

УДАРНЫЙ МАГНИТ СИСТЕМЫ СБРОСА ПУЧКА ИЗ КОЛЛАЙДЕРА NICA

В. С. Александров¹, А. В. Тузиков, А. А. Фатеев

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Предлагается вариант ударного магнита для системы сброса пучка из коллайдера NICA. Проведена оптимизация размеров и формы электродов модулей магнита. Выбранная конструкция обеспечивает требуемую однородность магнитного поля и минимизирует энергозатраты системы питания.

The variant of a kicker magnet for a beam dumping system of the NICA collider is offered. Optimization of the sizes and form of electrodes in modules of a magnet is performed. The chosen design provides the required uniformity of magnetic field and minimizes the energy consumption of a power supply system.

PACS: 41.85.Ar; 41.85.Lc

ВВЕДЕНИЕ

В Объединенном институте ядерных исследований продолжают разработку и создание ионного коллайдера NICA [1]. Для быстрой эвакуации пучков из коллайдера в его кольцах предусматриваются две системы сброса пучка, включающие в себя ударный магнит (кикер) и септум-магнит. Ударные магниты размещаются в прямолинейных промежутках арки полукольца E и служат для заброса пучка в септум-магниты. Полная длина магнита $L = 4,5$ м. Угол отклонения пучка в ударном магните $\alpha = 11,2$ мрад. Требуемая величина магнитного поля — до 0,12 Тл с однородностью $\pm 5\%$ по поперечному сечению области сброса. Ударный магнит разбит на несколько одинаковых модулей. Вакуумные боксы $\varnothing 240$ мм с модулями ударных магнитов устанавливаются внутри криостата коллайдера.

1. МОДЕЛЬ И ПАРАМЕТРЫ УДАРНОГО МАГНИТА

Рассматривается ударный магнит, состоящий из трех одинаковых по длине модулей. Число модулей выбрано из условий оптимальности системы питания магнита. Питание импульсное. Длительность переднего фронта импульса — 130 нс, плато — 1,8 мкс.

¹E-mail: aleks@jinr.ru

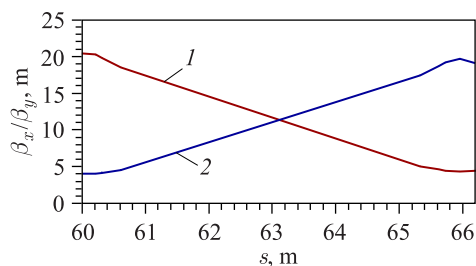


Рис. 1. β -функции в области ударного магнита: 1 — горизонтальное направление; 2 — вертикальное

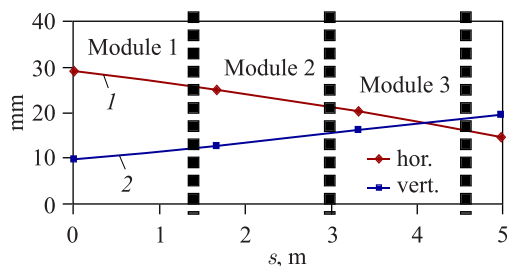


Рис. 2. Полуразмеры области формирования поля: 1 — горизонтальное направление; 2 — вертикальное

Таблица 1. Области формирования поля

Область и расстояние	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3
Горизонтальная	± 30	$-22 \div +32$	$-10 \div +42$
Вертикальная	± 14	± 18	± 20
d (не менее), мм	60	64	84

Пусть магнитное поле модуля создается парой симметрично расположенных относительно оси циркулирующего пучка пластин с противоположным направлением тока. В первом модуле расстояние между пластинами задано: $d = 60$ мм. Тогда в последнем (третьем) модуле d должно увеличиться на αL и составить примерно 110 мм. Это требует не только существенного увеличения (в 1,95 раза) необходимых значений токов, но и ширины h_1 пластин для компенсации возрастающей неоднородности поля. Эти факторы, в свою очередь, приводят к дополнительному повышению необходимого напряжения.

С целью минимизации энергозатрат воспользуемся результатами работы [1], согласно которой импульсный разброс в пучке rms $\Delta p/p = \pm 1,5 \cdot 10^{-3}$, аксептанс составляет 40π мм · мрад, β -функции на длине ударного магнита меняются, как показано на рис. 1. Тогда, учитывая дисперсию, получим, что полуразмеры области поля с требуемой однородностью магнитного поля ведут себя, как показано на рис. 2.

Выбирая максимальные значения размеров областей на концах модулей, получаем не только меньшие значения областей, но и меньшие размеры поперечного сечения модулей (табл. 1). При этом имеем необходимый коэффициент увеличения тока в модуле 3 $\approx 1,4$.

2. МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Поскольку длительность импульса тока в ударном магните не превышает 2 мкс, то имеет место сильный скин-эффект (для меди — доли миллиметра). Это позволяет проводить оптимизацию поперечных размеров и формы пластин (аналогично работе [2]) в электростатическом приближении с помощью пакета POISSON [3] в двумерной модели и добиваться требуемого распределения горизонтальной компоненты электрического поля. Такой подход дает возможность не только значительно ускорить расчеты, но и учитывать распределение зарядов (читай — тока) по поверхности проводников и влияние внешнего экрана. Толщина пластин в расчетах — 4 мм.

2.1. Первый модуль. На рис. 3 приведены простейший вариант поперечного сечения ударного магнита (рис. 3, *a*) с $h1 = d = 60$ мм и соответствующие ему распределения горизонтальной компоненты электрического поля (рис. 3, *б*) в области сброса пучка.

Так как распределения симметричны относительно центра области сброса, на рис. 3, *б* показано поле в ее части, выделенной на рис. 3, *a*. Большие темные кружки соответствуют значениям поля на границе области. Полный разброс значений поля в области сброса $\Delta E/E = (344-312)/328 \approx 10\%$.

Значительно улучшить качество поля можно при использовании геометрии пластин, показанной на рис. 4, *a*. Практически в тех же габаритах имеем распределение поля (рис. 4, *б*) с однородностью $\Delta E/E = (340-327)/333,5 \approx 4\%$.

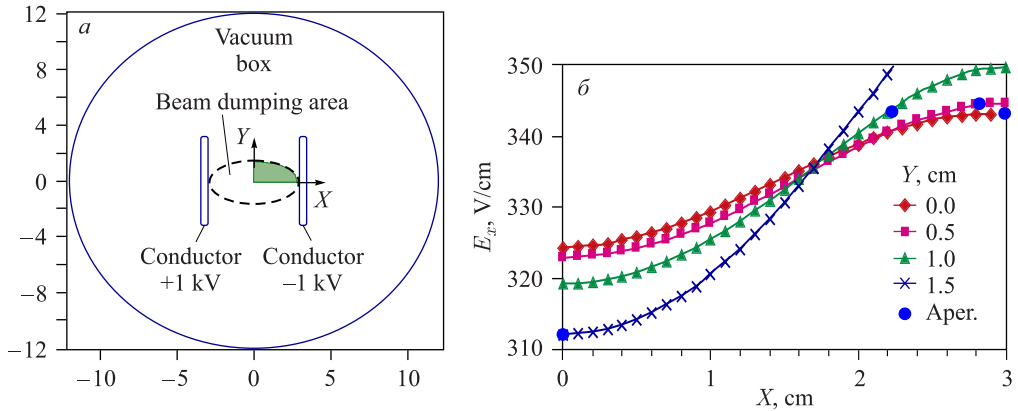


Рис. 3. *a*) Поперечное сечение магнита: $h1 = d = 60$ мм. *б*) Распределения электрического поля в области сброса пучка

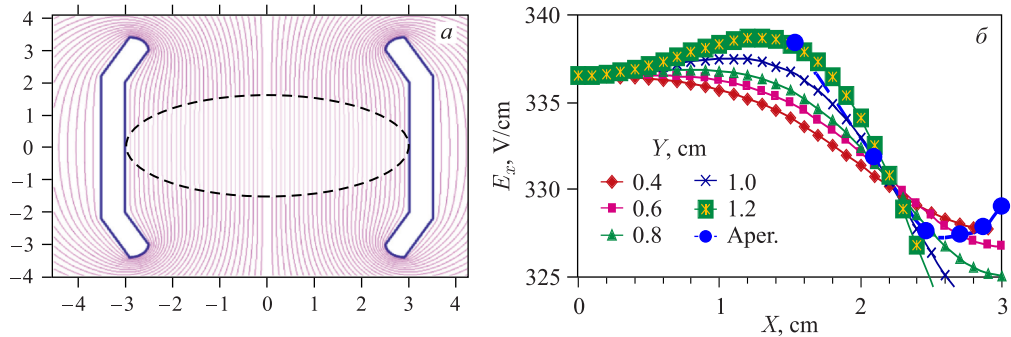


Рис. 4. *a*) Предлагаемая форма пластин: $h1 = 68$ мм, $d = 60$ мм. *б*) Распределения электрического поля в области сброса

2.2. Второй модуль. Такая же форма пластин с $d = 64$ мм (рис. 5, *a*) позволяет получить в области сброса второго модуля распределение с однородностью поля $\Delta E/E = (318-307)/312,5 = 3,5\%$ (рис. 5, *б*).

2.3. Третий модуль. Для модуля 3 при той же форме пластин и значительно большей горизонтальной области имеем неудовлетворительную однородность: $\Delta E/E = (255-224)/239,5 = 13\%$ (рис. 6).

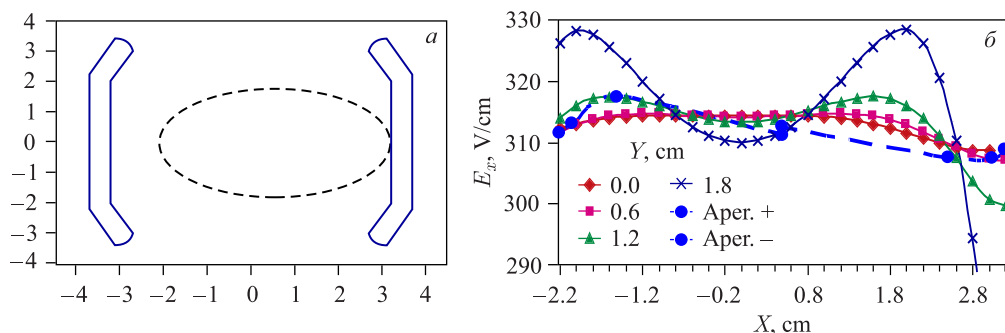


Рис. 5. а) Предлагаемая форма пластин: $h_1 = 68$ мм, $d = 64$ мм. б) Распределения электрического поля в области сброса

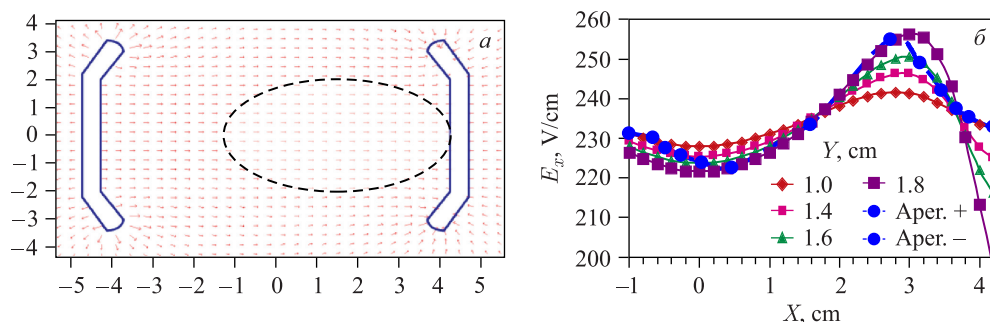


Рис. 6. а) Форма пластин модуля 3: $h_1 = 68$ мм, $d = 85$ мм. б) Распределения электрического поля в области сброса

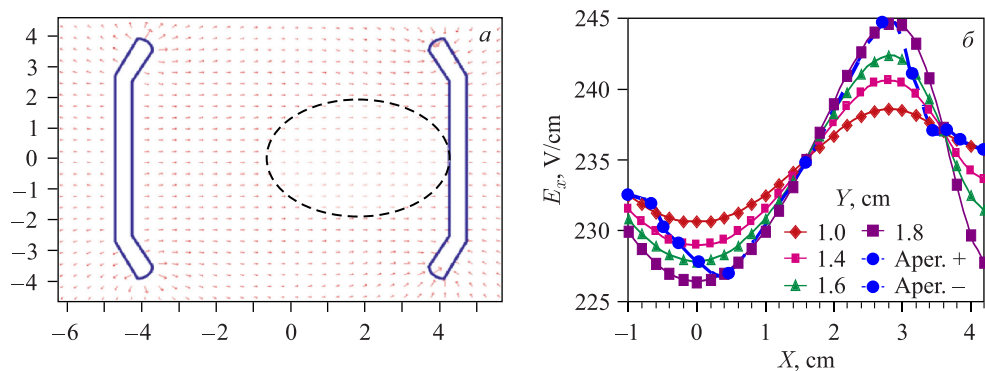


Рис. 7. а) Предлагаемая форма пластин: $h_1 = 78$ мм, $d = 85$ мм. б) Распределения электрического поля в области сброса

Таблица 2. Параметры модулей

Модуль	h_1 , мм	h_2 , мм	d , мм	δ , мм	$\Delta E/E$, %
1	68	40	60	5	4
2	68	40	64		3,5
3	78	50	85		7,6

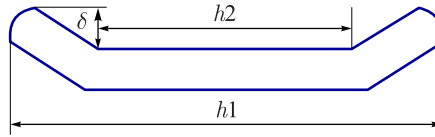


Рис. 8. Поперечное сечение пластины

Для получения необходимой однородности поля потребовалось увеличить поперечный размер пластин на 10 мм. Результаты показаны на рис. 7: $\Delta E/E = (245-227)/236 = 7,6\%$.

В табл. 2 приведены основные параметры модулей ударного магнита, а на рис. 8 показано поперечное сечение пластины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчетов выбран вариант ударного магнита для системы сброса пучка из коллайдера NICA. Проведена оптимизация размеров и формы поперечного сечения магнита, состоящего из трех отдельных модулей. Выбранная конструкция обеспечивает требуемую однородность магнитного поля и уменьшает на $\sim 50\%$ энергозатраты системы питания благодаря учету изменений параметров пучка на длине магнита.

Благодарности. Авторы благодарны сотруднику ЛФВЭ ОИЯИ А. В. Филиппову за техническую помощь при выполнении данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kozlov O. et al. NICA Collider Lattice Optimization // Proc. of Russ. Particle Accelerator Conf. (RuPAC-2016), St. Petersburg, Russia, 2016. P. 166–168.
2. Aleksandrov V., Fateev A.A., Tuzikov A. The Nonsymmetrical Variant of the Nonferromagnetic Extraction Kicker Magnet of the NICA Booster // Ibid. P. 566–568.
3. POISSON Program. Los Alamos Accel. Group. LA-UR-87-115. 1987.