Аномальные потери быстрых ионов в открытой ловушке с наклонной атомарной инжекцией при развитии альфвеновской ионно-циклотронной неустойчивости

1,2Черноштанов И.С.

1Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия,
 I.S.Chernoshtanov@inp.nsk.su
2Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Альфвеновская ионно-циклотронная неустойчивость (АИЦН) – это электромагнитная кинетическая неустойчивость, которая может развиваться в замагниченной плазме с неизотропной функцией распределения ионов. В открытых ловушках АИЦН развивается за счет инверсной заселенности траекторий резонансных ионов, продольная (вдоль магнитного поля ловушки) скорость которых удовлетворяет условию циклотронного резонанса , где  есть циклотронная частота ионов,  и  – частота и волновой вектор неустойчивого возмущения. В ловушке с наклонной атомарной инжекцией инверсная заселенность возможна только для ионов с энергией близкой к энергии инжекции, таким образом, продольная скорость резонансных частиц близка к продольной скорости инжекции. Возмущение электрического и магнитного полей имеет вид стоячей циркулярно поляризованной волны вблизи центра ловушки и уходящих из центра ловушки волн на большом расстоянии. Частоту возмущения и пространственное распределение возмущений полей можно найти в линейном приближении с использованием квазиклассического приближения [1].

Настоящая работа посвящена изучению аномального транспорта ионов в аксиально-симметричной открытой ловушке с наклонной атомарной инжекцией. Исследование динамики быстрых ионов производилось с использованием методов, развитых в работах [2-3]. При выполнении условия , где  есть баунс-частота иона, а угловые скобки обозначают усреднение за период баунс-колебания, ион испытывает резонанс – фаза ларморовского вращения в системе отсчета, вращающейся с частотой , изменяется на целое число  после каждого баунс-колебания иона. Расстояние между резонансами уменьшается при уменьшении поперечной энергии иона, при этом у ионов с  и  происходит перекрытие соседних резонансов, которое приводит к хаотическому движению и аномальной диффузии. В приближении случайных фаз и пренебрежении островками устойчивости вблизи резонансов найдена аналитическая оценка коэффициента диффузии и граница области хаотического движения, что позволяет оценить скорость аномальных продольных потерь ионов [4]. Показано согласие между аналитическими оценками и результатами численного интегрирования уравнений движения ионов. Продемонстрировано, что основной вклад в аномальные потери вносят ионы, энергия которых в несколько раз меньше энергии инжекции, что согласуется с экспериментальными данными [5].

Литература

1. D.C. Watson. The Physics of Fluids, 1980, vol. 23, pp. 2485-2492
2. F. Jaeger, A.J. Lichtenberg and M.A. Lieberman. Plasma Physics, 1972, vol. 14, pp.1073-1100
3. M.A. Lieberman and A.J. Lichtenberg. Plasma Physics, 1973, vol. 15, pp. 125-150
4. I.S. Chernoshtanov. AIP conference proceedings, 2016. vol. 1771, p. 040009
5. А.В. Аникеев и др. Физика плазмы. 2015, т. 41, № 10, с. 839–849