

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ОБЪЕМНЫХ ЛАЗЕРОВ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

С.Н. Сытова

Институт ядерных проблем Белгосуниверситета,
Бобруйская 11, 220030 Минск, Беларусь
sytova@inp.minsk.by

Закономерность возрастания инкремента неустойчивости пучка частиц, пролетающего через пространственно-периодическую мишень, в условиях дифракции от числа волн, возбуждаемых в решетке, [1] явилась теоретической основой принципиально нового типа генераторов электромагнитного излучения — объемных лазеров на свободных электронах (ОЛСЭ). Первая генерация ОЛСЭ в миллиметровом диапазоне была экспериментально получена в НИИ ЯП БГУ в 2001 г. [2]. Нелинейная стадия работы ОЛСЭ, на которой происходит формирование большей части электромагнитного излучения может быть изучена только методами математического моделирования. Модели, описывающие эту стадию работы, представляют собой системы многомерных нелинейных интегро-дифференциальных уравнений. В 2003–2007 гг. было проведено успешное математическое моделирование ОЛСЭ [3–5], изучены все основные особенности поведения электромагнитных полей в системе. Численные результаты совпали с аналитическими оценками и экспериментальными данными. В проведенном моделировании для различных двух- и трехволновых геометрий ОЛСЭ были исследованы пороги генерации и режимы усиления, электродинамическая картина нелинейной стадии работы ОЛСЭ с внешними зеркалами, а также работа ОЛСЭ в области параметров, соответствующих вырождению корней дисперсионного уравнения линейной системы. Показано, что существует оптимальный набор параметров для эффективной генерации излучения в каждом из рассмотренных случаев.

Исследование хаотического характера нелинейных режимов работы ОЛСЭ очень важно, поскольку изменение управляющих параметров ведет через бифуркации к изменению режимов работы ОЛСЭ, когда стационарная генерация сменяется автомодуляцией, а автоколебания далее последовательно усложняются, переходя в стохастические со сплошным спектром. Данная работа посвящена дальнейшему исследованию методами математического моделирования хаотической динамики ОЛСЭ. Показывается, что здесь переход к хаосу может осуществляться через удвоение периода, квазипериодичность и перемежаемость, через переход между высокоамплитудными и низкоамплитудными режимами. Галерея хаотических режимов интенсивности электромагнитных полей ОЛСЭ с соответствующими фазовыми портретами, аттракторами и сечениями Пуанкаре дополнена бифуркационными диаграммами. Исследованы старшие ляпуновские показатели и чувствительность решений к начальным условиям для различных периодических и хаотических режимов.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант Ф07В-001).

Литература

1. Baryshevsky V.G., Feranchuk I.D. Parametric beam instability of relativistic charged particles in a crystal // Phys. Let. A. 1984. Vol. 102. P. 141–144.
2. Baryshevsky V.G. et al. First lasing of a volume FEL (VFEL) at a wavelength range 4–6 mm // Nucl. Instr. Meth. 2002. Vol. A483. P. 21–24.
3. Батраков К.Г., Сытова С.Н. Моделирование объемных лазеров на свободных электронах // Журнал вычислительной математики и мат. физики. 2005. Т. 45. С. 690–700.
4. Batrakov K.G., Sytova S.N. Mathematical modeling of multiwave Volume Free Electron Laser: basic principles and numerical experiments // Mathematical Modelling and Analysis. 2006. Vol. 11. P. 13–22.
5. Sytova S.N. Volume Free Electron Laser (VFEL) as a dynamical system // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2007. Vol. 10. P. 297–302.