

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
 государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет



Согласовано, декан ФФ
 Блинов В.Е.

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
 (кандидатский экзамен по специальности)**

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

Научная специальность: 1.3 Физические науки

Направленность (профиль): Физика плазмы

Форма обучения: очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)					Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
По выбору	108	32				52	18	4				2
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы, в т.ч. - контактная работа 38 часов												

Разработчики:

к.ф.-м.н., Д.И. Сковородин

и.о. Зав. кафедрой физики плазмы ФФ

к.ф.-м.н., Д.И. Сковородин

Ответственный за образовательную программу:

д.ф.-м. н., проф. С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Оглавление

Аннотация	3
Введение	4
1. Результаты освоения дисциплины	4
2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий	4
3. Содержание дисциплины	5
4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины (модуля)	5
5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины (модуля)	5
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	6
7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)	6
Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)	9

Аннотация

Рабочая программа дисциплины (кандидатский экзамен по специальности) Физика плазмы реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Физика плазмы и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Физика плазмы, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа знакомит с современными исследованиями, проводимыми в российских термоядерных лабораториях, в области физики плазмы, физики пучков заряженных частиц и нейтральных атомов.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка уровня выпускников физических факультетов высших учебных заведений, а также прохождение курса “Физика плазмы для аспирантов” в аспирантуре НГУ.

Цель курса: - подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена в рамках научной специальности Физика плазмы.

Задачи курса:

- сформировать представление о современном состоянии исследований в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза;
- освоить основные методы определения параметров плазмы;
- изучить особенности экспериментальных методов физики плазмы.

Результат освоения дисциплины:

- формирование способностей и навыков выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок;
- формирование способностей и навыков проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований;
- сдача кандидатского экзамена по специальности.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 3 зачетные единицы (108 часов).

Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Введение

Рабочая программа дисциплины (кандидатский экзамен по специальности) Физика плазмы реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Физика плазмы и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Физика плазмы, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа знакомит с современными исследованиями, проводимыми в российских термоядерных лабораториях, в области физики плазмы, физики пучков заряженных частиц и нейтральных атомов.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка уровня выпускников физических факультетов высших учебных заведений, а также прохождение курса “Физика плазмы для аспирантов” в аспирантуре НГУ

Цель курса: - подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена в рамках научной специальности Физика плазмы.

Задачи курса:

- сформировать представление о современном состоянии исследований в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза;
- освоить основные методы определения параметров плазмы;
- изучить особенности экспериментальных методов физики плазмы.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 3 зачетные единицы (108 часов).

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

1. Результаты освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины:

- формирование способностей и навыков выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок;
- формирование способностей и навыков проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований;
- сдача кандидатского экзамена по специальности.

2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий

Трудоемкость дисциплины – 3 з.е. (108 ч)

Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен

№	Вид деятельности	Количество часов
1.	Лекции, ч	32
2.	Занятия в контактной форме, ч, из них	38
3.	аудиторных занятий, ч	32
4.	в электронной форме, ч	
5.	консультаций, час.	4
6.	промежуточная аттестация, ч	2
7.	Самостоятельная работа, час.	70
8.	Всего, ч	108

3. Содержание дисциплины

Лекции (32 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	4
Магнитная гидродинамика плазмы. Физическая кинетика	4
Колебания и волны в плазме. Неустойчивость плазмы	4
Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой. Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме	4
Элементарные процессы Излучение плазмы	4
Диагностика плазмы.	4
Прикладные проблемы физики плазмы. Открытые ловушки для удержания плазмы	4
Вопросы дополнительной программы	4

Самостоятельная работа студентов (70 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	52
Подготовка к кандидатскому экзамену	18

4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины

1. Д.А.Франк-Каменецкий, Д. А., Лекции по физике плазмы: [Для инж.-физ. и физ.-техн. вузов и фак.] / Д.А. Франк-Каменецкий .— 2-е изд. — Москва : Атомиздат, 1968 .— 286 с.
2. Ю.П.Райзер Физика газового разряда: [для физических специальностей вузов] / Ю.П. Райзер3-е изд., перераб.и доп.Долгопрудный : ИНТЕЛЛЕКТ, 2009734 с.: ил.; 25 см.ISBN 978-5-91559-019-8.
3. В.Б.Берестецкий, Е.М.Лившиц, Л.П.Питаевский. Теоретическая физика: [Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов]: В 10 т. Т.4. Квантовая электродинамика/ В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц; Под ред. Л.П. Питаевского4-е изд., испр.М.: Физматлит, 2001719 с.: ил.; 22 см.ISBN 5-9221-0053-X
4. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки / Л.Б. Окунь2-е изд., перераб.и доп М.: Наука, 1990345 с. : ил.ISBN 5-020140279.

5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

5. Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; Теоретическая физика: учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: в 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; под ред.
6. Л.П. Питаевского Москва: Физматлит, 200 -22 см.ISBN 5-9221-0053-X Т.3: Квантовая механика. Нерелятивистская теорияИзд. 6-е, испр2008800 с.: ил.ISBN 978-5-9221-0530-9.
7. В. В. Батыгин, И. Н. Топтыгин; Сборник задач по электродинамике: [учебное пособие для вузов] / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин; под ред. М.М. Бредова3-е изд., испр Москва:
8. Регуляр. и хаотич. динамика, 2002639 с.: ил.; 21 см.ISBN 5-93972-155-9.
9. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков , В.И. Коган; Задачи по квантовой механике: [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / В.М. Галицкий ,Б.М. Карнаков, В.И. Коган 2-е изд., перераб. и доп.М.: Наука, 1992879 с. : ил.ISBN 5020143650
10. И.А.Котельников, Лекции по физике плазмы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 011200 - Физика и по специальности

010701 - Физика / И.А. Котельников Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 384 с.: ил; 24 см. ISBN 978-5-9963-1158-3.

11. Б.А.Князев. Низкотемпературная плазма и газовый разряд: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 510400 - Физика /Б.А. Князев; М-во образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2003, 290 с. : ил. ; 29х20 см.(Физика в НГУ) ISBN 5-94356-137-4..

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для аспирантов из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Перечень результатов освоения дисциплины представлен в разделе 1.

7.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий и оценку их активности в ходе дискуссий.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Требования разработаны в соответствии со следующими документами:

- паспорт научной специальности Физика плазмы,
- Порядок прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечень,
- федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Для приема кандидатского экзамена создается комиссия по приему кандидатских экзаменов (экзаменационная комиссия), состав которой утверждается приказом ректора

НГУ. Состав экзаменационной комиссии формируется из числа научно-педагогических работников (в том числе работающих по совместительству) НГУ в количестве не более 5 человек, и включает в себя председателя, заместителя председателя и членов экзаменационной комиссии. В состав экзаменационной комиссии могут включаться научно-педагогические работники других организаций.

Для оценивания знаний обучающегося в рамках проведения кандидатского экзамена используются следующие оценочные средства:

1. Экзаменационный билет - комплекс вопросов и задач, разработанных в соответствии с паспортом научной специальности Физика плазмы.

Кандидатский экзамен проводится экзаменационной комиссией по билетам (программам), утверждаемым деканом физического факультета НГУ. Для подготовки экзаменуемый использует листы ответа, которые хранятся в деле обучающегося вместе с протоколом экзамена.

В случае неявки экзаменуемого на кандидатский экзамен по уважительной причине (при наличии подтверждающих документов) он может быть допущен приказом ректора к сдаче кандидатского экзамена в течение текущего периода промежуточной аттестации. В случае получения неудовлетворительной оценки пересдача кандидатского экзамена в течение текущего периода промежуточной аттестации не допускается. Пересдача кандидатского экзамена с положительной оценки на другую положительную оценку не допускается.

Оценка уровня знаний экзаменуемого определяется экзаменационными комиссиями по пятибалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка выставляется простым большинством голосов членов экзаменационной комиссии. При равенстве голосов решающей считается оценка председателя. Экзаменуемым может быть в двухдневный срок подана апелляция ректору о несогласии с решением экзаменационной комиссии. Экзаменационная комиссия по приему кандидатского экзамена по специальной дисциплине правомочна принимать кандидатский экзамен по специальной дисциплине, если в ее заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук по научной специальности, соответствующей специальной дисциплине, в том числе не менее одного доктора наук. Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом, в котором указываются, в том числе, код и наименование научной специальности, по которой сдавались кандидатские экзамены; шифр и наименование направленности (профиля), по которой подготавливается диссертация.

Описание критериев и шкал оценивания результатов освоения дисциплины

Таблица 7.1 Результаты освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины	Оценочное средство
- формирование способностей и навыков выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок;	Экзамен
- формирование способностей и навыков проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.	Экзамен

Таблица 7.2 Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины	Шкала оценивания
<p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.</p>	<p><i>Отлично</i></p>
<p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует в основном углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – допускает незначительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы. <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить незначительные неточности.</p>	<p><i>Хорошо</i></p>
<p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, – затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – допускает значительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы. 	<p><i>Удовлетворительно</i></p>
<p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, – затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – не отвечает на дополнительные вопросы. 	<p><i>Неудовлетворительно</i></p>

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям РПД, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

Вопросы, включаемые в экзаменационный билет на кандидатском экзамене, формулируются идентично названиям подразделов программы курса, представленной ниже. В экзаменационные билеты включается по одному вопросу из основной и дополнительной программы кандидатского экзамена.

Программа курса:

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, вмороженность 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. Пробег 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 ионосферы 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.).

15. Вопросы дополнительной программы

I. Открытые ловушки

I.1 Пробкотрон Будкера-Поста

Адиабатическое удержание заряженных частиц в пробкотроне. Оценка времени жизни частиц в пробкотроне. МГД равновесие и устойчивость плазмы в пробкотроне. Стабилизация желобковой неустойчивости «минимумом В». «Конусные» кинетические

неустойчивости плазмы: высокочастотная конусная неустойчивость, дрейфово-конусная неустойчивость, альфвеновская анизотропная ионно-циклотронная неустойчивость.

I.2 Амбиполярная ловушка

Амбиполярный потенциал плазмы в пробкотроне. Формирование потенциальных барьеров в амбиполярной ловушке. Формула Пастухова. Процессы переноса в аксиально-несимметричных ловушках.

I.3 Многопробочная ловушка

Продольное удержание плазмы в многопробочной ловушке. Стеночное удержание плотной плазмы. Обратный ток. Стабилизация винтовой неустойчивости. Возбуждение ленгмюровской турбулентности пучком релятивистских электронов. Турбулентное подавление продольной теплопроводности.

I.4 Газодинамическая ловушка

Газодинамическая ловушка (ГДЛ). Продольные потери частиц и энергии в ГДЛ. Методы стабилизации МГД неустойчивостей плазмы в аксиально-симметричных ловушках. Нейтронный источник на основе ГДЛ. Проект ГДМЛ.

II. Сильноточные пучки заряженных частиц и их взаимодействие с плазмой

I. Генерация сильноточных пучков

Методы получения сильноточных релятивистских электронных пучков (РЭП). Взрывная эмиссия. Плазменный эмиттер электронов. Сильноточные релятивистские диоды. Транспортировка сильноточных пучков в вакууме. Критические токи. Зарядовая и токовая нейтрализация пучков в плазме. Генерация мощных потоков ионов с помощью РЭП. Коллективное ускорение ионов в сильноточных электронных пучках.

2. Коллективная релаксация РЭП в плазме

Возбуждение ленгмюровских колебаний в плазме при инжекции РЭП. Квазилинейный и нелинейные механизмы релаксации. Диссипация энергии колебаний в плазме (нагрев плазмы). Влияние магнитного поля на релаксацию. Нагрев плазмы обратным током, аномальное сопротивление.

III. Диагностика высокотемпературной плазмы

Электрические и магнитные зонды. Применение зондов для определения параметров плазмы в открытых ловушках. Измерение диамагнетизма плазмы. Методы исследования потоков частиц: датчики плотности тока, энергоанализаторы, калориметры, болометры. СВЧ диагностика плазмы. Регистрация микроволнового излучения плазмы. Корпускулярная диагностика плазмы (активная и пассивная). Оптические диагностики: интерферометрия и спектроскопия плазмы в инфракрасной и видимой областях, пучково-эмиссионная спектроскопия. Лазерное рассеяние и особенности его применения для диагностики неравновесной плазмы. Рентгеновские методы диагностики плазмы. Нейтронные измерения.

IV. Инжекторы пучков быстрых атомов

Инжекторы пучков быстрых атомов на основе перезарядки положительных ионов. Требования к элементам инжектора. Инжекторы на основе отрицательных ионов. Получение и нейтрализация интенсивных пучков отрицательных ионов.

V. Техника плазменного эксперимента

Емкостные накопители энергии. Генераторы высоковольтных импульсных напряжений. Коммутаторы больших токов. Магнитные системы открытых ловушек. Сверхпроводящие соленоиды. Особенности вакуумных систем термоядерных установок.

I. Форма и перечень вопросов экзаменационного билета.

2.1 Форма экзаменационного билета

Новосибирский государственный университет Физический факультет	

научная специальность	

направленность (профиль)	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №	
1. Вопрос из основной программы кандидатского экзамена.	
2. Вопрос из дополнительной программы кандидатского экзамена	
Составитель _____	И.О.Фамилия
(подпись)	
Ответственный за образовательную программу	
И.О.Фамилия	
(подпись)	
« »	20 г.

1.2. Перечень типовых вопросов

Категория	Формулировка вопроса
Категория 1	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
	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
	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.
	Движение в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта

	<p>Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, замороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение</p>
	<p>Равновесные конфигурации плазмы в магнитной гидродинамике, пинч. Неустойчивость плазмы, виды неустойчивости, перегреваемая и ионизационная неустойчивости. Энергетический принцип МГД-устойчивости</p>
	<p>Основные типы колебаний и волн в плазме: ленгмюровские электронные и ионные, электромагнитные, ионно-звуковые, магнитозвуковые, альфвеновские. Показатель преломления плазмы, пространственная и временная дисперсия, фазовая и групповая скорости плазменных волн</p>
	<p>Возбуждение и затухание волн в плазме, черенковское излучение, затухание Ландау. Раскачка плазменных колебаний пучками. Квазилинейное приближение</p>
	<p>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</p>
	<p>Элементарные радиационные процессы, интенсивность спектральных линий, сплошные спектры, вынужденное испускание. Пробег излучения, перенос излучения в среде, оптически прозрачная и непрозрачная плазма, лучистая теплопроводность</p>
	<p>Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда, излучающий разряд в плотной плазме, плазменно-пучковый разряд</p>
	<p>Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности. Токовые слои</p>
Категория 2	<p>Методы получения сильноточных релятивистских электронных пучков (РЭП). Взрывная эмиссия. Плазменный эмиттер электронов. Сильноточные релятивистские диоды. Транспортировка сильноточных пучков в вакууме. Критические токи. Зарядовая и токовая нейтрализация пучков в плазме. Генерация мощных потоков ионов с помощью РЭП. Коллективное ускорение ионов в сильноточных электронных пучках</p>
	<p>Возбуждение ленгмюровских колебаний в плазме при инжекции РЭП. Квазилинейный и нелинейные механизмы релаксации. Диссипация энергии колебаний в плазме (нагрев плазмы). Влияние магнитного поля на релаксацию. Нагрев плазмы обратным током, аномальное сопротивление</p>
	<p>Инжекторы пучков быстрых атомов на основе перезарядки положительных ионов. Требования к элементам инжектора. Инжекторы на основе отрицательных ионов. Получение и нейтрализация интенсивных пучков отрицательных ионов.</p>
	<p>Емкостные накопители энергии. Генераторы высоковольтных импульсных напряжений. Коммутаторы больших токов. Магнитные системы открытых ловушек. Сверхпроводящие соленоиды. Особенности вакуумных систем термоядерных установок.</p>
	<p>Адиабатическое удержание заряженных частиц в пробкотроне. Оценка времени жизни частиц в пробкотроне. МГД равновесие и устойчивость плазмы в пробкотроне. Стабилизация желобковой неустойчивости</p>

	<p>«минимумом В». «Конусные» кинетические неустойчивости плазмы: высокочастотная конусная неустойчивость, дрейфово-конусная неустойчивость, альфвеновская анизотропная ионно-циклотронная неустойчивость</p> <p>Амбиполярный потенциал плазмы в пробкотроне. Формирование потенциальных барьеров в амбиполярной ловушке. Формула Пастухова. Процессы переноса в аксиально-несимметричных ловушках.</p> <p>Продольное удержание плазмы в многопробочной ловушке. Стеночное удержание плотной плазмы. Обратный ток. Стабилизация винтовой неустойчивости. Возбуждение ленгмюровской турбулентности пучком релятивистских электронов. Турбулентное подавление продольной теплопроводности</p> <p>Газодинамическая ловушка (ГДЛ). Продольные потери частиц и энергии в ГДЛ. Методы стабилизации МГД неустойчивостей плазмы в аксиально-симметричных ловушках. Нейтронный источник на основе ГДЛ. Проект ГДМЛ</p>
Категория 3	<p>Электрические и магнитные зонды. Применение зондов для определения параметров плазмы в открытых ловушках..</p> <p>Измерение диамагнетизма плазмы.</p> <p>Методы исследования потоков частиц: датчики плотности тока, энергоанализаторы, калориметры, болометры.</p> <p>СВЧ диагностика плазмы.</p> <p>Регистрация микроволнового излучения плазмы.</p> <p>Корпускулярная диагностика плазмы (активная и пассивная).</p> <p>Оптические диагностики: интерферометрия и спектроскопия плазмы в инфракрасной и видимой областях, пучково-эмиссионная спектроскопия. Лазерное рассеяние и особенности его применения для диагностики неравновесной плазмы. Рентгеновские методы диагностики плазмы. Нейтронные измерения</p> <p>Лазерное рассеяние и особенности его применения для диагностики неравновесной плазмы. Рентгеновские методы диагностики плазмы. Нейтронные измерения</p> <p>Рентгеновские методы диагностики плазмы. Нейтронные измерения</p> <p>Нейтронные измерения</p>