

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

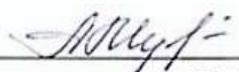


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОГЛАСОВАНО


Руководитель ОПОП ВО
профессор А.С.-У. Мустафаев

УТВЕРЖДАЮ


Декан факультета фундаментальных
и гуманитарных дисциплин
доцент А.Б. Маховиков

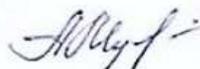
ПРОГРАММА
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО
СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
(Физика плазмы)

Уровень высшего образования:	Подготовка кадров высшей квалификации
Направление подготовки:	03.06.01 Физика и астрономия
Направленность (профиль):	Физика плазмы
Квалификация выпускника:	Исследователь. Преподаватель-исследователь
Форма обучения:	очная
Нормативный срок обучения:	4 года
Составитель:	д.ф.-м.н., профессор А.С.-У. Мустафаев

Санкт-Петербург

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине (Физика плазмы) составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования.

Составитель

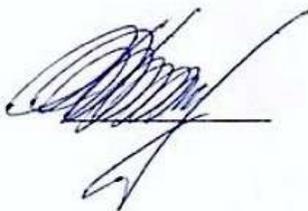


д.ф.-м.н., проф. А.С.-У. Мустафаев

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры общей и технической физики от «10» марта 2020 г., протокол № 7.

Рабочая программа согласована:

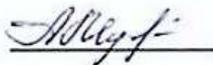
Декан факультета аспирантуры
и докторантуры



к.т.н.

В.В. Васильев

Заведующий кафедрой общей
и технической физики



д.ф.-м.н., проф. А.С.-У. Мустафаев

1. Общие положения кандидатского экзамена по дисциплине

Аспирант сдающий кандидатский экзамен по специальной дисциплине (физике плазмы) должен:

- иметь представления об основных явлениях и фундаментальных законах разделов: Термодинамика плазмы, Элементарные процессы и физическая кинетика, Динамика заряженных частиц в электрическом и магнитном полях, Магнитная гидродинамика плазмы, Колебания, волны и неустойчивости в плазме, Взаимодействие заряженных частиц с волнами в плазме, методы диагностики плазмы, Электрический разряд в газах;
- знать прикладные проблемы физики плазмы, необходимые для освоения физических основ физики плазмы; теоретические и экспериментальные методы исследований плазмы;
- уметь применять методы расчета и численной оценки точности результатов фундаментальных и прикладных исследований с применением компьютерных технологий и методик математического моделирования, аналитической и графической обработки результатов измерений.

Основной целью кандидатского экзамена по специальной дисциплине – (физике плазмы) является выявление компетенций в различных областях, таких как:

- понимание методологических основ дисциплины;
- знание общих основ физики плазмы;
- знание фундаментальных понятий и принципов физики плазмы;
- знание научно-методологических основ экспериментальных исследований в области физики плазмы, основных методов диагностики плазмы;
- знание современных методов обработки, систематизации и интерпретации результатов эксперимента;
- знание основных проблем физики плазмы, связанных с созданием плазменной энергетики и электроники нового поколения, а также современных плазменных нанотехнологий.

На кандидатской экзамене аспирант должен продемонстрировать основные компетенции, сформированные в результате освоения дисциплины «Физика плазмы» и смежных с ней дисциплин в рамках обучения в аспирантуре.

2. Содержание экзамена

Рекомендуемая структура экзамена представляет собой устное собеседование по трем вопросам:

- вопрос из перечня вопросов основной программы для проведения экзамена;
- вопрос из перечня вопросов дополнительной программы для проведения экзамена;
- вопрос непосредственно связанный с научными изысканиями проводимыми в рамках выпускной квалификационной работы аспиранта.

3. Оценочные средства и процедура оценивания результатов экзамена

Ответ по каждому вопросу экзамена оценивается отдельно. По окончании экзамена комиссия выставляет общую оценку на основании обсуждения результатов ответов по всем разделам экзамена. Итоговая оценка по каждому вопросу вносится в протокол экзамена и заверяется подписями членов комиссии по приему кандидатского экзамена по специальной дисциплине.

3.1 Критерии и процедура оценивания результатов экзамена

Знания, умения и навыки аспирантов определяются следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки за ответы на вопросы выставляются, исходя из следующих критериев:

— **«отлично» (5)**: если обучающийся глубоко и прочно усвоил весь необходимый материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении вопроса, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок;

— **«хорошо» (4)**: если обучающийся твердо знает необходимый материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при ответе на дополнительные вопросы:

а) обучающийся ответил правильно, но при этом допустил незначительные неточности в формулировании определений, принципов работ или ошибки при ответах на вопросы (ошибки оценки промежуточных результатов, неполноты сделанных выводов);

б) обучающийся правильно ответил (смотри оценка «отлично») и допустил значительные погрешности.

— **«удовлетворительно» (3)**: если обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения при ответах на вопросы;

— **«неудовлетворительно» (2)**: если обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями отвечает или по существу не отвечает на дополнительные вопросы.

3.2 Перечень вопросов основной программы для проведения экзамена

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 (МГД)

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. 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 — 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.).

3.3 Перечень вопросов дополнительной программы для проведения экзамена

1. Аперiodические неустойчивости пучков.

Неустойчивость и предельный ток квазинейтрального электронного пучка – задача Пирса. Неустойчивость и предельный ток квазинейтрального ионного пучка. Неустойчивость и предельный ток релятивистского электронного пучка. Порог неустойчивости Бурсиана. Порог неустойчивости Пирса.

2. Нестационарные процессы на начальной стадии развития кнудсеновского разряда.

Особенности нестационарной постановки задачи и метода ее решения. Численный метод решения нестационарного кинетического уравнения для ионов. Поведение электронного тока, концентрации ионов и распределения потенциала во времени.

3. Приборы плазменной энергетики.

Плазменный кнудсеновский Cs-Va термоэмиссионный преобразователь тепловой энергии в электрическую. Оптимизация мощности и предельно-достижимые энергетические параметры кнудсеновского ТЭП с плоским катодом. Сильноточные диодные и триодные Cs-Va ключевые элементы. Эффективные плазменные стабилизаторы с отрицательным сопротивлением.

4. Плазменный управляемый Cs-Va ключевой элемент на высокие плотности тока.

Полное сеточное управление током сильноточной кнудсеновской дуги. Явление самопроизвольного обрыва тока. Способ модуляции тока сильноточной дуги и предельно-достижимые энергетические параметры Cs-Va ключевых элементов с полным сеточным управлением. Оптические исследования режима самопроизвольного обрыва тока. Эффективность сеточного гашения в Cs-Va ключевом элементе.

5. Кинетическое уравнение Больцмана и функция распределения электронов в анизотропной плазме.

Представление функции распределения электронов и интеграла столкновений в плазме. Система кинетических уравнений для электронов. Интеграл электрон-атомных столкновений в аксиально-симметричной плазме. Измерение лежандровых компонентов интеграла столкновений.

6. Зондовые методы диагностики анизотропной плазмы.

Зондовый метод исследования низкотемпературной плазмы. Метод плоского одностороннего зонда. Методика реконструкции угловых гармоник распределения. Погрешность зондового метода реконструкции функции распределения электронов. Восстановление полной функции распределения. Применение плоского двустороннего и двойного зондов и определение оси симметрии в плазме. Цилиндрический зонд в анизотропной плазме. Сферический зонд.

4. Перечень учебной литературы и ресурсов сети «Интернет»

Основная:

1. Смирнов, Борис Михайлович. Физика атома и иона / Б.М.Смирнов. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 215 с.

2. Райзер, Юрий Петрович. Физика газового разряда / Ю.П.Райзер. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 591 с.

3. Зельдович, Яков Борисович. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я.Б.Зельдович, Ю.П.Райзер. - Изд. 2-е, доп. - М. : Наука. 1966. - 686 с.

4. Кадомцев, Борис Борисович. Коллективные явления в плазме / Б.Б.Кадомцев. - изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 303 с.

5. Александров, Александр Фёдорович. Основы электродинамики плазмы : учеб. для ун-тов / А.Ф.Александров, Л.С.Богданкевич, А.А.Рухадзе (ред.). - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1988. - 424 с.

Дополнительная:

1. Ферми, Э. Квантовая механика Notes on Quantum Mechanics : (конспект лекций) / Э. Ферми. - М. : Мир, 1968. - 367 с.

2. Франк-Каменецкий, Д. А. Лекции по физике плазмы: учеб. пособие для вузов / Д. А. Франк-Каменецкий. - Изд. 2-е. - М. : Атомиздат, 1968. - 285 с.

3. Чен, Ф. Введение в физику плазмы: монография / Ф. Чен ; пер. с англ. Е. Н. Кручины под ред. В. И. Шевченко. - М. : Мир, 1987. - 398 с.

4. Эллиот Дж. Симметрия в физике: в 2 т. / Дж. Эллиот, П. Добер ; пер. с англ. И. С. Желудева, Д. А. Славнова. - М. : Мир, 1983. Т. 1 : Основные принципы и простые приложения. - 364 с.

5. Эллиот Дж. Симметрия в физике: в 2 т. / Дж. Эллиот, П. Добер ; пер. с англ. И. С. Желудева, Д. А. Славнова. - М. : Мир, 1983. Т. 2 : Дальнейшие приложения. - 410 с.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта
— Методические указания для самостоятельной работы аспирантов ior.spmi.ru;

Ресурсы сети «Интернет»

1. Информационная справочная система «Консультант плюс».
2. Библиотека ГОСТов www.gostrf.com.
3. Сайт Российской государственной библиотеки. <http://www.rsl.ru/>
4. Сайт Государственной публичной научно-технической библиотеки России. <http://www.gpntb.ru/>
5. Каталог образовательных интернет ресурсов <http://www.edu.ru/modules.php>
6. Электронные библиотеки: <http://www.pravoteka.ru/>, <http://www.zodchii.ws/>, <http://www.tehlit.ru/>.
7. Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании <http://www.ict.edu.ru>
8. Каталог образовательных Интернет-ресурсов <http://window.edu.ru>
9. Информационно-издательский центр по геологии и недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации - ООО "ГЕОИНФОРММАРК"- <http://www.geoinform.ru/>

Электронно-библиотечные системы:

- ЭБС издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>
- ЭБС издательства «Юрайт» <https://biblio-online.ru/>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>
- ЭБС «ZNANIUM.COM» <https://znanium.com>
- ЭБС «IPRbooks» <https://iprbookshop.ru>
- ЭБС «Elibrary» <https://elibrary.ru>
- Автоматизированная информационно-библиотечная система «Mark -SQL» <https://informsystema.ru>
- Система автоматизации библиотек «ИРБИС 64» <https://elnit.org>

Современные профессиональные базы данных:

- Электронная база данных Scopus <https://scopus.com>
- «Clarivate Analytics» <https://Clarivate.com>
- «Springer Nature» <http://100k20.ru/products/journals/>
- Информационно-аналитический центр «Минерал» - <http://www.mineral.ru/>

Информационные справочные системы:

1. Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс <http://www.consultant.ru/>.
2. Электронно-периодический справочник «Система Гарант» <http://www.garant.ru/>.
3. ООО «Современные медиа технологии в образовании и культуре». <http://www.informio.ru/>.

ЛИСТ АКТУАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине (*Физика плазмы*) рассмотрена и актуализирована на заседании кафедры общей и технической физики

№ п/п	№ протокола заседания кафедры	Дата протокола кафедры	Основание
1	10	19.05.2021	Договор с Электронно-библиотечной системой «Лань» № Д041(44)-04/21 от 28.04.2021
2	11	12.05.2022	Договор с Электронно-библиотечной системой «Лань» № Д063(44)-04/22 от 28.04.2022