

Вплив тривимірності геометрії стеларатора на властивості альфвенівських власних мод

Ю.В. Яковенко¹, О.П. Фесенюк¹, Я.І. Колесниченко¹, А. Веллер², А. Вернер²

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, 03680 Київ, Україна

²Інститут фізики плазми Макса Планка, D-17489 Грайфсвальд, Німеччина

Альфвенівські власні моди (АВМ) у токамаках та стелараторах становлять інтерес через їхню здатність збуджуватися швидкими іонами. Нестійкості, що виникають при цьому, можуть погіршувати утримання швидких іонів. З іншого боку, вони можуть бути корисними для діагностики плазми. Тривимірність (тобто відсутність осевої симетрії) конфігурації стеларатора робить АВМ у стелараторах різноманітнішими, ніж у токамаках. У альфвенівському континуумі виникають нові щілини, в яких існують нові типи мод, так звані МАЕ-моди та НАЕ-моди [1–3] (тобто АВМ, утворені через магнітні дзеркала та гвинтовість). Метою цієї роботи є привернути увагу до того, що навіть «старі» типи АВМ, такі як добре відомі в токамаках ТАЕ-моди (АВМ, що утворюються через тороїдальність), змінюють свої властивості у тривимірній магнітній конфігурації.

У роботі до аналізу рівняння альфвенівських коливань застосовано балонний формалізм [4], який дозволяє відносно легко долати проблеми, що виникають через складну Фур'є-структуру магнітної конфігурації та збурення. Як відомо, балонний формалізм зводить це рівняння до звичайного диференціального рівняння. Розв'язки цього рівняння (так звані «локальні розв'язки») описують структуру збурення вздовж окремих силових ліній. Щоб знайти поведінку збурення в усьому просторі, проводиться так зване «квантування» локальних розв'язків [4,5]. У роботі розробляється процедура квантування для АВМ у тривимірній конфігурації. Розроблена процедура застосовується до квантування ідеальних ТАЕ-мод у осесиметричних та неосесиметричних тороїдальних конфігураціях.

Виявляється, що спектральні властивості ТАЕ-мод є подібними до властивостей балонних мод [4,6]. В осесиметричних конфігураціях їхній спектр включає суттєвий спектр – точки згущення та/або точки нескінченної кратності. Тривимірність переміщує хвильові функції мод, принаймні з частотами, достатньо близькими до точки згущення, перетворюючи таку точку на вузьку смужку неперервного спектру, причому моди замінюються сімейством вироджених функцій, сингулярних у полоїдальному напрямку.

Немає підстав думати, що спектральні властивості інших типів щілинних АВМ відрізняються від властивостей ТАЕ-мод. Отже, всі щілинні АВМ (принаймні з великими модовими числами) є в тривимірній геометрії континуумами в рамках ідеальної МГД. Оскільки сингулярні хвильові функції є нефізичними, структура АВМ, принаймні дрібномасштабних, визначається чинниками, що лежать поза межами ідеальної МГД і можуть включати опір плазми та скінченний ларморівський радіус її частинок, а також вплив збуджуючих швидких іонів. Обговорюється можливість формування мод з незвичайною кутовою структурою, коли ці чинники є слабкими.

[1] N. Nakajima, C.Z. Cheng, M. Okamoto, Phys. Fluids B 4 (1992) 1115.

[2] Ya.I. Kolesnichenko et al., Phys. Plasmas 8 (2001) 491.

[3] C. Nührenberg, in ISSP-19 "Piero Caldirola", Theory of Fusion Plasmas (2000), p. 313.

[4] R.L. Dewar, A.H. Glasser, Phys. Fluids 26 (1983) 3038.

[5] F. Zonca, L. Chen, Phys. Fluids B 5 (1993) 3668.

[6] E. Hameiri, P. Lawrence, J. Math. Phys. 25 (1984) 396.