ПРОНИКНОВЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА В ПЛАЗМУ С ТОКОМ

Овчинников К.Н., Урюпин С.А.

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия, uryupin@sci.lebedev.ru

В докладе представлены результаты исследования проникновения слабого импульса в токонесущую плазму с изменяющимися во времени температурами частиц. Для полностью ионизованной и слабоионизованной плазмы установлены явные зависимости эффективной глубины проникновения поля от времени, параметров плазмы и импульса. Показано, что в случае полностью ионизованной плазмы проникновение поля длинного импульса происходит в режиме субдиффузии, когда эффективная глубина проникновения зависит от времени как t1/5. В слабоионизованной плазме, в которой доминирует упругое рассеяние электронов на нейтральных частицах, глубина проникновения поля пропорциональна t, что позволяет говорить о сверхдиффузии поля. Отметим, выявленные закономерности проникновения отличаются от закона, установленного ранее для турбулентной плазмы, в которой глубина проникновения возрастает пропорционально t1/4 [1]. В [2] приведены экспериментальные данные, полученные на установке ТУМАН-3, среди которых есть такие, когда токовая скорость электронов сравнима или меньше скорости ионного звука. В этой же работе сопоставлены экспериментальные данные для токамаков с существенно отличающимися размерами и концентрациями плазмы. При этом отмечается, что часть разрядов на проанализированных установках находится в «дозвуковом» режиме. Дозвуковой режим создавался увеличением плотности числа частиц путём инжекции пеллет (Alcator, ASDEX) либо газонапуска (ASDEX, TFTR). В [2] приведена связь тока и концентрации плазмы на установке DITE для разрядов в дейтерии и водороде. Отмечено, что в обоих случаях получение максимальной концентрации соответствовало фазе с уменьшающимся током и в этой же фазе происходил переход в «дозвуковой» режим. Представленная в докладе теория может быть использована для анализа проникновения электромагнитного импульса в «дозвуковые» разряды на указанных установках, если длительность импульса превышает характерное время нагрева частиц плазмы. Для оценок используем следующий набор параметров ne ~ 6 × 1013 см–3, Te ~ 50 эВ, I ~ 100 кА и радиус шнура плазмы r =15 см. При таких значениях параметров токовая скорость электронов меньше скорости ионного звука. В этих условиях представленная теория необходима если длительность воздействующего импульса превышает 0,3 мс. Для иллюстрации проникновения электромагнитного импульса в слабоионизованную плазму рассмотрен разряд молнии. Для оценок примем ne ~ 1016 см–3, Te ~ 1 эВ, радиус канала молнии ~10 см, а величину тока ~100 кА. Примем, что сечение упругого рассеяния электронов на нейтралах ~10–15 см2, а плотность нейтралов ~1019 см–3. При таких параметрах для времени нагрева электронов получаем оценку 0,1 мкс, то есть длительность импульса должна быть больше, чем 0,1 мкс.

Литература

1. Овчинников К.Н., Урюпин С.А. // Физика Плазмы. 2013. Т.39. Вып.9 С.837-847
2. Виноградов Н.И., Извозчиков А.Б., Шаховец К.Г. // Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе №1177. 1987