

Система вывода пучка для изохронного циклотрона MSC230 для протонной терапии

Седов Леонид Дмитриевич^{1,2}

Попов Дмитрий Всеволодович²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

²Объединенный Институт Ядерных Исследований, НЭОУ ЛЯП, Дубна

Варзарь Сергей Михайлович, к.ф.-м.н.

sedov.ld19@physics.msu.ru

Для нового биомедицинского научно-исследовательского центра ОИЯИ разрабатывается инновационный циклотрон для протонной (включая реализуемую методом FLASH) терапии – проект MSC230 [1]. Проект входит в финальную предпроизводственную стадию. Неизбежной частью этого процесса являются инженерные, механические и производственные ограничения, накладываемые на концептуальный дизайн циклотрона и требующие его адаптации. Следовательно, ранее разработанная система вывода пучка также должна быть подстроена под новую модель и, по возможности, улучшена перед началом производства циклотрона. [2]

Система вывода представляет собой электростатический дефлектор, за которым в траектории пучка следуют два пассивных магнитных канала с компенсаторами [3].

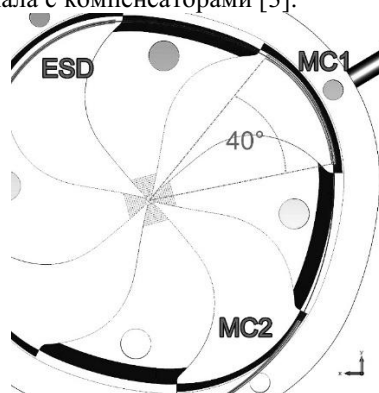


рис. 1. Система вывода пучка из ускорителя. ESD – электростатический дефлектор, MC1 и MC2 – магнитные каналы 1 и 2

Последовательность вывода следующая:

1. Электростатический дефлектор выводит пучок из зоны ускорения посредством воздействия электрическим полем, перпендикулярным к траектории пучка.
2. После прохождения дефлектора на последних 5-10 (в зависимости от режима ускорения) оборотах пучок попадает в первый магнитный канал, который продолжает отклонять пучок, снижая при этом среднюю величину магнитного поля, действующего на него. При этом он формирует градиент поля, который компенсирует горизонтальную дефокусировку пучка, возникшую после прохождения им дефлектора.
3. Второй магнитный канал действует аналогичным образом, после его прохождения пучок выводится из ускорителя.

Наличие магнитных каналов вызывает уменьшение магнитного поля в зоне ускорения вблизи самих каналов, тем самым создавая первую гармонику в азимутальном распределении магнитного поля. Для компенсации нечетных гармоник будут установлены компенсационные каналы. Симуляция компенсационного канала, выполненного как точная копия соответствующего фокусирующего канала и расположенного центрально-симметрично, показала, что последовательное увеличение второй гармоники не вносит какого-либо заметного негативного влияния на пучок. Среднее магнитное поле урегулируется увеличением азимутальной протяженности секторов вблизи зоны вывода [3].

В качестве примера рабочей модели электростатического дефлектора можно рассмотреть устройство, используемое в ускорителе SC200. Данный проект был создан в коллаборации JINR-ASIPP с Институтом физики плазмы, Хэфэй, КНР. Он разрабатывался с 2016 года и был изначально задуман, как сверхпроводящий циклотрон для протонной терапии [4]. Производство циклотрона встретило некоторые технические трудности, которые в основном возникали ввиду большой величины среднего магнитного поля, и над проектом в настоящий момент продолжается работа [5]. В проекте MSC230 оказалось целесообразным использовать преимущества конструкции данного образца, при этом предприняв попытки избавиться от недостатка – высокой вероятности пробоев напряжения ввиду особенностей геометрии и большой величины поля.

Список публикаций:

- [1] Karamyshev O. et al. JINR projects of cyclotron for proton therapy //Dimensions (height× diameter). – 2019. – T. 1000. – №. 1.7. – С. 4.
- [2] Sedov L. D. et al. The Extraction System Adaptation for MSC230 Cyclotron Final Engineering Design //Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2024. – T. 21. – №. 4. – С. 757-760.
- [3] Karamysheva G. et al. BEAM DYNAMICS SIMULATIONS IN THE DUBNA SC230 SUPERCONDUCTING CYCLOTRON FOR PROTON THERAPY. – 2019.
- [4] Karamysheva G. et al. Compact superconducting cyclotron SC200 for proton therapy //proc. Cyclotrons and Their Applications 2016. – 2016. – С. 371-373.
- [5] Huang X. et al. Optimization and experiment progress on electrostatic deflector of SC200 superconducting proton cyclotron //2020 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD). – IEEE, 2020. – С. 1-2.