

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

В.Остроушко

ОСТРОУШКО

Володимир Миколайович

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА ЕЛЕМЕНТІВ ОБМЕЖЕНИХ
КОМБІНОВАНИХ ПЛАЗМОВИХ СТРУКТУР

01.04.08 — фізика і хімія плазми

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків — 1996

333.7

АВ 36.764

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у ННЦ "Харківський фізико-технологічний центр" ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760857 (X)

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук Мірошниченко Валентин Іванович

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук Кіндратенко Анатолій Миколайович
кандидат фізико-математичних наук Панкратов Ігор Михайлович

Провідна організація:

Харківський науковий фізико-технологічний центр

Захист відбудеться " 7 " лютого 1997р. о 15 год.
на засіданні Спеціалізованої Ради Д 02.02.12 при Харківському державному університеті за адресою:
310108 м.Харків, пр-т І.В.Курчатова, 13, ауд.301

З дисертацією можна ознайомитися у Центральній науковій бібліотеці Харківського державного університету (310077, Харків-77, м.Свободи, 4)

Автореферат розіслано " 3 " січня 1997р.

Вчений секретар Спеціалізованої Ради
доктор фізико-математичних наук,
професор

Азаренков М.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Генерація електромагнітних коливань з регульованою частотою є актуальною проблемою радіофізики та оптики, розв'язання якої реалізується на різних типах приладів. Одним з них є такий, що використовує відбиття електромагнітної хвилі від межі рухомої плазми у хвилеводі уповільнених хвиль [1]. Якщо фазова швидкість хвилі близька до швидкості плазми, то підсилення і збільшення частоти може бути значним. Пошук можливостей підвищення ефективності приладу обумовлює потребу у докладному вивченні процесів у окремих елементах. При цьому вивчення властивостей спіральних структур і питань виведення електромагнітного випромінювання з хвилевода має цінність для суміжних областей радіофізики, а дослідження електродинамічних властивостей однібічно обмеженої плазми — для розв'язання проблеми керованого термоядерного синтезу.

Метою роботи є теоретичне дослідження властивостей елементів доплерівського спіральньо-плазмового помножувача частоти: вивчення електродинамічних властивостей спіральньо-хвилеводних, спіральньо-резонаторних і спіральньо-пучкових структур, електромагнітного випромінювання з хвилевода уповільнених хвиль, електродинамічних властивостей плазми з різкою межею.

При цьому були розв'язані такі задачі:

- а) розроблена методика розрахунку спіральньо-резонаторних структур і на її основі досліджені залежності резонансних частот, розподілу струму і поля від геометричних параметрів і уповільнювальних властивостей спіралей;
- б) проаналізовано особливості відбиття уповільненої хвилі від торця спіральньо-хвилеводної структури;
- в) розроблена методика розрахунку спіральньо-пучкових структур, досліджена можливість м'якого збудження коливань і отриманий пороговий струм генерації у залежності від параметрів задачі: швидкості пучка, розмірів, розташування і уповільнювальних властивостей спіралей;
- г) розроблена методика розрахунку відбиття хвилі, що падає з нахилом на різку межу плазми, і досліджений вплив генерації позовжньої плазмової хвилі на поглинання та відбиття при довільному

ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ
АН України

значенні параметра p дзеркальності відбиття електронів від межі;

д) розроблена методика розрахунку відбиття хвилі, що падає нормально на різку межу плазми у поздовжньому магнітному полі, і вивчена залежність коефіцієнта відбиття від частоти коливань, температури, густини плазми та величини магнітного поля.

Наукова новизна. У дисертаційній роботі вперше досліджено вплив мішаного ($0 \leq p \leq 1$) типу відбиття електронів від різкої межі плазми на електродинамічні властивості межі при похилому падінні хвилі з різними типами (s- і p-) поляризації, а також при нормальному падінні хвилі у присутності поздовжнього магнітного поля, коли відміна результатів кінетичного розгляду від результатів гідродинамічного не є малою. Крім того, вперше проведене дослідження електродинамічних властивостей структур, у яких спіралі мають контакт з торцем резонатора або напівнескінченного хвилевода.

Практична і теоретична цінність. Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при побудові доплерівського спірально-плазмового помножувача частоти, для розробки генераторів електромагнітного випромінювання з регульованою довжиною хвилі, а також у теоретичних і експериментальних дослідженнях, які ставлять за мету вивчення процесів при збудженні електромагнітних коливань у спіральних уповільнювальних структурах і при падінні електромагнітних хвиль на плазму. Результати роботи становлять інтерес для розв'язання проблем нагріву плазми високочастотним електромагнітним випромінюванням, вимірювання її параметрів і вивчення процесів, що у ній відбуваються.

Положення, винесені на захист.

1. Розподіл струму у системі з кількома спіралями визначається високою чутливістю до зміни параметрів спіралей, особливо їхніх кутів намотування, які визначають фазові швидкості уповільнених хвиль.
2. Відбиття хвилі від торця спірально-хвилеводної структури супроводжується додатковим фазовим зсувом, відповідним зсуву вузла поперечного електричного поля стоячої хвилі від торця всередину структури.
3. Для спірально-пучкової системи існує нескінченна кількість

інтервалів значень швидкості пучка, у яких м'яке збудження коливань неможливе; показник темпа збудження або загасання коливань лінійно залежить від незбуреного струму пучка.

4. Розподіл потужності електромагнітного випромінювання із хвилевода з діелектриком визначається, головним чином, частотою, а ефективність випромінювання — глибиною розташування межі діелектрика у хвилеводі.

5. При похилому падінні р-поляризованої електромагнітної хвилі на різку межу плазми збудження поздовжнього електричного поля робить внесок у поглинання, який при значній густині плазми монотонно залежить від параметра дзеркальності відбиття електронів від межі.

6. При нормальному падінні хвилі на плазму у поздовжньому магнітному полі модуль коефіцієнта відбиття зростає при збільшенні частки електронів, відбитих від межі дзеркально.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ І ПУБЛІКАЦІЇ

Основні результати роботи були представлені на таких конференціях і семінарах: 11-ий Всесоюзний семінар з лінійних прискорювачів заряджених частинок (Харків, 1989р.); Китайсько-японська спільна конференція з мікрохвиль (Далянь, 1994 р.); 5-та Кримська конференція і виставка "НВЧ-техніка і супутникові комунікаційні технології" (Севастополь, 1995 р.).

Результати дослідження опубліковані у трьох статтях, двох препрінтах та у Матеріалах двох конференцій.

Обсяг роботи. Дисертація викладена на 174 сторінках тексту, включаючи 17 малюнків. Дисертація складається із вступу, трьох глав, висновків та списку цитованої літератури, що містить 125 назв.

СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета досліджень, коротко викладений зміст і наведені основні положення, які виносяться на захист.

У першій главі досліджуються електродинамічні властивості

спірально-хвильоводних, спірально-резонаторних і спірально-пучкових структур. У вступі до глави міститься огляд літератури.

Якщо відрізки спіралей містяться у резонаторі, то власні коливання у структурі відповідають власним коливанням певної симетрії у необмеженій періодичній структурі, утвореній в першій послідовним дзеркальним відбиттям у торцях резонатора. Якщо відрізки спіралей торкаються торців, то вказане дзеркальне відбиття дає спіралі із змінним кутом провідності: нескінченну сукупність роз'єднаних спіралей — для тих спіралей, що торкалися одного торця, і одну з'єднану нескінченну спіраль — для тих, що обох.

У параграфі 1.1 викладена методика розрахунку осесиметричної періодичної сукупності спіралей із змінним кутом провідності у циліндричному хвильоводі. Поле у хвильоводі можна розглядати як таке, що збуджене спіральними струмами, які, для урахування поведінки поблизу краю спіралі, доцільно подавати розкладами за функціями Чебишева типу U від зведеної (до інтервалу $(-1, 1)$) поздовжньої координати — для роз'єднаних спіралей, і розкладами у звичайні ряди Фур'є — для з'єднаної. Вимога обернення у нуль проєкцій електричного поля на напрямки провідності на поверхні анізотропно-провідних циліндрів, якими моделюють спіралі, дає систему лінійних однорідних алгебраїчних рівнянь стосовно невідомих коефіцієнтів розкладу струмів, яка має вигляд $\hat{x} = \hat{K}\hat{z}$, з цілком неперервним оператором \hat{K} , і є зручною для чисельного розв'язання.

У параграфі 1.2 отримані співвідношення застосовані до резонатора з двома спіралями. Одержані формули для коефіцієнтів згаданої системи рівнянь. У результаті розрахунків, проведених у припущенні значного уловільнення спіралей, були отримані значення власних частот коливань і відповідні їм значення коефіцієнтів розкладу спіральних струмів. Співвідношення величин струму на спіралях дуже чутливе до зміни співвідношення між фазовими швидкостями власних хвиль відповідних нескінченних спіралей: зміна швидкості на чверть викликає зміну відношення потужностей струму на спіралях у сотні разів. Поздовжній розподіл поля у резонаторі із спіраллю, яка торкається обох торців, відрізняється від звичайного поля стоячої хвилі, особливо, поблизу точок контакту.

У параграфі 1.3 докладно розглянуте відбиття спіральної хвилі у

напівнескінченному хвилеводі від торця, до якого торкається спіраль. При відбитті хвиля здобуває додатковий фазовий зсув, пов'язаний із збуренням поля поблизу точки контакту і відповідний певному зсуву z_0 вузла звичайного поперечного електричного поля стоячої хвилі від торця всередину хвилевода. Дзеркально продовжуючи структуру і поле, задачу можна звести до межової задачі Гілберта для двох пар функцій. Методика її розв'язання відома в початку сторіччя (див. [2] і цитовану там літературу), але рідко застосовувалася у даній галузі, і існувала потреба докладної розробки її, як для отримання аналітичних співвідношень у граничних випадках, так і для реалізації розрахунків на обчислювальній техніці.

У випадку малої частоти для згаданого зсуву z_0 одержано наближену рівність

$$z_0 \approx \frac{4}{1 - \rho^2 + 2 \ln(1/\rho) \operatorname{tg}^2 \psi} \sum \left\{ \frac{1}{\nu^3} \left[\frac{J_1(\nu \rho)}{J_0(\nu)} \right]^2 \right\},$$

де ρ — радіус спіралі (у хвилеводі одиничного радіуса), ψ — кут її провідності, а підсумування у правій частині — за додатними коренями рівняння $J_1(\nu) = 0$. Отриманий результат можна використати для оцінки довжини довгого резонатора із спіраллю, при якій би резонансна частота дорівнювала даній: треба взяти цілу кількість половин довжин хвиль для нескінченного хвилевода із спіраллю і додати $2z_0$.

У параграфі 1.4 у лінійному наближенні розглянуті самоузгоджені коливання у осесиметричній структурі, що складається з кількох обмежених спіралей і пучка у необмеженому просторі.

Спочатку була отримана система алгебраїчних рівнянь стосовно невідомих коефіцієнтів розкладу спіральних струмів за функціями Чебишева, коефіцієнти якої містять невідоме вакуумне хвильове число k як параметр. Докладніше був розглянутий випадок спіралей з малими синусами кутів провідності і пучка з відносною швидкістю β_0 того ж порядку і дуже малою густиною (так що час проходження структури пучком був значно меншим від періоду відповідних плазмових коливань). Якщо знехтувати впливом пучка і активним опором спіралей, і пропорційно зменшувати відповідні фазові швидкості

хвиль і швидкість пучка, то отримана в результаті граничного переходу система рівнянь дає власні (неспадні у даному наближенні) коливання спіральної структури: дійсні граничні значення відношень частоти до згаданих швидкостей і коефіцієнти розкладу спіральних струмів. Урахування впливу пучка, активного опору спіралей і дипольного випромінювання як поправок дає наближене рівняння

$$2 \frac{\text{Im}(\kappa)}{|\kappa|} \Lambda \approx \Omega^2 B - A - |\kappa|^3 D, \quad (1)$$

де величина Λ пов'язана з індуктивністю і ємністю спіралей, величина D — з опором випромінюванню, величина A — з омічним опором спіралей, величина B — з розмірами пучка, а величина Ω^2 пропорційна струму пучка.

Величини Λ , D і A невід'ємні. Величина D обертається в нуль у спіральній структурі, у якій збуджені квадрупольні коливання. У цьому випадку відповідний доданок у правій частині (1) стає пропорційним п'ятій степені величини $|\kappa|$ (замість третьої).

Для радіаційної добротності структури, визначеної як модуль відношення частоти до своєї подвоєної уявної частини, в (1) впливає $Q \approx (|\kappa|^3 D + A)^{-1} \Lambda$. Якщо знехтувати активним опором спіралей, то радіаційна добротність пропорційна мінус третій степені частоти, відповідно до того, що потужність дипольного випромінювання пропорційна четвертій степені частоти.

Величина B може бути і додатною, і від'ємною, залежно від значення β_b . Для тих β_b , для яких $B > 0$, співвідношення (1) дає пороговий струм: $I_g \approx I_A \beta_b^3 (4\pi BQ)^{-1} \Lambda$, — при перевищенні якого починається збудження коливань (I_A — струм Альфвена). Для тих β_b , для яких $B < 0$, "м'яке" збудження коливань неможливе, внаслідок неузгодженості фаз коливань струма пучка і створеного ним поля.

У **другій главі** розглядається випромінювання з відкритого кінця ідеально-провідного хвилевода з діелектриком. У вступі до глави міститься огляд літератури.

У параграфі 2.1 розглядається випадок, коли діелектрик має вигляд нескінченного циліндра, частково екранованого напівнескінченим нескінченно-тонким ідеально-провідним хвилеводом того ж радіуса. Отримані співвідношення для перетворень Фур'є компонент

напруженостей електричного і магнітного поля, струму на стінці хвилевода, коефіцієнтів перетворення і відбиття хвиль, розподілу потужності випромінювання за кутом.

У параграфі 2.2 розглядається випадок, коли діелектрик складається з двох напівнескінчених циліндрів з різними значеннями діелектричних проникlostей, причому перпендикулярна до осі симетрії межа цих циліндрів може збігатися із зрізом хвилевода, а може бути зсунутою всередину. При розв'язанні задачі застосовується метод послідовного перетворення хвиль на межах [3], причому для розрахунку перетворення хвиль на зрізі хвилевода використовуються результати попереднього параграфа.

Як показали розрахунки, параметри екранованого діелектрика і відстань від межі діелектриків до зрізу хвилевода суттєво впливають на величини коефіцієнтів відбиття і проходження, але на розподіл потужності випромінювання за кутом їхній вплив слабкий: розподіл близький до того, який має місце у випадку одного нескінченного діелектрика з тими поперечною і поздовжньою діелектричними проникlostями, які мав висунутий з хвилевода діелектрик.

Якщо частота коливань така, що у частині хвилевода, заповненій висунутим діелектриком, усі хвилі, крім першої, загасають, то при збільшенні відстані від межі діелектриків до зрізу хвилевода залежність відношення випроміненої потужності до потужності упалої хвилі від вказаної відстані наближається до періодичної.

У третьій главі розглядається відбиття електромагнітної хвилі від різкої межі плазми. Вступ до глави містить огляд літератури.

У параграфі 3.1 розглядаються два варіанти похилого падіння електромагнітної хвилі на односторонньо обмежене плазмове середовище з різкою межею, які відрізняються типом поляризації хвилі, що падає. Спочатку, через розгляд рівнянь Максвелла і лінеаризованого рівняння для збурення функції розподілу електронів плазми, проблема розрахунку поля зводиться до межової задачі Гілберта для матричних функцій від величини w , яка є параметром ("хвильовим числом") у перетворенні Фур'є компонент поля, залежних від координати.

У випадку p -поляризації, через введення функцій від w , відповідних поділу поля на поздовжнє і поперечне, замість межової задачі

Гілберта для шести пар функцій, одержано дві межові задачі для двох пар функцій кожна. Докладно показано, як із межевої задачі, стосовної поперечного поля, впливає інтегральне рівняння Фредгольмівського типу для невідомої матричної функції, розв'язавши яке, можна знайти введену функцію, пов'язану з поперечним полем, і вказано, як аналогічним чином можна отримати введену функцію, стосовну поздовжнього поля. Перетворення задачі для поперечного поля до рівняння Фредгольма виконується таким чином, щоб при оберненні відносної теплової швидкості β_T електронів плазми у нуль рівняння мало нульовий розв'язок.

У випадку розподілу Максвелла (природно, з малою β_T) отримано наближений (лінійний за β_T) розв'язок межевої задачі для поперечного поля, і одержано безрозмірний імпеданс Z (визначений так, що для порожнього простору при нормальному падінні він дорівнює одиниці). У випадку $\Omega_0 > \cos\theta_i$, де θ_i — кут падіння, Ω_0 — відношення плазмової частоти до частоти коливань, наближена рівність має вигляд

$$Z \approx -i \frac{\sqrt{\Omega_0^2 - \cos^2\theta_i}}{\Omega_0^2 - 1} + \beta_T \left[\frac{1-p}{2\sqrt{\pi}} \frac{\Omega_0^2 (\Omega_0^2 - \cos^2\theta_i)}{(\Omega_0^2 - 1)^2} - \frac{R_l \sin^2\theta_i}{\Omega_0^2 - 1} \right], \quad (2)$$

де величина R_l дорівнює логаритмічній похідній у нулі від функції параметра перетворення Фур'є, пов'язаної з розв'язком певної межевої задачі для нормально збудженого поздовжнього поля, тож, щоб знайти величину R_l для даних Ω_0 і p , треба ще розв'язати відповідну межову задачу. Показано, що у випадку малої густини плазми має місце наближена рівність $R_l \approx \frac{1+p}{\sqrt{\pi}} \Omega_0^2$.

Якщо частота коливань близька до плазмової, то при безпосередньому застосуванні викладеної методики розв'язання відповідної межевої задачі Гілберта для поздовжнього поля виникають обчислювальні труднощі, пов'язані з тим, що знаменник у ядрі інтегрального рівняння обертається у нуль поблизу контура інтегрування. Методика була модифікована так, що функції, які входять у відповідне матричне інтегральне рівняння Фредгольма, і коефіцієнти нескінченної системи лінійних алгебраїчних рівнянь, утвореної через розклад функцій за певними базисними, вже наближаються до скін-

чених границь при наближенні частоти до плазмової.

Другий доданок у правій частині (2) містить, у першому наближенні, дійсну частину імпедансу, додатність якої відповідає поглинанню. У зв'язку з генерацією поздовжньої хвилі, залежність теплової поправки до імпедансу від параметра p не зводиться до звичайної для поперечних хвиль пропорційності різниці $(1-p)$, оскільки від p залежить і величина R_4 . Мірою впливу генерації поздовжньої хвилі при падінні електромагнітної хвилі з малим нахилом можна вважати величину $R'_4 = \frac{1-p}{2\sqrt{\pi}} \frac{\Omega_0^2}{\Omega_0^2 - 1} - R_4$, наближено пропорційну другій похідній теплової поправки до імпедансу за кутом падіння. Розрахунки показали монотонну залежність $\text{Re}(Z)$ від p . У той же час залежність від p величини $\text{Re}(R'_4)$, пов'язаної з генерацією саме поздовжньої хвилі, вже не є монотонною. Однією з причин зростання поглинання, обумовленого генерацією поздовжньої хвилі, при збільшенні p поблизу $p = 0$ є зменшення густини нескінченно тонкого шару заряду на межі плазми при появі дзеркального відбиття для частини електронів. При цьому зменшується екранування поля цим шаром.

У випадку s -поляризації упалої хвилі, коли вектор напруженості електричного поля паралельний площині межі плазми, відповідну межеву задачу Гілберта для двох пар функцій перетворено до такого матричного інтегрального рівняння Фредгольма, яке при $\beta_T = 0$ має нульовий розв'язок. Якщо тепла швидкість мала, і має місце нерівність $\Omega_0 > \cos\theta_i$, то для імпедансу можна одержати

$$Z \approx \frac{-i}{\sqrt{\Omega_0^2 - \cos^2\theta_i}} + \beta_T \frac{\Omega_0^2}{\sqrt{\pi}} \left[\frac{1-p}{2(\Omega_0^2 - \cos^2\theta_i)} + \beta_T^2 \right].$$

Урахування величин порядку β_T^3 у тепловій поправці потрібне, якщо частка електронів, відбитих дифузно, мала (p близьке до одиниці).

У параграфі 3.2 розглядається нормальне падіння колово-поляризованої електромагнітної хвилі на плазму у поздовжньому магнітному полі. У лінійному наближенні можна прийти до межевої задачі Гілберта для двох пар функцій. У функціональному рівнянні, що визначає межеву задачу, є два параметри: $\alpha_r = \frac{\Omega_0^2}{\delta}$ і $\beta_r = \frac{\beta_T}{\delta}$,

— де $\delta = 1 \pm \frac{\omega_H}{\omega}$ — відносна відміна частоти ω від циклотронної частоти ω_H (вибір знака пов'язаний з напрямком поляризації за колом). Це функціональне рівняння збігається з тим, яке можна отримати, поклавши $\theta_i = 0$ і замінивши Ω_0^2 на α_r , а β_T на β_r у рівнянні для розглянутої вище структури з s -поляризованою хвилею, що дозволяє, при малому β_r , скористатися отриманим там результатом, після відповідних заміन.

Асимптотичні властивості функцій, що входять у рівняння, відрізняються від тих, які мали функції у рівнянні для подовжнього поля (у відповідній структурі, розглянутій вище), що потребує модифікації техніки побудови інтегрального рівняння фредгольмівського типу. Додаткова модифікація виконана також, коли $\Omega_0^2 \approx \delta$ (і у плазмі у магнітному полі існує хвиля, у гідродинамічному наближенні, з повільним просторовим спадом), щоб функції у інтегральному рівнянні наближались до скінченних границь при $\Omega_0^2 \rightarrow \delta$.

Для випадку частоти, близької до циклотронної, і плазми малої густини ($\Omega_0^2 > \delta > 0$, $\Omega_0^2 \sim \delta \ll \beta_T$) було отримане наближене співвідношення $Z \approx 1 + \frac{1+p}{\sqrt{\pi}} \frac{\Omega_0^2}{\beta_T} \ln \frac{\beta_T}{\delta}$.

Розрахунки, проведені у широкому діапазоні значень α_r і β_r , показали збільшення модуля коефіцієнта відбиття хвилі при збільшенні параметра p дзеркальності відбиття електронів від межі.

У заключній частині зроблені **висновки**, сформульовані таким чином:

1. Розроблена і програмно реалізована методика розрахунку резонансних частот і розподілу поля у аксіально-симетричних спіральнорезонаторних структурах, в яких спіралі можуть контактувати з торцями циліндричного резонатора.

2. Оцінена, шляхом чисельних розрахунків, міра чутливості співвідношення амплітуд струму на спіралях до співвідношення їхніх уповільнювальних властивостей.

3. Розроблена методика розрахунку поля при відбитті уповільненої хвилі від торця спіральнорезонаторної системи і отримані явні формули для всуви фази хвилі при малій частоті.

4. Розроблена і програмно реалізована чисельна методика само-

узгодженого лінійного розрахунку характеристик системи, що складається з кількох спіралей і електронного пучка: інкрементів зростання амплітуди електромагнітних коливань, резонансних частот, радіаційних добротностей, діапазонів швидкостей пучка, у яких м'яке збудження коливань неможливе, порогових струмів генерації для швидкостей пучка у діапазонах генерації.

5. Розроблена методика, виконані розрахунки ефективності і розподілу потужності випромінювання аксіально-симетричних хвиль із хвилевода з двома одnobічно обмеженими діелектриками і виявлено, що розподіл потужності визначається, головним чином, частотою, поперечним хвилевим числом і параметрами частково екранованого діелектрика, а ефективність — зсувом межі діелектриків углиб хвилевода, причому залежність ефективності випромінювання від зсува при великих зсувах наближається до періодичної, якщо у прикінцевій ділянці хвилевода існує одна неспадна хвиля.

6. Розроблена методика розрахунку (через розв'язання межової задачі Гілберта для двох пар функцій) відбиття електромагнітної хвилі від різкої межі плазми (у кінетичному наближенні, для мішаного типу відбиття електронів від межі) у випадках похилого падіння хвилі на плазму з ізотропними властивостями і нормального падіння хвилі на плазму у поздовжньому магнітному полі.

7. У випадку р-поляризації упалої хвилі, при малій тепловій швидкості електронів плазми, досліджений вплив генерації поздовжньої плазмової хвилі на поглинання і виявлена, при значній густині плазми, немонотонна залежність параметра, що характеризує цей вплив, від параметра дзеркальності відбиття електронів від межі плазми.

8. У випадку s-поляризованої хвилі отримана наближена формула для імпедансу при малій тепловій швидкості.

9. У випадку нормального падіння хвилі на плазму у поздовжньому магнітному полі отримані наближені формули для коефіцієнта відбиття при малій тепловій швидкості і при частотах, близьких до циклотронної, і проведені розрахунки, які підтвердили монотонне зростання модуля коефіцієнта відбиття при збільшенні частки електронів, відбитих від межі дзеркально.

Література

1. Загороднов О.Г., Файнберг Я.Б., Егоров А.М. Об отражении электромагнитных волн от плазмы, движущейся в волноводах медленных волн. — ЖЭТФ. — 1960. — т.38, №21. — С.7–9.
2. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. — М.: Наука, 1968. — 512с.
3. Миттра Р., Ли С. Аналитические методы теории волноводов. — М.: Мир, 1974. — 328с.

Основні результати дисертації опубліковані у таких роботах:

1. Мірошніченко В.І., Остроушко В.М. Електромагнітні властивості напівнескінченної плазми у моделі змішаного типу відбиття електронів від межі // УФЖ. — 1995. — Т.40, №9. — С.936–939.
2. Мірошніченко В.И., Остроушко В.Н. Излучение электромагнитных волн из полубесконечного цилиндрического волновода с замагниченной плазмой // Радиотехника и электроника. — 1994. — Т.39, №11. — С.1731–1734.
3. Остроушко В.Н. Рассеяние электромагнитных волн на скачке поперечного сечения волновода // ВАНТ, сер.ТФЭ. — 1987. — вып.4(35). — С. 30–32.
4. Mirosnichenko V.I., Ostroushko V.N. A wave reflection from an end plate of a closed helical waveguide / Proceedings of 1994 China-Japan Joint Meeting on Microwaves. — Dalian Maritime University. — 1994. — P.187–190.
5. Мірошніченко В.И., Остроушко В.Н. Умножение частоты при отражении электромагнитной волны от резкой границы полубесконечной плазмы / Материалы 5-ой Крымской конференции и выставки “СВЧ-техника и спутниковые коммуникационные технологии”. — Севастополь. — 1995. — Т.2. — С.467–470.
6. Мірошніченко В.И., Остроушко В.Н. Электродинамический расчет спирально-резонаторной системы / Преприят ХФТИ 93-10: Харьков. — 1993. — 7с.
7. Остроушко В.Н. К расчету нагруженных цилиндрических волноводов методом граничных интегральных уравнений / Преприят ХФТИ 90-13: Харьков. — 1990. — 6с.

АННОТАЦИЯ

Остроушко В.Н. Электродинамика элементов ограниченных комбинированных плазменных структур.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 — физика и химия плазмы, Харьков, 1996.

К защите представлены результаты исследований по физике плазмы и радиофизике. Изучены электродинамические свойства резкой границы плазмы, в случае нормального, в присутствии постоянного магнитного поля, и наклонного падения электромагнитной волны, в модели смешанного (зеркально-диффузного) отражения электронов от границы. Разработана методика электродинамического расчета спиралей, контактирующих с торцами резонатора.

Ключові слова: спіралі, резонатори, резонансна частота, пучок, збудження коливань, межа плазми, похиле падіння хвилі, циклотронний резонанс, межева задача Гілберта, часткове обернення операторів.

ABSTRACT

Ostroushko V.M. Electrodynamics of elements of bounded combined plasma structures.

The dissertation (manuscript) for obtaining the scientific degree of the candidate of science in the mathematics and physics corresponding to the speciality 01.04.08 — plasma physics and chemistry, Kharkiv, 1996. The materials on plasma physics and radiophysics researches are presented on defense. Electrodynamical properties of the sharp plasma boundary in the cases of normal, in presence of static magnetic field, and oblique electromagnetic wave incidence are studied in the model of mixed (specular-diffuse) electron reflection from the boundary. The method of electrodynamic calculation for the helices contacting with cavity end plates is developed.

Підписано до друку 27.12.96. Формат 60×90/16. Офсетний друк. Умовних друкованих аркушів 1,0. Тираж 80. Замовлення №147.

Харків-108, роталпринт ІНЦ ХФТІ

440316

Ав 36.764

АВ 36.764