

ПЕРВИЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА ИСТОЧНИКА МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ ДЛЯ ЭСУ «СОКОЛ»

Л.С. Глазунов, А.В. Зац, С.Г. Карпусь, В.В. Кузьменко, В.М. Пистряк

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: karpus@kipt.kharkov.ua

Изучены первичные характеристики пучка источника многозарядных ионов (ИМИ) такие, как максимальный угол расходимости и разброс ионов по энергии. Показано, что рабочие параметры и характеристики ИМИ соответствуют условиям эксплуатации на ЭСУ «Сокол».

Для расширения аналитических возможностей установки «Сокол», а также для увеличения диапазона энергии ионов канала «Имплантер» [1-4] разрабатывается источник многозарядных ионов (ИМИ) типа Пеннинга с холодным катодом и продольным извлечением ионов [5-6]. Важными характеристиками пучка ионов ИМИ являются угол расходимости пучка и энергетический спектр ионов. Эти данные необходимы для разработки системы согласования характеристик пучка ионов с ионно-оптическими свойствами ускорительной трубки.

В данной работе исследовались

- зависимость диаметра (на определенном расстоянии от отверстия эмиссии) и угла расходимости пучка ионов от конструкции системы первичного формирования пучка и вытягивающего

напряжения при оптимальных условиях работы источника;

- зависимость энергетического спектра ионов пучка от рабочих параметров источника ионов - разности потенциалов «анод-катод», величины напуска рабочего газа, рода рабочего газа.

Для определения диаметра и угла расходимости пучка ионов проводились измерения профиля пучка ионов на двух расстояниях от отверстия эмиссии источника. Профили плотности пучка измерялись подвижным цилиндром Фарадея с входным отверстием диаметром 1 мм. На рис. 1а приведена схема источника, а на рис. 1б – схема измерения профиля плотности пучка.

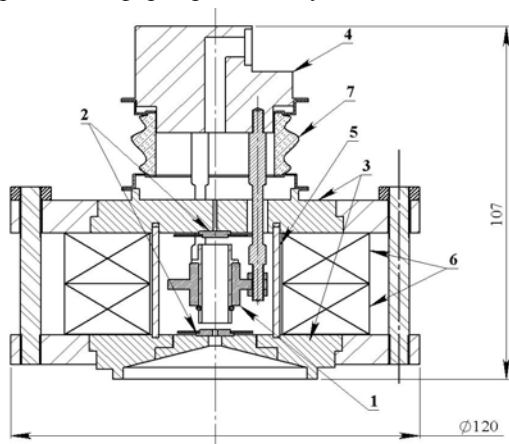


Рис. 1а. Схема ИМИ: 1 - полый цилиндрический анод; 2 – катоды; 3 – катодные фланцы (магнитопровод); 4 - анодный фланец; 5 – корпус; 6 - постоянные магниты; 7 - керамический изолятор

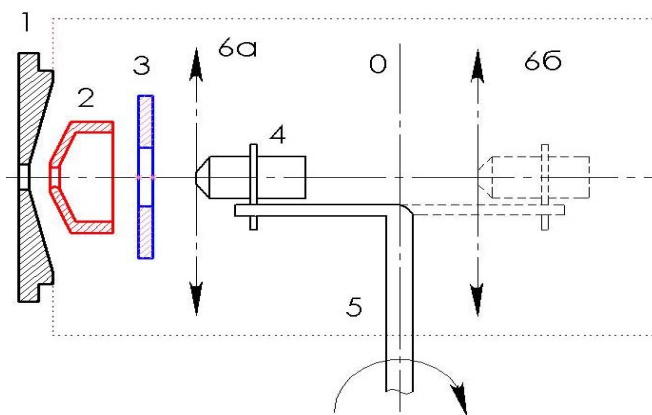


Рис. 1б. Схема измерения профиля пучка: 1 – катодный фланец ИМИ; 2 – вытягивающий электрод; 3 – диафрагма с отверстием диаметром 10 мм; 4 – цилиндр Фарадея; 5 – шток; 6а и 6б – плоскости измерения плотности тока пучка

Диафрагма 3 (см. рис. 1б) обрезала часть пучка с большими углами расходимости. При этом общий ток пучка уменьшился примерно на 18%.

На рис. 2 показаны системы первичного формирования пучка ионов. Исследованы четыре системы.

Система А имела экспандер, а в трех других системах первичного формирования пучка экспандера не было, а изменялись такие параметры,

как расстояние между отверстием эмиссии и вытягивающим электродом и диаметр отверстия в вытягивающем электроде.

На рис. 3 приведены измеренные на двух расстояниях от отверстия эмиссии (125 и 274 мм) распределения плотности тока пучка по радиусу для системы рис. 2А при разности потенциалов «катод-экстрактор» 11 кВ. Аналогичные измерения были выполнены при напряжениях извлечения ионов 8, 5

и 2 кВ для всех четырех систем первичного формирования пучка. Из этих кривых путем интегрирования можно получить зависимость тока от радиуса пучка, а построив эти кривые в

относительных единицах (рис. 4) можно определить радиус пучка для определенной доли тока и максимальный угол расходимости этой части пучка.

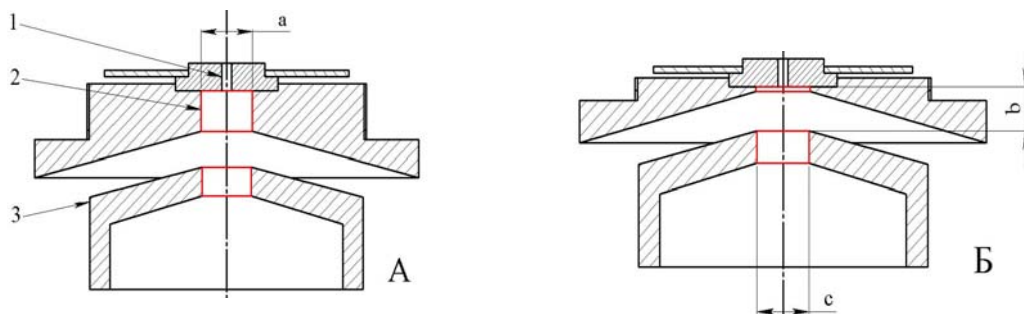


Рис. 2. Системы первичного формирования пучка: 1 – отверстие эмиссии; 2 – экспандер; 3 – вытягивающий электрод; a – диаметр экспандера; b – расстояние между отверстием эмиссии и вытягивающим электродом; c – диаметр отверстия в вытягивающем электроде

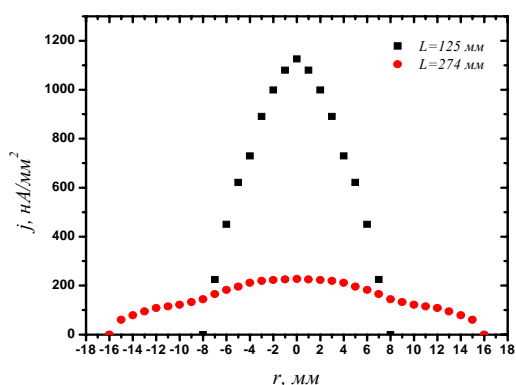


Рис. 3. Распределение плотности тока пучка для системы рис. 2А

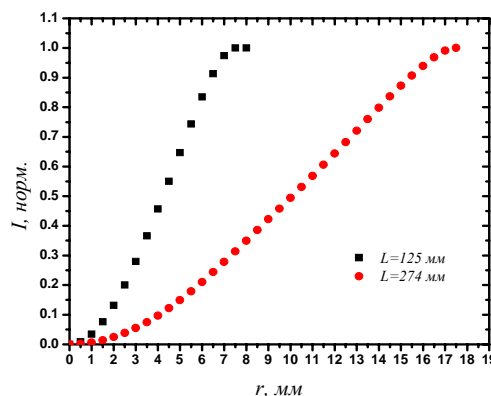


Рис. 4. Зависимость тока пучка от радиуса

На рис. 5 приведена зависимость половинного угла расходимости пучка от радиуса (кривая 1), определенная из экспериментальных данных. Радиус пучка взят на расстоянии 90 мм от отверстия эмиссии.

Кривая 2 построена из анализа расчетных траекторий ионов для данной системы формирования пучка. Соответствие этих кривых можно считать удовлетворительным, учитывая, что экспериментальные данные являются усредненными, так как диаметр входного отверстия цилиндра Фарадея (ЦФ) равен 1 мм, а расчет траекторий проводился при задании начальной координаты ионов с шагом 0,01 мм, угла наклона начальной траектории к оси пучка с шагом 0,5° и для моноэнергетического пучка.

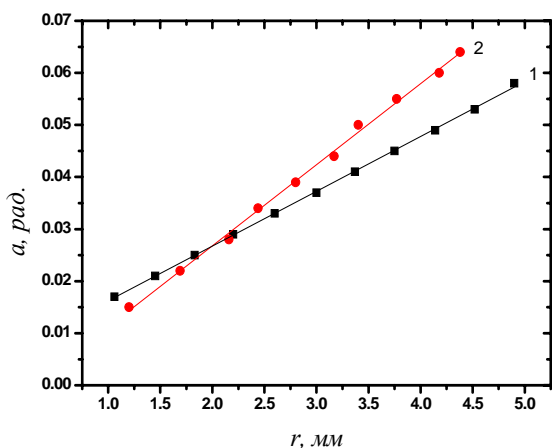


Рис. 5. Зависимость максимального половинного угла расходимости пучка от радиуса: кривая 1 – экспериментальные данные; кривая 2 – расчетные

Из анализа экспериментальных данных и расчета траекторий можно сделать следующие выводы:

- угол расходимости пучка и углы расходимости для отдельных частей пучка являются примерно одинаковыми для всех исследованных систем первичного формирования пучка;
- ток извлекаемых ионов для системы с экспандером был на 10...20% больше по сравнению с другими системами первичного формирования пучка.

Энергетический спектр ионов, выходящих из источника, исследовался с помощью метода задерживающего потенциала. Схема эксперимента показана на рис. 6.

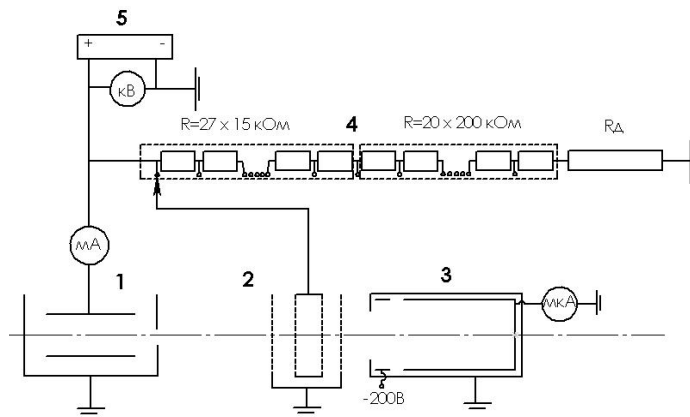


Рис. 6. Схема эксперимента по измерению энергетического спектра ионов.
1 – ИМИ, 2 – анализатор, 3 – цилиндр Фарадея, 4 – делитель,
5 – источник питания разрядного напряжения

Исследованы энергетические спектры ионов для двух рабочих газов – неона и гелия.

Для ионов Ne изучены энергетические спектры при постоянном анодном напряжении (4,3кВ) и разной величине напуска рабочего газа – $(2,5 \dots 8,9) \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$. Результаты эксперимента показаны на рис. 7, а и б. Для ионов He

энергетические спектры исследовались при анодном напряжении 4,3 кВ и величине напуска газа от $2,2 \cdot 10^{-5}$ до $8,9 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, а также при постоянном напуске рабочего газа $8,9 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$ при разных разрядных напряжениях. Результаты экспериментов приведены на рис. 8, а, б и 9, а, б.

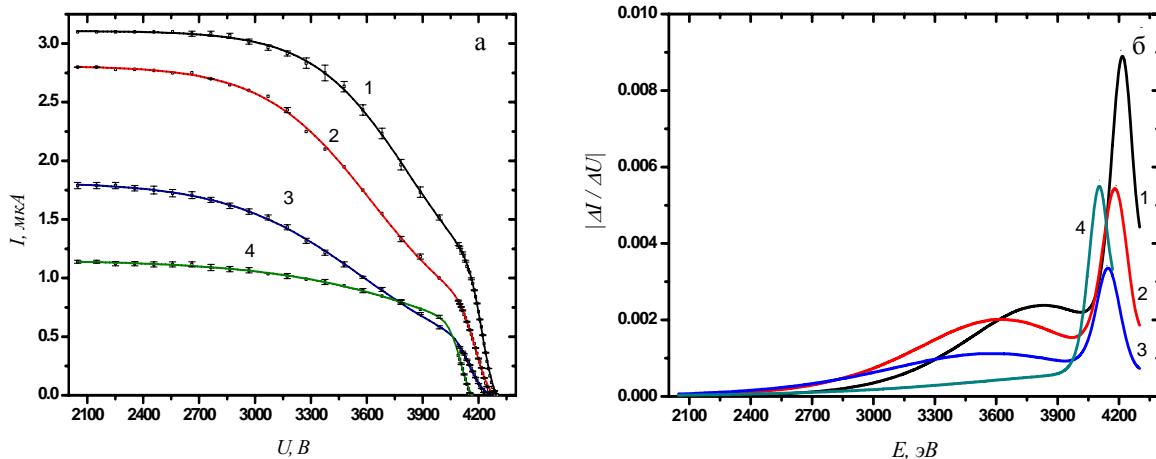


Рис. 7. Зависимости тока на ЦФ от запирающего потенциала при различных режимах работы ИМИ для ионов неона, $U_a=4,3$ кВ. Напуск рабочего газа: 1 – $8,9 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_p=1,6$ мА; 2 – $7,24 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_p=1,2$ мА; 3 – $5 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_p=0,6$ мА; 4 – $2,5 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_p=0,3$ мА (а).
Соответствующие им энергетические спектры (б)

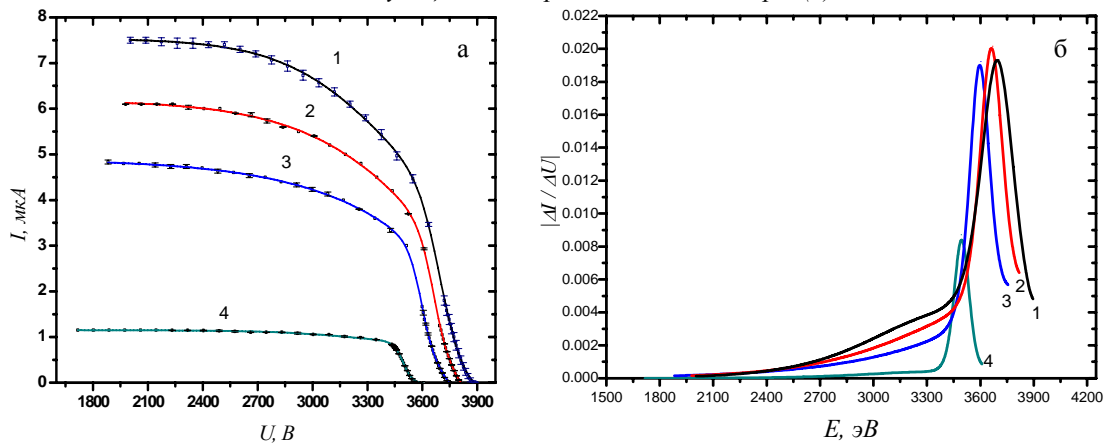


Рис. 8. Зависимости тока на ЦФ от запирающего потенциала при различных режимах работы ИМИ для ионов гелия, $U_a=4,3$ кВ. Напуск рабочего газа: 1 – $8,9 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_a=2,8$ мА; 2 – $7,24 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_a=2,2$ мА; 3 – $5 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_a=1,2$ мА; 4 – $2,2 \cdot 10^{-5} (m^3 \cdot Pa)/c$, $I_a=0,6$ мА (а).
Соответствующие им энергетические спектры (б)

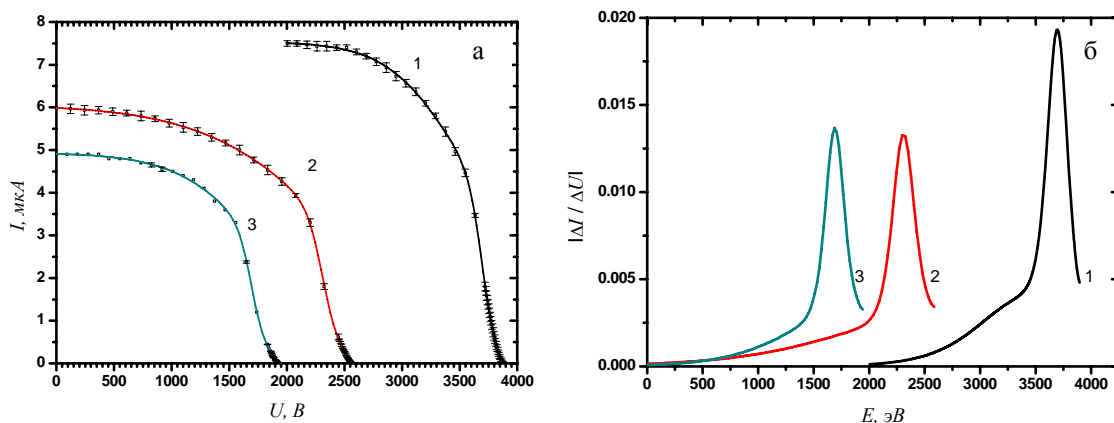


Рис. 9. Зависимости выхода тока на ЦФ от запирающего потенциала при различных режимах работы ИМИ для ионов гелия при напуске рабочего газа $8,9 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3 \cdot \text{Па)}/\text{с}$:
 1 – $U_a = 4,3 \text{ кВ}$, $I_a = 1,6 \text{ mA}$; 2 – $U_a = 3,5 \text{ кВ}$, $I_a = 2,2 \text{ mA}$; 3 – $U_a = 2,8 \text{ кВ}$, $I_a = 2,1 \text{ mA}$ (а).
 Соответствующие им энергетические спектры (б)

Таблица 1

$Q \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3 \cdot \text{Па)}/\text{с}$	$I_p, \text{ mA}$	$E_0, \text{ В}$	$E_{\text{max}}, \text{ эВ}$	E_0 / U_a	E_{max}/U_a	ΔE	$\Delta E/E_{\text{max}}, \%$
НЕОН							
8,9	1,6	4300	4217	1	0,98	160	3,8
7,24	1,2	4292	4181	0,998	0,97	182	4,3
5	0,6	4269	4151	0,99	0,96	188	4,4
2,5	0,3	4169	4103	0,97	0,95	144	3,5
ГЕЛИЙ							
8,9	2,8	3896	3694	0,92	0,86	250	6,75
7,24	2,2	3818	3662	0,88	0,85	185	5
5	1,2	3755	3599	0,87	0,83	163	4,5
2,2	0,6	3582	3495	0,83	0,81	99	2,8

Таблица 2

Рабочий газ – гелий, $Q = 8,9 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3 \cdot \text{Па)}/\text{с}$

$U_a, \text{ кВ}$	$I_p, \text{ mA}$	$E_0, \text{ В}$	$E_{\text{max}}, \text{ эВ}$	E_0/U_a	E_{max}/U_a	ΔE	$\Delta E/E_{\text{max}}, \%$
4,3	2,8	3896	3694	0,92	0,86	250	6,75
3,5	2,2	2586	2312	0,74	0,66	278	12
2,8	2,1	1943	1686	0,69	0,6	241	14,3

В табл. 1 и 2 приведены основные характеристики распределения ионов по энергии, а именно: E_0 – значение максимальной энергии ионов; E_{max} – значение энергии в максимуме распределения; ΔE – разброс ионов по энергии (ширина на полувысоте).

Из этих данных можно сделать следующие выводы.

1. С увеличением давления в источнике ионов и соответственно тока разряда максимальная энергия ионов (E_0) и энергия в максимуме распределения (E_{max}) приближаются к анодному напряжению.

2. При работе источника на гелии в области тех же величин напуска рабочего газа, что и для неона, величина отношения максимальной энергии ионов (E_0) и энергии в максимуме распределения (E_{max}) к анодному напряжению U_a (т.е. E_0/U_a и E_{max}/U_a) меньше, чем для неона, хотя ток разряда больше.

3. Ширина энергетического распределения на полувысоте (ΔE) и отношение $\Delta E/E_{\text{max}}$ для ионов гелия увеличиваются с увеличением напуска газа, а для ионов неона наблюдается незначительное

изменение этих величин. Это может быть связано с тем, что при данных условиях работы источника ионов значение E_{max} при работе на неоне близко к U_a .

4. Для ионов гелия при изменении анодного напряжения при постоянном напуске гелия E_0/U_a и E_{max}/U_a увеличиваются с увеличением U_a , а $\Delta E/E_{\text{max}}$ – уменьшается.

ВЫВОДЫ

Изучены первичные характеристики пучка ионов, а именно – максимальный угол расходимости и разброс ионов по энергии. Показано, что для исследованных систем первичного формирования пучка максимальный угол расходимости практически не изменяется.

Изучено распределение ионов пучка по энергии в зависимости от анодного напряжения, рода рабочего газа и разрядного тока.

Показано, что рабочие параметры и характеристики ИМИ соответствуют условиям эксплуатации на ЭСУ «Сокол».

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Д. Вергунов, Ю.З. Левченко, М.Т. Новиков, В.М. Пистряк, В.Е. Сторижко, С.Я. Чеканов. Малогабаритный электростатический ускоритель на 2 МэВ горизонтального типа (проект) // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Общая и ядерная физика»*. 1983, в. 3(24), с.13-15.
2. Л.П. Батвинов, А.Д. Вергунов, Л.С. Глазунов, А.В. Зац, Ю.З. Левченко, М.Т. Новиков, В.М. Пистряк, В.Е. Сторижко, С.Я. Чеканов. Малогабаритный электростатический ускоритель на 2 МэВ горизонтального типа (предварительные испытания) // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Техника физического эксперимента»*. 1985, в. 1(22), с. 26-28.
3. V.N. Bondarenko, L.S. Glazunov, A.V. Goncharov, A.V. Zats, V.V. Kuz'menko, V.V. Levenets, A.P. Omel'nik, V.M. Pistryak, V.I. Suhostavets, A.A. Shchur, N.P. Usikov. NSC KIPT analytical nuclear-physics complex «SOKOL» // *Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy: Inter. konf.: Proceedings*. Kyiv, 2006, p. 847-851.
4. L.S. Glazunov, A.V. Goncharov, A.V. Zats, S.G. Karpus, V.V. Kuz'menko, V.V. Levenets, V.M. Pistryak, V.I. Sukhostavets. Channel for ion irradiation of materials at the accelerator “Sokol” // *Problems of Atomic Science and Technology. Series «Nuclear Physics Investigations»*. 2006, №2, p.184-186.
5. H. Baumann, K. Bethge. PIG ion source with end extraction for multiply charged ions // *NIM*. 1974, №122, p. 517-525.
6. В.М. Пистряк, В.В. Кузьменко, Ю.З. Левченко. Источник многозарядных ионов газов для электростатических ускорителей // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Общая и ядерная физика»*. 1980, в. 2(12).

Статья поступила в редакцию 03.09.2010 г.

ПЕРВИННІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА ДЖЕРЕЛА БАГАТОЗАРЯДНИХ ІОНІВ ДЛЯ ЕСП «СОКІЛ»

Л.С. Глазунов, А.В. Зац, С.Г. Карпуть, В.В. Кузьменко, В.М. Пістряк

Досліджено первинні характеристики пучка джерела багатозарядних іонів (ДБІ) такі, як максимальний кут розходження та розподіл іонів по енергії. Показано, що робочі параметри та характеристики ДБІ відповідають умовам експлуатації на електростатичному прискорювачі «Сокіл».

PRIMARY ION BEAM PARAMETERS OF MULTIPLY CHARGED IONS SOURCE FOR ESA “SOKOL”

L.S. Glazunov, A.V. Zats, S.G. Karpus, V.V. Kuz'menko, V.M. Pistryak

Primary ion beam parameters like maximum angle of ion beam divergence and ions energy spread were studied. Shown that works parameters and multiply charged ions sources characteristics are in congruence with ESA “Sokol” exploitations requirements.