

ФОКУСИРОВКА ИОННЫХ ПУЧКОВ ПЛАЗМЕННОЙ ЛИНЗОЙ

В.В.Жуков, А.И.Морозов, Г.Я.Щепкин

Ранее высказывались идеи о целесообразности применения аксиально-симметричных форм объемного заряда для фокусировки пучков заряженных частиц (см., например, [1, 2]). Недавно теоретически показано [3], что стационарные аксиально-симметричные плазменные образования с замкнутым дрейфом электронов во внешнем электромагнитном поле являются фокусирующими системами по отношению к проходящим сквозь них ионным или плазменным потокам. Это открывает возможность создания нового вида корпускулярной оптики — плазменной оптики. Линзы такой оптики — плазменные линзы — наряду с высокой преломляющей силой, на порядки величин большей, чем у обычных электростатических или магнитных линз, теоретически, не должны испытывать ограничений по интенсивности и плотности фокусируемых потоков вплоть до очень больших значений этих величин. Столь удачное сочетание свойств объясняется превращением в этих системах линий магнитной индукции в эквипотенциале фокусирующего электрического поля в объеме плазмы. Позднее было рассчитано [4] фокусное расстояние "короткой" линзы такого рода, образованной стационарной аксиально-симметричной плазмой в окрестности металлического кольца с током I и потенциалом $+U$ относительно источника и коллектора ионов:

$$f = \frac{\Phi}{2U} R \frac{1}{\theta}, \quad (1)$$

где R — радиус кольца, Φ — ускоряющая ионы разность потенциалов, $\theta \sim 1$ — зависит от геометрических особенностей системы.

Полагая $\theta = 1$ и обозначив через f_E и f_H — соответственно фокусные расстояния чисто электростатической и — магнитной линз, образованных тем же кольцом, легко проверить, что $f/f_E = 3,7 \cdot 10^{-2} U/\Phi$ и $f/f_H \approx 2,8 \cdot 10^{-6} I^2/MU$, если потенциалы выражены в вольтах, ток — в амперах, а масса фокусируемых ионов M — в атомных единицах массы. Например, для однозарядных ионов аргона ($M = 40$) при $\Phi = 10^4$ в, $U = 10^3$ в, $I = 10^3$ а, — фокусное расстояние плазменной линзы оказы-

вается на два порядка меньше, чем у электростатической и на четыре порядка меньше, чем у магнитной, при прочих равных условиях.

На рис. 1 схематически показана установка для экспериментального исследования модели плазменной линзы (1 + 5), где 1 – сечение кольца с током I и потенциалом $+U$; 2 – сечения тонких металлических колец с линейным распределением потенциала на них в интервале $0 + U$; 3, 4, 5 – соответственно, сечения железного корпуса линзы и

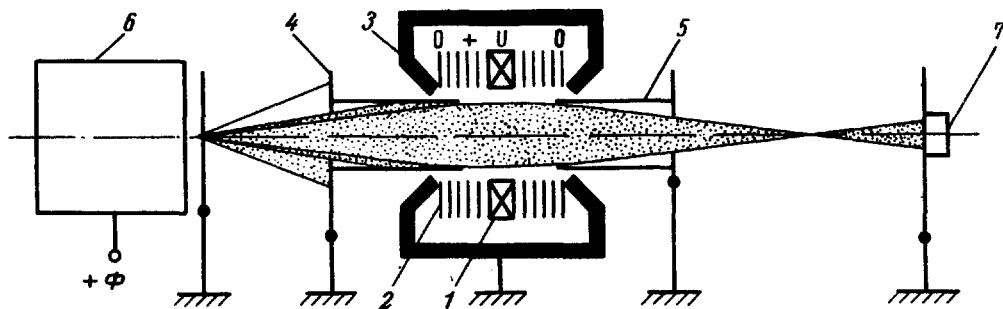


Рис. 1

двух электронных компенсаторов с вторичной электронной эмиссией при ионной бомбардировке их внутренней поверхности; 6 и 7 – источник и коллектор ионов. Коллектор имел датчик системы измерения распределения плотности тока по сечению пучка, и мог перемещаться в целях обнаружения его наиболее узкого места (фокуса). Точечной штриховкой показано сечение ионного пучка при выходе из источника, внутри линзы и по выходе из нее. Более плотно заштрихована коническая зона пучка, используемая для получения компенсирующих вторичных электронов, которые необходимы для образования плазмы при фокусировке ионных пучков.

Опыты велись при токах ионного пучка на входе линзы в интервале $0,5 + 15 \text{ ма}$ и давлении в вакуумной камере $\sim 1 \cdot 10^{-5} \text{ мм рт.ст.}$ Во всех случаях на выходе линзы наблюдался сфокусированный пучок ионов, фокус которого был увеличенным, уменьшенным или равным изображением кроссовера ионного пучка на выходе источника – в зависимости от расстояния между кроссовером и линзой, при прочих равных условиях. На рис. 2 показана зависимость отношения измеренного f_u и рассчитанного по формуле (1) фокусного расстояния f_p плазменной линзы от ускоряющей ионы разности потенциалов для однозарядных ионов аргона и гелия. Видно, что не только средние значения (сплошные линии), но и отдельные точки близки к единице во

всем интервале значений Φ . Это указывает на хорошее согласие с теорией. Во всех случаях применялись потенциалы на кольце $1 U = 0,5 + 1,2 \kappa\phi$ – в зависимости от величины Φ – и токи $50 + 100 \text{ а}$ при 12 витках в кольце. Выключение одного из полей (электрического или магнитного) немедленно приводило к разрушению плазменной фокусировки. Замечено также, что при нарушении условия параксиальности лучей ионного пучка появляется эффект сферической аберрации в форме ореола с малой плотностью ионного тока в области фокуса. Однако, сферическая аберрация существенно уменьшалась при надлежащем подборе распределения потенциалов на кольцах 2.

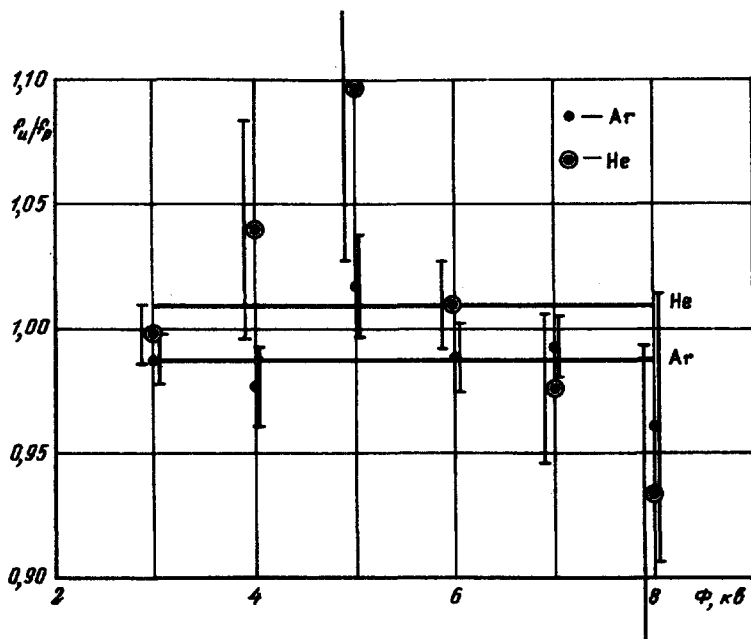


Рис. 2

Таким образом, показано, что в хорошем согласии с теорией, плазменная фокусировка, в простейшей системе с замкнутым дрейфом электронов, действительно реализуется при высокой преломляющей силе по сравнению с обычными электростатическими и магнитными линзами.

Авторы выражают благодарность С.В. Лебедеву за полезные обсуждения.

Поступило в редакцию
4 ноября 1968 г.

Литература

- [1] Borries, *Ruska. Zs. Phys.*, 76, 649, 1932.
- [2] D. Gabor. *Nature*, 160, 89, 1947.
- [3] А.И.Морозов. *ДАН СССР*, 163, 1363, 1965.
- [4] С.В.Лебедев, А.И.Морозов. *ЖТФ*, 36, 960, 1966.