

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	9
Принятые обозначения . . . . .	11
<b>Глава I. Основы теории распространения электромагнитных волн в плазме . . . . .</b>	<b>15</b>
§ 1. Общее введение. Параметры плазмы в различных случаях . . . . .	15
Различные случаи распространения волн в плазме (15). Параметры плазмы (16). Особенности плазмы (17).	
§ 2. Основные уравнения. Характер используемых приближений . . . . .	18
Уравнения поля (18). Одномерные задачи. Плоские волны (20). Плазменные колебания (22). Пространственная дисперсия (23). О распространении волн разных типов (24).	
<b>Глава II. Распространение волн в однородной и изотропной плазме . . . . .</b>	<b>26</b>
§ 3. Комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы (элементарная теория) . . . . .	26
Элементарный вывод выражений для $\epsilon$ и $\sigma$ (26). Вопрос о действующем поле (29). Область применимости полученных формул (32). Магнитная проницаемость плазмы (35).	
§ 4. Метод кинетического уравнения . . . . .	35
Функция распределения и кинетическое уравнение (35). Плазма в сильном электрическом поле (36). Вид функции распределения и уравнение для нее в слабом поле (38). Транспортные сечения. Дебаевское экранирование (42). О пределах применимости формул кинетической теории (47).	
§ 5. Несколько замечаний о микропроцессах в плазме . . . . .	49
Микропроцессы в плазме и уравнения сохранения числа частиц разного сорта (49). Время замедления неравновесных электронов в плазме (53). Отклонение функции распределения от равновесной. Оценки для ионосферы (56).	
§ 6. Диэлектрическая проницаемость и проводимость плазмы (кинетическая теория) . . . . .	58
Общие соотношения (58). Соударения с молекулами (60). Соударения с ионами (61). Роль междуэлектронных соударений (63). Число соударений в ионосфере (64). Низкочастотный случай (67). Общий случай (любые частоты) (69). Соударения ионов с ионами и молекулами (72). Дисперсионные соотношения (74).	
§ 7. Распространение электромагнитных (поперечных) волн в однородной плазме . . . . .	74
Показатели преломления и поглощения (74). О затухании волн при отсутствии поглощения (77). Выражения для $n$ и $k$ в предельных случаях (78). О вещественных и комплексных значениях частоты (79).	

§ 8. Учет пространственной дисперсии. Плазменные и акустические волны . . . . .	80
Плазменные (продольные) волны. Феноменологический учет пространственной дисперсии (80). Кинетическая теория (84). Черенковское излучение в плазме. Поглощение плазменных волн (88). Учет влияния ионов. Акустические волны (94). Квазигидродинамический метод (97). Продольные волны в двухтемпературной плазме (98).	
§ 9. Сводка основных формул . . . . .	100
Поперечные волны (101). Продольные волны в плазме (105).	
<b>Глава III. Распространение волн в однородной магнитоактивной плазме . . . . .</b>	<b>108</b>
§ 10. Тензор комплексной диэлектрической проницаемости . . . . .	108
О влиянии постоянного магнитного поля на свойства плазмы (108). Тензор комплексной диэлектрической проницаемости (элементарная теория) (110). Свойства тензора $\epsilon'_{ik}$ (111). Тензор $\epsilon'_{ik}$ в других системах координат (113). Кинетическая теория (115). Влияние движения ионов (119).	
§ 11. Распространение в магнитоактивной плазме высокочастотных волн . . . . .	122
Выражения для показателей преломления и поглощения $n_{1,2}$ и $\chi_{1,2}$ (122). Некоторые частные случаи (125). Распространение волн под произвольным углом $\alpha$ к магнитному полю (129). Поляризация волн (132). О нормальных волнах. Случай малых углов $\alpha$ (135). Учет поглощения (139). Квазипродольное и квазипоперечное распространение (141). Критическое число соударений. Графики $n_{1,2}(\nu)$ и $\chi_{1,2}(\nu)$ (142). Влияние ионов (145). О поглощении и излучении электромагнитных волн магнитоактивной плазмой (147).	
§ 12. Пространственная дисперсия и плазменные волны при наличии магнитного поля (учет теплового движения) . . . . .	149
Предельный переход к изотропной плазме (149). Об учете пространственной дисперсии в анизотропной среде (152). Квазигидродинамическое приближение (153). О плазменных волнах в магнитоактивной плазме (155). Кинетическая теория (156). Природа поглощения, не связанного с соударениями (157). Результаты кинетической теории для продольного распространения (163). Резонансное поглощение при произвольном угле $\alpha$ (167). Область черенковского поглощения (район резонансной частоты $\omega_{\text{св}}$ ) (175). Случай обыкновенной волны при невысоких частотах (185). Резюме (186).	
§ 13. Некоторые замечания о динамике плазмы . . . . .	186
Магнитогиродинамическое приближение (186). Квазигидродинамическое приближение (188). О движении чисто электронно-ионной плазмы и слабо ионизированного газа (192). Стационарное движение слабо ионизированного газа в магнитном поле. Случай земной ионосферы (195).	
§ 14. Распространение низкочастотных и магнитогиродинамических волн . . . . .	197
Введение (197). Магнитогиродинамические волны (197). Низкочастотные волны (квазигидродинамическое рассмотрение) (205). Об области применимости магнитогиродинамических формул (208). Углы $\alpha$ , близкие к $\pi/2$ (209). Об области ионного гирорезонанса (210). Учет влияния молекул (211). Учет теплового движения. Некоторые результаты кинетической теории (изменение скорости, затухание при отсутствии соударений) (212).	
§ 15. Сводка основных формул . . . . .	218
<b>Глава IV. Распространение волн в неоднородной изотропной среде (плазме) . . . . .</b>	<b>224</b>
§ 16. Введение. Приближение геометрической оптики . . . . .	224
Волновые уравнения. Плоскостная среда (224). Строгие решения для плоскостной среды (225). О приближенных решениях (226). Приближение геометрической оптики (226). Более строгое рассмотрение того же вопроса (230). Случай, когда приближение геометрической оптики неприменимо. Полное внутреннее отражение (232). Об отражении радиоволн от ионосферы (235). Совершенно неотражающий слой (236). Слабое отражение от слоя (236). Отражение от скачка производной $\frac{dn}{dz}$ (238).	

§ 17. Строгие решения волнового уравнения (линейный и параболический слой; слой $\epsilon' = \frac{a}{(b+z)^2}$ ) . . . . .	241
Введение (241). Линейный слой без поглощения (241). Поглощающий линейный слой (244). Параболический слой без поглощения (247). Слой $\epsilon' = \frac{a}{(b+z)^2}$ (249).	
§ 18. Отражение и прохождение волн в случае «симметричного» и «переходного» слоев произвольной толщины . . . . .	251
Плавный слой с четырьмя параметрами (251). «Симметричный» слой (252). «Переходный» слой. Предельный переход к резкой границе раздела (254).	
§ 19. Наклонное падение волн на слой . . . . .	255
Общие соотношения. Волна с электрическим вектором, перпендикулярным к плоскости падения (255). Приближение геометрической оптики (257). Лучевая трактовка (258). О волнах с электрическим вектором, лежащим в плоскости падения (260). Уравнение для магнитного поля волны (262).	
§ 20. Об одной особенности поля электромагнитной волны, распространяющейся в неоднородной изотропной плазме. Взаимодействие электромагнитных и плазменных волн . . . . .	263
Физическая картина явления (263). Решение волнового уравнения (265). Учет пространственной дисперсии (271). Учет образования плазменных волн. Взаимодействие между различными нормальными волнами (275). О взаимной трансформации и взаимодействии между продольными и поперечными волнами в плазме (280).	
§ 21. Распространение импульсов (сигналов) . . . . .	281
Фурье-представление поля импульса (281). Распространение квазимонохроматического импульса без учета его расплывания (283). Фазовая и групповая скорости волн (285). Расплывание импульсов (287). Пределы применимости использованного приближения и более точные результаты (293).	
§ 22. Плотность энергии в диспергирующей среде. Скорость сигналов в плазме при наличии поглощения . . . . .	296
Введение (296). Плотность энергии в непоглощающей диспергирующей среде (297). Случай поглощающей среды (300). Плотность энергии в плазме (301). О плотности энергии в случае совокупности осцилляторов (302). Плотность энергии в плазменных волнах (303). Скорость сигналов в поглощающей среде. Применение к плазме (304).	
<b>Глава V. Распространение волн в неоднородной магнитоактивной плазме . . . . .</b>	<b>307</b>
§ 23. Введение. Приближение геометрической оптики . . . . .	307
Волновые уравнения (307). Приближение геометрической оптики (308). Границы применимости приближения (311). Область начала слоя и взаимодействие нормальных волн в этом случае (314).	
§ 24. Распространение импульсов . . . . .	317
Вектор групповой скорости в магнитоактивной среде (317). Вектор групповой скорости, направление луча и вектор потока энергии (322). Распространение импульсов в неоднородной среде (324).	
§ 25. Отражение волн от неоднородного слоя . . . . .	325
Отражение волн от слоя. Углы $\alpha=0$ и $\alpha=\frac{\pi}{2}$ (325). Приближенное решение при произвольном угле $\alpha$ (328).	
§ 26. Предельная поляризация волн, выходящих из слоя неоднородной магнитоактивной плазмы . . . . .	334
Введение. Некоторые оценки (334). Приближенное решение (336). Результаты расчета (341).	

- § 27. Поведение поля волны, коэффициенты отражения и прохождения при наличии особенности у показателя преломления . . . . . 343  
 Введение. Особенности (полюса) у показателя преломления (343). Строгое решение для слоя  $\epsilon'_{эфф} = \frac{g}{(z+is)^2}$  (346). Строгое решение для слоя  $\epsilon'_{эфф} = -\frac{g^2}{z+is}$  - Физическая интерпретация (346). Слой  $\epsilon'_{эфф} = g_1^2 + \frac{g_2^2}{z+is}$  (349). Полюс функции  $(n-ix)_{1,2}^2$  в случае магнитоактивной плазмы (350). Механизм резонанса. Эффект «разбухания» поля в магнитоактивной плазме (354). Случай земной ионосферы (357). Учет пространственной дисперсии (357).
- § 28. Эффект «утраивания» отраженных сигналов (взаимодействие нормальных волн при малых углах  $\alpha$ ) . . . . . 357  
 Область малых углов  $\alpha$  между магнитным полем и волновой нормалью. Картина явления (357). Решение задачи методом возмущений (область очень малых углов  $\alpha$ ) (360). Вариационный метод (другой предельный случай) (367).  
 Метод фазовых интегралов (375). Общие результаты при  $u = \frac{\omega_H^2}{\omega^2} < 1$  (377).  
 Формулы для  $\delta_0$ . Учет соударений (380). Результаты при  $u = \frac{\omega_H^2}{\omega^2} > 1$  (384).
- § 29. Наклонное падение волн на слой. Теорема взаимности . . . . . 388  
 Введение (388). Приближение геометрической оптики (390). Поле в первом приближении геометрической оптики (392). Графики функций  $q_{1,2}(\nu)$  (394). Траектории волновых нормалей и лучей (396). Некоторые особые случаи (400). Просачивание волн и эффект «утраивания» сигналов при наклонном падении (404). Просачивание волн при  $u = \frac{\omega_H^2}{\omega^2} > 1$  (406). Доказательство теоремы взаимности (408). Обобщение на случай магнитоактивной среды (410). Среда с несимметричным тензором  $\mu_{ik}$  и с пространственной дисперсией (411).
- Глава VI. Отражение радиоволн от ионосферных слоев . . . . . 413
- § 30. Введение. Отражение от произвольного плавного слоя . . . . . 413  
 О распространении радиоволн в ионосфере (413). Параметры ионосферы (414). Отражение волн от произвольного слоя (416). Действующая высота отражения  $z_d$ . Высотно-частотные характеристики (421). Параболический слой (424). Учет изменений слоя во времени (427).
- § 31. Учет поглощения . . . . . 429  
 Влияние поглощения на отражение волн (429). Коэффициент отражения в случае малости поглощения. Определение  $\nu_{эфф}$  по измерению поглощения (432).
- § 32. Структура поля вблизи точки отражения . . . . . 434  
 Структура поля (434). Геометрикооптическое приближение (437). Учет поглощения (438).
- § 33. Отражение и просачивание через слой волн с частотой, близкой к критической . . . . . 439  
 Параболический слой (439). Произвольный слой (440). Учет поглощения (444). Действующая высота для параболического слоя (строгое решение) (445). О времени установления амплитуды сигнала (448).
- § 34. Отражение при наклонном падении . . . . . 449  
 Точка отражения. Критическая частота (449). Лучевая трактовка (450). Теоремы, связывающие групповые пути при наклонном и нормальном падении (454). Отражение от сферического слоя (456). Напряженность поля отраженных от ионосферы сигналов (457).

- § 35. Отражение волн при учете влияния магнитного поля . . . . . 461  
 Влияние магнитного поля. Критические частоты (461). Фаза волны и коэффициент отражения. Ход лучей (464). Квазипродольное и квазипоперечное распространение (467). Наклонное падение (469). Учет неоднородности земного магнитного поля (470).
- Глава VII. Распространение радиоволн в космических условиях . . . . . 472
- § 36. Распространение радиоволн в солнечной атмосфере . . . . . 472  
 Введение (472). Солнечная корона (473). Распространение радиоволн в короне (475). Излучение радиоволн. Учет рефракции (479). Влияние магнитного поля (485). Трансформация плазменных волн в радиоволны (489). О поглощении, не связанном с соударениями (490). Теорема Кирхгофа в магнитоактивной плазме (491).
- § 37. Распространение радиоволн в межзвездной среде . . . . . 493  
 Поглощение радиоволн в межзвездном газе (замечания общего характера) (493). Вычисление коэффициента поглощения в сильно разреженной плазме (495). Вращение плоскости поляризации радиоволн в межзвездной среде (500).
- Глава VIII. Нелинейные явления в плазме, находящейся в переменном электромагнитном поле . . . . . 503
- § 38. Введение. Плазма в сильном однородном электрическом поле . . . 503  
 Условие слабости поля в плазме. Примеры (503). Постановка задачи в случае сильного поля (505). Элементарная теория (505). Точность результатов элементарной теории (512). Кинетическая теория (513). Сильно ионизированная плазма (517). Слабо ионизированная плазма (519).
- § 39. Нелинейные эффекты при распространении радиоволн в плазме (ионосфере) . . . . . 521  
 Введение (521). Основные соотношения (522). Эффект самовоздействия (524). Нелинейное взаимодействие волн. Кроссмодуляция (529). Нелинейное взаимодействие немодулированных волн. Комбинационные частоты (533). Нелинейность, связанная с изменением электронной концентрации (536).
- Литература . . . . . 539