

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ»**

**ПРОГРАММА
ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В АСПИРАНТУРУ НИЯУ МИФИ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ 03.06.01 «ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»
(Специальность научных работников
по номенклатуре специальностей 2009 года
01.04.08 Физика плазмы)**

Москва, 2015

Программа разработана экспертной комиссией кафедры физики плазмы (№21) НИЯУ МИФИ при участии филиалов кафедры НИЦ КИ и ГНЦ РФ ТРИНИТИ.

Раздел 1. Физика газоразрядной плазмы

Движение заряженных частиц в электрическом поле. Основные уравнения электронной оптики. Электронные линзы. Закон Ленгмюра. Поток заряженных частиц в вакууме с учетом объемного заряда. Пирсова оптика. Движение заряженных частиц в однородном и неоднородном магнитном поле. Магнитные линзы. Дрейфовое приближение. Адиабатические инварианты. Дрейф в поле произвольной силы (электрической, магнитной, центробежной, силы тяжести). Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях. Электростатические энергоанализаторы. Заряженная частица в высокочастотном поле. Законы термо, фото и автоэлектронной эмиссии. Эффект Шоттки. Теория Фаулера. Формула Саха-Ленгмюра.

Неупругие процессы в газе – возбуждение, ионизация, перезарядка, термическая ионизация, рекомбинация, образование отрицательных ионов. Зажигание разряда в газе. Закон Пашена. Искровой пробой при высоком давлении, стримерная теория. Электрические разряды (тлеющий, дуговой, коронный, ВЧ-разряд) – сравнительная характеристика параметров и режимов горения.

Классификация вакуумных насосов. Электрофизические средства откачки. Низкотемпературные средства откачки (крионасосы).

Раздел 2. Физика горячей плазмы и УТС

Понятие плазмы. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Идеальность и не идеальность плазмы. Вырождение плазмы, статистика Больцмана и Ферми-Дирака. Кулоновское взаимодействие частиц плазмы. Кулоновский логарифм. Длина пробега. Столкновительная проводимость плазмы. “Убегающие электроны”. Время максвеллизации и выравнивания температур между компонентами плазмы. Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений. Диффузия и теплопроводность плазмы в присутствии и в отсутствие магнитного поля. Основные типы колебаний и волн в плазме (ленгмюровские, ионно-звуковые, магнитно-звуковые, циклотронные, гибридные, альфвеновские). Тензор диэлектрической проницаемости, дисперсионное уравнение на примере одного из видов волн. Затухание Ландау.

Основные термоядерные реакции, зависимость их сечений от температуры. Энергобаланс в единице объема термоядерной плазмы и

энергобаланс термоядерного реактора. Критерий Лоусона. Принцип магнитной термоизоляции плазмы. Диагментизм плазмы. Вмороженность магнитного поля в плазме. Проникновение магнитного поля в плазму. Скиновое время. Z-пинч и его устойчивость. Θ -пинч. Ловушка с магнитными пробками. Время жизни плазмы. Неустойчивости плазмы и методы их подавления. Способы создания и нагрева плазмы. Амбиполярные ловушки. Радиационные пояса Земли. Замкнутые магнитные ловушки. Вращательное преобразование и способы его создания. Магнитные поверхности и перекрещенность силовых линий. Дрейф и основные неустойчивости плазмы. Энергетический принцип устойчивости. Критерий Сайдемана. Токамаки и стеллараторы – сравнительный анализ. Геометрия магнитного поля. Способы создания и нагрева плазмы. Диффузия и теплопроводность плазмы. Энергетическое время жизни. Влияние примесей. Диверторы. Инерциальный термоядерный синтез и способы его осуществления. Критерий Лоусона для ИС. Лазерный нагрев и сжатие плазмы. Лазеры для ЛТС. Мишени для ЛТС. Плазменные ускорители. Электродинамическое ускорение плазменных сгустков. Физические основы создания инжекторов, нейтральных атомов для токамаков и стеллараторов.

Раздел 3. Диагностика плазмы

Зондовые методы диагностики плазмы. Зонд Легмюра. Методы диагностики импульсной плазмы. Рентгеновские и электротехнические измерения. Корпускулярные методы. Магнитные энергомассанализаторы. Оптическая спектроскопия плазмы. Корпускулярная диагностика плазмы.

Раздел 4. Взаимодействие плазмы с поверхностью

Прохождение быстрых частиц через твёрдое тело. Ядерные и электронные столкновения. Потенциалы взаимодействия. Торможение ионов в твёрдом теле: зарядовые состояния тормозящихся частиц, каналирование, коррелированные столкновения, каскады столкновений, образование радиационных дефектов. Захват частиц в твёрдом теле. Обратное газовыделение. Блистерообразование. Вторично-эмиссионные процессы: распыление, ионно-ионная эмиссия, ионно-электронная эмиссия, электронно-электронная эмиссия, рассеяние. Модификация поверхности при ионной и плазменной бомбардировке: образование конусов, вискерообразования, ионная полировка. Методы анализа поверхности: вторично-ионная масс-спектрометрия, Оже-спектрометрия, обратное Резерфордское рассеяние, туннельная микроскопия.

Раздел 5. Математическое моделирование плазмы

Общие методы численного решения дифференциальных уравнений кинетического, МГД и одночастичного описания плазмы. Устойчивость численных методов решения задач. Явные и неявные методы решения задачи Коши. Расчет топологии магнитного поля плазменных ловушек. Сеточные методы расчета распределения потенциала и электрического поля в пространстве с произвольной формой электродов. Численные методы расчета движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле. Метод Рунге-Кутты, обеспечение точности. Математическая модель зет- и тета-пинчей, плазменного фокуса, электродинамического ускорения плазмы в МГД приближении. Моделирование плазмы методом крупных частиц. Общая схема алгоритма дискретной модели плазмы. Проблемы полномасштабного моделирования плазмы на примере моделирования пристеночного слоя плазмы. Транспортные модели в плазме и в веществе. Метод Монте-Карло. Методы численного решения задач переноса частиц, излучения и энергии в плазме и в веществе.

Рекомендуемая основная литература

Литература

1. Ю.П.Райзер Физика газового разряда. М.: Наука, 1992, 2009
2. Ижекционная газовая электроника. М.: Наука, 1982.
3. Е.П.Велихов. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Наука, 1987, 1995.
4. Трубников Б.А. Введение в теорию плазмы, МИФИ, ч.1,2 1969, ч.3 - 1978, ч.1 - 1968, ч.2- 1978, ч.3 – 1978
5. Климонтович Ю.Л. Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы. М.: Наука, 1975.
6. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976, 1988.
7. М.Д.Габович, Н.В.Плешивцев, Н.Н.Семашко Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза
8. Д.А. Франк-Каменецкий. Лекции по физике плазмы. Атомиздат, 1968, 2009
9. Диагностика термоядерной плазмы. Под ред. С.Ю.Лукьянова М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. В.Е.Голант. Высокочастотные методы нагрева плазмы в тороидальных термоядерных установках. М.: Энергоатомиздат, 1985.

11. М.Хеглер, М. Кристиансен. Введение в управляемый термоядерный синтез. М.: Мир, 1980.
12. Н.Г.Басов, И.Г.Лебо, Б.Б.Розанов, Физика лазерного термоядерного синтеза. М.: Знание, 1988.
13. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез. М.: Наука, 1975, 1997, 1999.
14. Хадлстоун Р., Леонадр С. Диагностика плазмы. М.: Мир, 1967.
15. Семашко Н.Н. Инжекторы быстрых атомов водорода. М.: Атомиздат, 1981.
16. Басов Н.Г., Лебо И.Г., Розанов В.Б. Физика лазерного термоядерного синтеза. М.: Знание, 1988.
17. Барнет К., Харрисон М. Прикладная физика атомных столкновений. Плазма. М.: Энергоатомиздат, 1987, 432 с.
18. Диагностика термоядерной плазмы (под ред. С.Ю. Лукьянова). М.: Энергоатомиздат, 1985, 165 с.
19. Животов В.К. и др. Диагностика неравновесной химически активной плазмы. М.:Энергоатомиздат, 1985, 216 с.
20. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1984, 400 с.
21. Л.Б.Беграмбеков. Разрушение поверхности твердых тел при ионном и плазменном облучении. Москва, 1987.
22. Взаимодействие заряженных частиц с твердым телом. / Под ред. Альберто Грас-Марти. Москва, Высшая школа, 1994.
23. Ч. Бэдсел, А.Ленгдон «Физика плазмы и численное моделирование»
24. 23. Учебное пособие: Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. «Основы физических процессов в плазме и плазменных установках», МИФИ, 2000, ISBN 5-7262-0333-4
25. И.В. Цветков. Применение численных методов для моделирования процессов в плазме. М: МИФИ. 2007
26. С.К. Жданов, В.А. Курнаев, М.К. Романовский, И.В. Цветков. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках. М: МИФИ. 2006
27. В.А.Курнаев (под редакцией)Обращенные к плазме элементы ТЯР. Лабораторный практикум. М: МИФИ. 2008
28. Беграмбеков Л.Б. Процессы на поверхности твёрдых тел под действием ионного и плазменного облучения. М: МИФИ. 2008
29. В.А.Курнаев, Д.В.Прохорович, И.К.Фетисов, И.В.Цветков И.В. Ильгисонис, Д.Л. Кирко. Сборник задач по физике плазмы. М: МИФИ. 2008
30. В.А.Курнаев, Ю.С.Протасов, И.В.Цветков. Введение в пучковую электронику. М: МИФИ. 2008
31. В.Н. Белобородов, И. В. Белова, Е. Д. Вовченко и др.

32. Вовченко Е.Д., Кузнецов А.П., Савёлов А.С. Лазерные методы диагностики плазмы. М: МИФИ. 2008
33. Жданов В.М. Явления переноса в газах и плазме. М: МИФИ. 2008
34. И.В.Визгалов (под редакцией) Методы генерации и диагностики плазмы Лабораторный практикум. М: МИФИ. 2008
35. Ю.В.Готт, В.А.Курнаев, О.Л.Вайсберг. М: МИФИ. 2008