

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ИОНОВ В ТОКАМАКЕ ТО-1

Н. В. Иванов, И. А. Кован

Как хорошо известно, важной характеристикой термоизоляции плазмы в замкнутых магнитных ловушках типа Токамак является время сохранения тепловой энергии в ионной компоненте плазмы. До последнего времени эта величина обычно определялась из уравнения энергобаланса, основанного на предположении о кулоновском механизме передачи энергии от электронов к ионам при джоулевом нагреве плазмы [1, 2]. В экспериментах на установке ТО-1 [3] была получена зависимость энергосодержания плазмы от времени при магнитозвуковом нагреве ионов, по которой можно сделать вторую независимую оценку τ_{Ei} . Представляет интерес сравнение энергетического времени жизни ионов, измеренного по этой зависимости с величиной, вычисленной из уравнения энергобаланса.

Уравнение энергетического баланса ионов, отнесенное к объему плазменного шнура, может быть записано в следующем виде:

$$\frac{3}{2} \frac{d}{dt} \int nkT_i dV = P_{ei} + \tilde{P} - \frac{3}{2} \frac{\int nkT_i dV}{\tau_{Ei}} \quad (1)$$

Величина τ_{Ei} , входящая в (1), является характеристикой термоизоляции ионной компоненты плазменного шнура в целом, \tilde{P} - ВЧ мощность, поглощаемая ионами за счет магнитозвукового нагрева, P_{ei} - энергия, передаваемая ионам от электронов в единицу времени. Если при каждом акте взаимодействия от электрона к иону передается энергия, отличающаяся в γ раз от энергии передаваемой при кулоновском столк-

новении, то на основании работы [2].

$$P_{ei} = \gamma \frac{0,4 \cdot 10^{-17}}{A} \int \frac{n^2}{T_i^{1/2}} dV. \quad (2)$$

Здесь A – атомный вес (водород или дейтерий), T_i – ионная температура в $^{\circ}\text{K}$, n – концентрация плазмы.

В уравнении (1) температура ионов складывается из температуры T_{i0} , которая достигается только от джоулевого нагрева и добавки ΔT_i , связанной с ВЧ нагревом. Если в формуле (1) ограничиться линейным членом разложения по $\Delta T_i / T_{i0}$ и считать τ_{Ei} постоянной величиной, то уравнение (1) распадается на два независимых уравнения. Решение первого из них, описывающего энергобаланс ионов при $\tilde{P} = 0$, дает в стационарном состоянии при параболическом законе радиального распределения концентрации плазмы и температуры ионов:

$$\tau_{Ei} = \frac{43A}{\gamma} \frac{T_{i0}^{3/2}}{n}. \quad (3)$$

В этой формуле T_{i0} и n – параметры плазмы на оси шнура. Решение второго уравнения позволяет получить добавку в энергосодержании ионной компоненты плазмы от поглощения ВЧ мощности

$$\Delta W_i = \frac{3}{2} \int n k \Delta T_i dV = \tilde{P}_r (1 - e^{-r/\tau}). \quad (4)$$

При неизменности закона радиального распределения T_i величина r в формуле (4) определяется выражением

$$r = \frac{\tau_{Ei}}{1 + \frac{\gamma}{2}}. \quad (5)$$

Решение системы уравнения (3) и (5) относительно коэффициента γ и энергетического времени жизни ионов дает значения $\gamma = 0,85$, что в пределах ошибки измерений не отличается от единицы, и $\tau_{Ei} = 3 \text{ мсек}$. При вычислении в уравнения подставлялись параметры плазмы в отсутствие ВЧ нагрева $T_{i0} = 10^6 \text{ }^{\circ}\text{K}$ и $n = 1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Величина $r = 2,5 \text{ мсек}$ была определена из диамагнитных измерений как время нарастания добавки энергосодержания ионов при ВЧ нагреве до уровня 0,7 от своего максимального значения. Следует отметить, что полное энергетическое время плазмы при джоулевом нагреве τ_E составляет в тех же условиях 1,5 мсек.

Таким образом, для рассмотренных параметров разряда коэффициент γ совпадает с единицей, что свидетельствует о кулоновском механизме теплообмена между электронами и ионами в плазме.

Авторы благодарны И.Н. Головину за полезное обсуждение настоящей работы.

Поступила в редакцию
10 августа 1972 г.

Литература

- [1] Л.А.Арцимович, А.В.Глухов, М.П.Петров. Письма в ЖЭТФ, 11, 449, 1970.
- [2] Л.А.Арцимович, Е.П.Горбунов, М.П.Петров. Письма в ЖЭТФ, 12, 89, 1970.
- [3] Н.В.Иванов, И.А.Кован, П.И.Козлов, Е.В.Лось, В.С.Свищев, Н.Н.Швиндт. Письма в ЖЭТФ, 16, 88, 1972.
-