

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН»

УТВЕРЖДАЮ
директор ИЯФ СО РАН,

академик _____ П.В.Логачев

«_____» _____ 2018 г.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ ДЛЯ АСПИРАНТОВ.

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки

03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Общая трудоемкость дисциплины: 3 зачетные единицы – **108** часа.

Форма промежуточной аттестации: зачет

Виды деятельности:

Лекции	32	контактная работа обучающихся с преподавателем	32
Семинарские занятия			
Самостоятельная работа	74	занятия в активной и интерактивной форме	32
Консультации			
Зачеты	2	Экзамены	

Новосибирск- 2018

Рабочая программа модуля «Физика плазмы для аспирантов», предназначенная для аспирантов Института ядерной физики СО РАН, разработана в 2018 году в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Составил:

кандидат физ.-мат. наук С.В. Полосаткин

Рабочая программа

Содержание

Аннотация	4
1. Цели освоения модуля	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины	5
4. Структура и содержание дисциплины.....	6
5. Образовательные технологии.....	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.....	8
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания	8
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	9
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	9

Аннотация

Программа дисциплины «Физика плазмы для аспирантов» составлена в соответствии с требованиями федерального

государственного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Дисциплина включает в себя следующие разделы: "Общие вопросы физики плазмы", "Термоядерный синтез", "Диагностика плазмы и плазменный эксперимент" и "Пучки в плазме". Для всех направленностей подготовки, реализуемых в аспирантуре ИЯФ СО РАН, курс является элективным (курсом по выбору), служащим для формирования знаний и компетенций, определенных государственным стандартом и основной образовательной программой данного профиля подготовки.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, консультации, самостоятельная работа студента, зачеты.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: посещение занятий, подготовка реферативного обзора,

Промежуточная аттестация: устный зачет.

Общая трудоемкость курса составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Физика плазмы для аспирантов» является частью профессионального цикла подготовки аспирантов по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, направленной на формирование знаний и компетенций, определенных государственным стандартом и основной образовательной программой данного профиля подготовки.

Дисциплина имеет своей целью:

- систематизировать базовые знания аспирантов по основным разделам физики плазмы,
- дать углубленное представление о разделах физики плазмы, наиболее востребованных в местах вероятного будущего трудоустройства аспирантов,
- проверить полноту владения базовыми знаниями по специальности,
- подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальности,
- дать аспирантам возможность попрактиковаться в реферативном изложении, обсуждении и критическом анализе современных научных достижений.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика плазмы для аспирантов» относится к вариативной части блока 1 "Дисциплины (модули)". Дисциплина является элективной (дисциплиной по выбору аспиранта). Аспиранты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны иметь общую базовую подготовку в рамках программы 5-6 лет обучения в ВУЗе. Курс не требует знания других аспирантских курсов.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов для решения научных и практических задач (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-1);
- Способность к получению, критическому осмыслению и реферативному изложению научных результатов в области физики (в соответствии с направленностью подготовки) (ПК-2);

•

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость модуля составляет 6 зачетных единиц, 216 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Примечание	
			Всего	Аудиторные часы			
				Лекции (кол-во часов)	Семинары (кол-во часов)		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)
	Входное тестирование знаний	1	2			2	
	Общие вопросы физики плазмы	2-6	34	10		24	
	Термоядерный синтез	7-12	36	12		24	
	Пучки в плазме	13-17	34	10		24	
	Зачет по курсу	18	2			8	
ИТОГО			108	32		74	

Тематика лекций:

Раздел "Термоядерный синтез"

Термоядерные исследования в мировом масштабе	Обзор современного состояния исследований по физике высокотемпературной плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Системы с магнитным удержанием плазмы: токамаки, стеллараторы, пинчи с обращенным полем, линейные системы на примере ловушек с магнитными пробками и с обращением поля. Системы инерциального удержания плазмы. Анализ тенденций развития различных направлений термоядерных исследований.
Проект ИТЕР	Задачи проекта ИТЭР. ИТЭР – шаг в энергетику будущего. Особенности конструкции установки как термоядерного реактора. Некоторые проблемы: дивертор, первая стенка, нейтронная защита. Пути решения этих проблем и применение полученных знаний на открытых ловушках. Вклад ИЯФ в строительство ИТЭР. Актуальное состояние дел и планы строительства. Следующий шаг – ДЕМО. Альтернативные пути решения проблемы управляемого термоядерного синтеза.
Физика открытых ловушек	Источник термоядерных нейтронов, осесимметричный пробкотрон, газодинамическое удержание, равновесие плазмы, плазменные неустойчивости, методы стабилизации плазмы, поперечный перенос, продольные потери, амбиполярный потенциал, вращение плазмы в скрещенных полях, вихревое удержание.
Термоядерные источники нейтронов	Объемные источники нейтронов на основе реакции синтеза, нейтронные источники на основе открытых ловушек и их воз-

и гибридные реакторы на их основе	возможные приложения. Проблемы современной ядерной энергетики. Гибридные ядерные реакторы с различными драйверами (ADS, FDS). Применение гибридных ядерных систем для уничтожения ("дожигания") ОЯТ, наработки топлива для ядерных станций (включая уран-ториевый цикл), безопасного производства энергии.
Термоядерное материаловедение	Проблема выбора материала первой стенки (требования к первой стенке, нагрузки на первую стенку). Механизмы эрозии материалов под воздействием плазмы. Экспериментальные исследования стойкости термоядерных материалов к облучению. Рентгеновская дифракция на кристаллах. Измерение остаточных деформаций. Диагностика дефектов и растворённых газов.

Раздел Пучки в плазме

Электронные пучки в плазме	Методы генерации мощных электронных пучков. Транспортировка электронных пучков в вакууме и плазме, коллективные эффекты взаимодействия пучков с плазмой. Эксперименты по нагреву плазмы электронными пучками, перспективы применения электронных пучков в термоядерных установках. Генерация микроволнового и терагерцового излучения в системе плазма-электронный пучок.
Мощные атомарные пучки	Использование атомарных пучков для нагрева и диагностики плазмы. Устройство инжекторов атомарных пучков. Методы генерации пучков положительных и отрицательных ионов водорода. Элементарные процессы в плазменных эмиттерах и системах транспортировки инжекторов. Методы расчета ионно-оптических систем. Системы нейтрализации ионных пучков. Методы диагностики параметров атомарных пучков. Атомарные инжекторы крупных плазменных установок.
Системы высокочастотного нагрева плазмы	Использование высокочастотных электромагнитных полей для генерации и нагрева плазмы. Ионно-циклотронный нагрев плазмы. Применяемые на современных термоядерных установках методы ЭЦР нагрева плазмы. Системы поддержания тока в тороидальных ловушках. Применение геликонного и ЭЦР разряда для генерации плазмы. Техника получения и транспортировки высокочастотного электромагнитного излучения.

5. Образовательные технологии

Курс составлен из отдельных циклов лекций (2-3 лекции), каждый из которых читается специалистом в данной конкретной области. Кроме лекций дисциплина включает в себя два электронных тестирования и выступление обучающихся с реферативной лекцией по широкой тематике, охватывающей тему будущей диссертации.

Лекционные занятия проводятся в интерактивной форме в малых группах (до 8 человек) в режиме обсуждения излагаемого материала со слушателями.

Вопросы электронного тестирования соответствуют той части кандидатского экзамена, которая изучается в бакалавриате и магистратуре. Задача тестирования – выявить слабые места и дополнительно их проработать в рамках самостоятельной работы по курсу. Тесты размещены в информационно-образовательной среде отдела аспирантуры ИЯФ СО РАН.

Реферативная лекция предполагает проработку научных публикаций по теме лекции, оформление информации в форме самодостаточной (т.е. понятной без устных комментариев) презентации, выступление с этой презентацией перед сокурсниками и преподавателем, обсуждение презентаций сокурсников.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа аспирантов поддерживается электронными презентациями лекций, а также электронными курсами кафедры физики плазмы НГУ, размещенными в открытом доступе на сайте ИЯФ СО РАН. Для подготовки реферативных лекций аспиранты используют полнотекстовые базы публикаций журналов издательств Elsevier, IOP, и AIP.

В качестве текущего контроля успеваемости используется контроль посещаемости.

Оценка работы студента в течение каждого семестра происходит на зачете. Зачет проводится в конце семестра и в зачетную сессию в устной форме. Итоговая аттестация по результатам освоения дисциплины проводится путем итогового тестирования.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Текущий контроль осуществляется в форме реферативной лекции. Условием получения зачета является успешное выступление. Примеры тем реферативных лекций:

1. Методы исследования поверхностей, используемые в термоядерном материаловедении.
2. Классификация кинетических неустойчивостей, проявляющихся в магнитных ловушках открытого типа.
3. Классификация плазменных неустойчивостей пучкового типа и области физики плазмы, где эти неустойчивости проявляются.

Промежуточная аттестация осуществляется в форме устного зачета по курсу.

Примеры вопросов для зачета

1. В одном из ранних проектов термоядерного реактора предполагалось с помощью сходящихся к оси ионных пучков создать в центре установки популяцию быстрых ионов. Оценить максимально достижимую среднюю концентрацию ионов при энергии ионов 1 МэВ, если характерный размер области, в которую фокусируются ионы, равен 1 см
2. Изобразите конфигурацию магнитных полей в установке с обращенным полем. Как может создаваться и поддерживаться такая конфигурация?
3. Поток быстрых электронов проходит через плазму толщиной 1 м с $n_e = n_i = 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Приняв значения транспортных сечений для столкновений с электронами и ионами плазмы $\sigma_{ee} = 10^{-18} \text{ см}^2$ и $\sigma_{ei} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$, найти относительное изменение средней энергии и направленного импульса быстрых электронов. Как зависит сила, с которой действуют быстрые электроны на плазму, от начальной энергии электронов?
4. Какие элементарные процессы доминируют в плазме, находящейся в локальном термодинамическом равновесии? При температуре 0,8 эВ для атомарного водорода в условиях локального термодинамического равновесия константа равновесия равна 10^{14} см^{-3} . Определить концентрацию электронов, для которой степень ионизации при указанной температуре составляет 1/2.
5. В идеальном термоядерном реакторе (в котором нет потерь частиц) создали плазму с концентрацией электронов $n_e = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и относительным содержанием дейтерия и трития $n_D = n_T = 0.5 \cdot n_e$ и стали поддерживать постоянную температуру $T = 40 \text{ кэВ}$. Оценить время, за которое мощность реакции уменьшится на 10% и назвать причину этого уменьшения. Рассматривать только основную реакцию, скорость реакции принять равной $\langle \sigma v \rangle = 8 \cdot 10^{-22} \text{ м}^3/\text{с}$.
6. Пучок ионов водорода с энергией $E_0 = 10 \text{ кэВ}$ проходит через газовую мишень толщиной $L = 0.6 \text{ м}$, состоящую из молекулярного водорода при комнатной температуре и

давлении $P=1$ Па. Найти долю быстрых нейтралов (атомов водорода с энергией E) на выходе из мишени. Сечение перезарядки равно $\sigma_{сх}=10^{-15}$ см², $\sigma_{ion}=10^{-16}$ см²

7. Объясните принцип работы дисперсионного интерферометра для диагностики плазмы. В чем состоят преимущества применения этой схемы?

8

. Укажите основные элементарные процессы, приводящие к образованию отрицательных ионов в плазменных эмиттерах.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Материалы лекций и реферативные презентации размещаются на сайте Института и свободно доступны.

Основная литература:

1. И.А.Котельников Лекции по физике плазмы
2. Б.З.Персов Расчет и проектирование экспериментальных установок, М, 2006

Дополнительная литература

1. Ю.П.Райзер Физика газового разряда, М. Наука, 1992
2. Л.А.Арцимович, С.Ю.Лукьянов Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, М., Наука, 1978
3. Л.А.Арцимович, Управляемые термоядерные реакции М. : Физматгиз, 1963
4. Л.А.Арцимович, Р.З.Сагдеев Физика плазмы для физиков

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия проводятся в аудитории, оборудованной мультимедийным проектором и компьютером.