

Нелінійна взаємодія модульованого електронного пучка з областю локального плазмового резонансу: двовимірне моделювання

Т.Є. Літошенко, І.О. Анісімов

Київський національний університет ім. Т. Шевченка,
радіофізичний факультет

Плазмово-пучкова взаємодія є об'єктом інтенсивного дослідження протягом останніх десятиліть. Вивчення цього явища становить інтерес як для фундаментальної науки, так і для цілого ряду практичних застосувань, таких як конструювання плазмово-пучкових генераторів та підсилювачів НВЧ, використання пучків як випромінювачів електромагнітних хвиль у верхній атмосфері та космосі та ін. [1,2].

У доповіді подані результати комп'ютерного моделювання взаємодії модульованого електронного пучка із неоднорідною плазмою за допомогою методу крупних частинок у плоскій двовимірній геометрії в електростатичному наближенні. Розглядається двокомпонентна плазма з лінійним профілем концентрації, в яку паралельно до градієнту концентрації інжектується тонкий модульований електронний пучок.

Область моделювання обмежена двома паралельними площинами, відстань між якими становить $L_x=60$ см, $L_y=10$ см. На неї накладена сітка, що складається із 2048x256 комірок. Область моделювання заповнена плазмою, яка складається з набору крупних електронів ($N_{big,e}=1.2 \cdot 10^6$) з температурою $T_e=2.0$ eV та з набору крупних іонів ($N_{big,i}=0.4 \cdot 10^6$) з температурою $T_i=0.2$ eV. Концентрація плазми є сталою вздовж осі y та змінюється лінійно вздовж осі x від значення $n(0) = 1.6 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$ біля лівого електроду до значення $n(L_x) = 4.8 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-3}$ біля правого електроду.

У початковий момент часу від лівого електроду у плазму починає інжектуватися модульований за густиною моноенергетичний електронний пучок. Початкова ширина пучка складає $L_{beam} = 0.8$ см, його вісь суміщена із поздовжньою віссю системи. Електрони пучка інжектуються із швидкостями, що значно перевищують теплові швидкості електронів: $v_{beam,x} = 50 \cdot v_{Te}$, $v_{beam,y} = 0$. Частота модуляції пучка ω_{beam} дорівнює ленгмюрівській частоті плазми $\omega_p(x)$ у точці локального плазмового резонансу $x_{lpr} = 0.29$ м: $\omega_{beam} = \omega_p(x_{lpr}=0.29 \text{ м}) = 1.0 \cdot 10^9$ рад/с. Крок моделювання за часом $dt = 1.0 \cdot 10^{-10}$ с.

Високочастотні коливання електричного поля в ОЛПР є джерелом пондеромоторної сили, яка діє на плазму. Під дією цієї сили вона витискається із зони резонансної взаємодії, і за час порядку іонного плазмового періоду утворюється каверна - ямка густини плазми. Поздовжній розмір каверни складає величину порядку довжини ленгмюрівської хвилі, поперечний розмір помітно перевищує товщину пучка.

Висновки

1. На ранній стадії взаємодії модульованого електронного пучка з неоднорідною плазмою в ОЛПР генеруються ленгмюрівські хвилі з опуклими фронтами, що є наслідком скінченного поперечного розміру області резонансної взаємодії.
2. За кілька іонних періодів на профілі концентрації плазми формується каверна в результаті дії пондеромоторної сили високочастотного електричного поля. Форма такої каверни у двовимірній геометрії досліджена вперше.
3. Як і в одновимірному випадку, деформація профілю концентрації плазми в ОЛПР призводить до зменшення інтенсивності електричного поля в цій області та зміни його просторового розподілу.

1. Сигов Ю.С. Вычислительный эксперимент: мост между прошлым и будущим физики плазмы. –Москва: Физматгиз, 2001.
2. I.O.Anisimov, O.A.Borisov. Electrical Field Excitation in Non-Uniform Plasma by a Modulated Electron Beam. // *Physica Scripta*. –62. – 2000. – p.375-380.