

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ КОРРЕКТОР ОРБИТЫ УСТАНОВКИ GALS

В. И. Лисов¹, Н. Ю. Казаринов, С. Г. Земляной, Г. В. Мышинский

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Электростатический корректор является составной частью масс-сепаратора установки GALS и используется для корректировки пучка однозарядных ионов, выходящих из анализирующего магнита. Представлены результаты разработки корректора и его расчет.

The electrostatic corrector is a component part of the mass separator of the GALS facility and is used to correct the beam of single-charged ions emerging from the analyzing magnet. The results of the corrector development and its calculation are presented.

PACS: 29.20.dg; 07.75.+h

ВВЕДЕНИЕ

Циклотронный комплекс У-400М является одной из базовых установок Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований. По мере эксплуатации ускорителя была создана разветвленная система каналов транспортировки пучка. На этих каналах размещается ряд экспериментальных установок, одна из которых GALS.

GALS (GAs cell Laser ionization and Separation) — экспериментальная установка (рис. 1) для онлайн-сепарации продуктов реакции с помощью селективной лазерной ионизации, предназначенная для исследования тяжелых нейтронно-избыточных изотопов [1]. Нейтронно-избыточные изотопы тяжелых ядер производятся в мишени в низкоэнергетических (энергия пучка от 5 до 10 МэВ/нуклон) реакциях многонуклонных передач. Тонкая мишень, которая представляет собой фольгу толщиной примерно 300 мкг/см², расположена на входе газовой ячейки. Продукты реакции замедляются и нейтрализуются после столкновений с атомами буферного газа. В качестве буферного газа используется чистый Ag или He. Затем искомые атомы с заданным значением Z селективно ионизируются с помощью двух- или трехступенчатого лазерного облучения с соответствующими длинами волн. Эти ионы, наряду с другими нейтральными атомами, формируются с помощью радиочастотной системы (SPIG) в ионный пучок, ускоряются до энергии 40 кэВ и движутся через систему ионопровода и масс-сепаратор к детекторам.

В данной статье представлены результаты разработки электростатического корректора, который является составной частью масс-сепаратора установки GALS и предназначен для коррекции орбиты магнитного сепаратора.

¹E-mail: lisov@jinr.ru

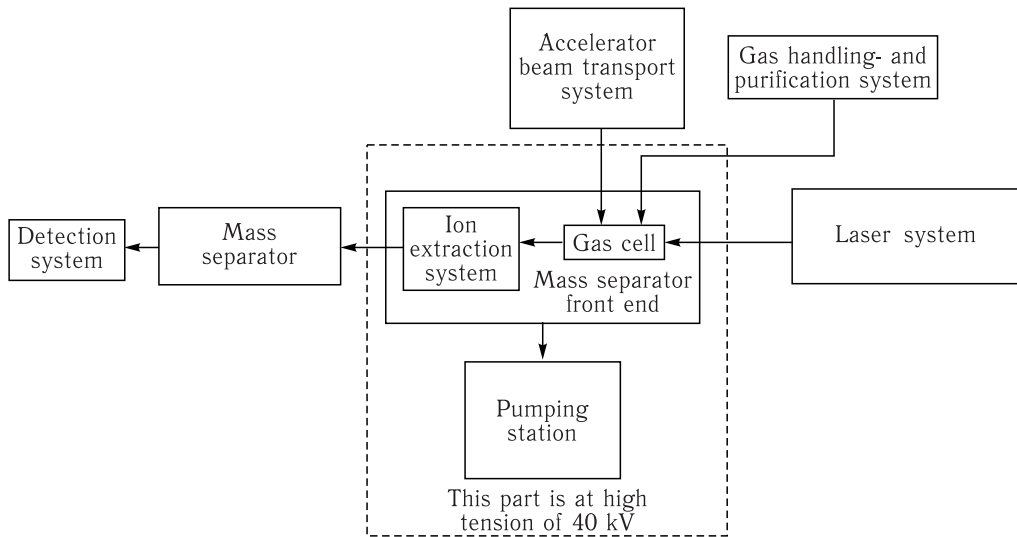


Рис. 1. Блок-схема установки GALS

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ КОРРЕКТОРА

Корректор должен обеспечить коррекцию пучка, максимальный корректируемый угол $x'_{\max} = 11,2$ мрад (для $A/Z = 270$). Также, согласно требованию, длина устройства не должна превышать 230 мм. Корректор имеет два потенциальных электрода U_1 (-), U_2 (+) и заземленный корпус цилиндрической формы (0), формирующие необходимое распределение электрического поля в рабочей области. Прототипом послужил электростатический цилиндрический дефлектор установки GALS [2, 3].

Рассматривались два варианта конструкции устройства, с плоскими и цилиндрическими отклоняющими пластинами (потенциальные электроды). Параметры отклоняющих пластин представлены в табл. 1. Для трехмерного расчета поля была построена компьютерная модель (рис. 5) в программе OPERA Tosca с использованием модуля Electrostatic [4].

Таблица 1. Основные параметры отклоняющих пластин

Параметр	Плоский корректор	Цилиндрический корректор
Длина, мм	150	150
Высота, мм	100	116
Толщина, мм	10	10
Расстояние между пластинами, мм	100	110 (минимальное)
Количество пластин	2	2
Напряжение на обкладках, В	± 300	± 300

МОДЕЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА

Для определения эффективной длины в рабочей области были выбраны три расчетные линии (табл. 2). Линия 1 проходит в центре рабочей области, линия 3 лежит на краю рабочей области (см. рис. 2, 3, 6, 7).

Таблица 2. Положение расчетных линий в рабочей области

Линия	Положение в рабочей области, мм		
	x	y	z
Линия 0×0	0	-243-243	0
Линия $17,5 \times 2,5$	17,5	-243-243	2,5
Линия 31×5	31	-243-243	5

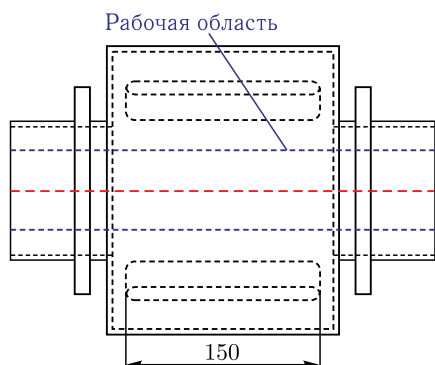


Рис. 2. Вид рабочей области между пластинами корректора (вид сверху)

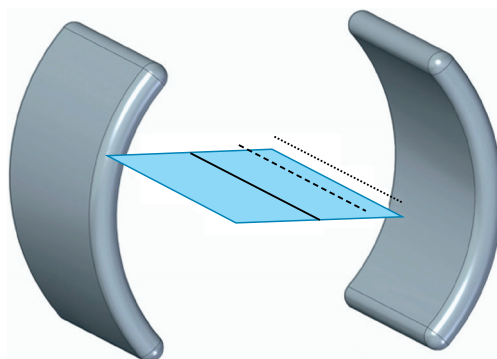


Рис. 3. Расчетные линии, расположенные в рабочей области между пластинами

Эффективная длина (табл. 3) рассчитывается следующим образом:

$$L_{\text{eff}} = \frac{d}{U} \int_{-243}^{+243} E dS, \quad (1)$$

где d — величина зазора между пластинами; U — напряжение на пластинах; E — поле вдоль расчетной линии (рис. 4). Напряжение, соответствующее коррекции максимального угла:

$$U = \frac{2d}{L_{\text{eff}}} U_{\text{ac}} x'_{\text{max}} = \frac{2 \cdot 110 \text{ мм}}{94,9 \text{ мм}} 40 \text{ кВ} \cdot 11,2 \text{ мрад} = 1038,6 \text{ В}, \quad (2)$$

где U_{ac} — ускоряющее напряжение спектрометра GALS, равное 40 кВ; x'_{max} — максимальный корректируемый угол, равный 11,2 мрад.

Таблица 3. Значение эффективной длины

Линия	L_{eff} , мм
Линия 0×0	94,9
Линия $17,5 \times 2,5$	102,6
Линия 31×5	118,5

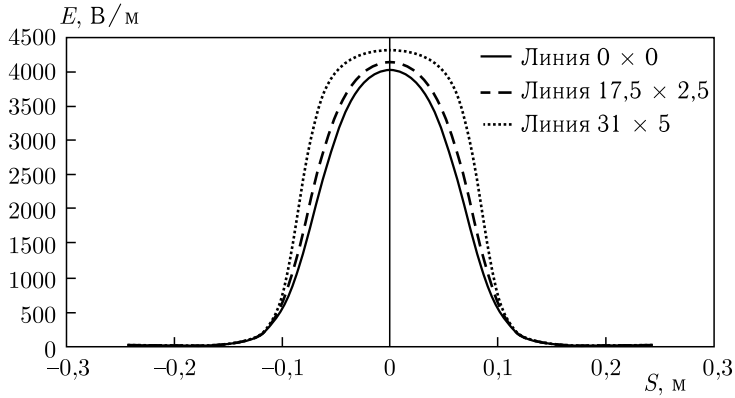


Рис. 4. Распределение поля вдоль расчетных линий

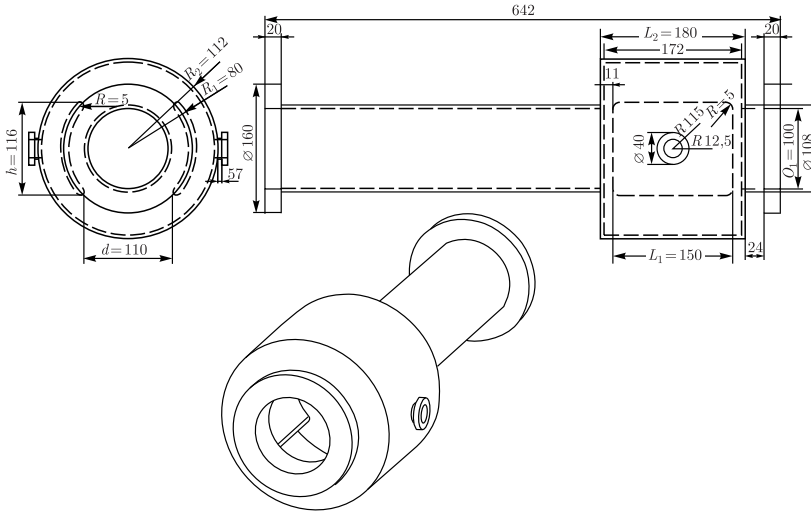


Рис. 5. Эскиз вакуумной камеры

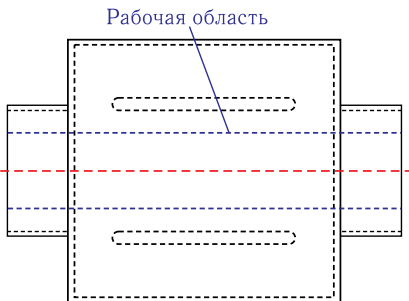


Рис. 6. Вид рабочей области между пластинами корректора (вид сверху)

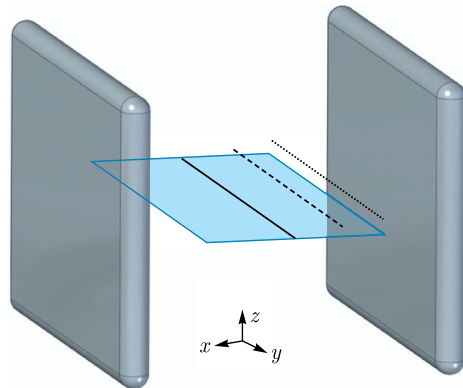


Рис. 7. Расчетные линии, расположенные в рабочей области между пластинами

МОДЕЛЬ ПЛОСКОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОРРЕКТОРА

Эффективная длина (табл. 4) рассчитывается по формуле (1). Напряжение, соответствующее коррекции максимального угла, рассчитывается по формуле (2) и составляет $U = 548,4$ В.

При увеличении расстояния между пластинами эффективная длина уменьшается вследствие уменьшения плоской части поля в центре корректора (рис. 8).

Таблица 4. Значение эффективной длины

Линия	$L_{\text{эфф}}$, мм
Линия 0×0	163,4
Линия $17,5 \times 2,5$	177,7
Линия 31×5	208,2

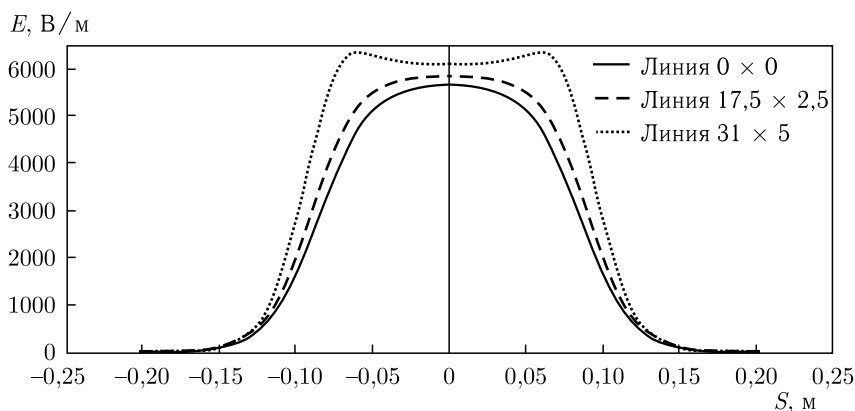


Рис. 8. Распределение поля вдоль расчетных линий

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Построена 3D-модель плоского и цилиндрического электростатического корректора пучка спектрометра GALS. Расчет произведен в программе Tosca с использованием модуля Electrostatic.

2. Определена эффективная длина: для плоского корректора $L_{\text{эфф}} = 163,4$ мм, для цилиндрического корректора $L_{\text{эфф}} = 94,9$ мм на оси.

3. Разброс эффективных длин в рабочей области для плоского корректора составляет $\pm 13,7\%$, для цилиндрического корректора $\pm 12,4\%$.

4. Напряжение, соответствующее коррекции максимального угла $11,2$ мрад: для плоского корректора равно 550 В, для цилиндрического корректора равно 1040 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zemlyanoy S., Zagrebaev V., Kozulin E., Kudryavtsev Yu., Fedosseev V., Bark R., Janas Z. GALS — Setup for Production and Study of Multi-Nucleon Transfer Reaction Products: Present Status // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. V. 724. P. 012057.

2. *Kazarinov N., Kalagin I., Zemlyanoy S.* Design and Calculation of Cylindrical Electrostatic Deflector for Transport Channel of Heavy Ions // Proc. of XXV Russ. Particle Accelerator Conf. "RUPAC'16", Saint Petersburg, Russia. 2016. P.461–463.
3. *Gulbekyan G.G., Zemlyanoy S.G., Bashevoy V.V., Ivanenko I.A., Kazarinov N.Yu., Kazachka V.I., Osipov N.F.* Transport Channel of Secondary Ion Beam of Experimental Setup for Selective Laser Ionization with Gas Cell GALS // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. V.874. P.012044.
4. Opera-3D User Guide. Oxford OX5 1JE. England, 2016.