

Рис. 7. Смещение центров ларморовских траекторий резонансного ^{157}Gd и нерезонансного ^{158}Gd ионов вдоль оси антенны, фазы ионов относительно фазы ВЧ-поля:

1 — 0° ; 2 — 180° ; 3 — 90° ; 4 — 270° ; 5 — положение центра ларморовской траектории на входе в антенну

Для рассматриваемой антенны целесообразно использовать коллимационный сборник (рис. 8), расположенный на выходе соленоидальной антенны [2, 3]. Сепарация ионов происходит благодаря разнице в средней набираемой энергии (ларморовского радиуса) резонансных и нерезонансных ионов. Но такая система не может эффективно работать с “узким” плазменным потоком, так как требуемые для хорошей сепарации размеры D_2 и D_1 соизмеримы с поперечными размерами потока (см. рис. 8).

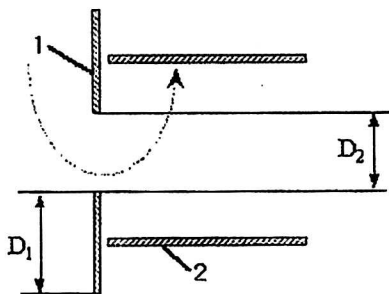


Рис. 8. Коллимационный сборник:

1 — входная диафрагма; 2 — сборник резонансных ионов

Соленоидальная антенна имеет ряд других существенных недостатков: высокая добротность антенны ухудшает ввод ВЧ-мощности в плазму [5]; неравномерный нагрев ионов по сечению плазменного потока; из ИЦР-нагрева “выпадает” центральная область плазменного потока. Смещение плазменного потока относительно оси антенны для более равномерного нагрева приводит к значительному возрастанию размеров антенны, области магнитного поля, а следовательно, и размеров установки в целом. Кроме того, в этом случае ввод в плазму ВЧ-мощности усложняется из-за экранировки полей плазмой.

Энергетическое и пространственное “перемешивание” ионов из-за возникающих дрейфов в градиентном вихревом ВЧ-поле не позволяет

пространственно развести резонансные и нерезонансные ионы (как в системе с “прямым” сбором).

Возникающая “переполюсовка” электрического поля при наличии плотной плазмы ($n \sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$) уменьшает или вообще исключает селективный нагрев при неоптимальном расположении источника плазменного потока и системы сбора относительно антенны в установке [11].

Сдвиг ионно-циклотронной частоты из-за возбуждения собственного магнитного поля соленоидальной антенны (до 10 мТ и выше) при невысоком магнитном поле ($B \sim 1 \text{ Т}$) близок к разнице между частотами соседних ионов, особенно для тяжелых масс, и приводит к прекращению нагрева резонансных ионов так, как частота ВЧ-поля не совпадает с их собственной частотой — резонансные ионы превращаются в нерезонансные.

Заключение

Для разделения редких изотопов в “узком” плазменном потоке более предпочтительным является использование электродно-емкостной антенны с “прямым” сбором при условии сохранения в плазме равномерного ВЧ-поля. Соленоидальная антенна имеет меньшую эффективность изотопически селективного нагрева из-за возникающих дрейфов частиц в градиентном вихревом ВЧ-поле, и ее использование в этом случае малоэффективно.

Литература

1. Tracy J. G., Aaron W. S. // Nucl. Inst&Meth. 1993. A334. P. 45–50.
2. Муромкин Ю. А. // Итоги науки и техники. Сер. Физика плазмы. 1991. Т. 12. — М.: ВИНТИ. С. 83–110.

Some features of ICR heating plasma flow by electrode-capacitance and solenoidal antennas

V. I. Volosov, V. V. Demenev, A. G. Steshov, I. N. Churkin
Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

Plasma separation process of heavy mass elements ($A \sim 120-200$ a. e.) by ICR-heating method is realized by HF electrical fields at ion cyclotron frequency in uniform magnetic field ($\Delta B/B \sim 5 \cdot 10^{-3}$). Some features of ICR heating of "narrow" plasma flow by electrode-capacitance and solenoidal antennas are considered. Model calculations of ICR-heating process in "narrow" plasma flow at single particle approximation are presented. The problems of ion separation for considered antennas are discussed.

Л и т е р а т у р а

1. Tracy J. G., Aaron W. S.//Nucl. Inst&Meth. 1993. A334. P. 45—50.
2. Муромкин Ю. А.//Итоги науки и техники. Сер. Физика плазмы. 1991. Т. 12. — М.: ВИНТИ. С. 83—110.
3. Изотопы: свойства, получение, применение/Под ред. Ю. В. Баранова. — М.: ИздАТ, 2000.
4. Волосов В. И., Демениев В. В., Драничников А. Н. и др.: Препринт ИЯФ 01-48, 2001.
5. Тимофеев А. В.//Физика плазмы. 1999. Т. 25. № 3. С. 232—241.
6. Dawson J. M., Kim H. C., Arnush D. et al.//Physical Review Letters. 1976. V. 37. № 23. P. 1547—1550.
7. Volosov V. I., Abdrashitov G. F., Beloborodov A. V. et al.//Nucl. Fus. 1991. V. 31(7). P. 1275—1281.
8. Churkin I. N., Volosov V. I., Steshov A. G.//Rev. of Scient. Instr. 1999. V. 69. № 2. P. 822—824.
9. Волосов В. И., Чуркин И. Н., Тимофеев А. В.: Патент 2108141 РФ; Бюл. изобр. № 10; рег. 10.04.98.
10. Волосов В. И., Чуркин И. Н.: Патент 212070 РФ, рег. 11.06.98.
11. Kuzmin S. G.//Fisika Plazmy. 1999. № 12. P. 1020—1025.
12. Волосов В. И., Котельников И. А., Кузьмин С. Г.//Физика плазмы. 1998. Т. 24. № 6. С. 517.
13. Котельников И. А., Карелин В. Е.: Препринт ИЯФ СО РАН 01-63, 2001.
14. Волосов В. И., Котельников И. А., Чуркин И. Н. и др.//Атомная энергия. 2000. Т. 88. Вып. 5. С. 370—378.