

## УДАРНЫЙ МАГНИТНЫЙ КИКЕР ДЛЯ ВЫВОДА ИОННОГО ПУЧКА ИЗ НУКЛОТРОНА УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА NICA

*А. П. Козлов, М. П. Лепкин, И. Н. Репкин, А. И. Сидоров<sup>1</sup>,  
А. В. Тузиков, В. С. Швецов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлены общая схема расположения, требования к основным элементам, конструкция основных элементов, общая конструкция и расчет магнитных полей кикера для вывода пучка из нуклотрона.

The paper presents the general layout, requirements for the main elements, the design of the main elements, the overall design and calculation of the magnetic fields of the Nuclotron extraction kicker.

PACS: 29.27.Ac

### ВВЕДЕНИЕ

Система быстрого вывода тяжелоионных пучков из нуклотрона включает в себя два магнита Ламбертсона и ударный магнит (кикер). С помощью системы реализуется быстрый вывод пучка ионов из нуклотрона. Ударный магнит используется для смещения пучка к магниту Ламбертсона. Магниты Ламбертсона служат для вертикального перевода пучка в медианную плоскость коллайдера. Схема системы вывода показана на рис. 1.

Для быстрого горизонтального вывода пучка из нуклотрона разработан кикер, в котором импульсное магнитное поле создается при прохождении импульса тока через двухпроводную линию и наведенным током в параллельном ей заземленном медном экране. Двухпроводная линия и медный экран кикера располагаются вдоль орбиты пучка перпендикулярно к его медианной плоскости. Импульсный ток, проходящий в них, формирует вертикальную компоненту магнитного поля, которая создает горизонтальную силу, отклоняющую пучок.

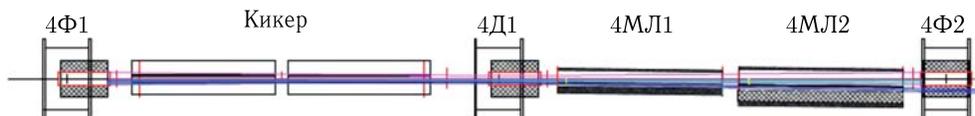


Рис. 1. Размещение элементов системы вывода пучка из нуклотрона (вид сверху). Обозначения: 4Ф1, 4Д1, 4Ф2 — квадрупольные линзы; 4МЛ1, 4МЛ2 — магниты Ламбертсона

<sup>1</sup>E-mail: asid@jinr.ru

## КИКЕР

Кикер представляет собой систему сосредоточенного типа. Основные параметры кикера представлены в таблице. Конструктивно кикер состоит из двух секций, соединенных последовательно (рис. 2). В каждой секции установлены двухпроводная линия и проводящий экран. Двухпроводная линия представляет собой две параллельные друг другу медные полосы (токопроводы) шириной 22 мм и толщиной 2 мм. Экран — это медный профилированный лист трапецеидальной формы, имеющий габариты 1250 × 130 × 2 мм. Расположение двухпроводных линий относительно экранов в секциях кикера показано на рис. 3.

Двухпроводная линия и экран каждой секции закрепляются на отдельном силовом каркасе с помощью опорных керамических изоляторов. Токопроводы и экраны

Основные параметры кикера

| Параметр                                        | Значение       |
|-------------------------------------------------|----------------|
| Энергия инъекции ( $Au^{+79}$ ), ГэВ/нуклон     | 1–3,9          |
| Длина магнита, мм                               | 1250 × 2       |
| Угол удара, мрад                                | 8,4            |
| Амплитуда магнитного поля, Тл                   | 0,13           |
| Область прохождения пучка, мм                   |                |
| первая секция                                   | 27(Н) × 12(В)  |
| вторая секция                                   | 21(Н) × 16(В)  |
| Размеры апертуры, мм                            |                |
| первая секция                                   | 102(Н) × 39(В) |
| вторая секция                                   | 79(Н) × 51(В)  |
| Частота следования импульсов, Гц                | 0,25           |
| Максимальный ток в импульсе, кА                 | 27             |
| Собственная индуктивность кикера, нГн           | 600            |
| Однородность магнитного поля в области пучка, % | ± 1,0          |

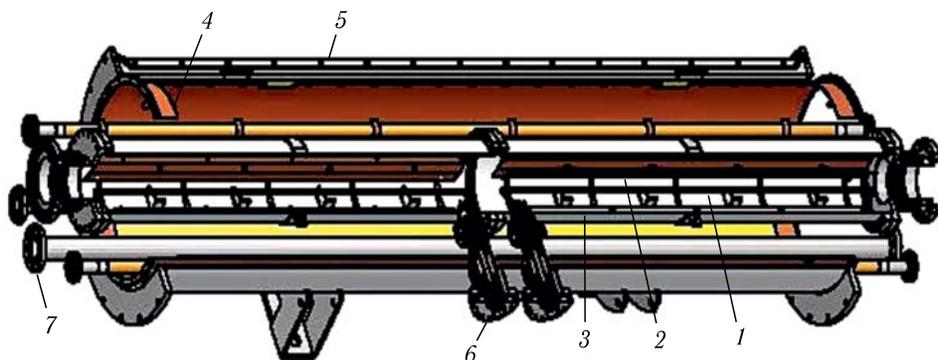
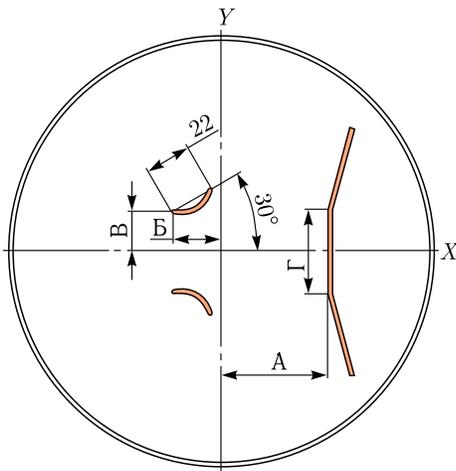


Рис. 2. Общий вид компоновки кикера: 1 — двухпроводная линия; 2 — экран; 3 — ионопровод; 4 — азотный экран; 5 — внешний вакуумный кожух; 6 — высоковольтный ввод; 7 — гелиевый трубопровод



| Секция, мм | Параметр |    |     |    |
|------------|----------|----|-----|----|
|            | А        | Б  | В   | Г  |
| 1          | 51       | 18 | 9   | 40 |
| 2          | 41       | 23 | 9,5 | 40 |

Рис. 3. Схема расположения двухпроводных линий и экранов в сечениях кикера

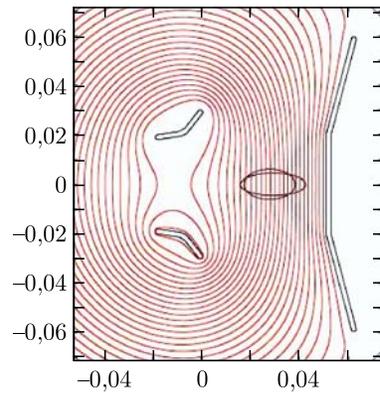
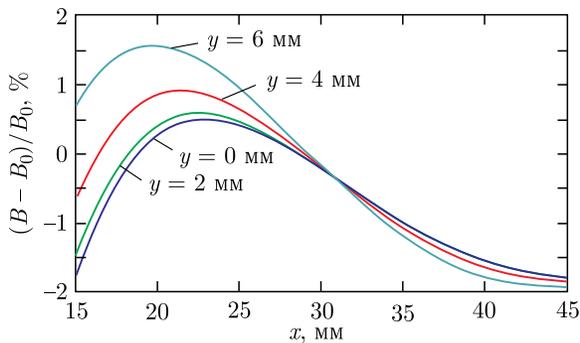


Рис. 4. Распределение относительного магнитного поля в апертуре кикера для различных величин  $y$  и силовые линии магнитного поля в апертуре кикера

установлены с необходимым зазором по вертикали и горизонтали в соответствии с размерами аперттуры циркулирующего пучка. Силовые каркасы обеих секций устанавливаются в нержавеющей трубе — ионопроводе — с внутренним диаметром 200 мм и длиной 2,7 м.

Однородность магнитного поля в области пучка (таблица), как показали расчеты, не превышает 2,0%, что вполне приемлемо с точки зрения роста эмиттанса выводимого пучка. Распределение магнитного поля в центре кикера показано на рис. 4. Расчеты сделаны для ионопровода с внутренним диаметром 200 мм и толщиной 2 мм. Ионопровод на регулируемой подвеске крепится к внешнему вакуумному кожуху, который отделен от ионопровода азотным экраном (см. рис. 2). Азотный экран обеспечивает низкую температуру в ионопроводе и предохраняет от нагрева гелиевые магистрали, которые проходят между экраном и ионопроводом. Тепловыделения в токопро-

водах двухпроводных линий кикера незначительны при частоте повторений импульсов 0,25 Гц. Расчеты показали, что температура ионопровода не поднимается выше  $-160^{\circ}\text{C}$  в рабочем режиме кикера (при температуре азотного экрана  $-195^{\circ}\text{C}$ ). Для кикера не предусмотрена локальная вакуумная система для поддержания необходимого вакуума. Рабочий вакуум в ионопроводке на уровне  $10^{-9}$  Торр, а также в изоляционном вакуумном объеме, между ионопроводом и внешним кожухом, на уровне  $10^{-7}$  Торр обеспечивается вакуумными системами примыкающих к кикеру устройств и низкой температурой в нем.

Импульсное питание подается в кикер через высоковольтные цанговые вводы [1]. При переводе нуклотрона в рабочий режим его системы, в том числе и кикер, охлаждаются до низких температур. В процессе захлаживания ионопровод смещается по отношению к внешнему вакуумному кожуху, который находится при комнатной температуре. Расчетное смещение ионопровода составляет  $\sim 5\text{--}6$  мм. Оно может вызвать поломку изоляторов вводов и разгерметизацию кикера.

По этой причине возникла необходимость разработать высоковольтный ввод, соединяющий внешний кожух и ионопровод, с возможностью демпфировать возникающие смещения как при охлаждении, так и при теплении кикера. Для компенсации температурного смещения используются модернизированные высоковольтные цанговые вводы с подвижными внутренним и внешним проводниками [1], рис. 5. Их конструкция аналогична конструкции цангового ввода инжекционного кикера [2], но отличается от нее конструкцией цанг. В модернизированном вводе шаровые адаптеры заменены на цанги, а трубчатые цанги — на сплошные трубчатые проводники. Сплошные трубчатые проводники перекрывают щели цанг и, соответственно, устраняют полость, которая существует в цанговом вводе инжекционного кикера и является областью эмиссии электронов, инициирующей пробой. За счет изменения конструкции цанг модернизированный ввод имеет более высокую электрическую прочность и обеспечивает меньший теплоприток от внешнего кожуха к ионопроводу.

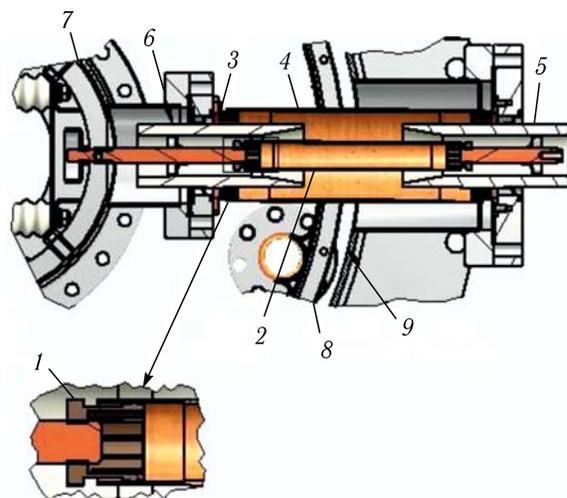


Рис. 5. Высоковольтный ввод: 1 — внутренняя цанга; 2 — внутренний сплошной трубчатый проводник; 3 — внешняя цанга; 4 — внешний сплошной трубчатый проводник; 5, 6 — изоляторы; 7 — ионопровод; 8 — азотный экран; 9 — внешний вакуумный кожух

Каждая секция кикера запитывается отдельным импульсным генератором. Генератор соединяется с секцией кикера с помощью кабельной сборки, состоящей из пяти кабелей типа M1-TYPE (Vagex Imaging Corporation), через высоковольтный цанговый ввод. Для того чтобы создать однонаправленное поле в кикере, секции кикера запитываются разнополярными генераторами. Конструктивно цанговые вводы расположены посередине кикера, симметрично относительно секций кикера. Реализация идеи каркасной конструкции кикера позволила минимизировать индуктивность его разрядной цепи и, соответственно, уменьшить падение напряжения на ее элементах. Для того чтобы создать необходимую величину магнитного поля в кикере 0,13 Тл, в его разрядной цепи формируется колоколообразный импульс тока амплитудой  $\sim 27$  кА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голубев И. И. и др.* Высоковольтный цанговый ввод ударного магнитного кикера для вывода пучка ионов из нуклотрона ускорительного комплекса NICA // Письма в ЭЧАЯ. 2023. Т. 20, № 4. С. 1006.
2. *Сидоров А. И., Тузиков А. В., Швецов В. С., Голубев И. И., Козлов А. П., Лепкин М. П.* Высоковольтный цанговый ввод инжекционного кикера нуклотрона // Письма в ЭЧАЯ. 2020. Т. 17, № 4. С. 543–546.

Получено 18 ноября 2022 г.