

01;04;09

©1994

**О ДОПЛЕРОВСКОМ МЕХАНИЗМЕ  
ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ,  
ВОЗБУЖДАЕМОГО ПУЧКОМ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН  
НА КРИТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
СЛОЯ ПЛАЗМЫ, ДВИГАЮЩЕГОСЯ  
НАВСТРЕЧУ ПУЧКУ**

*В. С. Бухман, Н. С. Бухман*

1. Известно [1,2], что при отражении электромагнитной волны от плавнонеоднородного слоя слабостолкновительной плазмы с максимальной плотностью, превышающей критическую для данной частоты волны, на поверхности критической плотности имеет место плазменный резонанс. Плазменный резонанс вызван совпадением частоты падающей электромагнитной волны с локальной плазменной частотой. Известно несколько конкурирующих линейных механизмов ограничения резонанса [1-3]. В данной работе рассмотрено ограничение резонансного поля, возбуждаемого сфокусированным на движущийся плазменный слой пучком электромагнитных волн.

С точки зрения движущегося плазменного слоя монохроматический (в лаборатории) пучок электромагнитных волн не является монохроматическим, потому что состоит из плоских волн, распространяющихся под различными углами к скорости плазмы и имеющих разные доплеровские сдвиги частоты. В результате разные компоненты пучка оказываются в резонансе с плазменными колебаниями на разной глубине плазменного слоя, что приводит к "размыванию" области резонансного нагрева по продольной координате. Кроме того, разделение пучка на компоненты с разными частотами, резонансные поля которых не могут интерферировать друг с другом из-за их разнесенности по продольной координате, приводит к затрудненности фокусировки пучка и, соответственно, к увеличению минимально достижимых поперечных размеров зоны резонансного нагрева. Приведенных соображений вместе с известными [4] последствиями селективности резонансного поглощения по углу падения плоской волны [1,2] достаточно для получения приведенных ниже оценок.

2. Пусть  $L$  — характерная длина неоднородности плазменного слоя,  $\nu$  — эквивалентная частота столкновений [1], определяющая толщину зоны резонансного нагрева плазмы плоской волной (и, соответственно, амплитуду резонансного поля при данной поверхностной мощности резонансного нагрева),  $\delta\alpha$  — угол фокусировки пучка, падающего нормально на плазменный слой,двигающийся со скоростью  $v$  вдоль оси пучка. Тогда существенность рассматриваемого механизма ограничения резонанса определяется величиной параметра

$$n_{D0} = \delta\alpha_0 / \delta\alpha_D, \quad (1)$$

$$\delta\alpha_0 = (k_0 L)^{-1/3} - \quad (2)$$

полуширина диаграммы направленности пучка, при которой достигается максимум резонансного поглощения ( $\sim 20 - 25\%$ ) [4],

$$\delta\alpha_D = (2(\nu/\omega)/(v/c))^{1/2} - \quad (3)$$

максимальная ширина диаграммы направленности пучка, при которой можно пренебречь эффектом Доплера.

В случае  $n_{D0} < 1$  движением плазменного слоя можно пренебречь. В этом случае максимальная амплитуда резонансного поля достигается при фокусировке пучка на критическую поверхность с углом фокусировки  $\delta\alpha \sim \delta\alpha_0$  [4]. Поперечные размеры зоны нагрева оказываются порядка  $\lambda_0/\delta\alpha_0$ , а толщина этой зоны — порядка  $(\nu/\omega)L$ . Тогда для интенсивности резонансного поля имеем

$$E_{r\max}^2 = (W/8\omega L\lambda_0^2) (\omega/\nu)^2 (\delta\alpha_0)^2, \lambda_0 = \lambda_0/2\pi, \quad (4)$$

где  $W$  — мощность падающего на слой пучка.

В случае же  $n_{D0} > 1$  пренебрегать движением плазменного слоя нельзя. И в этом случае максимальная амплитуда резонансного поля достигается при угле фокусировки  $\delta\alpha \sim \delta\alpha_0$ , но теперь поперечные размеры зоны резонансного нагрева оказываются порядка  $\lambda_0/\delta\alpha_D$ , а ее толщина — порядка  $n_{D0}(\nu/\omega)L$ . Таким образом, все размеры зоны нагрева оказываются в  $n_{D0}$  раз больше, чем для неподвижного плазменного слоя. В итоге максимально достижимая интенсивность резонансного поля оказывается в  $n_{D0}^3$  раз меньше, чем для неподвижного слоя, т.е.

$$E_{r\max}^2 = (W/8\omega L\lambda_0^2) (\omega/\nu)^2 (\delta\alpha_0)^2 / n_{D0}^3. \quad (5)$$

3. Сопоставив (1)–(3) с известными [1–3] линейными механизмами ограничения резонансного поля, нетрудно заметить, что описанный механизм ограничения может оказаться существенным для достаточно однородной и достаточно горячей плазмы даже при умеренных скоростях ее движения.

## Список литературы

- [1] Гинзбург В.Л. // Распространение электромагнитных волн в плазме. М., 1967. 683 с.
- [2] Голант В.Е., Пилия А.Д. // УФН. 1972. Т. 14. С. 413–457.
- [3] Буланов С.В., Сазаров А.С. // Физика плазмы. 1985. Т. 11. В. 8. С. 1014–1016.
- [4] Бухман Н.С. // Физика плазмы. 1991. Т. 17. В. 2. С. 185–195.

Плодовоовощной институт  
им. Мичурина  
Мичуринск

Поступило в Редакцию  
20 января 1994 г.