Механизм возникновения турбулентных структур в условиях ITG-неустойчивости

Карбушев Д.Н., Хвесюк В.И., Чирков А.Ю.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия, karbushevdn@bmstu.ru

В работе изучается механизм возникновения турбулентных структур в плазме в результате воздействия неустойчивых ITG (ионных температурно-градиентных) дрейфовых волн, как при отсутствии, так и наличии шира скорости.

В существующих работах большое внимание уделяется процессам турбулентного транспорта в условиях развитой турбулентности, при этом процессы возникновения флуктуаций не рассматриваются. Принято считать, что ITG неустойчивость, рассматриваемая только в линейном приближении, вызывает ITG турбулентность, которая в свою очередь подавляется широм скорости. При этом отсутствует связь между неустойчивой ITG дрейфовой волной и наблюдаемыми турбулентными флуктуациями.

Предлагается следующая картина возникновения ITG турбулентности. Рассматривается отдельная монохроматическая волна, притом не исключается существование в плазме большого набора волн. Амплитуда возникающей неустойчивой волны нарастает до определённого предела, затем возникает ситуация, когда происходит распад волны. Распад сопровождается образованием характерных турбулентных структур, а наблюдаемые в экспериментах турбулентные флуктуации плотности и температуры определяются величиной конечной амплитуды волны. Затем происходят постепенная диссипация флуктуаций и возобновление описанного цикла (описание соответствует наблюдениям в эксперименте [1]). В этой картине отсутствует знание причины распада волны, из-за чего нельзя установить величину конечной амплитуды и, следовательно, величину флуктуаций.

Чтобы установить причину, мы провели качественный анализ изменений во времени локальных параметров плазмы внутри волны. Анализ показал сильное нарастание градиента плотности вдоль волны, то есть в направлении, перпендикулярном внешнему градиенту плотности, являющемуся причиной возникновения ITG волны. Именно это обстоятельство, по нашему мнению, является причиной распада волны.

На основе условия распада получена аппроксимационная формула. Соответствующие оценки сравниваются с известными экспериментальными данными, как при отсутствии, так и наличии шира скорости, что подтверждает справедливость предложенного механизма возникновения турбулентных структур.

Показано, что шир скорости предотвращает образование крупных турбулентных структур в плазме в процессе их образования [2]. Под воздействием шира скорости происходит деформация профиля волны (более сильное нарастание внутреннего градиента плотности), и по этой причине распад волны происходит при меньших значениях амплитуды волны, а значит, наблюдаются меньшие значения турбулентных флуктуаций. Предложенная трактовка качественно согласуется с экспериментальными данными, полученными с помощью диагностики BES [3].

Литература

1. Г.М. Батанов, В.Е. Бенинг, В.Ю. Королев, А.Е. Петров, К.А. Сарксян, Н.Н. Скворцова, Н.К. Харчев // Физика плазмы, 2002, 28 (2), с. 128 – 143.
2. Conway G. D. // Plasma Phys. Control Fusion, 2008, v. 50, 124026 (11 p).
3. McKee G. R., Fonck R. J., Gupta D. K. et al. // Plasma Fusion Res., 2007, v. 2, S1025 (8pp).