

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.525; 533.9.07

А. А. Кузовников
Е. Ю. Мелкумова
Г. С. Ярамышев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЧАСТОТУ ИОНИЗАЦИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ АСИММЕТРИЧНОМ РАЗРЯДЕ

В положительном столбе разряда постоянного тока увеличение внешнего магнитного поля приводит к уменьшению температуры электронов и тем самым к уменьшению частоты ионизации [1]. Однако этого может не быть в ВЧ разряде; например, в ВЧ разряде, возбуждаемом в цилиндрических трубах с кольцевыми электродами, при увеличении магнитного поля изменяется форма функции распределения электронов по энергиям [2].

В настоящем сообщении проводятся результаты измерений средней частоты ионизации и температуры электронов в ВЧ асимметричном разряде в аксиальном магнитном поле. Измерения проводились зондовым методом. ВЧ низкоомный разряд [3] возбуждался в гелии в разрядном промежутке с коаксиальными электродами длиной 16 см и диаметром 0,4 см и 7 см. Цель постоянной составляющей разрядного тока отсутствовала. Зонды размещались в середине разрядного промежутка. В качестве опорного электрода при зондовых измерениях использовался внешний заземленный электрод разрядной трубки.

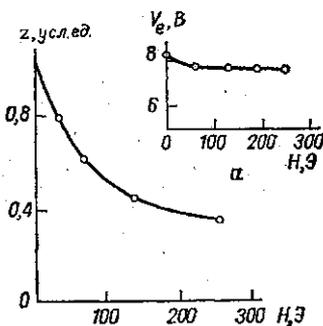
Частота ионизации z определялась с помощью уравнения баланса заряженных частиц по измеренным значениям плотности стеночного тока j и радиальному профилю концентрации заряженных частиц $n(r)$:

$$z = \frac{j(H) R}{e \int_{r_0(H)}^R n(r, H) r dr} \quad (1)$$

Здесь R — радиус внешнего электрода, H — напряженность магнитного поля, r — радиальная координата, ее значение $r_0(H)$ соответствует максимальному значению концентрации в разрядном промежутке. Плотность тока j измерялась с помощью плоского зонда с охранным кольцом, расположенными в плоскости отверстия во внешнем электроде. Концентрация n определялась по методике [4] с использованием цилиндрического зонда, ориентированного вдоль магнитного поля.

Результаты измерений средней частоты ионизации представлены на рис. 1, а, частота ионизации уменьшается с ростом магнитного поля. Корректное определение величины z с помощью соотношения (1) в условиях эксперимента возможно при $H \geq 240$ Э, так как измерения продольного распределения концентрации показали, что при дальнейшем увеличении напряженности H необходимо учитывать уход заряженных частиц вдоль магнитного поля.

На рис. 1, б представлены результаты измерений температуры электронов V_e , определенные с помощью тонкого цилиндрического зонда, ориентированного поперек магнитного поля [5]. Эта температура характеризует группу «медленных» электронов с энергией $\epsilon \leq 20$ эВ, которые составляют основную часть распределения электронов по энергиям. Определение температуры в области больших энергий затруднено вследствие неточного определения электронного тока зонда при больших отрицательных потенциалах.



Измерения выполнены в ВЧ-разряде в гелии при давлении 0,2 мм рт. ст.; ВЧ напряжение 120 В, частота 8,2 МГц

Определенная зондовым методом температура электронов не изменяется при увеличении магнитного поля и поэтому не характеризует частоту ионизации. В настоящей работе вклад ступенчатой ионизации в полную ионизацию не определялся. Однако в условиях эксперимента независимо от относительной роли ступенчатой ионизации рассчитанные значения частоты ионизации электронным ударом из основного состояния с использованием температуры «медленных» электронов превышают измеренные в 2,5—7 раз. Это свидетельствует о том, что функция распределения электронов в области энергий $\varepsilon \geq 20$ эВ обеднена по сравнению с максвелловской; с ростом внешнего магнитного поля дефицит «быстрых» электронов функции распределения увеличивается. Таким образом, полученные результаты указывают на специфику ВЧ асимметричного разряда, в котором частота ионизации уменьшается с ростом магнитного поля вследствие уменьшения доли «быстрых» электронов функции распределения, а не их средней энергии, как это имеет место в положительном столбе разряда постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. М., 1971.
2. Вагнер С. Д., Виролайнен В. А., Каган Ю. М., Калмыкова Т. А. ЖТФ, 1974, 44, 468.
3. Горяга Г. И., Кузокников А. А., Квашонкин В. И., Ярамышев Г. С. Рукоп. Деп. в ВИНТИ, № 1601—74 от 13 июня 1974 г.
4. Shulz J., Brown S. C. «Phys. Rev.», 1955, 98, 1642.
5. Каган Ю. М., Перель В. И. ЖТФ, 1968, 38, 10.

Поступила в редакцию
19.10 1976 г.
Кафедра
электроники

УДК 517.91/943

Г. Н. Медведев
Б. И. Моргунов

О ПРИБЛИЖЕННОМ РЕШЕНИИ МЕТОДОМ УСРЕДНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ, СОДЕРЖАЩИХ МЕДЛЕННЫЕ И БЫСТРЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Постановка задачи. Рассматривается система интегродифференциальных уравнений с запаздыванием следующего вида:

$$\dot{x} = \varepsilon X(x, \tilde{x}, \psi, \tilde{\psi}, \int_0^t f(x(s), \tilde{x}(s), \psi(s), \tilde{\psi}(s), s, t, \varepsilon) ds, \varepsilon), \quad (1)$$

$$\dot{\psi} = \omega(x) + \varepsilon \Psi(x, \tilde{x}, \psi, \tilde{\psi}, \int_0^t g(x(s), \tilde{x}(s), \psi(s), \tilde{\psi}(s), s, t, \varepsilon) ds, \varepsilon),$$

где x , X и ψ , Ψ — векторные функции, $\varepsilon > 0$ — малый параметр, $\Delta > 0$ (запаздывание) — постоянная величина. Если ψ (фаза) — скаляр, то систему (1) называют системой с быстро вращающейся фазой. В системе (1) использованы и в дальнейшем применяются обозначения: $\tilde{x} = x(t - \Delta)$, $\tilde{\psi} = \psi(t - \Delta)$, $\tilde{x}(s) = x(s - \Delta)$, $\tilde{\psi}(s) = \psi(s - \Delta)$.

Схема усреднения для системы (1) без запаздывания была предложена и обоснована в работах А. Н. Филатова [1, 2].

Целью настоящей статьи является, во-первых, разработка и обоснование метода усреднения для систем (1) с быстро вращающейся фазой и запаздыванием, а также обоснование алгоритма построения высших приближений системы (1), что необходимо для получения приближенных значений не только медленных переменных x , но и быстрой фазы ψ .