

04;12

Неустойчивый режим возбуждения кинетических страт в газоразрядной плазме

© В.В. Солонин, В.А. Степанов, М.В. Чиркин

Рязанский государственный педагогический университет,
390000 Рязань, Россия

(Поступило в Редакцию 30 марта 1999 г.)

В разряде низкого давления стабилизированы нерегулярные страты в режиме, соответствующем выделенной из хаотического аттрактора неустойчивой периодической орбите. Характерная особенность реализованного волнового процесса заключается в изменении типа части страт во время их движения в положительном столбе.

Результаты применения методов нелинейной динамики дают основания рассматривать нерегулярные страты (ионизационные волны) в положительном столбе разряда низкого давления как автоколебания, геометрическим образом которых является хаотический аттрактор небольшой размерности [1,2], содержащий счетное множество неустойчивых периодических орбит. Практическое осуществление стабилизации ионизационных волн около орбит, период которых в несколько раз превышает период страт (управление хаосом) [3], позволяет исследовать особенности неустойчивых режимов возбуждения страт.

Эксперименты выполнены в условиях поддержания разряда постоянного тока в трубке диаметром 1 см, наполненной неоном до давления 2.7 mm Hg. Исследуемые сигналы представляют собой колебания напряжения на разрядном промежутке и интенсивности оптического излучения из стратифицированной плазмы, для регистрации которого вдоль трубки расположены 24 фотоприемника. В случае изменений длины положительного столба и тока разряда осуществляются переходы от регулярных страт к хаотическим и обратно [1]. В рассматриваемом случае длина (17.3 см) и ток (16.5 mA) соответствуют нерегулярным стратам.

Основу эксперимента составляет реконструкция хаотического аттрактора в m -мерном псевдофазовом пространстве (пространстве вложения), точки в котором заданы векторами $\mathbf{Y}_j = [y(t_j), y(t_j + \tau), y(t_j + 2\tau), \dots, y(t_j + (m-1)\tau)]$, $j = 1 \div N$; $y(t_j)$ — дискретный временной ряд значений интенсивности оптического излучения из выбранного участка положительного столба. Время задержки τ определено по положению первого минимума функции взаимной информации [4], вычисленной для зарегистрированного временного ряда. В качестве размерности вложения принято минимальное значение m , соответствующее насыщению величины логарифмической производной $d(\ln C)/d(\ln \delta)$ [5], где

$$C(\delta) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_i^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \sigma(\delta - |\mathbf{Y}_i - \mathbf{Y}_j|), \quad (1)$$

$\sigma(\dots)$ — функция Хевисайда, δ — радиус сферы в пространстве вложения.

Страты стабилизированы в результате модуляции потенциала анода сигналом, синтезированным в соответствии с одной из периодических орбит, предварительно выделенных из восстановленного аттрактора с помощью алгоритма Латропа–Костелича [6]. Амплитуды A_n составляющих в спектре управляющего сигнала на частотах страт и разностной частоте приведены в таблице для орбит с периодом T , равным 1.05 ms.

f_n	$A_n / \sqrt{\sum A_n^2}$
$1/T$	0.060
$5/T$	0.075
$6/T$	0.344
$7/T$	0.811
$8/T$	0.370

Особенности волнового процесса в условиях стабилизации сложного периодического режима иллюстрирует $x-t$ -диаграмма, на которой сплошными линиями показано перемещение максимумов интенсивности оптического излучения (рис. 1). В участке положительного столба, прилегающем к аноду, страты движутся к катоду со скоростью, приблизительно равной $2.2 \cdot 10^4$ cm/s. Пространственно-временной спектр содержит пики, частоты и волновые числа k которых характерны для кинетических страт s -типа [7] с падением потенциала около 19 V (рис. 2; положительное волновое число соответствует направлению фазовой скорости к катоду). Максимумы спектра при $k = 0$ обусловлены синфазными колебаниями; боковые составляющие отражают изменения амплитуды и скорости волн.

Напряжение на разрядной трубке представляет собой модулированное колебание с частотой, близкой к $7/T$. Дважды за период T (в моменты времени t_1 и t_2) величина напряжения уменьшается (рис. 1). В момент времени t_1 скорость движения страты 2 снижается до $1.3 \cdot 10^4$ cm/s, что проявляется в изменении наклона соответствующего волнового гребня на $x-t$ -диаграмме. Через 0.1 ms в 1.5 раз падает величина максимума оптического излучения из этой страты; затем аналогичное изменение

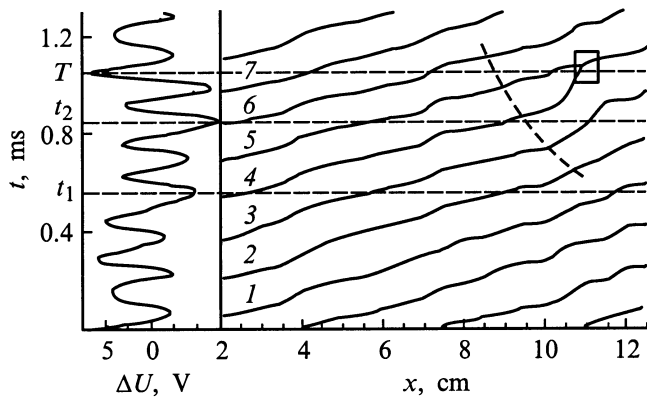


Рис. 1. Переменная составляющая напряжения на разрядной трубке и участок пространственно-временной диаграммы перемещения максимумов интенсивности оптического излучения из стратифицированного положительного столба в условиях стабилизации неустойчивой орбиты периода T ; x — расстояние до анода. Штриховая кривая — распространение возмущений ионизационных волн. Цифры у кривых — номера страт.

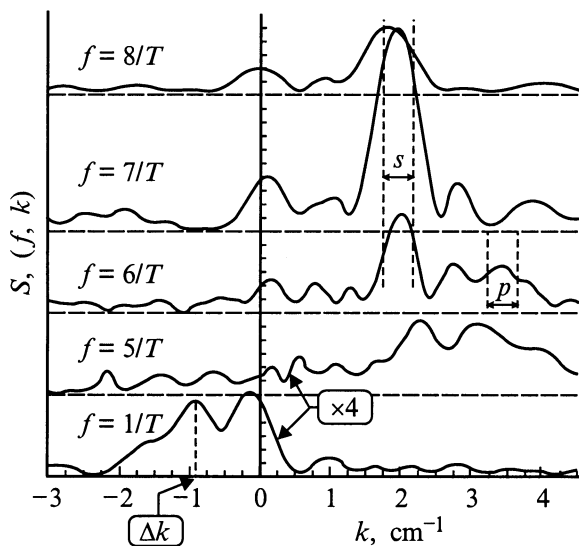


Рис. 2. Пространственные спектры колебаний интенсивности оптического излучения на частотах страт и разностной частоте. Штриховыми линиями выделены масштабы, соответствующие стратам p - и s -типов.

амплитуды происходит у страт 3–6 в последовательном порядке. Распространение к аноду возмущений ионизационных волн, показанное штриховой линией, происходит со скоростью $6.5 \cdot 10^3$ cm/s, совпадающей по величине и направлению с отношением $2\pi/(T \Delta k)$, где Δk — волновое число, соответствующее максимуму пространственного спектра на разностной частоте $f = 1/T$.

Наблюдаемые изменения вызваны отклонением при $t = t_1$ величины падения потенциала в страте 2 от условия пространственного резонанса для функции распределения электронов по энергии в ионизационных волнах s -типа [7], что изменяет скорость ионизации и

электрическое поле в следующих стратах. В результате длина и скорость движения страты 3 приближаются к величинам, характерным для ионизационных волн p -типа с падением потенциала около 10 V: 1.8 cm и 10^4 cm/s. Периодическую трансформацию типа части страт отражает соответствующий p -стратам максимум в спектре на рис. 2.

После снижения напряжения на разрядной трубке в момент времени t_2 скорость движения страты 4 уменьшается до такой степени, что происходит ее слияние со стратой 5, аналогичное волновым дислокациям, характерным для нерегулярного режима [8]. Слияние волн сопровождается ростом напряжения, после чего интенсивность оптического излучения из страт 5 и 6 увеличивается.

Обнаруженный эффект свидетельствует, что отличительная черта неустойчивого периодического режима генерации ионизационных волн заключается в существовании механизмов, компенсирующих значительное отклонение электрического поля в одной из страт от условия пространственного резонанса для функции распределения электронов по энергии. Наблюдаемые результаты действия этих механизмов заключаются в изменении типа части страт и слиянии движущихся вслед за ними волн.

Список литературы

- [1] Анищенко В.С., Мелехин Г.В. и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 8. С. 951–960.
- [2] Weltmann K.-D., Deutsch H. et al. // Contrib. Plasma Phys. 1993. Vol. 33. N 2. P. 73–88.
- [3] Weltmann K.-D., Klinger T., Wilke C. // Phys. Rev. E. 1995. Vol. 52. N 2. P. 2106–2109.
- [4] Fraser A.M., Swinney H.L. // Phys. Rev. A. 1988. Vol. 33. N 2. P. 1131–1140.
- [5] Кунчатов А.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 15. С. 90–95.
- [6] Lathrop D.P., Kostelich E.J. // Phys. Rev. A. 1989. Vol. 40. P. 4028–4031.
- [7] Голубовский Ю.Б., Некучаев В.О. и др. // ЖТФ. 1997. Т. 67. Вып. 9. С. 14–21.
- [8] Krasa J. // J. Phys. D. 1981. Vol. 14. P. 1241–1246.