

01; 04

© 1992

ОПТИМАЛЬНЫЕ ТОЧКИ РАЗМНОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В САМООРГАНИЗОВАННЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ СТРУКТУРАХ

А.И. М а ш е н к о, Г.Н. Т о л м а ч е в

Одной из наиболее сложных задач в теории самоорганизации и синергетики является нахождение экстремальных точек, в которых существование структур может быть устойчивым [1, 2]. Поиск таких точек, особенно на мезоскопическом уровне организации [2], всегда сопряжен с большими трудностями в связи с тем, что в самоорганизованных структурах при экстремальных измерениях скачивается взаимодействие с измерительными приборами, а для теоретического описания недостаточно сведений о сечениях элементарных процессов. Газовый разряд и плазму можно отнести к наиболее перспективным системам для моделирования процессов в самоорганизованных системах на различных уровнях ее организации. Это связано с тем, что для них накоплено достаточное число экспериментальных и теоретических результатов, делающих постановку задачи об оптимальных точках на мезоскопическом уровне описания правомерной. В [3] для моделирования процессов самоорганизации было предложено использовать выделенную в приэлектродных зонах газового разряда определенное структурное образование — элементарную ячейку самоорганизации газового разряда. В настоящем сообщении приводятся результаты исследований по выявлению оптимальных точек размножения электронов в самоорганизованной газоразрядной структуре.

Для нахождения оптимальных точек размножения электронов были взяты две модели пространственного распределения электрического поля в ячейке — равномерное (случай малых токов и пробойные явления) и неравномерное (случай больших токов). Во втором случае распределение электрического поля считалось линейно падающим в катодном слое [4]. Из различных методов исследования кинетики электронов в электрических полях был применен метод моделирования столкновительного дрейфа „роя” электронов методом Монте-Карло [5]. В качестве рабочего газа был выбран гелий, сечение элементарных процессов для которого взяты из работы [6-7]. Число электронов, покидающих катод, равнялось 10^4 . Длина ячейки — 2-5 см. Дискрета по E/p была 5 В/см·Тор, что обеспечивало изменение по средней энергии электронов около 2 эВ. Для различных значений параметра E/p рассчитывались следующие усредненные величины: средние энергии электронов $\langle \epsilon \rangle$ и $\langle \epsilon_{ion} \rangle$ (учитывающая только те электроны, энергии которых больше первого потенциала ионизации гелия); скорость дрейфа электронов $\langle V_d \rangle$ и хаотическая скорость $\langle V \rangle$; частота ионизации $\langle \nu_{ion} \rangle$; коэффициент ионизации

при прямом усреднении числа ионизаций в каждом слое сечения разрядного промежутка вдоль направления поля [8] $\langle \alpha'_{ion} \rangle = \langle \Delta N_{ion} \rangle / \Delta x$. Параметр $\langle \alpha'_{ion} \rangle$, численно равен $N_{He} \langle \sigma_{ion} / |\cos(\vec{E}, \vec{V})| \rangle$, где N_{He} - концентрация атомов гелия, σ_{ion} - сечение ионизации.

В токовом приближении [4] вычислялся коэффициент ионизации $\alpha_{ion} = \langle v_{ion} \rangle / \langle V_d \rangle$, а также производные от $\langle v_{ion} \rangle$, $\langle \alpha'_{ion} \rangle$ и $\langle V_d \rangle$ параметрами $v'_{ion} = \langle \alpha'_{ion} \rangle \cdot \langle V_d \rangle$, $V' = \langle v_{ion} \rangle / \langle \alpha'_{ion} \rangle$. Здесь угловыми скобками обозначено усреднение по функции распределения электронов по энергиям. В результате проведенного исследования выявлены три области изменения параметра E/p , в которых существуют экстремальные соотношения.

Первая область: Параметр $E/p = 70-75$ В/см·тор ($\langle E \rangle \cong 20$ эВ). В этой области максимума достигают следующие параметры: $\alpha_{ion}/E = 1.14 \cdot 10^{-2}$ (В)-1, $\alpha_{ion}/\langle E \rangle = \langle \alpha'_{ion} \rangle / \langle \epsilon_{ion} \rangle = 3.89 \cdot 10^{-4}$ (см·эВ)⁻¹. Для параметра α_{ion} выполняется условие $d(\alpha_{ion})/d(E) = \alpha_{ion}/E$, что совпадает с условием для точки Столетова [4]. Характерной особенностью этой области является совпадение оптимумов α по E/p и по $\langle E \rangle$, что позволяет пользоваться для описания разрядов в равномерных полях параметром E/p . В этой области достигается локальное равновесие между полем и электронами. При более низких и более высоких E/p имеется тенденция к „убеганию“ электронов, причем, в области низких E/p - за счет нагрева электронов до потенциала возбуждения гелия, а в области высоких - за счет спада суммарного сечения элементарных процессов.

Вторая область: Параметр $E/p = 90-95$ В/см·тор. Здесь достигает экстремума только $\langle v_{ion} \rangle / \langle E \rangle^2 = 2.45 \cdot 10^{-3}$ (с·эВ²)⁻¹ при $\langle E \rangle = 24.6$ эВ совпадающей с потенциалом ионизации гелия.

Третья область: Параметр $E/p = 135-145$ В/см·тор ($\langle E \rangle \cong 20$ эВ). Здесь достигают экстремума: $\langle \alpha'_{ion} \rangle / E = 7.93 \cdot 10^{-3}$ (В)-1, $\langle \alpha'_{ion} \rangle / \langle E \rangle = 2.98 \cdot 10^{-2}$ (см·эВ)⁻¹ и $v'_{ion} / \langle E \rangle^2 = 2.04 \cdot 10^{-3}$ (с·эВ²)⁻¹. Для параметров $\langle \alpha'_{ion} \rangle$ и v'_{ion} выполняются условия на оптимум: $d(\langle \alpha'_{ion} \rangle / d\langle E \rangle = \langle \alpha'_{ion} \rangle / \langle E \rangle$ и $d(v'_{ion} / \langle E \rangle^2) / d\langle E \rangle = v'_{ion} / \langle E \rangle^2$. Особенностью этой зоны является то, что здесь для параметра $\langle \alpha' \rangle$ совпали экстремумы по E/p и по $\langle E \rangle$, что не выполняется для α_{ion} , поэтому для анализа процессов в неоднородных полях следует переходить к параметру $\langle E \rangle$. Интересной особенностью этой области является выполнение здесь следующего соотношения: $\langle \epsilon_{ion} \rangle \cong \langle V \rangle^2$, говорящего о том, что в этой области может происходить равномерное распределение энергий по степеням свободы, характерное для равновесной термодинамики. Следует отметить, что первая и вторая области выявлены только для равномерного поля, в то время как третья область существует и в равномерных и в неравномерных полях, причем численные значения для этих полей совпадают при условии замены максимального значения напряженности поля у катода на ее среднее значение в катодном слое.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] П р и г о ж и н И. От существующего к возникающему. Пер. с англ. под ред, Ю.Л. Климонтовича. М.: Наука, 1985.
- [2] Х а к е н Г. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. / Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 423 с.
- [3] Т о л м а ч е в Г.Н. Фундаментальные и прикладные аспекты применения миллиметрового э. м. излучения в медицине. Киев, 1989. 70 с.
- [4] Г р а н о в с к и й В.Л, Электрический ток в газе / Под ред. Л.А. Сена и В.Е. Голанта, М.: Наука, 1971. 543 с.
- [5] В о e u f J.P., M a r o d e E. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1982. V. 15. P. 2169.
- [6] N i s k e l J.C., I m r e K., R e g i s t e r D.F. // J. Phys. B: At. Mol. Phys. 1985. V. 18. P. 125-133.
- [7] А л х а з о в Г.Д. // ЖТФ. 1970. Т. 40. № 1. С. 97-107.
- [8] У л ь я н о в К.Н., Ч к л к о в В.В. // ТВТ. 1985. Т. 23. № 4. С. 673.

Поступило в Редакцию
3 июля 1992 г.