

ПО ПОВОДУ СТАТЬИ Л.П.ЗАКАТОВА, А.Г.ПЛАХОВА
"К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ПЛАЗМЫ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ПРОБКОТРОНЕ "

*Р.А.Демирханов, А.К.Геворков А.Ф.Понов,
О.А.Колмаков*

В работе проводится сравнение экспериментальных результатов, полученных в [1], с моделью нагрева плазмы в условиях пучковой неустойчивости в пробкотроне, предложенной в [2,3]. Показано, что экспериментальные данные, приведенные в работе [1], находят качественное объяснение в модели стохастического циклотронного нагрева.

В работе [1] ставится под сомнение механизм нагрева электронной компоненты плазмы в условиях пучковой неустойчивости в магнитных ловушках пробкотронного типа, предложенной в [2, 3]. Авторы работы [1] утверждают, что основным экспериментальным фактом, приводимым в работах [2, 3] в пользу механизма стохастического циклотронного нагрева "является наблюдаемая временная корреляция между вспышками рентгеновского излучения и излучения в области циклотронных частот пробкотрона", и, что выводы работ [2, 3] о механизме нагрева "базируются исключительно на наблюдении корреляции между вспышками рентгеновского излучения и возбуждением колебаний в области циклотронных частот.

Это утверждение неверно. В действительности, в работах [2, 3] вывод о механизме нагрева электронной компоненты плазмы сделан на основании: 1) измерений полного спектра колебаний, возбуждаемого пучком электронов в плазме; 2) исследования механизма поглощения этих колебаний в неоднородном магнитном поле; 3) измерения электронной температуры (зондовые и рентгеновские). Было показано, что

эффективный нагрев электронной компоненты плазмы наблюдается, когда спектр возбуждаемых пучком колебаний лежит в области $\omega_{c\ min} \leq \omega \leq \omega_{c\ max}$, где $\omega_{c\ min}$ и $\omega_{c\ max}$ — минимальная и максимальная циклотронные частоты пробкотрона (см. рис. 2 работы [2] и рис. 5, 6 работы [3], более подробно поглощение колебаний исследовано в работе [4]).

Сравним экспериментальные результаты работы [1] с этими представлениями. Авторы работы [1] наблюдают корреляцию между возрастанием энергосодержания плазмы и СВЧ излучением на двойной плазменной частоте. Наличие излучения на этой частоте, по мнению авторов, "свидетельствует о развитии в плазме интенсивных ленгмюровских колебаний", ответственных за нагрев плазмы. По данным работы [1], приведенным под рис. 2, $\omega_{c\ min} = 1,8 \cdot 10^{10} \text{ сек}^{-1}$, $\omega_{c\ max} = 9 \cdot 10^{10} \text{ сек}^{-1}$, $\omega_p \sim (5,6 + 7,8) \cdot 10^{10} \text{ сек}^{-1}$. Таким образом возрастание энергосодержания плазмы коррелирует с возбуждением плазменных колебаний в области частот $\omega_{c\ min} \leq \omega \leq \omega_{c\ max}$ хорошо поглощаемых, согласно работам [2, 3], в областях циклотронного резонанса неоднородного магнитного поля пробкотрона. Эти результаты находятся в полном соответствии с моделью стохастического циклотронного нагрева.

К сожалению, авторы работы [1] не приводят спектра колебаний, ответственного за нагрев плазмы и его пространственного распределения. Исследование СВЧ излучения на частоте $\omega \sim \omega_{c\ min}$, составляющего лишь малую долю спектра колебаний, возбуждаемого в плазме [2, 3], недостаточно для построения полной картины явления.

По-видимому, наблюдаемые в [1] вспышки рентгеновского излучения и коррелирующие с ними вспышки СВЧ излучения на циклотронной частоте, связаны с неустойчивостью плазмы с горячими электронами. Следует, однако, отметить, что эта неустойчивость развивается, вероятно, не всегда, так как в ранних экспериментах [5] время появления вспышки рентгеновского излучения с зонда-мишени сильно зависящее от радиуса, на котором находится зонд, использовалось как одно из основных измерений для подтверждения диффузионной модели нагрева.

Без измерения ширины спектра в области плазменных частот, ответственных за нагрев электронной компоненты плазмы, необоснованным является утверждение авторов работы [1] о том, что энергосодержание плазмы должно увеличиваться с увеличением напряженности магнитного поля первой по ходу электронного пучка пробки. Ясно, что увеличение энергосодержания плазмы будет наблюдаться, когда с увеличением магнитного поля пробки будет происходить увеличение ширины спектра плазменных колебаний, попадающих в области циклотронного резонанса. Так как электроны плазмы многократно проходят области циклотронного резонанса, существенным является время удержания электронов в ловушке, которое определяется минимальным пробочным отношением несимметричной ловушки. Из этого следует, что увеличение энергосодержания, наиболее вероятно, может наблюдаться

при одновременном увеличении магнитного поля в обеих пробках, что находится в согласии с результатами работы [1].

Таким образом, качественное объяснение результатов работы [1] можно найти в рамках модели стохастического циклотронного нагрева и заключение авторов о противоречии их экспериментальных данных с результатами, полученными в работах [2, 3], является необоснованным.

Поступила в редакцию
2 декабря 1974 г

Литература

- [1] Л.П.Закатов, А.Г.Плахов. Письма в ЖЭТФ, **20**, 87, 1974.
 - [2] Р.А.Демирханов, А.К.Геворков, А.Ф.Попов, О.А.Колмаков. Письма в ЖЭТФ, **15**, 389, 1972.
 - [3] Р.А.Демирханов, А.К.Геворков, А.Ф.Попов, О.А.Колмаков, ЖЭТФ, **63**, 1653, 1972.
 - [4] Р.А.Демирханов, А.К.Геворков, А.Ф.Попов, О.А.Колмаков. ЖТФ, **43**, 294, 1973.
 - [5] А.Г.Плахов, Д.Д.Рютов, В.В.Шапкин. III Междунар. конф. по физике плазмы и исследованиям по управляемому термоядерному синтезу. Новосибирск, 1968, доклад CN-24/L-3.
-