

## ПІСЛЯМОВА

У цій монографії представлено результати досліджень характеристик АПХ, які поширюються у плазмових хвилеводах різної конструкції. При цьому взято до уваги такі реальні умови проведення експериментів, як неоднорідність густини плазми та зовнішнього магнітного поля, протікання аксіальних електричних струмів та відмінність форми перерізу хвилеводу від кола. Книга написана за результатами досліджень, що виконуються у нашому університеті протягом останніх 20 років, вони увійшли (в різний час та різною мірою) до чотирьох докторських дисертацій. Отже, ця монографія дає можливість визначити місце результатів, що здобуто науковцями нашого університету, на тлі загальної картини досліджень у цій галузі фізики плазми, які проводяться у світі.

В результаті теоретичних досліджень визначено діапазони частот, в яких існують електромагнітні азимутальні збурення, їхню дисперсію та просторовий розподіл поля, обчислено декременти загасання, які обумовлено зіткненнями між частинками плазми, резонансною конверсією цих мод в об'ємні моди та випромінюванням їхньої енергії з хвилеводів. Встановлено, що радіальна неоднорідність зовнішнього аксіального магнітного поля спричиняє вплив на частоту цих мод, який є подібним до впливу радіальної неоднорідності густини плазми. Показано, що поверхневі електромагнітні хвилі можуть поширюватися вздовж межі плазма-метал не лише у випадку циліндричної, а також у випадку тороїдної геометрії. Тороїдна неоднорідність зовнішнього магнітного поля призводить до того, що азимутальні хвилі поширюються у вигляді хвильового пакету, в якому наявні сателітні гармоніки з іншими азимутальними номерами. Доведено, що гофрування утримуючого магнітного поля здатне впливати на конверсію та поглинання АПХ. У цьому випадку азимутальні електромагнітні збурення поширюються у вигляді хвильового пакета, в якому присутні також сателітні гармоніки з ненульовими аксіальними хвильовими числами. Цю задачу вдалося розв'язати за теорією збурень і навіть виявити аналогії з випадками досліджень плазмово-пучкових нестійкостей та теорією електростатичних лазерів на вільних електронах.

У монографії показано, що протікання аксіальних струмів призводить до утворення зв'язку між незвичайно та звичайно поляризованими азимутальними модами. Зв'язок між звичайною та незвичайною модами може призводити до різних явищ: виникнення смуг непрозорості у частотному спектрі цих зв'язаних мод, загасання незвичайних мод через випромінювання їхньої енергії, обернення знаку групової швидкості тощо.

Виконані дослідження дозволили довести можливість використання теорії АПХ у якості нульового наближення для описання хвилеводних структур, що мають некруглу форму поперечного перерізу. Встановлено, що у цьому випадку існують два принципово різні випадки періодичної просторової неоднорідності (гофрування) форми поверхні межі поділу середовищ: - резонансний випадок цієї неоднорідності (коли між кількістю гофрів  $N$  та азимутальним хвильовим числом існує співвідношення  $N = 2m$ ), коли поправка до частоти АПХ  $\Delta\omega$  пропорційна малому параметру гофрування; - та нерезонансний випадок ( $N \neq 2m$ ), коли  $\Delta\omega$  пропорційна квадрату малого параметра гофрування. Показано, що гофрування межі плазмового стовпа сильніше впливає на величину  $\Delta\omega$ , ніж гофрування стінки камери хвилеводу.

Побудовано нелінійні теорії пучкових та дисипативних нестійкостей АПХ, показано, що у режимі насичення пучок розбивається на бунчі, кількість яких співпадає з номером азимутальної моди. Встановлено, що використанням зовнішнього сталого радіального електричного поля можна впливати на розвиток нестійкості АПХ, включно до зриву нестійкості. Досліджено дисперсійні властивості довгохвильових несиметричних ПХ в ізотропних та гіротропних хвилеводах. Доведено, що у наближенні малих аксіальних хвильових чисел  $k_z$  це дослідження можна виконати аналітично методами теорії збурень, використовуючи у якості нульового наближення теорію АПХ. Знайдено, що в цьому

випадку може існувати дві моди: швидка – аналог АПХ, та повільна, частота якої  $\omega_- \propto k_z$ . Досліджено нагрівання плазми за рахунок поглинання енергії АПХ частинками плазми. Встановлено, що омичне нагрівання є неефективним за типових експериментальних умов порівняно з резонансним нагріванням, яке обумовлено конверсією АПХ в об'ємні моди при ленгмюрівському чи верхньому гібридному резонансах у вільній чи гіротропній плазмі, відповідно. Доведено, що у гофрованому магнітному полі АПХ з частотою нижче електронної циклотронної у випадку неоднорідної густини плазми відбувається додаткове поглинання її енергії в околі локального резонансу  $\varepsilon_1(r_1) = c^2 k_m^2 \omega^{-2}$ .

Відзначимо важливу для студентів навчально-методичну складову у призначенні цієї книги. На базі простих моделей однорідних плазмових структур вдалося спочатку побудувати доброякісну лінійну теорію АПХ. Потім за допомогою методу послідовних наближень цю теорію було використано при розв'язанні певного класу задач з теорії нелінійної електродинаміки обмежених неоднорідних плазмових середовищ. Зазначені задачі належать до теорії слабкої не лінійності, в якості малого параметра у них використовується певна величина, що характеризує просторову неоднорідність плазми, яка власне і призводить до поширення азимутальних збурень у вигляді хвильових пакетів. Іншим методичним здобутком книги нам вбачається демонстрація того, як на основі теорії чисто азимутальних збурень вдалося у Розділах 5 та 7 побудувати теорії поперечних (таких, що поширюються як вздовж азимуту так і вздовж радіусу хвилеводних структур) та довгохвильових (таких, що мають як азимутальну так і аксіальну складову хвильового вектора) ПХ. Тому ця книга буде корисною також для студентів та аспірантів, що спеціалізуються у галузі фізики плазми.

## Список використаних джерел

1. Plasma electrodynamics / A.I. Akhiezer, I.A. Akhiezer, R.V. Polovin, A.G. Sitenko, K.N. Stepanov // Oxford: Pergamon Press, 1975.
2. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы.— М.: Высшая школа, 1988.— 424с.
3. Ерохин Н.С., Кузелев М.В., Моисеев С.С., Рухадзе А.А., Шварцбург А.Б. Неравновесные и резонансные процессы в плазменной радиофизике. – М.: Наука, 1982. - 297 с.
4. Сітенко О.Г., Мальнев В.М. Основы теорії плазми. К.: Наукова думка, 1994.—374с.
5. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975. 525 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.— М.: Наука, 1982.- 620с.
7. Кондратенко А.Н. Плазменные волноводы. М.: Атомиздат, 1976.
8. Кондратенко А.Н. Объемные и поверхностные волны в ограниченной плазме. М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 208.
9. Белецкий Н.Н., Булгаков А.А., Ханкина С.И., Яковенко В.М. Плазменные неустойчивости и нелинейные явления в полупроводниках. Киев: Наук. думка. 1984.
10. Дмитрук Н.Л., Литовченко В.Г., Стрижевский В.Л. Поверхностные поляритоны в полупроводниках и диэлектриках.— К.: Наукова думка, 1989.— 376с.
11. Аронов Б.А., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Объемные и поверхностные электромагнитные волны в пространственно ограниченной плазме и их возбуждение релятивистскими электронными пучками. - Химия плазмы. Под ред. Б.М. Смирнова, М.: Атомиздат, 1975. - вып.2. - с. 245-266.

12. Кондратенко А.Н., Куклин В.М. Основы плазменной электроники. М.: Энергоатомиздат, 1988.- 320с.
13. Бразис Р.С. Активные и нелинейные взаимодействия при возбуждении поляритонов плазменного типа в полупроводниках // Лит. физ. сб. – 1981. - т.21, №4. - с.73—117.
14. Басс Ф.Г., Булгаков А.А., Тетервов А.П. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. - М.: Наука, 1989.— 288с.
15. Toda M. Propagation of waves in a solid state plasma waveguide in a transverse magnetic field// J. Phys. Soc. Jap.- 1964. - v.19, # 7.- p.1126-1130.
16. Hirota R. Theory of a Solid State Plasma Waveguide in Transverse Magnetic Field // J. Phys. Soc. Japan.— 1964.— v.19, #7.— p.1130-1134.
17. Hirota R., Suzuki K. Propagation of waves in a bounded solid state plasma in transverse magnetic field // J. Phys. Soc. Japan.— 1966.— v.21, #6. - p.1112-1118.
18. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н. Поверхностные волны на границе плазма- металл при учете пространственной дисперсии // УФЖ. - 1985.— т.30, №5. - с.718-725.
19. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Остриков К.Н. Поверхностные волны в структурах плазма-металл // Известия вузов. Радиофизика. - 1993. - Т.63, № 5. - с. 335-389.
20. Azarenkov N.A., Ostrikov K.N. Surface magnetoplasma waves at the interface between a plasma-like medium and a metal in a Voigt geometry // Physics Reports. – 1999. – v. 308. – p. 333-428.
21. Мареев Е.А., Чугунов Ю.В. Антенны в плазме. Нижний Новгород: ИПФ АН СССР, 1991.
22. Kudrin A.V., Petrov E.Yu., Kyriacou G.A., Zaboronkova T.M. // Progress in Electromagnetics Research. 2005. Vol. 53. P. 135.
23. Файнберг Я.Б., Блюх Ю.П., Корнилов Е.А. и др. Электродинамика гибридных плазменно-волноводных замедляющих структур// Препринт ХФТИ НАНУ. - 1990. № 49. -6 с.
24. Полупроводниковые мазеры на циклотронном резонансе / Под. ред. А.А. Андропова. - Горький: ИПФ АН СССР, 1986. — 176с.
25. Электромагнитные явления СВЧ диапазона в неоднородных полупроводниковых структурах / Белецкий Н.Н., Светличный В.М., Халамейда Д.Д., Яковенко В.М. // К.: Наукова думка, 1991.- 216 с.
26. Левитский С.М., Кошечая С.В. Вакуумная и твердотельная электроника СВЧ. — К.: Выща школа, 1986. — 272с.
27. Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. —М.: Атомиздат, 1980. — 310с.
28. Кузелев М.В., Рухадзе А.А. Электродинамика плотных электронных пучков в плазме. — М.: Наука, 1990. - 336 с.

29. Миллер Р.Б. Введение в физику сильнооточных пучков заряженных частиц. - М.: Мир, 1984. - 432 с.
30. Lawson J. D. The physics of charged - particle beams. – Oxford: 1977. - 278 p.
31. Ferreira C.M., Moisan M. Microwave Discharges: Fundamentals and Applications // NATO Advanced Study Institute, Series B: Physics. 1993. v.302. p. 187- 544.
32. Aliev Yu. M., Schluter H., Shivarova A. Guided-Wave Produced Plasmas. N-Y.: Springer, 2000.
33. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. - М.: Атомиздат, 1977.- 384 с.
34. Басс Ф. Г., Гуревич Ю. Г. Горячие электроны и сильные электромагнитные волны в плазме полупроводников и газового разряда. – М.: Наука, 1975.- 360 с.
35. Surface waves in plasma and solids / Ed. by S. Vucovic. - World Scientific, 1986.
36. Ballico M.J., Gross R.C. Probe measurements of ICRF surface waves in the torus tokamak// Fusion Eng. and Design.-1990.-v.12, #1,2. - p. 197-201.
37. Murphy A.B. Waves in the edge plasma during ion cyclotron resonance heating. // Fusion Eng. and Design. — 1990. - v.12, #1,2. - p.79—92.
38. Noterdaeme J-M., ICRH-team, ASDEX-team, NI-team. Experimental results on edge effects during ICRF heating of ASDEX plasmas // Fusion Engineering and Design.-1990.- v.12, #1,2. - p.127-137.
39. Гирка В.А., Гирка И.А., Кондратенко А.Н., Ткаченко В.И. Азимутальные поверхностные моды магнитоактивных плазменных волноводов// Радиотехника и электроника. - 1988. - т. 33, № 5. - с. 1031 - 1035.
40. Гирка В.А., Гирка И.А., Кондратенко А.Н., Ткаченко В.И. Азимутальные поверхностные волны на границе магнитоактивной плазмы с металлом// Радиотехника и электроника. - 1989. - т.34, № 2. с. 296 – 299.
41. Гирка В.А., Гирка И.А., Кондратенко А.Н., Ткаченко В.И. Азимутальные поверхностные моды изотропных плазменных волноводов// Радиотехника и электроника. - 1989. - т.34, № 7. с. 1527 – 1529.
42. Гирка И.А., Ковтун П.К. Азимутальные поверхностные волны в замагниченных плазменных волноводах// Журнал технической физики. – 1998. - т.68, № 12. - с.25-28.
43. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Остриков К.Н. Азимутальные поверхностные волны в коаксиальном резонаторе с полупроводниковым заполнением// Письма в ЖТФ. - 1989. - т. 15, № 14. - с. 68 - 71.
44. Wait J.R. // Radio Science. Journal of Research NBS. 1965. Vol. 69 D, No. 4. P. 567.
45. Wait J.R. // Radio Science. 1966. Vol. 1, No. 6. P. 641.
46. Ким А.В., Марков Г.А., Смирнов А.И., Умнов А.Л. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 5. с. 34.

47. Росляков Н.М., Теплякова Н.А. Излучение вытянутой сфероидной антенной с плазменным покрытием// Радиотехника и электроника. – 1992. – т. 37, № 4. – с. 583 - 592.
48. Еремин С. М., Гашевская О. С., Акиндинов В. В.// РЭ. 1996. Т. 41, № 1. С. 12.
49. Handbook of Mathematical Functions./ ed. by Abramowitz M., Stegun I. A.- National Bureau of Standards, Applied Mathematics, Series 55.- 1964.-1112 p.
50. Азаренков Н.А., Загинайлов Г.И., Кондратенко А.Н. Поверхностные волны на границе плазма-металл, распространяющейся вдоль магнитного поля // ЖТФ. 1985. Т. 55. №3. С. 635-639.
51. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Мельник В.Н., Олефир В.П. Поверхностные волны на границе плазма – металл, распространяющиеся поперек магнитного поля// Радиотехника и электроника. – 1985. – т. 30, №11. – с. 2195 – 2201
52. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Костенко В.В. Косые магнитогидродинамические поверхностные волны на границе плазма-металл // ЖТФ. 1987. Т. 57. № 3. С. 591-593.
53. Кондратенко А.Н Про збудження хвиль в обмеженій плазмі модульованим струмом // Укр. физ. журн. 1965. Т. 10, № 3. С. 346-348.
54. Шестопапов В.П. Дифракционная электроника. Харьков: Вища школа, 1976.
55. Гестрина Г.Н. Излучение СВЧ колебаний плазмы из открытых периодических структур // Изв. Вузов. Радиофизика. – 1988. – т. 31, №12.- с.1502-1505.
56. Гестрина Г.Н. О спектре собственных частот открытых периодических плазменных волноводов // Доклады АН УССР. Серия А. – 1989. - №10.- с.74-76.
57. Загинайлов Г.И., Кондратенко А.Н., Прохоренко Е.М. К проблеме вывода СВЧ энергии из плазменного волновода// ЖТФ. 1988. Т. 58. № 8. С. 1637-1639.
58. Гирка В.А., Гирка И.А. Излучение азимутальных поверхностных волн из узкой щели волновода // Р и Э.— 1992. - т.37, # 3. - с. 419 - 422.
59. Girka V.O., Puzyrkov S.Yu. Nonlinear interaction of an annular electron beam with azimuthal surface waves // Plasma Physics Reports. – 2002. – v. 28, # 4. – с. 351 – 358.
60. Girka V.O. Theory of transverse surface electromagnetic waves propagating along a plasma–metal boundary with a finite radius of curvature in a magnetic field // Plasma Physics Reports. – 2006. – v. 32, # 5. – с. 401 – 410.
61. Бишутская Т. И., Макаров Г. И. // РЭ. 2001. Т. 46, № 9. С. 1044.
62. Бишутская Т. И., Макаров Г. И. // РЭ. 2005. Т. 50, № 6. С. 604.
63. Голубятников Г.Ю., Егоров С.В., Костров А.В., Мареев Е.А., Чугунов Ю.В. // ЖЭТФ. 1988. Т. 94, вып. 4. С. 124.

64. Дородницын А. А. Асимптотические законы распределения собственных значений для некоторых особых видов дифференциальных уравнений второго порядка // Усп. математ. наук.–1952.- т.7 №6 – с.3-96.
65. Гирка В.А., Гирка И.А. Влияние неоднородности плазмы на спектры азимутальных поверхностных волн // Изв. Вузов. Радиофизика. –1990. - т. 33, №4. - с. 516-517.
66. Гирка В.А., Гирка И.А. Азимутальные поверхностные волны в неоднородном плазменном цилиндре// Изв. Вузов. Радиофизика. – 1991.- т.34, №4.- с.386-391.
67. Фок В.А. Проблемы дифракции и распространения электромагнитных волн. М.: Советское радио, 1970. 518 с.
68. Гирка И.А., Степанов К.Н. Собственные магнитозвуковые колебания неоднородного плазменного цилиндра // ДАН УССР. - 1988. - Серия А, № 7. - с. 61 - 65.
69. Бакунов М.И. Поверхностные электромагнитные волны при наличии неоднородного резонансного слоя на границе металл – изотропная плазма // Изв. вузов. Радиофизика. - 1988. - т. 31, № 1. - с. 25 - 28.
70. Гирка И.А., Степанов К.Н. Влияние тороидальности и эллиптичности плазменного шнура на спектры МГД волн // Украинский физический журнал. – 1991. - т. 36, № 7. - с. 1051 - 1058.
71. Кадомцев Б.Б., Погуце О.П. Турбулентные процессы в тороидальных системах// Вопросы теории плазмы / Под ред. М.А.Леонтовича. - М.: Атомиздат, 1967. - Вып.5. - с. 209 - 350.
72. Girka I.A., Girka V.A. Surface waves propagating along small azimuth in the fusion devices // Proceedings and Contributed Papers of International Conference on Plasma Physics Combined with 6-th Latin American Workshop on Plasma Physics. Foz Do Iguacu-PR-Brazil. - 1994. - v. 1. - p. 21 - 24.
73. Гирка В.А., Гирка И.А., Павленко И.В. Распространение поверхностных волн поперек оси магнитоактивного плазменного волновода некруглого сечения// Физика плазмы. – 1997. - т. 23, № 11. - с. 1037 - 1041.
74. Білецький М.М., Яковенко В.М. // Український фізичний журнал. 1998. т. 48, № 11. с. 1416 – 1424.
75. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.3. Квантовая механика. 4-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 768 с.
76. Гирка И.А., Золотухин А.В. Поперечные поверхностные магнитоплазменные волны в металлическом волноводе прямоугольного сечения, заполненном n-полупроводником // Радиотехника и электроника. – 1994. - т.39, № 12. - с.1961- 1968.
77. Недоспасов А.В., Токарь М.З. Пристеночная плазма в токамаках// Вопросы теории плазмы./ Под ред. Б.Б.Кадомцева. - М.: Энергоатомиздат, 1990. Вып.18. с. 68 - 208.

78. Гирка И.А. Азимутальные поверхностные волны на границе плазма-металл в неоднородном тороидальном магнитном поле// Журнал технической физики. - 2002. - т. 72, № 7. - с. 52 - 57.
79. Кадомцев Б. Б. Магнитные ловушки с «гофрированным» полем // В сб.: Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. - М.: Изд-во АН СССР, 1958. - т. 3. - с. 285 - 299.
80. Рютов Д. Д. Открытые ловушки// Успехи Физических Наук. - 1988. - т.154, вып. 4. - с. 565 - 614.
81. Baity F. W., Berry L. A., Bighel L. et al. Plasma properties and ion heating in EBT-S and hot electron rings at TRW // Proceedings of 9-th Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Baltimore. 1983. V. 2. P. 185.
82. Fujiwara M., Kamimura R., Hosokawa M. et al. Experimental and numerical studies on plasma confinement in Nagoya Bumpy Torus (NBT) // Ibid. P. 197.
83. Beidler C.D., Kolesnichenko Ya.I., Marchenko V.S. et al. Stochastic diffusion of energetic ions in optimized stellarators // Physics of Plasmas. 2001. V.8, № 6. P. 2731.
84. Kolesnichenko Ya.I., Lutsenko V.V., Wobig H. et al. Alfvén continuum and high – frequency eigenmodes in optimized stellarators// Physics of Plasmas. – 2001. – v.8, № 2. – p. 491 – 509.
85. Гирка И.А., Степанов К.Н. МГД колебания плазмы в гофрированном магнитном поле// Украинский физический журнал. - 1992. - т.37, № 1.- с.69 -75.
86. Гирка И.А., Лапшин В.И., Степанов К.Н. Расщепление спектров МГД колебаний плазмы в гофрированном магнитном поле// Физика плазмы. - 1998. – т. 24, № 11. - с. 1015 - 1022.
87. Гирка И.А., Лапшин В.И., Степанов К.Н. Нагрев плазмы вблизи сателлитных альфвеновских резонансов в ловушках с гофрированным магнитным полем// Физика плазмы. - 1994. - т. 20, №11. - с. 1020- 1027.
88. Беляев Н.Р., Гирка И.А., Грицина В.Т. Влияние аксиальной периодической неоднородности удерживающего магнитного поля на альфвеновский нагрев цилиндрической плазмы// Физика плазмы. - 2003. – т. 29, № 5. - с. 432 - 439.
89. Girka I.O. // Preprint of Max-Planck-Institut fuer Plasmaphysik, 85748 Garching bei Muenchen, FRG. IPP 4/274. 1996.
90. Girka V.O., Girka I.O. Surface flute modes in a rippled magnetic field // Plasma Physics Reports. 2006. v. 32. # 9. p. 750- 758.
91. Онищенко И.Н., Сидоренко Д.Ю., Сотников Г.В. Взаимодействие электронного пучка с гофрированной коаксиальной линией, заполненной плазмой // Физика плазмы. – 1995. – т.21, № 8. – с. 708 – 714.

92. Аксенова Л.А., Кейер А.П., Немировская Л.Л., Соколов Е.В. Экспериментальное исследование трансформации мод в волноводах с гофрированными стенками // Изв. Вузов. Радиофизика. 1988. т.31, № 10. С. 1223-1228.
93. Girka O., Girka I., Girka V., Pavlenko I. Coupled HF azimuthal waves in magnetoactive waveguide partially filled by current-carrying plasma // Problems of Atomic Science and Technology. 2006. #5. Series: Plasma electronics and new methods of accelerating (5). p. 28-33.
94. Азаренков Н.А., Дементий О.И., Костенко В.В. Косые поверхностные магнитоплазменные волны на границе плазма – металл // Радиотехника и электроника. – 1988. – т. 33, вып. 3. – с. 546 – 549.
95. Girka O.I., Girka I.O., Girka V.O., Pavlenko I.V. Propagation of azimuthal waves along the surface of a metal current-carrying cylinder immersed into a magnetized plasma // Radiophysics and Quantum Electronics. 2008. v. 51, # 2, p. 110-122.
96. Shkarofsky I.P., Johnston T.W., Bachynski M.P. The particle kinetics of plasmas. Addison-Wesley publishing Company. London, 1966. p.396.
97. Girka O.I., Girka I.O., Girka V.O., Pavlenko I.V. Propagation of azimuthal waves in magnetoactive waveguides filled with a current-carrying plasma // Technical Physics. 2008, v. 53, # 7, p. 905-912.
98. Гирка В.О., Гирка И.О. Влияние неоднородности тороидального магнитного поля на спектры азимутальных поверхностных волн в металлических волноводах, полностью заполненных плазмой// Физика плазмы. – 2002. - т.28, № 3. - с. 215 - 220.
99. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979. с. 528.
100. Ахиезер А.И., Ахиезер И.А. Электромагнетизм и электромагнитные волны. М.: Вища школа, 1985.
101. Гирка В.А., Гирка И.А. Связанные азимутальные поверхностные волны в неоднородном плазменном цилиндре с током// Радиотехника и электроника. – 1991. - т. 36, № 10. - с. 1997 - 2004.
102. Богданкевич Л.С., Кузелев М.В., Рухадзе А.А. // УФН. 1981. Т. 133. Вып. 1. С. 3.
103. Пономарев А.В., Стрелков П.С. // Физика плазмы. 2004. Т.30, №1. С. 66.
104. Рамазанов Р.З., Сотников Г.В., Ткач Ю.В. // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 6. С. 74.
105. Girka O.I., Girka I.O., Girka V.O., Pavlenko I.V. Coupled Transverse Modes of Coaxial Metal Waveguides Completely Filled with Magneto-active Current-Carrying Plasma // Plasma Physics Reports, 2008, v. 34, # 11, p. 901-910.
106. Zhelyazkov I., Atanasov V. Axial structure of low- pressure high-frequency discharges sustained by travelling electromagnetic surface waves // Physics Reports. 1995. v.255. p.79-201.

107. Jotaki E., Itoh S. ECR-discharge cleaning for TRIAM-1M // Fusion Engineer. Design. 1997. v. 36. p. 447-450.
108. Ushigusa K., Seki M., Suganuma K., et al. Electron cyclotron resonance discharge cleaning by using LHRF system on JT-60 U // Fusion Engineer. Design. 1999. v.45. p.137-144.
109. Hiyama S., Ono T., Iizuka S., et al. Wide-area uniform plasma processing in an ECR plasma // Plasma Sources Sci. Technol. 1996. v.5. p.299-304.
110. Korzec D., Werner F., Winter R., et al. Scaling of microwave slot antenna (SLAN): a concept for efficient plasma generation // Plasma Sources Sci. Technol. 1996. V.5.p. 216-234.
111. Miyazawa W., Tada S., Ito K., et al. A large-area ECR processing plasma // Plasma Sources Sci. Technol. 1996. V.5. p.265-267.
112. Ono T., Hiyama S., Nakagama Y., et al. A large-diameter uniform plasma produced by a plane slotted ECR antenna // Plasma Sources Sci. Technol. 1996. V.5. p.293-298.
113. Hatta A., Ushigusa Y., Yasaka Y., et al. Production of large diameter plasma by using multi-annual antenna for electron cyclotron resonance // Plasma Sources Sci. Technol. 1996. V.5. p.28-31.
114. Mayo R.M., Bourham M.A., Glover M.E., et al. A magnetized coaxial source facility for the generation of energetic plasma flows // Plasma Sources Sci. Technol. 1995. V.4. p.47-55.
115. Benova E., Zhelyazkov I., Staikov P., et al. Modeling of a plasma column produced and sustained by a traveling electromagnetic wave in the presence of a constant axial magnetic field // Phys. Rev. A. 1991. v.44,#4. p.2625-2640.
116. Girka V.O., Girka I.O., Pavlenko I.V. Electrodynamics model of the gas discharge sustained by azimuthal surface waves // Contributions to Plasma Physics. 2001. v. 41, #4. p. 393-406.
117. Гирка В.А., Гирка И.А. Длинноволновые несимметричные поверхностные моды изотропных плазменных волноводов // Физика плазмы. – 2002. - т. 28, № 8. - с. 739 - 747.
118. Girka V., Azarenkov M., Pavlenko I. Microwave gas discharge sustained by the azimuthal surface waves // Contributions to Plasma Physics. 2000, v.40, #5-6, p.529-536.
119. Nonaka S. Mode identification of electromagnetic waves for large-area planar RF plasma productions // Journal Phys. Soc. Japan. 1992. v.61, #5. p.1449—1452.
120. Nonaka S. Proposal of non-cylindrical and large-area RF plasma production by surface waves // Journal Phys. Soc. Japan. 1994. v.63. p. 3185-3186.

121. Nonaka S. Very long and large-area RF plasma production by odd surface waves for online mass production of amorphous silicon solar cells or mirrors // *Japanese J. Appl. Phys.* 1994. v.33. p. 4226-4231.
122. Aliev Yu.M., Boev A.G., Shivarova A.P. On the non-linear theory of a long gas discharge produced by an ionizing slow electromagnetic wave // *Phys. Lett.* 1982. v.92A. p.235-242.
123. Aliev Yu.M., Boev A.G., Shivarova A.P. Slow ionizing high frequency electromagnetic wave along a thin plasma column // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1984. v.17. p. 2233-2242.
124. Margot J., Moisan M., Fortin M. Power required to maintain an electron in a discharge: its use as a reference parameter in magnetized high frequency plasmas // *J. Vac. Sci. Technol. A.* 1995. v.13, №6. p.2890-2899.
125. Aliev Yu.M., Ivanova K.M., Moisan M., Shivarova A.P. Analytical expressions for the axial structure of surface wave sustained plasmas under various regimes of charged particle loss // *Plasma Sources Sci. Technol.* 1993. v.2. p.145-152.
126. Aliev Yu.M., Maximov A.V., Kortshagen U., et al. Modeling of microwave discharges in the presence of plasma resonances // *Phys. Rev. E.* 1995. v.51, №6. p. 6091 - 6102.
127. Viel V., Bernard J., Laval G. Modelling and characterization of a large-diameter plasma cylinder produced by surface waves // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1996. v.29. p.1500-1508.
128. Azarenkov N., Gapon A., Denysenko I., Smolyakov A. Influence of resonance energy absorption on the properties of gas discharge maintained by asymmetric surface waves // *Physica Scripta.* – 1999. – v.59. – p. 298-301.
129. Azarenkov N., Denysenko I., Ostrikov K. // *Journ. Plas. Phys.* 1998. v. 59, part 1, p.15-26.
130. Laqua H.P., Erckmann V., W. Kasperek et al. ECRH heating scenarios and in vessel components at the Wendelstein 7-X stellarator // *Proc. 14-th Joint Workshop on Electron Cyclotron Emission and Electron Cyclotron Heating.* Greece, 2006, p. 86-91.
131. Kolesnichenko Ya.I., Lutsenko V.V., Wobig H. et al. Alfvén continuum and high – frequency eigenmodes in optimized stellarators // *Physics of Plasmas.* – 2001. – v.8, № 2. – p. 491 – 509.
132. Girka V.O., Girka I.O. Additional ECR heating of a radially inhomogeneous plasma via the absorption of satellite harmonics of the surface flute modes in a rippled magnetic field // *Plasma Physics Reports.* 2006. - v. 32. # 12. - p. 1136 – 1141.
133. Гирка В.А., Гирка И.А. Замедление поперечных поверхностных волн в изотропном плазменном волноводе некруглого сечения // *Журнал технической физики.* - 1997.- т. 67, в. 7. – с. 92 - 97.

134. Girka V.O., Girka I.O. Delaying of transverse surface waves in isotropic plasma waveguide with the noncircular cross-section // 6th International Conference "Mathematical Methods in Electromagnetic Theory"(ММЕТ'96). Proceedings. – Lviv. Ukraine. - 1996. p. 385 - 388.
135. Азаренков Н.А., Костенко В.В. Дисперсионные свойства поверхностных волн на границе плазмы с гофрированным идеально проводящим металлом // Радиотехника и электроника. – 1988. т. 33, № 5. с.1027 - 1030.
136. Кузнецов Д. С. Специальные функции. - М.: Высшая школа, 1965.- 422 с.
137. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. Формулы, графики, таблицы. - М.: Наука, 1977. – 344 с.
138. Гирка И.А. Расщепление спектров поперечных поверхностных волн в изотропном плазменном волноводе некруглого сечения// Физика плазмы. – 1997. - т. 23, № 3. - с. 246 - 251.
139. Chance M.S., Perkins F.W., Sperling T. // Bulletin of American Physical Society. – 1973. v. 18. p. 1273.
140. Гирка И.А., Степанов К.Н. О влиянии азимутального магнитного поля на спектры магнитозвуковых колебаний плазменного цилиндра // Доклады АН УССР. – 1990. – серия А, № 3, с.66 - 71.
141. Гірка І.О., Золотухін О.В. Поширення електромагнітних хвиль вздовж межі гіротропної плазми з металевим хвилеводом довільного перерізу// Український фізический журнал. – 1994. - т. 39, № 6. - с. 682 - 687.
142. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н. Поверхностные волны в гиротропных плазменных слоях, ограниченных металлом// Радиотехника и электроника. – 1989. – т. 34, в. 7. – с. 1525 - 1527.
143. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Костенко В.В. Поверхностные волны в структурах плазма-металл// У зб.: Взаимодействие и самовоздействие волн в нелинейных средах. Ч.1. – Душанбе: Дониш, 1988. – с. 214 - 231.
144. Гирка И.А., Золотухин А.В. Поперечные поверхностные магнитоплазменные волны в металлическом волноводе прямоугольного сечения, заполненном n-полупроводником // Радиотехника и электроника. – 1994. - т.39, № 12. - с.1961- 1968.
145. Сміт Р. Напівпровідники. -М.: Мир,1982.-558 с.
146. Карпов С.Ю., Столяров С.Н. Распространение и преобразование волн в средах с одномерной периодичностью // Успехи физических наук. - 1993. - т. 163, № 1. - с.63 -88.
147. Girka V., Girka O., Girka I., Pavlenko I. Effect of the shape of the cross section of a plasma-dielectric interface on the dispersion properties of azimuthal surface modes // Plasma Physics Reports. 2007. - v. 33. # 2 . p. 91 – 101.

148. Girka V., Girka O., Girka I., Pavlenko I. Resonant effect of the non-circular shape of the plasma surface on the dispersion properties of extraordinary azimuthal surface modes in magneto-active waveguides // *Plasma Physics Reports*. 2007. - v. 33. # 7. p. 543 – 552.
149. Гирка И.А. Поперечные поверхностные магнитоплазменные волны в метал-лическом волноводе прямоугольного сечения, заполненном двумя слоями n-полупроводников// *Радиотехника и электроника*. - 2001. - т. 46, № 12. - с. 1481 - 1488.
150. Seshadri S.R. Excitation of surface waves on a perfectly conducting screen covered with anisotropic plasma// *IRE Transactions. MTT*. - 1962. - v. 10, № 6. - p. 573 - 578.
151. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Костенко В.В. Влияние диэлектрической прослойки на дисперсионные свойства поверхностных волн на границе плазма-металл // *Журнал технической физики*. - 1986. - т. 56, № 2. - с. 391 - 393.
152. Азаренков Н.А., Кондратенко А.Н., Остриков К.Н. Дисперсионные свойства поверхностных волн в двухслойной плазменной структуре, ограниченной металлом // *Радиотехника и электроника*. - 1990. - т. 35, № 1. - с. 29 - 34.
153. Калмыкова С. С., Курилко В. И. Физические механизмы гидродинамической плазменно-пучковой неустойчивости // *Успехи физических наук*. – 1988. – т.155, №4. – с. 681-701.
154. Davidson R.C., Tsang K.T. Analysis of magnetron instability for relativistic nonneutral electron flow in cylindrical high-voltage diode // *Lazer and Particle Beams*. - 1988. - V. 6, # 4. - P. 661-685.
155. Gisler G.R. Particle in cell simulations of azimuthal instabilities of relativistic electron layers // *Phys. Fluids*. - 1987. - V. 30, # 7. - P. 2199-2208.
156. Kainer S., Gaffey J.D., Price C.P. et al. Nonlinear wave interactions and evolutions of a ring-beam distribution of energetic electrons // *Physics of Fluids*. - 1988. - V. 31, # 8. - P. 2283-2284.
157. Lau Y.Y. Radiation generated by rotating electron beams // *Proc. Symp. "Non-Neutral Plasma Physics"*. - Washington. USA. -1988. - P. 210-223.
158. Яремка В.Д., Жураховский В.А., Шестопапов В.П. Высокоорбитный пениотрон со сквозным гирорезонансом // *Радиотехника и электроника*. - 1989. -т. 34, # 9. - с. 1900-1907.
159. Saito H., Wurtele J.S. The linear theory of the circular free-electron laser // *Phys. Fluids*. - 1987. -V. 30, # 7. - P. 2209-2220.
160. Tsang K.T., Hafisi B. Magnetic drift induced ion-cyclotron mass instability // *Phys. Fluids*. - 1987. - V. 30, # 3. - P. 804-806.
161. Danly B.G., Temkin R.J. Generalized nonlinear harmonic gyrotron theory // *Phys. Fluids*. - 1986. - V. 29, # 2. - P. 561- 567.
162. Kho T.H., Lin A.T., Chen L. Gyrophase – coherent electron cyclotron maser // *Phys. Fluids*. - 1988. - V. 31, # 10. - P. 3120-3126.

163. Chen K.W., Kim S.H., McKinley M.C. Low-frequency azimuthally propagating (diocotron) waves in a non-neutral electron beam column // *Physics of Fluids*. - v.330, #10. - p. 3306 - 3308.
164. Brandenburg J.E., Lee E.P. A model of hose instabilities in rotating electron beams // *Phys. Fluids*. - 1988. - V. 31, # 11. - P. 3403-3411.
165. Davies J.A. Conditions for absolute instability in the cyclotron resonance maser // *Phys. Fluids*. - 1989. - V. B1, # 3. - P. 663-669.
166. Lawson W., Striffler C.D. A general linear growth rate formulae for large orbit, annular electron beams // *Phys. Fluids*. -1985. - V. 28, # 9. - P. 2868-2977.
167. Киценко А.Б., Панкратов И.М., Степанов К.Н. О нелинейной стадии возбуждения монохроматических поверхностных волн потоком заряженных частиц в магнитном поле // *Журнал Технической Физики*. - 1974. - т. 44. - с. 2430 - 2432.
168. Панченко И.П., Куклин В.М. Диссипативные режимы пучковой неустойчивости в условиях аномального эффекта Доплера // *УФЖ* – 1987. т.32, №12. с. 1827-1832.
169. Гирка В.А., Гирка И.А., Олефир В.П., Ткаченко В.И. Генерация электромагнитных волн кольцевыми РЭП // *Письма в ЖТФ*, 1991, т.17, в. 1, с.87-91.
170. Гирка В.А., Кондратенко А.Н., Споров А.Е. Нелинейная теория пучкового возбуждения азимутальных поверхностных мод в металлических цилиндрических волноводах с плазменным наполнением // *Журнал технической физики*. 1999. Т. 69. № 7. с. 84-88.
171. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. -М.: Атомиздат, 1979.- 346 с.
172. Гирка В.А., Гирка И.А., Ткаченко В.И. Возбуждение азимутальных поверхностных мод в цилиндрических полупроводниковых структурах при наличии дрейфового движения потока электронов // *ЖТФ* – 1996, т.66, в. 4, с.114-120.
173. Carr W., Jones R., Boyd D., et al. Saturation of beam- plasma instability in a lossy plasma // *Phys. Fluids*. – 1974. v. 17. p. 1638-1643.
174. Winske D., Jackson E.A. Partial trapping of a beam-plasma instability in a cold collisional plasma // *Phys. Fluids*. – 1975. – v.18,#3. – p. 389-393.
175. Girka V.O., Kondratenko A.M., Puzyrkov S.Yu. Nonlinear theory of the azimuthal surface waves excitation under the regime of dissipative instability // *Plasma Physics Reports*. 2003.-v.29. #2. p.131-136.
176. Fujiwara M., Kaneko O., Komori A., et al. Experiments on NBI plasmas in LHD // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. – 1999. v.41, #12B. p. 157-166.
177. Krafft C., Volokitin A.S. Electron beam interaction with space plasmas // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. – 1999. v.41, #12B. p. 305-315.

178. Андо Р., Балакирев В.А., Камада К., и др. Возбуждение колебаний с широким частотным спектром при взаимодействии плотного релятивистского электронного пучка с плазмой // Ф П. –1997. т.23, №11. с. 1042-1048.
179. Onishchenko I.M., Balakirev V.A., Korostelev A.M., et al. Coaxial plasma filled structures// Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on High Power Particle Beams. – Praha. Czech Republic. - 1996. - p. 426 - 429.
180. Balakirev V.A., Karas V.I., Kornilov E.A., et al. Obtainment of electromagnetic radiation at interaction of electron beam with ring plasma waveguide // Proceedings of the 12-th Intern. Conference on High Power Particles Beams. - Israel. – 1998. - V.2. p. 748-751.
181. Kuzelev M.V., Romanov R.V., Rukhadze A.A. // Plasma Physics Reports. - 2001. - v. 27, № 3. - p. 243 - 250.
182. Азаренков Н.А., Клепиков В.Ф., Олефир В.П., Споров А.Е. // Вісник Харківського університету. Серія фізична “Ядра, частинки, поля”. – 2000, вип. 1 . - с.41 - 44.
183. Гирка В.А., Гирка И.А. Длинноволновые несимметричные поверхностные волны в магнитоактивных цилиндрических волноводах, полностью заполненных плазмой// Физика плазмы. – 2002. - т. 28, № 11. - с. 994 - 1003.
184. Кузелев М.В., Романов Р.В., Селиванов И.А. и др. Спектры собственных колебаний коаксиального плазменного волновода в конечном магнитном поле// Труды ИОФАН. - 1994. - т. 45. - с. 17 - 38.
185. Azarenkov N.A., Olefir V.P., Sporov A.E. Quadrupole and octopole electromagnetic waves in slightly non – uniform magnetized plasma column // Physica Scripta. - 2001. - v.63. p. 36 - 42.

Щось ці посилання виявилися не дуже потрібними. Подивися, мабуть, я десь їх не включив до переліку посилань!

1. Beidler C.D., Grieger G., Harmeyer E. et al. Helias reactor studies// Preprint MIPP 2/330. – October 1995. – 21 p.
2. Аронов Б.А., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Электромагнитное излучение при возбуждении поверхностных волн в плазме электронным пучком // Журнал технической физики. - 1973. - т.43, № 12. - с. 2493 - 2498.
3. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. М.: Атомиздат, 1969. С. 190.