

Выделение резонансных ионов при сепарации изотопов методом ионного циклотронного резонанса с помощью магнитного поля остроугольной формы

© А.Г. Беликов

Национальный научный центр „Харьковский физико-технический институт“,
61108 Харьков, Украина
e-mail: parkovich@kipt.kharkov.ua

(Поступило в Редакцию 26 декабря 2007 г.)

С помощью численного решения уравнений движения рассмотрена возможность разделения потока заряженных частиц, содержащего частицы с большими и малыми поперечными скоростями, равномерно распределенными по сечению потока на две компоненты, в каждой из которых содержатся только частицы с начальными большими или малыми поперечными скоростями, при прохождении магнитного поля остроугольной формы.

PACS: 41.75.-i, 52.20.Dq, 52.55.Lf

В некоторых случаях возникает необходимость отделить в потоке частицы с большими составляющими поперечной скорости от частиц, у которых поперечная скорость мала. Такая необходимость появляется при сепарации изотопов методом ионного циклотронного резонанса. После нагрева выбранного изотопа в потоке, представляющем смесь двух изотопов, движущемся в продольном магнитном поле, присутствуют частицы с большой поперечной скоростью, которые равномерно распределены по сечению потока. Для отбора выбранного изотопа разрабатываются специальные методы [1–3].

В настоящей работе рассмотрены траектории движения частиц цилиндрического потока, полого внутри с толщиной стенки $\Delta r = r_2 - r_1$, движущегося первоначально в однородном магнитном поле, попадающего затем в магнитное поле остроугольной формы, симметричное относительно оси системы. Такое поле можно создать системой двух катушек с противоположно направленными токами. Конфигурация силовых линий магнитного поля и уравнения движения частицы в поле этой конфигурации аналогичны приведенным в работе [4]. После приведения к безразмерному виду уравнения, записанные в цилиндрической системе координат, решались численно. Предполагается, что в однородном магнитном поле частицы двигались со скоростью v_0 . Некоторые частицы имели поперечную скорость $v_{\perp} = 0.05v_0$, а другие — поперечные скорости $v_{\perp} \approx v_0$. Начальные условия выбирались в плоскости, разделяющей области однородного магнитного поля и поля встречных катушек. В начальный момент $\tau = 0$: $r = r_0$ — радиальное положение частицы в этой плоскости, $v_r = \dot{r}_0$ и $\dot{\phi} = \dot{\phi}_0$ — радиальная и азимутальная составляющие скорости частицы, $v_z = v_0$ — составляющая скорости частицы в направлении оси симметрии системы z . Полная энергия частицы:

$$\frac{Mv^2}{2} = \frac{M}{2} (v_0^2 + v_{\perp}^2),$$

где

$$\frac{M}{2} v_{\perp}^2 = \frac{M}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\phi}^2)$$

— поперечная энергия.

Далее предполагается, что частица начинает двигаться в неоднородном магнитном поле, величина которого изменяется от максимального на границе до нуля в центральной области системы. Характерный вид зависимости радиального положения частиц от координаты z , стартующих с начальным радиусом, заключенным в области $\Delta r = r_2 - r_1$, где $r_1 = 0.1$, $r_2 = 0.25$, приведен на рис. 1, 2.

Частицы, стартующие с одного радиуса на левой границе, в центральной части системы заметно смещены по радиусу относительно оси. Но частицы с меньшими начальными поперечными скоростями смещены значительно меньше, чем частицы с большими поперечными

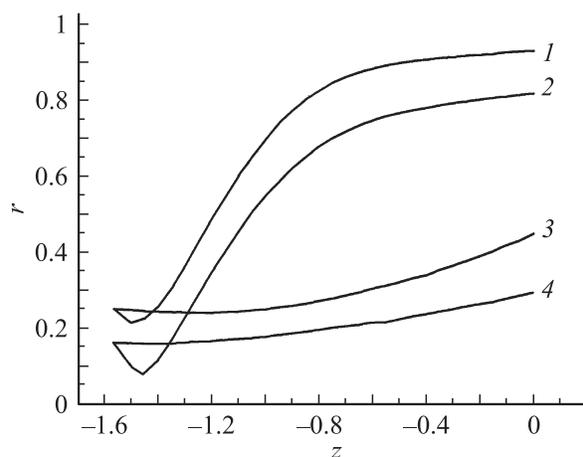


Рис. 1. Радиальное положение частиц в зависимости от координаты z . Начальная поперечная составляющая скорости $v_r = -1.2v_0$: 1 — $r_0 = 0.25$, 2 — 0.16; начальная поперечная составляющая скорости $v_r = 0.05v_0$: 3 — $r_0 = 0.25$, 4 — 0.16.

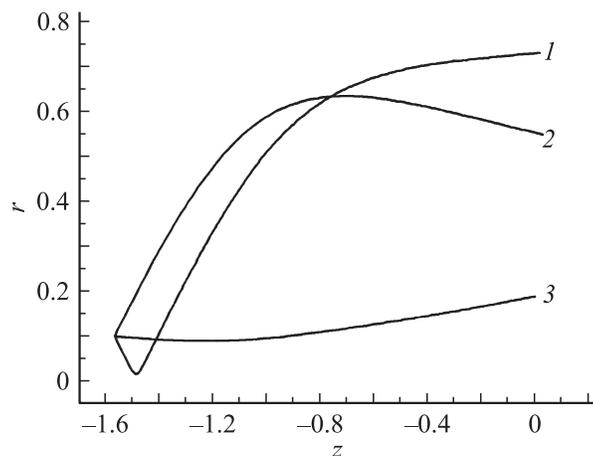


Рис. 2. Радиальное положение частиц в зависимости от координаты z . Начальная поперечная составляющая скорости v_r : 1 — $-1.2v_0$, 2 — $1.2v_0$, 3 — $0.05v_0$; $r_0 = 0.1$.

скоростями. Такой же вид имеют траектории частиц, стартующих с других радиусов из этого интервала. В зависимости от соотношения между начальными радиальной и азимутальной составляющими величинами скорости, а также направления радиальной скорости величина радиального смещения частицы меняется таким образом, как это видно из рис. 2, где приведено радиальное положение частиц в зависимости от z при различных направлениях начальной радиальной скорости. Но во всех рассмотренных случаях радиальное смещение для частицы с большей начальной поперечной скоростью больше, чем для частиц с малой поперечной скоростью.

r_0	0.1	0.14	0.16	0.18	0.25
$\dot{r}_0 = 0.05$	0.14	0.238	0.251	0.284	0.41
$\dot{r}_0 = -0.05$	0.18	0.253	0.294	0.325	0.445

В таблице приведены радиальные положения частиц в центре системы $z = 0$, стартующих с различных начальных радиусов r_0 , у которых начальная радиальная скорость составляла $v_r \leq 0.05v_0$. Во всех случаях радиальное положение частицы не превышает 0.5. Не вносят больших изменений и частицы, у которых масса мало отличается от выбранной, а поперечные скорости заключены в тех же пределах. Частицы с большой начальной поперечной скоростью располагаются на радиусах 0.5–0.9. Таким образом, в центральной части системы первоначально равномерно распределенные по сечению полого цилиндра частицы разделяются на поток частиц с малыми поперечными скоростями, движущийся ближе к оси, и поток частиц, имевших на входе большие поперечные скорости, движущихся на больших радиусах. Интервал радиусов Δr , при котором частицы разделяются, определяется условием, когда наименьшее радиальное смещение частицы с большой поперечной скоростью

становится сравнимым с максимальным радиальным смещением частицы с малой поперечной скоростью.

Используя значения безразмерных параметров, при которых проводились расчеты, можно сделать некоторые оценки в размерных величинах. Для изотопов ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$ с направленной энергией 100 eV хорошее разделение частиц достигается во всей расчетной области $\Delta r = 0.15$, если поперечная энергия ${}^6\text{Li}$ будет составлять ~ 100 eV, а поперечная энергия для ионов ${}^7\text{Li}$ не превышает 0.5 eV. В магнитном поле $B = 0.1$ Т ширина указанной области (толщина стенки цилиндра) составляет 0.02 м, внешний радиус налетающего потока ~ 0.035 м, а площадь кольцевой области, из которой поступают частицы — 0.0035 м².

Исходя из проведенных расчетов можно заключить, что прохождение потока ионов с заметно различающимися поперечными скоростями магнитного поля, создаваемого катушками со встречными магнитными полями, позволяет отделить частицы с большими и малыми поперечными скоростями. Отбор компонент необходимо производить в центре системы.

Список литературы

- [1] Тимофеев А.В. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 7. С. 667.
- [2] Карчевский А.И., Потанин Е.П. // Физика плазмы. 2002. Т. 28. № 7. С. 611.
- [3] Довбня А.Н., Егоров А.М., Швец О.М., Юферов В.Б., Новструев С.В. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. „Плазменная электроника и новые методы ускорения“. 2003. (3). № 4. С. 323.
- [4] Беликов А.Г., Папкович В.Г. // Укр. физ. журн. 2004. Т. 49. Вып. 3. С. 303.