

НАБЛЮДЕНИЕ ПЕРЕГРЕВНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ
В ПОЛНОСТЬЮ ИОНИЗОВАННОЙ ПЛАЗМЕ С ТОКОМ

А. Н. Васильева, И. А. Гришина,
В. Д. Письменный, А. Т. Рахимов

Исследование горения плоских газовых разрядов, в которых магнитное давление является несущественным, представляет интерес для изучения несиловых перегрево-ионизационных неустойчивостей, развивающихся в плазме с током. Так, в работах [1 – 3] исследовалась неустойчивость, развивающаяся при протекании тока в слабоионизованной плазме и вызванная перегревом ионизирующегося газа. Эта неустойчивость, естественно, не должна развиваться в изотермической полностью ионизованной плазме. Однако в такой плазме может развиваться перегреваемая неустойчивость, связанная с выходом излучения. Проявлением этой неустойчивости, например, может быть неоднородное горение оптически прозрачного плоского газового разряда [4].

Природа такой неустойчивости определяется тем, что из сильноионизованной плазмы значительная доля энергии уносится излучением, мощность которого с ростом температуры либо уменьшается, когда преобладает рекомбинационное излучение, либо может возрасти медленнее, чем джоулев нагрев, когда преобладает линейчатое или тормозное излучение [5, 6].

Такая неустойчивость не демпфируется электротехнической цепью, поскольку она может развиваться при фиксированных значениях приложенного электрического поля и протекающего через разряд тока путем его перераспределения между соседними областями разряда. В случае разряда плоской геометрии это должно приводить к его расслоению на токовые нити с различными плотностями тока.

Для наблюдения этого эффекта нами был проведен эксперимент, приведший к обнаружению перегревной неустойчивости в полностью ионизованной токовой плазме. Был исследован разряд плоской геометрии, протекавший в плазме, состоящей, в основном из вещества, испаренного со стенок камеры, имевшей следующие размеры: длина электродов – $30 \div 40$ мм, расстояние между ними – 40 мм, зазор между кварцевыми стенками $d = 1,5 + 2$ мм. Перед разрядом камера наполнялась водородом или ксеноном с концентрацией $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Разряд питался конденсатором емкостью $\sim 600 \div 1200$ мкф, включенным в электрическую цепь последовательно с балластной индуктивностью ~ 80 мкн. Напряженность электрического поля составляла величину $E \leq 175$ в/см. Полное заполнение камеры разрядом, как это видно по СФР – граммам, происходило до достижения максимального значения тока. Общая длительность разряда ~ 1 мсек. Указанные параметры эксперимента позволяли получать полностью ионизованную оптически прозрачную плазму (температура плазмы, оцененная по кулоновской проводимости, достигала 2 эв). В то же время ток разряда не достигал значений, при которых могло бы происходить пинчевание.

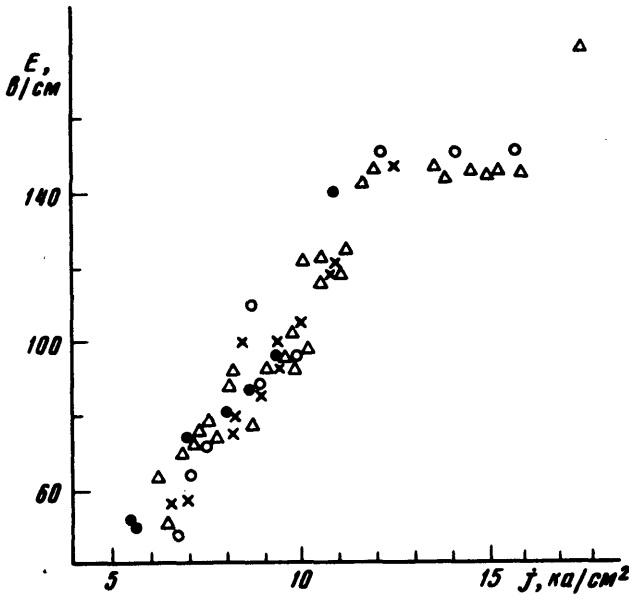


Рис. 1. Зависимость средней плотности тока j от напряженности электрического поля E в разряде; Δ - $d = 1,5$ мм; \circ - $d = 1,8$ мм; \times - $d = 2$ мм; \bullet - $d = 2,6$ мм

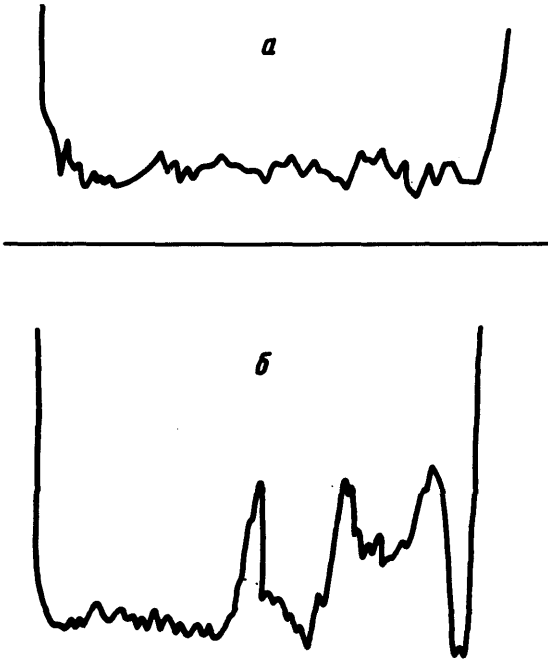


Рис. 2. Микрофотограммы поперечного сечения разряда для моментов максимального значения тока разряда: a - $E = 100$ в/см, $T = 1,45$ эв; b - $E = 150$ в/см, $T = 1,64$ эв

На рис. 1 представлена вольт-амперная характеристика разряда, относящаяся к моментам достижения максимума тока, на рис. 2 приведены микрофотограммы поперечного сечения разряда для двух различных режимов горения, а на рис. 3 - щелевая фоторазвертка разряда в стадии развитой неустойчивости. Как видно из рис. 1 при $E \approx 150$ в/см на вольт-амперной характеристике имеется плато. С другой стороны, по

СФР-граммам видно, что при значениях средней плотности тока разряда, соответствующих началу плато вольт-амперной характеристики, разряд перестает быть однородным: в нем появляются токовые нити с одинаковой повышенной температурой и, следовательно, повышенной плотностью тока. По мере роста средней плотности тока разряда число таких нитей возрастает.

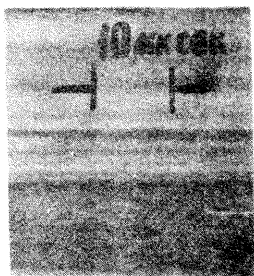


Рис. 3. Щелевая фотография разряда в стадии развитой неустойчивости

Характерный вид вольт-амперной характеристики и неоднородность горения разряда при электрических полях, соответствующих наличию на характеристике плато, свидетельствует о развитии в рассматриваемых условиях перегретой неустойчивости, так что при определенном значении электрического поля в некотором диапазоне значений силы тока единственной устойчивой формой горения разряда в изотермической полностью ионизованной плазме является "двухфазное" горение, т. е. такое горение, когда сосуществуют плазменные области с двумя различными температурами, определяющимися излучением и теплопроводностью плазмы [4]. Такой квазистационарный режим горения разряда в условиях эксперимента устанавливается за время τ , много меньшее характерных времен протекания разряда (определенное по кулоновской теплопроводности $\tau \sim 10^{-5}$ сек).

Авторы благодарны Е.П.Велихову и А.А.Веденову за полезное обсуждение полученных результатов, а также А.В.Глухову за помощь в проведении эксперимента.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию
17 апреля 1972 г.

Литература

- [1] А.М.Дыхне. Сб. "Проблемы электроразрядной плазмы и сильных магнитных полей", М. изд. Наука, 1970.
- [2] А.Ф.Витшас, А.М.Дыхне, В.Г.Наумов, В.П.Панченко. ТВТ, 9, 225, 1971.
- [3] Е.П.Велихов, И.В.Новобранцев, В.Д.Письменный, А.Т.Рахимов, А.Н.Старостин. ДАН СССР, 205, 1972.
- [4] V.D.Pismenny, A.T.Rakhimov. Phys. Lett., 33A, 17, 1970.
- [5] В.Д.Письменный, А.Т.Рахимов. ДАН СССР, 196, 562, 1971.
- [6] L.E.Lasher, K.H.Wilson, R.Greif. JQSRT, 7, 305, 1967.