

04:10

Математическое моделирование развития ионной шланговой неустойчивости релятивистского электронного пучка в плазменном канале с изменяющейся плотностью

© А.Г. Зеленский, Е.К. Колесников

Санкт-Петербургский государственный университет
 Научно-исследовательский институт математики и механики им. В.И. Смирнова,
 198904 Санкт-Петербург, Россия
 e-mail: zel_alex@e-mails.ru; Kolesnikov_evg@mail.ru

(Поступило в Редакцию 21 декабря 2004 г.)

С применением модели распределенных масс исследуется влияние различных параметров изменяющегося по плотности плазменного канала на динамику развития и поведения ионной шланговой неустойчивости релятивистского электронного пучка в плазменных каналах с возрастающей и убывающей плотностью.

В настоящее время проводятся исследования по применению релятивистских электронных пучков (РЭП) в различных областях науки и техники, таких как разработка новых типов ускорителей заряженных частиц, решение проблемы инерционного управляемого термоядерного синтеза, разработка мощных источников электромагнитного излучения, в том числе лазеров на свободных электронах, космические исследования и т.д.

Особое внимание уделяется вопросу транспортировки релятивистских электронных пучков в газоплазменных средах с использованием искусственного плазменного канала, создаваемого в результате ионизации нейтральной компоненты фонового газа потоком излучения вспомогательного ультрафиолетового лазера [1,2].

Известно, что если длительность импульса пучка становится соизмеримой с характерным временем колебания ионов плазменного канала в потенциальной яме пучка, то эволюция системы пучок-канал будет определяться совместной динамикой релятивистских электронов пучка и ионов канала. При этом, как показывают теория и эксперимент, создаются условия для возбуждения в системе пучок-канал различного рода неустойчивостей, наиболее опасной из которых является ионная шланговая неустойчивость (ИШН) [3–8].

Аналитическое исследование процесса распространения РЭП в газоплазменных средах в силу сложности описывающих его уравнений возможно лишь в ряде специальных случаев. Поэтому основную роль (наряду с экспериментом) играет численное моделирование.

Ранее нами [9] была исследована динамика развития ИШН РЭП, распространяющегося по кусочно-прямолинейному плазменному каналу, а также изучены особенности развития ионной шланговой неустойчивости РЭП в периодическом по плотности плазменном канале [10].

В данной работе исследуется динамика ИШН РЭП, распространяющегося в плазменных каналах с экспоненциально убывающими и возрастающими плотностями.

Для численной имитации развития ИШН использовалась модель распределенных масс, развитая в работах [11,12] и реализованная в [3] для случая транспортировки пучка по обыкновенному ионному каналу с радиусом пучка, меньшим радиуса канала.

Характерные особенности развития ИШН РЭП в канале с убывающей плотностью иллюстрирует рис. 1, где представлены результаты расчета эволюции поперечной координаты Y центров масс трех фиксированных

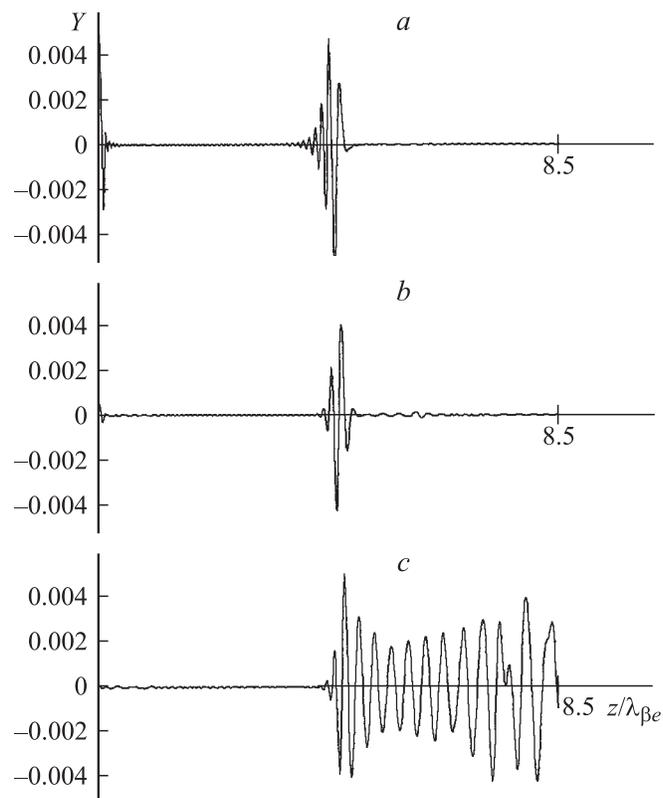


Рис. 1. Поведение центра масс сегментов пучка Y в канале с убывающей плотностью фиксированных при $x = 0.12 \lambda_{\beta i}$ (a), $0.63 \lambda_{\beta i}$ (b), $1.25 \lambda_{\beta i}$ (c).

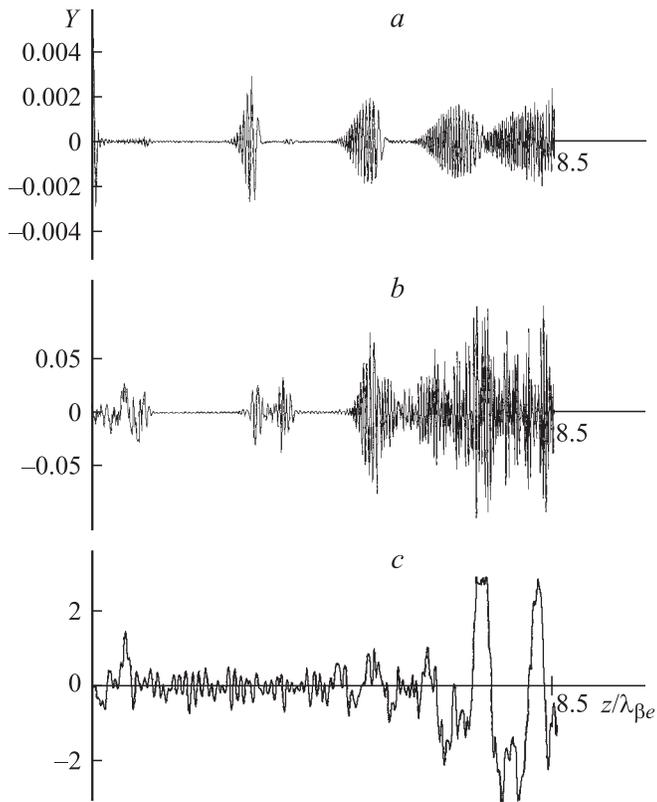


Рис. 2. Поведение центра масс сегментов пучка Y в канале с возрастающей плотностью фиксированных при: $x = 0.12 \lambda_{\beta i}$ (a), $0.63 \lambda_{\beta i}$ (b), $1.25 \lambda_{\beta i}$ (c).

сегментов пучка, находящихся на расстояниях от фронта пучка $x = 0.12, 0.63, 1.25 \lambda_{\beta i}$ ($\lambda_{\beta i}$ — длина волны колебаний ионов канала около пучка). Полная длина пучка равна $2 \lambda_{\beta i}$. Продольный масштаб изменения плотности равен $5800 \lambda_{\beta i}$. Предполагается, что электронный пучок и ионный канал имеют гауссовские профили плотности. Характерные радиальные масштабы пучка и канала считаются равными.

Как видно из рис. 1, во всех рассмотренных сегментах имеет место увеличение амплитуды поперечных колебаний РЭП. Как и при распространении электронного пучка в продольном однородном канале, ИШН имеет конвективный характер. Развитие ионной шланговой неустойчивости происходит достаточно медленно и не является препятствием для распространения РЭП вплоть до расстояний порядка $30 \lambda_{\beta e}$.

Результаты численного моделирования развития ИШН в РЭП, распространяющемся по каналу с возрастающей плотностью, приведены на рис. 2. Из данных, представленных на рис. 2, видно, что в этом случае имеет место значительно более быстрый рост амплитуды колебаний поперечных сегментов РЭП, который приводит к сокращению длины транспортировки РЭП до расстояний порядка $10 \lambda_{\beta e}$.

Список литературы

- [1] *Martin W.E.* et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1985. Vol. 54. N 7. P. 685–688.
- [2] *Caporaso G.J.* et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1986. Vol. 57. N 13. P. 591–594.
- [3] *Buchanan H.L.* // *Phys. Fluids.* 1987. Vol. 30. N 1. P. 211–231.
- [4] *Lipinsky R.E., Smith J.R., Shokair I.R.* // *Phys. Fluids B.* 1990. Vol. 2. N 11. P. 2764–2778.
- [5] *O'Brien K.J.* // *J. Appl. Phys.* 1989. Vol. 65. N 1. P. 9–16.
- [6] *Fernsler R.F., Slinker S.P., Lampe M.* et al. // *Phys. Plasmas.* 1995. Vol. 2. N 11. P. 4338–4354.
- [7] *Колесников Е.К., Мануйлов А.С.* // *ЖТФ.* 2000. Т. 70. Вып. 5. С. 68–73.
- [8] *Владыко В.Б., Рудяк Ю.В.* // *Физика плазмы.* 1991. Т. 17. Вып. 5. С. 623–628.
- [9] *Зеленский А.Г., Колесников Е.К.* // *ЖТФ.* 1995. Т. 65. Вып. 5. С. 188–190.
- [10] *Зеленский А.Г., Колесников Е.К.* // *ЖТФ.* 2003. Т. 73. Вып. 12. С. 71–75.
- [11] *Lee E.P.* // *Phys. Fluids.* 1978. Vol. 21. N 8. P. 1327–1343.
- [12] *Lauer E.J., Briggs R.J., Fessenden T.J.* et al. // *Phys. Fluids.* 1978. Vol. 21. N 8. P. 1344–1352.