

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики  
Российской академии наук» (ИПФ РАН)



УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора по научной работе

  
М.Ю. Глявин

№  от  2018 г.

**ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена по специальности**

Направление подготовки  
**03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность/профиль подготовки (специализация)  
**Специальность 01.04.08 «Физика плазмы»**

**Присваиваемая квалификация:**  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Нижний Новгород

2018 год

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
кандидатского экзамена по специальности  
**01.04.08 «Физика плазмы»**  
по физико-математическим, химическим и техническим наукам  
(Утверждена Приказом Минобрнауки России № 274 от 08.10.2007 г.)

**Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: статистика, элементарные процессы, физическая кинетика, магнитная гидродинамика, электродинамика сплошных сред, физика волновых процессов.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Российского научного центра «Курчатовский институт», Института общей физики РАН, Московского физико-технического института (государственного университета), Объединенного института высоких температур РАН, физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Московского государственного инженерно-физического института.

**1. Термодинамика плазмы**

Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, корональное равновесие, снижение потенциала ионизации. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми—Дирака, модель Томаса—Ферми.

**2. Элементарные процессы**

Столкновения заряженных частиц, дальное действие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.

**3. Физическая кинетика**

Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.

**4. Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях**

Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта.

**5. Магнитная гидродинамика плазмы**

Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.

**6. Неустойчивость плазмы**

Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегревная и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости.

**7. Колебания и волны в плазме**

Основные типы колебаний и волн в плазме: лэнгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн.

## **8. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме**

Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение.

## **9. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой**

Распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме, геометрическая оптика, плазменный резонанс, циклотронный резонанс, линейная трансформация. Основные нелинейные процессы взаимодействия волн, неустойчивость плазмы в сильном электромагнитном поле. Рассеяние и трансформация волн.

## **10. Излучение плазмы**

Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробеги излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность.

## **11. Диагностика плазмы**

Зондовые методы, оптические методы, СВЧ-методы, корпускулярные методы, лазерное рассеяние, магнитные измерения.

## **12. Электрический разряд в газах**

Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда, излучающий разряд в плотной плазме, плазменно-пучковый разряд.

## **13. Гидродинамические и тепловые явления в плазме**

Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои.

## **14. Прикладные проблемы физики плазмы**

Управляемый термоядерный синтез, магнитное удержание и нагрев плазмы в магнитных ловушках и инерциальных системах.

Геофизические и астрофизические плазменные явления — ионосфера Земли, межпланетная плазма, звезды.

Плазменные источники излучения, плазменная СВЧ-электроника.

Преобразование тепловой энергии в электрическую: МГД-преобразователи, тепловые преобразователи.

Химические реакции в равновесной и неравновесной плазме. Механизмы и кинетика осуществления плазмохимических реакций, роль заряженных и возбужденных частиц. Энергетика химических реакций в электрических разрядах. Закалка продуктов плазмохимических процессов. Методы диагностики химически активной плазмы.

Взаимодействие плазмы с поверхностью твердых тел. Плазменные технологии (травление, имплантация, упрочнение, нанесение покрытий и пр.).

## **Основная литература**

1. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1968.
2. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
3. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
4. Основы физики плазмы. Т.1, 2 и доп. к т. 2. / Под ред. Р.З. Сагдеева, М.Н. Розенблюта. М.: Энергоатомиздат, 1984—1985.
5. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том. Ч. I—IV/ Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.
6. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Основы электродинамики плазмы. М.: Высш. шк., 1988.
7. Трубников Б.А. Теория плазмы: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1996.
8. Лукьянов С.Ю., Ковальский Н.Г. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез: Учеб. для вузов. М.: МФТИ, 1999.

9. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1988.
10. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
11. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
12. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 3: Квантовая механика Т. 5: Статистическая физика. Т.7: Электродинамика сплошных сред. Т. 10: Физическая кинетика.
13. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000.
14. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Наука, 1998.
15. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольгрена. М.: Мир, 1971.
16. Диагностика плазмы / Под ред. Р. Хаддлстоуна, С. Леонарда. М.: Мир, 1967.
17. Смирнов Б.М. Физика атома и иона. М.: Энергоатомиздат, 1986.
18. Смирнов Б.М. Физика слабоионизированного газа. М.: Наука, 1972.
19. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. В 2 т. М.: Атомиздат, 1975—1977. Т. 1, 1975; Т. 2, 1977.
20. Русанов В.Д., Фридман А.А. Физика химически активной плазмы. М.: Наука, 1984.
21. Иванов А.А., Соболева Т.К. Неравновесная плазмохимия. М.: Атомиздат, 1978.
22. Животов В.К., Русанов В.Д., Фридман А.А. Диагностика неравновесной химически активной плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1985.
23. Веденов А.А. Задачник по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1981.
24. Биберман Л.М., Воробьев В.С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы. М.: Наука, 1982.
25. Генин Л.Г., Свиридов В.Г. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
26. Фортвов В.Е., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: ОИХФ, 1984.

#### **Дополнительная литература**

1. Итоги науки и техники. Физика плазмы: Серия сб. / Под ред. В.Д. Шафранова. М.: ВИНТИ.
2. Вопросы теории плазмы: Серия сб. / Под ред. М.А. Леонтовича, Б.Б. Кадомцева. М.: Атомиздат.
3. Химия плазмы: Серия сб. / Под ред. Б.М. Смирнова. М.: Энергоатомиздат.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики  
Российской академии наук» (ИПФ РАН)

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора по научной работе



М.Ю. Глявин

31 " августа 2018 г.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена по специальности**

Направление подготовки  
**03.06.01 Физика и астрономия**

Направленность/профиль подготовки (специализация)  
**Специальность 01.04.08 «Физика плазмы»**

**Присваиваемая квалификация:**  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Нижний Новгород

2018 год

Данная дополнительная программа содержит вопросы, не вошедшие в программ-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.08 - физика плазмы, но являющиеся существенными для работ по физике плазмы, ведущихся с участием ИПФ РАН. Программу составляют восемь тематических разделов современной физики плазмы, по каждому из которых составлен подробный список литературы.

В первых шести разделах подчёркнуты вопросы, включение которых в программу экзамена является обязательным. Не подчёркнутые вопросы и отдельные части двух последних специальных разделов могут включаться в программу экзамена в зависимости от узкой специализации соискателя (аспиранта) по согласованию с его научным руководителем и председателем экзаменационной комиссии. В целом предполагается, что к базовой программ-минимум должно быть добавлено не менее половины вопросов дополнительной программы.

## **1. Кинетический и гидродинамический методы описания плазмы**

Уравнение Лиувилля и условия корректного перехода к кинетическому уравнению с самосогласованным полем для одночастичной функции распределения. Разлет бесстолкновительной плазмы. (ограниченной и из полупространства).

Приближенное описание столкновений в рамках кинетического уравнения. Интеграл столкновений в форме Ландау, уравнение Фоккера-Планка, релаксационная форма интеграла столкновений ( $\tau$  - приближение). Кинетическое описание упругих и неупругих столкновений электронов с атомами и молекулами. Приближенное описание кинетики электронов в слабом однородном электрическом поле (расчет эффективной частоты столкновений и нагрева электронов). Явление убегающих электронов.

Моменты функции распределения и переход к гидродинамическому описанию плазмы. Приближение квазигидродинамики, вывод диффузионных уравнений, явление термодиффузии и теплопроводности. Амбиполярная диффузия. «Вмороженность» магнитного поля в плазму. Нагрев электронов в постоянном и высокочастотном электрическом поле при наличии столкновений.

Литература: **1.** Гл. 2 (§§ 7-13), гл. 4 (§§ 26, 27, 35-39); **2.** §§ 1-4, 9, 22, 27, 40, 45, 47, 50, 51, 58, 59; **3.** Гл. 1, §§ 12-16, задача 2 к гл. 3, §§ 49-53; **4.** Гл. 2 (§ 1, 2, 3, 11); **5.** § 38; **6.** Ст. 3; **7.** Ст. 1 (§§ 1, 2); **8.** Гл. 3-7, 9; **10.** § 2.5; **11.** §§ 9, 10, 13, 15, 21, 24, 26; **16.** §§ 3, 4; **43.** Гл. 2; **45.** §§ 6-10; **49.** §§ 14, 18, 19, 27, 30, 33; **54.** Гл.1; **63.** § 2.5.

## **2. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях**

Релятивистские уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле. Точные решения в однородных постоянных полях и в поле бегущей плоской волны.

Движение заряженной частицы в магнитной ловушке, адиабатические инварианты, неоклассический перенос.

Движение частицы в слабо неоднородном высокочастотном электромагнитном поле, высокочастотный потенциал, влияние внешнего магнитного поля.

Движение электрона в пространственно периодическом электрическом поле. Квазиимпульс и зонный спектр электронов. Экранировка зарядов в кристалле в приближении случайных фаз.

Литература: **3.** Задача 7 к гл. 3; **9.** Ст. 4 (§§1-4); **10.** §§ 22, 23; **25.** Гл. 4; **47.** § 1.2; **49.** §§ 1-16; **56.** Гл. 4; **58.** Гл. 8, 9, 12, 17; **70.** §§ 3.2 – 3.4.

## **3. Волны в плазме**

Феноменологическое описание электродинамики сред с временной и пространственной дисперсией. Плоские монохроматические волны, тензор диэлектрической проницаемости, соотношение Крамерса-Кронига. Распространение волновых пакетов, плотность энергии и потока энергии квазимонохроматических электромагнитных волн в среде с временной дисперсией, волны с отрицательной энергией.

Тензор диэлектрической проницаемости в холодной магнитоактивной плазме. Электромагнитные и потенциальные волны в изотропной плазме с учетом теплового движения в рамках гидродинамического описания. Классификация волн в магнитоактивной плазме. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в рамках кинетического описания.

Распространение электромагнитных волн в плоско-слоистой плазме. Нормальный и аномальный скин-эффект. Поглощение волн в областях плазменного и циклотронного резонанса. Линейная трансформация волн в изотропной и магнитоактивной плазме, эффект предельной поляризации волн.

Поверхностные волны на границе плазменного полупространства. Каналирование волн в плоских слоях с повышенной и пониженной плотностью плазмы. Резонансные характеристики простейших плазменных объектов – плоский слой, цилиндр, шар.

Геометрооптическое описание волн в нестационарной плоскостройной изотропной плазме. Геометрическая оптика в магнитоактивной плазме.

Литература: **2.** §§ 32, 33, 56, 57; **3.** Гл. 2, 4, 5, 8, 9; **4.** Гл. 4, 8; **5.** §§ 16-22; **11.** §§1-7, 12, 14, 19, 20, 27, 28; **12.** Гл. 2.; **13.** Гл. 2, 3; **16.** §§ 1, 5-8, 11, 12, 14; **25.** Гл. 11-13; **43.** § 7,8; **44.** §§ 2.2-2.4; **47.** §§ 2.1-2.8, 3.1, 3.2, 3.4; **48.** §§ 4.1-4.4; **49.** §§ 34-36; **55.** Гл. 3; **73.** Гл. 2, 3.

#### **4. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме**

Понятие об абсолютной и конвективной неустойчивости. Кинетические и гидродинамические неустойчивости электромагнитных волн в плазме (примеры).

Эволюция функции распределения электронов в поле монохроматической плазменной волны. Квазилинейная теория, релаксация электронного пучка в плазме, ускорение частиц плазменной турбулентностью, механизм Ферми, формирование энергетического спектра частиц.

Эхо в плазме. Аномальные диффузия, теплопроводность и сопротивление.

Литература: **2.** §§ 35, 49, 62-65; **3.** Гл. 11; **4.** Гл. 10 (§§ 1-8); **6.** §9.1; **10.** §§ 2.16, 2.17, 2.19; **12.** Гл. 6 (§6); **14.** Гл. 4, 5 (§§ 2, 4); **15.** Ст. 1 (§5), ст. 3; **16.** §9; **17.** Ст. 1 (§§ 1, 2); **18.** Ст. 3; **19.** §5; **43.** §§ 12, 13; **46.** Гл. 1, §§ 12-17; **48.** §§ 3.1-3.4; **49.** §§ 38-39; **57.**; **60.** Гл. 1-6, 9-11.

#### **5. Нелинейные эффекты в плазме**

Механизмы трехволнового взаимодействия в плазме. Примеры трехволновых процессов. Распадные неустойчивости. Соотношения Мэнли-Роу. Модифицированный распад. Процессы индуцированного рассеяния волн.

Механизмы нелинейного самовоздействия волн в плазме (тепловые, силовые, ионизационные, релятивистские). Уравнения движения плазмы с учётом усреднённой силы со стороны высокочастотного поля. Модуляционная неустойчивость, ленгмюровские солитоны. Примеры самовоздействия электромагнитных волн в плазме (волноводные каналы, солитоны огибающих, ионизационное каналирование поверхностных волн).

Сильная и слабая турбулентность плазмы. Параметрическое возбуждение ионно-звуковой и ленгмюровской волн в высокочастотном поле. Генерация “кавитонов” в области плазменного резонанса. Ионно-звуковые солитоны. МГД и бесстолкновительные ударные волны.

Литература: **4.** § 9; **7.** Ст. 3 (гл. 1, 2, 3 (§§ 1, 3)); **10.** §§ 1.20, 2.20.; **14.** Гл. 3 (§§ 3, 4), гл. 4 (§ 3), гл. 5 (§§ 1, 3, 5); **18.** Ст. 2; **20.** Гл. 9; **21.** Гл. 4 (§ 12); **22.** Ст. 4 (§§ 2, 7); **23.**; **24.** Гл. 1-8; **44.** Гл. 1, 2, 6, 8; **45.** Гл. 2; **49.** § 43; **54.** Гл. 5; **55.** Гл. 8; **60.** Гл. 12-16; **67.** §§ 2.7, 2.9.

## 6. Излучение плазмы

Виды излучения: Тормозное, магнитотормозное, черенковское, переходное, комптоновское. Нормальный и аномальный эффект Доплера. Особенности излучения релятивистских электронов. Синхротронное излучение в плазме. Сила реакции излучения; давление излучения в плазме.

Тепловое и нетепловое излучения плазмы. Уравнение переноса излучения. Реабсорбция излучения, связь коэффициента поглощения и излучательной способности среды, метод коэффициентов Эйнштейна. Усиление излучения в неравновесной плазме. Вынужденное излучение из плазмы, в которой заданы начальные электронные токи.

Рассеяние электромагнитных волн на флуктуациях плотности плазмы.

Литература: 4. гл. II; 10.; 13. Гл. 5-7; 25. Гл. 5-7, 10, 15; 26.; 27. Гл. 3 (§ 2), гл. 6 (§§ 1, 2), гл. 8; 49. § 37; 54. Гл. 10.

## 7. Космическая плазма

Магнитосфера Земли: формирование магнитосферы, особенности движения частиц, механизмы ускорения и потерь заряженных частиц в магнитосфере. Динамика радиационных поясов. Механизмы возбуждения основных видов электромагнитных излучений в магнитосферной плазме. Циклотронные мазеры.

Литература: 5. §§ 30-32; 33.; 34.; 37.; 38.; 45. §§ 32, 33; 53.; 75. гл. 4,9,11.

Физика космических лучей. Механизмы их ускорения в оболочках сверхновых, в окрестностях нейтронных звезд и активных ядер галактик. Диффузия космических лучей в магнитном поле Галактики. Проблема космических лучей сверхвысоких энергий.

Литература: 25. Гл. 16; 61. Гл. 1-3; 66.; 68.

Плазменные магнитосферы и радиоизлучение Юпитера, Солнца, пульсаров и активных галактик.

Литература: 13. §§ 1, 19; 19. Гл. 2, 3; 33.; 35.; 43. §§ 20, 21; 50.; 51.; 62. Гл. 2, 5, 10; 65. Гл. 8, 9; 66. Ст. 1; 69. Гл. 3, 4, 7; 71.

Звёздный ветер. Токовые слои и их неустойчивости.

Литература: 43. § 22; 44. Гл. 6; 45. §§ 21-31; 65. § 4.4; 69. § 7.5.

Аккрецирующие рентгеновские источники. Релятивистские джеты и выбросы. Космические гамма – всплески.

Литература: 25. Гл. 17; 62. Гл. 5, 10; 63.; 64.; 69. Гл. 2, 5, 6; 71.

Вырожденная плазма внутри нейтронных звёзд и белых карликов. Электрон – позитронная и кварк – глюонная плазма.

Литература: 50.; 51.; 69. Гл. 1.

Равновесие и неустойчивости в ансамблях звёзд.

Литература: 52.; 65. Гл. 3.

## 8. Специальные разделы физики плазмы

### УТС

Стационарный и инерционный управляемый термоядерный синтез, реакции термоядерного синтеза, критерий Лоусона, пороговая температура.

Основные системы для магнитного удержания плазмы (токамак, стеларатор, прямая ловушка). МГД-неустойчивости плазменного шнура и методы их стабилизации. Критерий устойчивости Шафранова-Крускала. Диффузия Пфирша – Шлютера, «банановый» перенос в тороидальных и тандемных ловушках, бутстреп-ток. Методы нагрева и генерации тока в термоядерной плазме.



Механизм поглощения лазерного излучения в плотной плазме, абляционное сжатие мишени, энергия поджига реакции, системы с быстрым поджигом. Лазерный реактивный двигатель. Усиление ВУФ в рекомбинирующей плазме.

Литература: 4.; 14.; 28.; 29.; 30.; 49. §§ 3-16, 24, 25, 45-48; 67. Гл. 2, 3; 74.

### **Разряд**

Физика газового разряда, классификация разрядов, их основные особенности и примеры (равновесный и неравновесный разряды; низкочастотный, высокочастотный и оптический разряды). Принцип подобия для высокочастотного пробоя газа. Ограничение электронной концентрации в плазме неравновесного разряда, поддерживаемого в сфокусированных пучках электромагнитных волн. Распространение разряда навстречу падающему электромагнитному излучению. Плазменно-пучковый разряд. ЭЦР разряд в прямой магнитной ловушке, классификация режимов удержания плазмы, генерация многозарядных ионов.

Литература: 39.;

### **Ускорение частиц**

Новые методы ускорения заряженных частиц и фотонов в плазме; ускорение на кильватерной волне и волне биений.

Литература: 31.; 32.; 67. §2.6.

Аэрозольная плазма; вигнеровский и пылевой кристаллы. Особенности распространения электромагнитных волн в пылевой плазме. Рассеяние электромагнитных волн на аэрозолях.

Литература: 40.; 41.; 70. §3.3.

Антенна в плазме. Излучение электромагнитных волн в плазме сторонними источниками (антеннами, пучками заряженных частиц). Использование плазмы для согласования антенны со средой.

Литература: 42.; 72. §§ 7.2, 7.3, 7.5, 8.4; 73. Гл. 2, 3.

## **Список литературы**

1. Силин В.П. “Введение в кинетическую теорию газов”. – М.: Наука, 1971.
2. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. “Физическая кинетика”. – М.: Наука, 1979.
3. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. “Основы электродинамики плазмы”. – М.: Высшая школа, 1978.
4. Кролл Н., Трайвелпис А. “Основы физики плазмы”. – М.: Мир, 1975.
5. Гинзбург В.Л. “Распространение электромагнитных волн в плазме”. – М.: Наука, 1967.
6. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1963, т.1.
7. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1980, т.10.
8. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров С.А. “Основы физики плазмы”. – М.: Атомиздат, 1977.
9. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.), М.: Госатомиздат, 1963, т.2.
10. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. “Физика плазмы для физиков”. – М.: Атомиздат, 1979.
11. Силин В.П., Рухадзе А.А. “Электромагнитные свойства плазмы и плазмopodobных сред”. – М.: Атомиздат, 1961.
12. “Электродинамика плазмы” (под ред. Ахиезера А.И.). – М.: Наука, 1974.
13. Железняков В.В. “Излучение в астрофизической плазме”. – М.: Лиус – К, 1997.
14. Кадомцев Б.Б. “Коллективные явления в плазме”. – М.: Наука, 1988.
15. Михайловский А.Б. “Теория плазменных неустойчивостей”. – М.: Атомиздат, 1975.
16. Гинзбург В.Л., Рухадзе А.А. “Волны в магнитоактивной плазме”. – М.: Наука, 1975.
17. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1972, т.6.
18. “Вопросы теории плазмы” (под ред. Леонтовича М.А.). – М.: Госатомиздат, 1964, т.4.
19. Каплан С.А., Цытович В.Н. “Плазменная астрофизика”. – М.: Наука, 1972.

20. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. “Электродинамика сплошных сред”. – М., 1982.
21. Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. “Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере”. – М.: Наука, 1973.
22. “Тепловые нелинейные явления в плазме”. – ИПФ АН СССР, Горький, 1979.
23. Литвак А.Г., Трахтенгерц В.Ю., ЖЭТФ, **60**, 1971, стр. 1702.
24. Власов С. Н., Таланов В. Н. “Самофокусировка волн”. – Н. Новгород, ИПФ РАН, 1997.
25. Гинзбург В.Л. “Теоретическая физика и астрофизика”. – М.: Наука, 1987.
26. Шеффилд Д.Ж. “Рассеяние электромагнитного излучения в плазме”. – М.: Атомиздат, 1978.
27. Бекефи Дж. “Радиационные процессы в плазме”. – М.: Мир, 1971.
28. Хеглер М., Кристиансен М. “Введение в управляемый термоядерный синтез”. – М.: Мир, 1980.
29. “Высокочастотный нагрев плазмы”. – ИПФ АН СССР, Горький, 1983.
30. Гильденбург В.Б. // В сб. “Нелинейные волны”. – М.: Наука, 1981, стр. 87.
31. Esarey E., Sprangle Ph., Krall J., Tiny A., IEEE Trans. on Plasma Science, 1996, **24**, № 2, p. 252.
32. Горбунов Л.М., Андреев Н.И., УФН, 1999, **169**, № 1, стр. 53.
33. Акасофу С.И., Чепмен С. “Солнечно-земная физика”. – М.: Мир, 1975, т.2.
34. Тверской Б.А. “Динамика радиационных поясов”. – М.: Наука, 1968.
35. Железняков В.В. “Радиоизлучение Солнца и планет”. – М.: Наука, 1964.
36. Кадомцев Б.Б. // В сб. “Нелинейные волны”. – М.: Наука, 1979, стр. 131.
37. Беспалов П. А., Трахтенгерц В. Ю. “Альфвеновские мазеры”. - ИПФ АН СССР, Горький, 1986.
38. Зеленый Л. М., Бюхнер И. // В сб. “Волновые процессы в хвосте магнитосферы”. - М.: ВИНТИ, Итоги науки и техники, 1998, т. 28, стр.3.
39. Райзер Ю. П. “Физика газового разряда”. – М.: Наука, 1987.
40. Нефедов А. Н., Петров О. Ф., Фортов В. Е., УФН, 1997, **167**, 1215.
41. Цытович В. Н., УФН, 1997, **167**, 57.
42. Мареев Е. А., Чугунов Ю. В. “Антенны в плазме”. - ИПФ РАН, Н. Новгород, 1991.
43. Пикельнер С.Б. “Основы космической электродинамики”. – М.: Наука, 1966.
44. Вайнштейн С.И., Быков А.И., Топтыгин И.Н. “Турбулентность, токовые слои и ударные волны в космической плазме”. – М.: Наука, 1989.
45. Баранов В.Б., Краснобаев К.В. “Гидродинамическая теория космической плазмы”. – М.: Наука, 1977.
46. Федорченко А.М., Коцаренко Н.Я. “Абсолютная и конвективная неустойчивость в плазме и твёрдых телах”. – М.: Наука, 1981.
47. Девидсон Р. “Теория заряженной плазмы”. – М.: Мир, 1978.
48. Владимиров В.В., Волков А.Ф., Мейлихов Е.З. “Плазма полупроводников”. – М.: Атомиздат., 1979.
49. Трубников Б.А. “Теория плазмы”. – М.: Энергоатомиздат, 1996.
50. Смит Ф.Г. “Пульсары”. – М.: Мир, 1979.
51. Бескин В.С., Гуревич А.В., Истомин Я.Н., УФН, 1986, **150**, № 2, с. 257.
52. Поляченко В.Л., Фридман А.М. “Равновесие и устойчивость гравитирующих систем”. – М.: Наука, 1976.
53. Лайонс Л., Уильямс Д. “Физика магнитосферы”. – М.: Мир, 1984.
54. Ситенко А.Г. “Флуктуации и нелинейное взаимодействие волн в плазме”. – Киев: Наукова думка, 1977.
55. Незлин М.В. “Динамика пучков в плазме”. – М.: Энергоиздат, 1982.
56. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. “Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях”. – М.: Наука, 1978.
57. Павленко В.Н., Ситенко А.Г. “Эховые явления в плазме и плазмоподобных средах”. – М.: Наука, 1988.
58. Ашкрофт Н., Мермин Н. “Физика твёрдого тела”. – М.: Мир, 1979, т.1.

59. Collins G.P., Fireballs of free quarks // Scientific American, 2000, № 4 (April), p.9; Schwarzschild B., Phys. Today, 2000, **53**, № 5, p. 20.
60. Кингсеп А.С. “Введение в нелинейную физику плазмы”. – М.: Изд-во МФТИ, 1996.
61. Дорман Л.И. “Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей”. – М.: Наука, 1975.
62. На переднем крае астрофизики./ Под ред. Ю. Эвретта. – М.: Мир, 1979.
63. Постнов К.А., УФН, 1999, **169**, № 5, стр. 546.
64. Бескин В.С., Парьев В.И., УФН, 1993, **163**, № 6, стр. 95.
65. Горбацкий В.Г. “Введение в физику галактик и скоплений галактик”. – М.: Наука, 1986.
66. Физика внегалактических источников радиоизлучения./ Под ред. Р.Д. Дагкесаманского. – М.: Мир, 1987.
67. Мак А.А., Соловьев Н.А. “Введение в физику высокотемпературной лазерной плазмы”. – Л.: ЛГУ, 1991.
68. O’Halloran T., Sokolsky P., Yoshida S., Phys. Today, 1998, **51**, № 1, p. 31.
69. Липунов В.М. “Астрофизика нейтронных звёзд”. – М.: Наука, 1987.
70. Пайнс Д. “Элементарные возбуждения в твёрдых телах”. – М.: Мир, 1965.
71. Bildstan L., Strohmayer T., Phys. Today, 1999, **52**, № 2, p.40.
72. Фелсен Л., Маркувиц Н. “Излучение и рассеяние волн”. – М.: Мир, 1978, т. 2.
73. Kondrat’ev I.G., Kudrin A.V., Zaboronkova T.M. “Electrodynamics of Density Ducts in Magnetized Plasmas”. – Gordon and Breach Science Publishers, 1999.
74. Дюдерштадт Дж., Мозес Г. “Инерциальный термоядерный синтез”. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
75. Плазменная гелиогеофизика. В 2-х т. / Ред. Л. М. Зеленый. - М.: Физматлит, 2008