

ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НУКЛОТРОНА

*И. Л. Аввакумова¹, А. В. Бутенко,
А. Д. Коваленко, В. А. Михайлов, А. В. Тузиков*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В работе рассмотрены проблемы построения виртуальной модели нуклотрона в MADX. Целью работы является уточнение имеющейся модели ускорителя с тем, чтобы результаты расчетов с помощью программного пакета MADX максимально точно воспроизводили имеющиеся экспериментальные данные, полученные в ходе работы нуклотрона в последних сеансах. В ходе анализа влияния значений модельных характеристик на результаты расчетов были выявлены группы параметров, приближающих теоретические расчеты к значениям экспериментальных данных.

Problems connected with the Nuclotron virtual simulation model within MADX are considered. Main purpose of the work is to develop an exact model of the Nuclotron that would make the results of calculation via MADX package as close as possible to experimental data obtained in the last Nuclotron runs. The groups of parameters that make theoretical calculations closer to experimental data are identified during the analysis of the influence of the model characteristics on simulation results.

PACS: 02.70.-c; 29.20.-c

ВВЕДЕНИЕ

Моделирование динамики пучка в нуклотроне с помощью программного пакета MADX велось с учетом классической структуры кольца [1, 2]. При этом было получено следующее соотношение бетатронных частот: $Q_x < Q_y$. Однако в 54-м сеансе работы нуклотрона (2017 г.) измерение частот бетатронных колебаний при работе одного источника токоотбора (т. е. градиенты в квадрупольных фокусирующих и дефокусирующих линзах равны по модулю и противоположны по знаку) дало противоположный результат, т. е. $Q_x > Q_y$.

В связи с несоответствием подобранных с помощью MADX частот бетатронных колебаний с использованием имеющейся виртуальной модели нуклотрона и измеренных в сеансе Q_x и Q_y была поставлена задача об уточнении параметров элементов структуры нуклотрона в MADX.

¹E-mail: avvakumova@jinr.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ НА СООТНОШЕНИЕ БЕТАТРОННЫХ ЧАСТОТ

В первую очередь было рассмотрено влияние всех возможных параметров модели на соотношение частот при условии отсутствия нелинейностей магнитного поля в элементах. Таким образом, варьировались следующие параметры: длины дипольных магнитов и квадрупольных линз, угол влета и вылета из дипольных магнитов, угол поворота квадрупольной линзы относительно продольной оси.

Было показано, что соотношение между Q_x и Q_y меняется только при варьировании угла влета и вылета из дипольных магнитов — величины, обозначаемой в модели нуклотрона как Angle (рис. 1). Измеренные в сеансе значения $Q_x = 7,44$ и $Q_y = 7,35$ были получены при угле влета и вылета, равном $-0,02504$ рад.

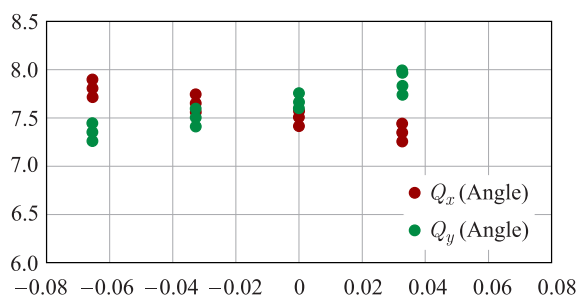


Рис. 1. Зависимость частот бетатронных колебаний от угла влета и вылета из дипольных магнитов

Наличие у прямого дипольного магнита такого большого значения угла влета и вылета частиц невозможно объяснить ошибками изготовления ярма, так как такая «изогнутость» соответствует только секторным магнитам. Такие значения, скорее, характеризуют распределения краевых полей магнитов. В связи с этим потребовалось дальнейшее уточнение параметров виртуальной модели нуклотрона в MADX.

УТОЧНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ НУКЛОТРОНА

Следующий этап связан с предположением о том, что на соотношение бетатронных частот может влиять интеграл краевого поля, обозначаемый в MADX как FINT (fringe field integral). Было показано, что при различных комбинациях Angle для дипольных магнитов и величины FINT достигаются минимальные значения погрешностей рассчитанных значений бетатронных частот относительно измеренных в сеансе (рис. 2).

Таким образом, обнаружено примерное значение FINT, при котором значение Angle можно принять за ноль и при котором ошибки расчета бетатронных частот относительно реальных значений минимальны. Далее были рассмотрены два варианта: в первом случае величина FINT постоянна и не зависит от частот бетатронных колебаний и во втором случае существует корреляция между FINT и $(Q_x; Q_y)$.

Вычисление бетатронных частот при условии постоянства интеграла краевых полей диполей. Для вычисления бетатронных частот по известным управляющим коэффициентам источников питания нуклотрона были введены следующие зависимости между

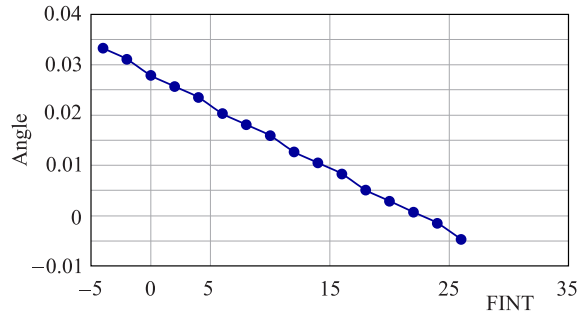


Рис. 2. Область Angle и FINT, в которой погрешности рассчитанных значений минимальны

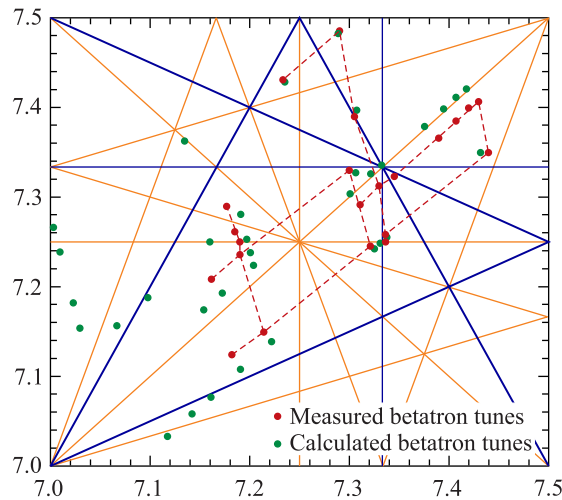


Рис. 3. Диаграмма бетатронных частот при постоянных значениях интеграла краевых полей дипольных магнитов

управляющими коэффициентами k_1 и k_2 и квадрупольными коэффициентами фокусирующих и дефокусирующих линз (k_f и k_d соответственно) через коэффициенты пропорциональности a_f , b_f и a_d :

$$k_f = a_f \cdot k_1 + b_f, \quad k_d = k_f + dk_d, \quad dk_d = a_d \cdot k_2.$$

При фитировании значений FINT и коэффициентов пропорциональности для 21 имеющейся измеренной пары значений бетатронных частот был получен результат, представленный на рис. 3.

Расчитанные точки с некоторой точностью описывают имеющиеся данные. Кроме того, показаны точки, поставленные расчетом в соответствие тем парам значений управляющих коэффициентов источников питания, при которых не удалось измерить значения бетатронных частот в сеансе, что, предположительно, говорит о попадании в резонансные частоты.

Вычисление бетатронных частот при значениях интеграла краевых полей диполей, связанных с квадрупольными коэффициентами. Существование корреляции между ин-

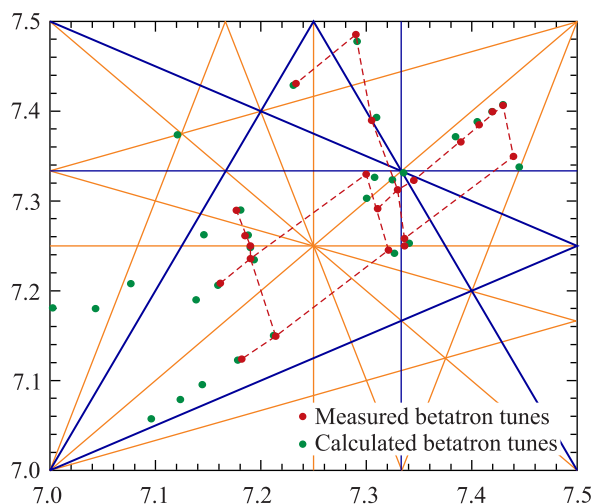


Рис. 4. Диаграмма бетатронных частот при переменных значениях интеграла краевых полей дипольных магнитов

тегралом краевых полей и настройками квадрупольных линз предполагает совместное фитирование FINT и a_f , b_f , a_d для каждой пары $(Q_x; Q_y)$. Получено следующее уравнение зависимости между FINT и k_f и k_d :

$$\text{FINT} = 186,72 k_f + 37,344 dk_d - 132,41.$$

С использованием этого уравнения также были вычислены значения бетатронных частот для случаев предположительных резонансов (рис. 4).

Анализируя рис. 3 и 4, можно заключить, что второй вариант решения задачи о максимально возможном приближении вычисленных частот к измеренным дает более точный результат, чем первый. Кроме того, вычисление частот для управляющих коэффициентов источников питания, при которых не удалось измерить частоты при работе ускорителя из-за, предположительно, попадания в резонансные значения, действительно дает значения Q_x и Q_y , близкие к резонансным.

Благодарности. Авторы работы выражают благодарность В. М. Слепневу и всему коллективу Ускорительного отделения ЛФВЭ ОИЯИ за проведение эксперимента по измерению частот бетатронных колебаний на нуклотроне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Issinsky I., Mikhaylov V., Shchepunov V.* Nuclotron Lattice // Proc. of EPAC 1990. P. 458.
2. *Kovalenko A.* Nuclotron: Status and Future // Proc. of EPAC 2000. P. 554.