

«УНИВЕРСАЛЬНАЯ» НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В КАЛИЕВОЙ ПЛАЗМЕ

Н. С. Бучельникова

Как показано в ряде работ [1-6], в плазме, неоднородной по плотности, при наличии магнитного поля возможно возбуждение «универсальной» неустойчивости. Неустойчивость должна развиваться как в плазме малой плотности (длина свободного пробега больше размеров системы), так и в плотной плазме.

Неустойчивость развивается на волнах, почти перпендикулярных к магнитному полю, но имеющих составляющую вдоль поля, при частотах

$$\omega = k_y (cT/eH) n'/n, \quad (1)$$

где k_y — составляющая волнового вектора, перпендикулярная магнитному полю, T — температура в энергетических единицах, H — магнитное поле, n — плотность плазмы, n' — градиент плотности плазмы.

Естественно, что в случае ограниченной плазмы, когда k_y определяется длиной окружности плазменного цилиндра, должны возбуждаться только те частоты, для которых $m\lambda = 2\pi R$, где λ — длина волны, R — радиус плазменного цилиндра. Инкремент нарастания обратно пропорционален k_z для малых и k_z^2 для больших плотностей (k_z — составляющая волнового вектора, параллельная магнитному полю) [6]. Отсюда следует, что наиболее вероятна раскачка длинных волн.

Нами проводились эксперименты на установке, в которой плазма получалась термической ионизацией паров калия на вольфрамовой пластине, нагретой до 2000° К. В такой установке плазма представляет собой цилиндр, ограниченный с торцов нагретыми пластинами. Магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра. Плотность плазмы максимальна в центре и спадает по радиусу. При r , равном радиусу пластины, плотность практически равна нулю. В нашей установке радиус пластины $R = 2$ см, расстояние между пластинами $L = 36$ см. Измерения проводились при плотности плазмы от $1 \cdot 10^8$ до $5 \cdot 10^{11}$ см⁻³ и магнитных полях от 600 до 1600 Ое.

Было найдено, что во всем исследованном диапазоне плотностей и магнитных полей в плазме возбуждаются колебания с частотами порядка 5—9, 15—18 и 20—28 кГц. В каждом случае при определенных n и H наблюдаются три-четыре пика, частоты которых находятся в отношении 1 : 2 : 3 : 4. Такие же колебания были обнаружены недавно д'Ангело и Мотли [7].

Возбуждение колебаний, по-видимому, не связано с наличием электрических слоев на границе нагретой вольфрамовой пластины. Изменяя температуру пластины и поток нейтральных атомов на нее, мы создавали условия, когда вблизи поверхности пластины должен возникать электронный или ионный слой. Колебания наблюдались во всех случаях, характер их не изменялся.

В соответствии с теорией колебания возбуждались как в плазме малой плотности при $n \sim 10^8 \div 10^9$ см⁻³ (длина свободного пробега $l > L$), так и в плотной плазме при $n \sim 10^{10} - 10^{11}$ см⁻³ ($l < L$).

Частоты колебаний лежат в диапазоне, определяемом формулой (1). Действительно, если принять $n'/n \sim 1/R$, $\lambda \sim R$, т. е. $k_y \sim 2\pi/R$, то для $T = 2000^\circ$ К, $H = 1000$ Ое, $R = 2$ см получаем $f = \omega/2\pi = 5$ кГц, что согласуется с наблюдаемыми частотами.

Была проверена зависимость частоты колебаний от магнитного поля. Измерения проводились при плотностях $\sim 10^9$ см⁻³. При этом $l \sim L$, число столкновений мало и диффузии практически нет. Вследствие этого плотность плазмы и распределение ее по радиусу практически не зависят от магнитного поля, т. е. n'/n и k_y остаются постоянными и ω должна меняться, как $1/H$. Действительно, было найдено для всех трех гармоник, что частота уменьшается с ростом магнитного поля, как $1/H$.

При измерении сдвига фазы колебаний по азимуту в точках, отстоящих друг от друга на 45, 90 и 180° было найдено, что имеется азимутальная бегущая волна с λ равной a , $a/2$, $a/3$ соответственно для трех гармоник ($a = 2\pi R$ — длина окружности).

Вдоль оси плазменного цилиндра сдвиг фаз равен нулю, т. е. бегущей волны нет. Амплитуда колебаний меняется вдоль столба и имеет максимум посередине, что указывает на существование стоячей волны с $\lambda/2 \sim L$. Такое распределение амплитуд наблюдается и для малых и для больших плотностей. Наличие продольной волны с наибольшей возможной длиной волны согласуется с теорией.

Таким образом, результаты эксперимента согласуются с теорией, и наблюдавшаяся неустойчивость может быть отождествлена с «универсальной» неустойчивостью неоднородной плазмы в магнитном поле.

Выражаю благодарность С. С. Моисееву и Р. З. Сагдееву за обсуждение результатов, Э. М. Смокотину за помощь в проведении экспериментов, В. Г. Филоненко и В. Н. Зайцеву за проектирование установки, В. В. Панину и Г. А. Новосельцеву за наладку установки.

Поступило в редакцию
30 декабря 1963 г.

Литература

- [1] Л. И. Рудаков, Р. З. Сагдеев. ДАН СССР, 138, 581, 1961; Доклад на конференции по физике плазмы, Зальцбург, сентябрь 1961 г.
- [2] Б. Б. Кадомцев, А. К. Тимофеев. ДАН СССР, 146, 581, 1962.
- [3] А. Б. Михайловский, Л. И. Рудаков. ЖЭТФ, 44, 912, 1963.
- [4] С. С. Моисеев, Р. З. Сагдеев. ЖЭТФ, 44, 763, 1963.
- [5] А. А. Галеев, В. Н. Ораевский, Р. З. Сагдеев. ЖЭТФ, 44, 903, 1963.
- [6] А. А. Галеев, С. С. Моисеев, Р. З. Сагдеев. Атомн. энерг., 15, 451, 1963.
- [7] N. D' Angelo, R. W. Motley. Phys. Fluids, 6, 422, 1963.