

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

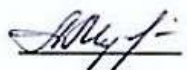
ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

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

Рабочая программа дисциплины «Физика плазмы» разработана:

- в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки РФ № 867 от 30 июля 2014;
- на основании учебного плана направленности (профиля) «Физика плазмы» по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия.

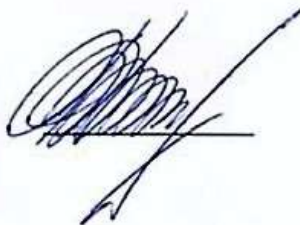
Составитель

 д.ф.-м.н., проф. А.С.-У. Мустафаев

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

Рабочая программа согласована:

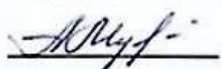
**Декан факультета аспирантуры
и докторантуры**



к.т.н.

В.В. Васильев

**Заведующий кафедрой общей и
технической физики**

 д.ф.-м.н., проф. А.С.-У. Мустафаев

1. Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины:

формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний о фундаментальных процессах и явлениях, протекающих с участием заряженных частиц в ионизированных и проводящих средах, физической кинетике, магнитной гидродинамике, электродинамике сплошных сред, физике волновых процессов в природе и в лабораторных или промышленных установках.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- сформировать у аспирантов представление о тенденциях и основных научных проблемах на современном этапе развития фундаментальной и прикладной физики плазмы
- изучение современных теоретических, методических и технологических достижений отечественной и зарубежной науки и практики, основных физических явлений, фундаментальных законов и теорий современной физики плазмы, включая представление о границах их применимости
- овладение современными научными приборами и методами физических исследований плазмы, формирование навыков организации и самостоятельного проведения экспериментальных и теоретических исследований и оценки степени достоверности результатов, базирующихся на современных методах обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний в разработке прикладных проблем физики плазмы, создании новых методов диагностики и плазменных технологий, источников излучений, приборов плазменной энергетики и устройств и в педагогической деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика плазмы» входит в состав вариативной части Блока 1 основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия направленности (профиля) «Физика плазмы» и изучается в 5 семестре

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины обучающимися направлен на формирование профессиональных компетенций:

- готовность использовать теоретические и методологические основы проектирования, эксплуатации, дальнейшего совершенствования плазменных методик и оборудования для плазменных технологий (ПК-1);

- способность проводить научное планирование плазменного эксперимента и осуществлять его на практике: применять технологическую аппаратуру и электроизмерительные приборы, выполненные на базе микропроцессорной техники для решения задач диагностики параметров плазменных систем и разработки новых плазменных методов и технологий (ПК-2);

- готовность проводить анализ наиболее актуальных проблем, самостоятельно ставить задачи научных исследований, имеющих практическое значение для плазменных технологий, владеть методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области физики плазмы и плазменных технологий (ПК-3).

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

уметь: выявлять, анализировать и интерпретировать современные достижения в области физики плазмы; свободно ориентироваться в дискуссионных проблемах; определять степень доказательности и обоснованности тех или иных результатов научных трудов; самостоятельно решать конкретные задачи из различных разделов физики плазмы; пользоваться современной научной и производственной аппаратурой для проведения инженерных измерений и научных

исследований; излагать в устной и письменной форме результаты своего исследования и аргументированно отстаивать свою точку зрения в дискуссии;

знать: основные явления и фундаментальные законы 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, прикладные проблемы физики плазмы, необходимые для освоения физических основ физики плазмы; теоретические и экспериментальные методы исследований плазмы, методы расчета и численной оценки точности результатов фундаментальных и прикладных исследований с применением компьютерных технологий;

владеть: методами выбора цели, постановки научных задач и оптимизации путей их решения; самостоятельной организации научных исследований; оружием логики, способностью к анализу и синтезу результатов исследований; методами математического моделирования, компьютерной, аналитической и графической обработки результатов измерений.

3.1. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны приобрести:	Этапы формирования*
1.	ПК-1	Готовность использовать теоретические и методологические основы проектирования, эксплуатации, дальнейшего совершенствования плазменных методик и оборудования для плазменных технологий.	<p>Выпускник знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методологические основы проектирования, эксплуатации и дальнейшего совершенствования техники, технологии и аппаратного обеспечения плазменного эксперимента; - новейшие мировые достижения в области разработки и выбора путей совершенствования методов диагностики плазмы; плазменных источников и приборов. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализировать, интерпретировать и использовать для решения научных задач современные достижения в методологии исследования плазмы и совершенствования конструкций элементов плазменной электроники; - аргументировано и логически непротиворечиво обосновать выбранный способ решения поставленной научной задачи. <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выбора цели, постановки научных задач и оптимизации путей их решения в рамках различных разделов диагностики плазмы и плазменной энергетики; - выявления недостатков и поиска оптимальных путей совершенствования конструкций плазменных приборов, техники и технологии эксперимента. 	В соответствии с учебным планом
2.	ПК-2	Способность проводить научное планирование плазменного	<p>Выпускник знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методические принципы постановки цели и задач эксперимента, ведения научно-технической документации, планирования и проведения 	

		<p>эксперимента и осуществлять его на практике: применять технологическую аппаратуру и электроизмерительные приборы, выполненные на базе микропроцессорной техники для решения задач диагностики параметров плазменных систем и разработки новых плазменных методов и технологий.</p>	<p>эксперимента;</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные закономерности плазменной электроники, методы управления, транспортирования и преобразования газоразрядной плазмы, физические принципы и аппаратурную реализацию методов в газоразрядных приборах и технологиях. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - решать прикладные проблемы физики плазмы, необходимые для освоения физических методов исследования плазмы; пользоваться современной экспериментальной аппаратурой для проведения научных исследований; - пользоваться современной научной аппаратурой для проведения научных исследований; излагать в устной и письменной форме результаты своего исследования и аргументировано отстаивать свою точку зрения в дискуссии. <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формулирования цели эксперимента и постановки научных задач; выбора эффективных путей их решения с учетом специфики плазменного объекта и требуемого уровня точности эксперимента; - применения технологической аппаратуры и методов диагностики плазмы непосредственно в приборах плазменной энергетики для надежной оптимизации их электрокинетических параметров и конструкций. 	
3.	ПК-3	<p>Готовность проводить анализ наиболее актуальных проблем, самостоятельно ставить задачи научных исследований, имеющих практическое значение для плазменных технологий, владеть методами проведения патентных исследований, лицензирования и защиты авторских прав при создании инновационных продуктов в области физики плазмы и плазменных</p>	<p>Выпускник знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - нормативно-законодательные акты, регулирующие защиту авторских и патентных прав на объекты интеллектуальной собственности; - методики поиска информации в различных видах профессиональных баз данных с удаленным доступом. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пользоваться современной научной литературой для постановки цели и задач плазменного эксперимента и выбора оптимальных путей их достижения; - проводить патентный поиск и патентные исследования в области физики полупроводников. <p>Владеет навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формулирования цели плазменного эксперимента и постановки научных задач; выбора эффективных путей их решения; - проведения патентных исследований при создании инновационных продуктов в области физики плазмы. 	

*Основными этапами формирования компетенций обучающихся при освоении дисциплины являются последовательное изучение содержательно связанных между собой разделов (тем) учебных занятий в течение учебного семестра (семестров).

3.2. Планируемые результаты обучения и критерии оценивания

В результате обучения по дисциплине «Физика плазмы» обучающийся должен обрести знания, умения и навыки, указанные в разделе 3.1 настоящей программы.

Уровень освоения компетенции обучающимися на каждом этапе ее формирования определяется на основании результатов текущего контроля последовательного изучения содержательно связанных между собой разделов (тем) учебных занятий. Уровень освоения компетенций обучающимися по итогам изучения дисциплины определяется на основании результатов промежуточной аттестации. Критерии оценивания сформированности компетенций, применяемые в процессе освоения этапов дисциплины и по итогам ее изучения, приведены в разделе 6 настоящей программы.

4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина включает в себя 4 темы, содержание которых направлено на изучение теоретических основ и прикладных аспектов современной физики плазмы.

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 108 часов, 3 зачётные единицы. Дисциплина изучается в 5 семестре по очной форме обучения. Форма контроля для очной формы обучения: экзамен.

4.1. Распределение трудоемкости освоения дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Общая трудоемкость дисциплины в часах	108	108
Аудиторные занятия (всего)	30	30
Лекции	20	20
Практические занятия	10	10
Экзамен	36	36
Самостоятельная работа (всего)	42	32
Вид аттестации	Экзамен	Экзамен

4.2. Темы учебной дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование тем	Количество часов по видам занятий				
		Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Контроль	Самостоятельная работа аспиранта
1.	Элементарные процессы в низкотемпературной плазме	22	6	4		12
2.	Фундаментальные методы теоретического и экспериментального исследования разрядной плазмы	18	4	2		10
3.	Разряды разных типов	20	6	2		12

4.	Некоторые приложения газоразрядной плазмы.	14	4	2		8
	Итого:	108	20	10	36	42

4.3. Содержание учебной дисциплины

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование темы дисциплины</i>	<i>Содержание темы</i>
1.	Элементарные процессы в низкотемпературной плазме	Типичные разряды в постоянном электрическом поле. Классификация разрядных процессов. Упругие столкновения электронов и ионов с атомами, молекулами и друг с другом. Неупругие столкновения электронов с атомами и молекулами. Дрейф, энергия и диффузия заряженных частиц в постоянном поле. Образование и гибель заряженных частиц в газе. Испускание электронов твердыми телами. Взаимодействие электронов ионизованного газа с переменными электрическими полями и электромагнитными излучениями. Излучение и поглощение света плазмой.
2.	Фундаментальные методы теоретического и экспериментального исследования разрядной плазмы	Кинетическое уравнение для электронов в слабоионизованном газе, находящемся в поле. Описание электронных процессов при помощи функции распределения по скоростям. Электрические зонды. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Теоретические основы диагностики разреженной плазмы по электронному току. Современные методы зондовой диагностики плазмы с произвольной степенью анизотропии. Неконтактные методы исследования плазмы.
3.	Разряды разных типов	Пробой газов в полях различных частотных диапазонов. Слабоанизотропная плазма. Стабильный тлеющий разряд. Неустойчивости тлеющего разряда и их последствия. Коронный разряд. Дуговой разряд. Определение и отличительные признаки дуги. Пучковые разряды разных видов как пример сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Короткие пучковые разряды и структура их функции распределения. Нелокальные плазменные технологии. Пучково-плазменная неустойчивость. Практические приложения газовых разрядов.
4.	Некоторые приложения газоразрядной плазмы	Приборы плазменной энергетики на базе плазмы с поверхностной и объемной ионизацией (термоэмиссионные преобразователи, ключевые элементы, стабилизаторы тока и напряжения, и др.). Роль геометрии электродов и сужений плазменного канала в повышении эффективности приборов. Неустойчивости в приборах плазменной энергетики.

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Тема	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1.	Элементарные процессы в низкотемпературной плазме	Потери импульса и энергии электронов. Обмен импульсом и энергией в общем случае упругого рассеяния. Ионизация. Возбуждение и дезактивация электронных состояний. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Амбиполярная диффузия. Ионизация электронным ударом в электрическом поле. Термоэлектронная эмиссия. Плазменные колебания и волны.	4
2.	Фундаментальные методы теоретического и экспериментального исследования разрядной плазмы	Функция распределения. Фазовое пространство. Моменты функции распределения. Кинетическое уравнение. Уравнение для энергетического спектра электронов. Электрические зонды. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Теории зондовых методов. Определение параметров плазмы по второй производной зондового тока. Ионный ток на зонд. Неконтактные методы диагностики плазмы.	2
3.	Разряды разных типов	Пробой и зажигание самостоятельного разряда. Кривая Пашена. Положительный столб тлеющего разряда – структура функции распределения. Локальная функция распределения во внешнем электрическом поле. Расчет нелокальной функции распределения электронов. Низковольтный пучковый разряд в инертных газах – пример сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Структура разряда и пространственное распределение параметров в столкновительном и кнудсеновском режиме разряда. Неустойчивость сильнонеравновесной плазмы.	2
4.	Некоторые приложения газоразрядной плазмы	Идеальный кнудсеновский Cs-Va диод с поверхностной ионизацией. Параметры приэлектродной плазмы и эмиссионные характеристики катодов. Плазменный кнудсеновский Cs-Va термоэмиссионный преобразователь. Полностью управляемый цезий-бариевый ключевой элемент на высокие плотности тока. Плазменные управляемые стабилизаторы тока и напряжения.	2
Итого:			10

5. Образовательные технологии, используемые при изучении дисциплины

При изучении дисциплины «Физика плазмы» обучающийся использует учебную, научную, исследовательскую базу университета в установленном порядке.

В ходе обучения применяются:

Лекции, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся.

Цели лекционных занятий:

— дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

— стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Практические занятия. Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач. Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

Консультации (текущая консультация, накануне дифференцированного зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям.

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

Самостоятельная работа обучающихся направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации и итогового контроля изучения дисциплины

6.1 Цель и основные задачи текущего контроля по дисциплине

Текущий контроль имеет целью проверить ход формирования компетенций в соответствии с этапами ее освоения. Текущий контроль осуществляется в ходе учебного процесса и консультирования обучающихся по результатам выполнения самостоятельной работы. Основной формой текущего контроля знаний является защита результатов самостоятельной работы по темам учебной дисциплины.

6.2 Критерии оценивания результатов текущего контроля

Оценка	Критерии
«отлично» (5)	обучающийся имеет глубокие знания учебного материала, защита результатов самостоятельной работы по темам учебной дисциплины проведена в полном объеме без нареканий со стороны преподавателя
«хорошо» (4)	обучающийся твердо освоил учебный материал, защита результатов самостоятельной работы по темам учебной дисциплины проведена в полном объеме, однако допущены неточности в описании ряда рассматриваемых физических явлений без значительных нареканий со стороны преподавателя.
«удовлетворительно» (3)	обучающийся имеет знания основного учебного материала, защита результатов самостоятельной работы по темам учебной дисциплины проведена в достаточном объеме, однако обучающийся демонстрирует недостаточно глубокое понимание рассматриваемых физических явлений.
«неудовлетворительно» (2)	обучающийся не освоил учебный материал, защита результатов самостоятельной работы по темам учебной дисциплины не проведена.

6.3 Цель и основные задачи экзамена по дисциплине

Экзамен по дисциплине «Физика плазмы» имеет целью проверить теоретические знания аспирантов, а также их навыки и умение применять полученные знания. На экзамене аспирант

должен показать глубокое и всестороннее знание программного материала, рекомендованной литературы, умение аргументированно и логично изложить содержание поставленных проблем.

Индекс контролируемых компетенций - ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Оценки по результатам экзамена выставляются преподавателем, ведущим дисциплину, объявляются обучающимся и заносятся в экзаменационную ведомость.

6.4 Методика и порядок проведения экзамена

Сдача экзамена осуществляется по билетам.

Вопросы в билете выбираются из списка 30 теоретических вопросов по физике плазмы. Билет содержит три вопроса.

Ответ по каждому вопросу оценивается отдельно. По окончании экзамена преподаватель, ведущий дисциплину, выставляет общую оценку на основании результатов ответов аспиранта, объявляет ее обучающимся и заносит в экзаменационную ведомость

6.5 Критерии и процедура оценивания результатов экзамена

Знания, умения и навыки обучающихся необходимо 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 программный 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 программный 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.

6.6 Перечень вопросов для проведения экзамена

1. Основные представления об элементарных процессах. Сечение реакций, средняя длина пробега, средняя энергия и температура. Единицы измерения этих величин.
2. Положения теории Ленгмюра для электрического зонда. Общий вид зондовой вольт-амперной характеристики. Электронная часть характеристики при отрицательном и положительном потенциале зонда. Ионная часть характеристики.
3. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.
4. Физическая кинетика плазмы. Функция распределения и фазовое пространство. Уравнения Больцмана и Власова.
5. Магнитные и электрические зонды. Элементы зондовых систем и их параметры. Методы получения энергетического распределения электронов из зондовых измерений.

6. Виды дуг: дуга с горячим термоэмиссионным катодом, дуги с внешним накалом катода, дуги с “холодным” катодом и катодными пятнами, вакуумная дуга, дуга высокого давления, дуга сверхвысокого давления, дуги низкого давления.
7. Макроскопические свойства плазмы. Квазинейтральность плазмы. Электростатическое экранирование. Дебаевский радиус экранирования; частота плазменных колебаний. Плазма как сплошная среда.
8. Факторы, вносящие искажение в вольт-амперную характеристику ленгмюровского зонда.
9. Перспективы повышения энергетических характеристик кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя за счет использования многополостного катода в газокINETическом режиме.
10. Колебания и волны в холодной плазме. Генерация волн при взаимодействии пучков заряженных частиц с плазмой. Затухание Ландау.
11. Зондовый метод для диагностики сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Восстановление угловых и энергетических зависимостей полной функции распределения электронов по скоростям.
12. Плазменно-энергетические технологии. Электрокинетические характеристики плазменного диода в режиме НПП в легких инертных газах.
13. Двужидкостная модель плазмы. Обобщенный закон Ома для плазмы. Проводимость плазмы; тензор сопротивления и тензор проводимости. Кулоновские столкновения, сечение кулоновских столкновений, кулоновский логарифм.
14. Неконтактные методы исследования плазмы. Основы магнитной диагностики.
15. Перспективные конструкции и преимущества плазменных ключевых элементов с цезий-бариевым наполнением.
16. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Диффузия электронов в плазме при наличии электрического и магнитного полей. Амбиполярная и свободная диффузия.
17. Особенности применения зондового метода при диагностике асимметричных плазменных объектов.
18. Физические принципы перехода кнудсеновской дуги в нестационарный режим. Явление самопроизвольного обрыва тока и его применения для управления током в плазменной энергетике.
19. Самостоятельный разряд. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле. Зависимость тока разряда во времени. Потенциал зажигания.
20. Особенности применения зондов различной геометрии в максвелловской и анизотропной плазме.
21. Роль сужений в плазменном канале для управления свойствами плазмы и энергетическими характеристиками плазменных приборов.
22. Интеграл электрон-атомных столкновений в аксиально-симметричной плазме и его экспериментальное определение.
23. Взаимодействие плазмы с поверхностью. Коэффициент отражения низкоэнергетичных электронов и его измерение с помощью магнитного поля.
24. Методы контроля и борьбы с плазменными неустойчивостями в приборах плазменной энергетике.
25. Тлеющий разряд. Распределение параметров по длине разрядного промежутка. ВАХ тлеющего разряда. Определение условий зажигания тлеющего разряда и его поддержание.
26. Использование зондов для исследования гетерогенных процессов в плазме.
27. Условия образования двойных слоев в прикатодной плазме и принципы магнитной диагностики.
28. Атомные и поверхностные явления в плазме. Упругое рассеяние, перезарядка, возбуждение, ионизация, рекомбинация и захват электрона.
29. Режимы работы электрического зонда: ленгмюровский и режим сплошной среды.
30. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.

Примеры билетов для экзамена

Билет 1

1. Основные представления об элементарных процессах. Сечение реакций, средняя длина пробега, средняя энергия и температура. Единицы измерения этих величин.
2. Положения теории Ленгмюра для электрического зонда. Общий вид зондовой вольт-амперной характеристики. Электронная часть характеристики при отрицательном и положительном потенциале зонда. Ионная часть характеристики.
3. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.

Билет 2

1. Физическая кинетика плазмы. Функция распределения и фазовое пространство. Уравнения Больцмана и Власова.
2. Магнитные и электрические зонды. Элементы зондовых систем и их параметры. Методы получения энергетического распределения электронов из зондовых измерений.
3. Виды дуг: дуга с горячим термоэмиссионным катодом, дуги с внешним накалом катода, дуги с "холодным" катодом и катодными пятнами, вакуумная дуга, дуга высокого давления, дуга сверхвысокого давления, дуги низкого давления.

Билет 3

1. Макроскопические свойства плазмы. Квазинейтральность плазмы. Электростатическое экранирование. Дебаевский радиус экранирования; частота плазменных колебаний. Плазма как сплошная среда.
2. Факторы, вносящие искажение в вольт-амперную характеристику ленгмюровского зонда.
3. Перспективы повышения энергетических характеристик кнудсеновского термоэмиссионного преобразователя за счет использования многополостного катода в газокинетическом режиме.

Билет 4.

1. Колебания и волны в холодной плазме. Генерация волн при взаимодействии пучков заряженных частиц с плазмой. Затухание Ландау.
2. Зондовый метод для диагностики сильнонеравновесной анизотропной плазмы. Восстановление угловых и энергетических зависимостей полной функции распределения электронов по скоростям.
3. Плазменно-энергетические технологии. Электрокинетические характеристики плазменного диода в режиме НПП в легких инертных газах.

Билет 5.

1. Двужидкостная модель плазмы. Обобщенный закон Ома для плазмы. Проводимость плазмы; тензор сопротивления и тензор проводимости. Кулоновские столкновения, сечение кулоновских столкновений, кулоновский логарифм.
2. Неконтактные методы исследования плазмы. Основы магнитной диагностики.
3. Перспективные конструкции и преимущества плазменных ключевых элементов с цезий-бариевым наполнением.

Билет 6

1. Дрейф электронов в слабоионизованном газе. Диффузия электронов в плазме при наличии электрического и магнитного полей. Амбиполярная и свободная диффузия.
2. Особенности применения зондового метода при диагностике асимметричных плазменных объектов.
3. Физические принципы перехода кнудсеновской дуги в нестационарный режим. Явление самопроизвольного обрыва тока и его применения для управления током в плазменной энергетике.

Билет 7

1. Самостоятельный разряд. Пробой и зажигание самостоятельного разряда в постоянном однородном поле. Зависимость тока разряда во времени. Потенциал зажигания.
2. Особенности применения зондов различной геометрии в максвелловской и анизотропной плазме.
3. Роль сужений в плазменном канале для управления свойствами плазмы и энергетическими характеристиками плазменных приборов.

Билет 8

1. Интеграл электрон-атомных столкновений в аксиально-симметричной плазме и его экспериментальное определение.
2. Взаимодействие плазмы с поверхностью. Коэффициент отражения низкоэнергетичных электронов и его измерение с помощью магнитного поля.
3. Методы контроля и борьбы с плазменными неустойчивостями в приборах плазменной энергетики.

Билет 9

1. Тлеющий разряд. Распределение параметров по длине разрядного промежутка. ВАХ тлеющего разряда. Определение условий зажигания тлеющего разряда и его поддержание.
2. Использование зондов для исследования гетерогенных процессов в плазме.
3. Условия образования двойных слоев в прикатодной плазме и принципы магнитной диагностики.

Билет 10

1. Атомные и поверхностные явления в плазме. Упругое рассеяние, перезарядка, возбуждение, ионизация, рекомбинация и захват электрона.
2. Режимы работы электрического зонда: ленгмюровский и режим сплошной среды.
3. Коэффициент отражения тепловых электронов от поверхности и эмиссионная неоднородность катодов.

7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети «Интернет»

7.1. Обеспеченность литературой

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:

6. Ферми, Э. Квантовая механика Notes on Quantum Mechanics : (конспект лекций) / Э. Ферми. - М. : Мир, 1968. - 367 с.
7. Франк-Каменецкий, Д. А. Лекции по физике плазмы: учеб. пособие для вузов / Д. А. Франк-Каменецкий. - Изд. 2-е. - М. : Атомиздат, 1968. - 285 с.

8. 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.

90. 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.

10. 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.

7.2. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта

— Методические указания для самостоятельной работы аспирантов ior.spmi.ru;

— Индивидуальное задание по дисциплине.

7.3. 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>

7.4 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>

7.5 Современные профессиональные базы данных:

-Электронная база данных Scopus <https://scopus.com>

-«Clarivate Analytics» <https://Clarivate.com>

-«Springer Nature» <http://100k20.ru/products/journals/>

7.6 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/>.

4. Программное обеспечение Норма CS «Горное дело и полезные ископаемые» <https://softmap.ru/normacs/normacs-gornoe-delo-i-poleznye-iskopaemye/>

5. Информационно-справочная система «Техэксперт: Базовые нормативные документы» <http://www.cntd.ru/>

6. Программное обеспечение «База знаний: гидрогеология, инженерная геология и геоэкология» <http://www.geoinfo.ru>

8. Материально-техническое обеспечение

Перечень материально-технического обеспечения включает в себя технические средства обучения, служащие для представления информации (мультимедийные доски, проекторы, и т.д.). Имеются специальные помещения для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования, которые укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

8.1. Специальные помещения для проведения лекционных, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации

1. Аудитория для проведения лекционных занятий: 128 посадочных мест. Стол – 65 шт., стул – 128 шт., кресло преподавателя – 1 шт. (128 посадочных мест + рабочее место преподавателя), доска настенная белая магнитно-маркерная – 2 шт., переносная трибуна – 1 шт., плакат – 4 шт., Мультимедийное оборудование – 1 установка, проектор – 2 шт., экран – 2 шт. (с возможностью подключения к сети «Интернет»).

2. Аудитория для проведения практических занятий, самостоятельной работы, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. 30 посадочных мест. Стол – 16 шт., стул – 30 шт., кресло преподавателя – 1 шт. (30 посадочных мест + рабочее место преподавателя), доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная – 1 шт., доска настенная белая магнитно-маркерная – 1 шт., переносная настольная трибуна – 1 шт., плакат – 4 шт. Лабораторные установки: 1. Комплекс Учебно-научный волновой и квантовой оптики; 2. Установка для голографической записи и воспроизведения объёмных изображений; 3. Установка для создания, настройки и юстировки гелий-неонового (He-Ne) лазера; 4. Установка по демонстрации метода лазерной доплеровской анемометрии для измерения; 5. Установка по демонстрации принципов работы оптоволоконной оптики.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011), Microsoft Office 2007 Standard (Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007), Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17), 7-zip (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), Foxit Reader (свободно распространяемое ПО), SeaMonkey (свободно распространяемое ПО), Chromium (свободно распространяемое ПО), Java Runtime Environment (свободно распространяемое ПО), doPDF (свободно распространяемое ПО), GNU Image Manipulation Program (свободно распространяемое ПО), Inkscape (свободно распространяемое ПО), XnView (свободно распространяемое ПО), K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО), FAR Manager (свободно распространяемое ПО).

8.2. Помещения для самостоятельной работы

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: ГК № 1464-12/10 от 15.12.10 «На поставку компьютерного оборудования» ГК № 959-09/10 от 22.09.10 «На поставку компьютерной техники», ГК № 447-06/11 от 06.06.11 «На поставку оборудования», ГК № 984-12/11 от 14.12.11 «На поставку оборудования», Договор № 1105-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», Договор № 1106-12/11 от 28.12.2011 «На поставку компьютерного оборудования», ГК № 671-08/12 от 20.08.2012 «На поставку продукции», Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 48358058 от

11.04.2011, Microsoft Open License 49487710 от 20.12.2011, Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011, Microsoft Office 2010 Standard: Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, Microsoft Open License 60853086 от 31.08.2012. Kaspersky antivirus 6.0.4.142

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места аспирантов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Операционная система Microsoft Windows XP Professional: Microsoft Open License 16020041 от 23.01.2009.

Операционная система Microsoft Windows 7 Professional Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011.

Microsoft Office 2007 Standard Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007.

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для аспирантов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для аспирантов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для аспирантов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional: Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011.

Microsoft Office 2007 Professional Plus: Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010.

CorelDRAW Graphics Suite X5 Договор №559-06/10 от 15.06.2010 «На поставку программного обеспечения».

Autodesk product: Building Design Suite Ultimate 2016, product Key: 766H1

Cisco Packet Tracer 7.1 (свободно распространяемое ПО), Quantum GIS (свободно распространяемое ПО), Python (свободно распространяемое ПО), R (свободно распространяемое ПО), Rstudio (свободно распространяемое ПО), SMath Studio (свободно распространяемое ПО), GNU Octave (свободно распространяемое ПО), Scilab (свободно распространяемое ПО)

8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования

1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2010 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:

Оснащенность: стол – 2 шт., стулья – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

Перечень лицензионного программного обеспечения: Microsoft Windows 7 Professional (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 48358058 от 11.04.2011)

Microsoft Office 2007 Professional Plus (Лицензионное соглашение Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010)

Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security (Договор № Д810(223)-12/17 от 11.12.17)

8.4. Библиотека Университета

Месторасположение	Оснащенность	Автоматизированная информационно-библиотечная система (АИБС)
Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д.2, Учебный центр №1, Ауд. № 1165 Читальный зал	Аппарат Xerox W.Centre 5230- 1 шт; Сканер K.Filem - 1 шт; Копир. Аппарат -1 шт; Кресло – 521AF-1 шт; Монитор ЖК HP22-1 шт; Монитор ЖК S.17-11 шт; Принтер HP L/Jet-1 шт; Системный блок HP6000 Pro-1 шт; Системный блок Ramec S. E4300-10 шт; Сканер Epson V350-5 шт; Сканер Epson 3490-5 шт; Стол 160*80*72-1 шт; Стул 525 WFH030-12 шт; Шкаф каталожн. -20 шт; Стул «Кодоба» - 22 шт; Стол 80*55*72-10 шт	MARK-SQL, Ирбис
Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д.2, Учебный центр №1, Ауд. № 1171 Читальный зал	Книжный шкаф 1000*3300*400-17 шт; Стол, 400*180 Титаник «Рисо» - 1 шт; Стол письменный с тумбой - 37 шт; Кресло «Cannes» черное-42 шт; Кресло (кремовое) -37 шт; Телевизор 3DTV Samsung UE85S9AT-1 шт; Монитор Benq 24-18 шт; Цифровой ИК-трансивер TAIDEN -1 шт; Пульт для презентаций R700-1 шт; Моноблок Lenovo 20 HD 19 шт; Сканер Xerox 7600- 4шт;	
Санкт-Петербург, В.О., Малый пр., д.83, Инженерный корпус Ауд. № 327-329 Читальные залы	Компьют. Кресло 7875 A2S – 35 шт; Стол компьютер. – 11 шт; Моноблок Lenovo 20 HD 16 шт; Доска настенная белая -- 1 шт; Монитор ЖК Philips - 1 шт; Монитор HP L1530 15ft - 1 шт; Сканер Epson Perf.3490 Photo - 2 шт; Системный блок HP6000 – 2 шт; Стеллаж открытый- 18 шт; Микрофон Д-880 с 071с.ч.- - 2 шт;	

	Книжный шкаф - 15 шт; Парта- 36 шт; Стул- 40 шт	
--	---	--

8.5. Лицензионное программное обеспечение

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 «На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2010 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 60799400 от 20.08.2012, договор бессрочный Microsoft Open License 47665577 от 10.11.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 49379550 от 29.11.2011)

ЛИСТ АКТУАЛИЗАЦИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины «*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