. Диаграмма резонансов

Если в такой системе учесть полученный в измерениях разброс эффективных длин только дипольных магнитов при произвольной, но фиксированной их расстановке по кольцу, то рабочая точка на диаграмме резонансов сместится (рис. 3, точка II). Учет разброса эффективных длин квадрупольных линз регулярных периодов при невозмущенных дипольных магнитах соответствует точке III. Расстановка линз при этом не оптимизирована. При одновременном учете разброса по эффективным длинам дипольных магнитов и квадрупольных линз - рабочая точка IV не выходит за пределы области допустимых значений (заштрихованная область). В пределах этой области лежат все значения рабочих частот бетатронных колебаний при большом числе перестановок дипольных магнитов и линз регулярного периода. Наилучшей является расстановка, при которой магниты

ты и линзы в каждом регулярном периоде расставлены следующим образом (точка У): магниты чередуются – первый с "короткой" эффективной длиной, второй с "длинной" эффективной длиной. При этом длины "коротких" магнитов с возрастанием номера регулярного периода возрастают, а "длинных" – уменьшаются. Квадрупольные линзы в регулярных периодах расставлены следующим образом: F – линза с наименьшим градиентом, D – линза с наибольшим. С возрастанием номера регулярного периода градиент F – линз растет, а D – линз уменьшается.

Поскольку в измерениях индукционными катушками величина эффективной длины магнитов определяется как

$$L_{\text{эп}} = k \frac{B_{11}}{B_{21}}, \quad \text{где } B_{11} - \text{поле, измеренное "длинной" катушкой,}$$

$$B_{21} - \text{поле, измеренное "короткой" катушкой,}$$

$$k - \text{const для данных измерений,}$$

в расчетах учитывался разброс одного из параметров (эффективной длины или градиента).

Численные эксперименты по расчету огибающей пучка с учетом всех проведенных перестановок показали, что искажение замкнутой орбиты при этом не превышает ~ 5 мм (рис. 4).

На рис. 4 представлено поперечное сечение пучка и искажение замкнутой орбиты на фоне поперечного сечения камеры и апертуры дипольных магнитов и квадрупольных линз. Для первого магнита одного из регулярных периодов поперечное сечение пучка и искажение замкнутой орбиты дано на входе в магнит, в центре магнита и на выходе из него.

Поскольку среднее значение эффективных длин квадрупольных линз, полученное в измерениях, отличается от проектного /2/ на 5,2%, то рассмотренные варианты расстановки возможны только при раздельном питании дипольных магнитов, фокусирующих и дефокусирующих линз регулярных периодов. Это обусловлено, с одной стороны тем, что характер насыщения в дипольных магнитах и линзах различный. С другой стороны, для устойчивого движения частиц по орбите в данном конкретном случае необходимо, чтобы градиент в линзах F был несколько выше, чем в линзах D.

На рис. 3 точки VI и VII соответствуют значениям частот бетатронных колебаний в случае изменения тока в линзах F и D регулярных периодов на одинаковую величину. Аналогичная картина наблюдается для линз F и D согласованного промежутка, если значения

эффективных длин отличаются от принятых в работе /2/ на величину $> 1,5\%$.

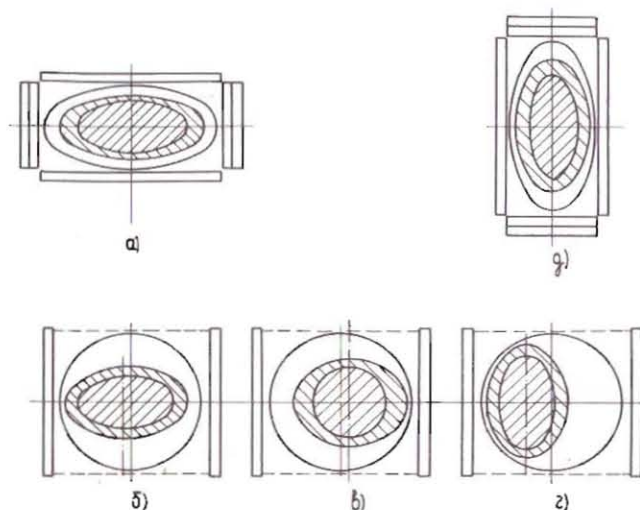


Рис. 4. Поперечное сечение пучка и искажение орбиты при прохождении пучка:

- а) в центре квадруполя F,
- б) на входе первого диполя регулярного периода,
- в) в центре первого диполя регулярного периода,
- г) на выходе первого диполя регулярного периода,
- д) в центре квадруполя D.

На рис. 3 точки VIII, IX, X соответствуют нескорректированным значениям градиента в линзах согласованного промежутка, а точки XI и XII – скорректированным. Если значение градиента одной из линз согласованного промежутка отличается от расчетного значения на величину не более 0,2%, рабочие точки XIII, XIV, XV не выходят за пределы области допустимых значений частот бетатронных колебаний. Точка XIII соответствует изменению градиента в D – линзах, XIV – в F – и D – линзах, XV – в F – линзах согласованного промежутка.

Численные расчеты показали, что изменение градиента в F-линзах согласованного промежутка влияет в большей степени на горизонтальную

частоту бетатронных колебаний ν_x , а изменение градиента в D-линзах - соответственно на ν_y .

Корректировка рабочей частоты бетатронных колебаний изменением величины тока в линзах регулярного периода возможна при отличии эффективной длины дипольных магнитов на $\sim 1,3\%$ (точка ХУ1) от принятой в работе /2/. Точка ХУП соответствует большей на $1,3\%$ эффективной длине дипольных магнитов, но измененным градиентам в линзах F и D регулярного периода.

Таким образом, проведенные расчеты показали необходимость тщательного анализа влияния отклонений характеристик магнитной системы установки СПИН от расчетных значений на параметры пучка. В линейном приближении показана возможность управления параметрами пучка при условии раздельного питания элементов магнитной системы (дипольных магнитов, фокусирующих, дефокусирующих линз регулярных периодов и F-и D- линз согласованного промежутка).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-82-383, Дубна, 1982.
2. Шелаев И.А., Юдин И.Л. ОИЯИ, 9-12346, Дубна, 1979.
3. Шелаев И.А. и др. ОИЯИ, Р9-83-582, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 июля 1984 года.

Борисовская З.В. и др.

9-84-522

Влияние разбросов характеристик магнитов и линз на параметры траекторий частиц в установке "Спин"

Для сверхпроводящего модельного синхротрона на энергию протонов 1,5 ГэВ проведено исследование влияния разбросов эффективных длин дипольных магнитов, а также эффективных длин и градиентов квадрупольных линз в регулярных периодах и согласованных промежутках на размер поперечного пучка и расчетную частоту бетатронных колебаний. Расчеты замкнутых орбит и их параметров проводились с учетом измеренных эффективных длин, полей и расстановки магнитных элементов по кольцу. В линейном приближении показана возможность управления параметрами пучка при условии раздельного питания элементов магнитной системы /дипольных магнитов, фокусирующих, дефокусирующих линз регулярных периодов и F- и D-линз согласованных промежутков/.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Borisovskaya Z.V. et al.

9-84-522

Effect of Magnets and Lenses Characteristics Spread on Particle Trajectories Parameters in the SPIN Installation

The effect of dipole magnet effective lengths and quadrupole lenses effective lengths and gradient spread in regular cells and matched straight insertions of JINR 1.5 GeV proton superconducting model synchrotron on the beam size and betatron oscillation frequency is investigated by means of SYNCH program calculation. Taking into account the measured magnetic fields and effective lengths the calculation of closed orbits and their parameters has been performed depending on magnetic elements mounting in the racetrack. In the linear approximation a possibility of beam parameter operation control provided under separate magnet system element power supply (dipole magnets, focusing, defocusing lenses of regular cells, and of F and D lenses of matched straight insertions) is shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Accelerations and Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984