

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Введение в физику плазмы

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма
и аттосекундная физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

д.ф.-м.н., профессор физического факультета МГУ М.В. Кузелев

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Введение в физику плазмы»

В курсе изучаются линейные и нелинейные коллективные электромагнитные явления в изотропной и магнитоактивной плазме.

Представлены общие сведения о плазме и ее свойствах. Обоснованы основные модели, используемые для описания плазмы. Изложены основы электродинамики плазмы и плазмopodobных сред. Изложена гидродинамическая теория волн в однородной изотропной и магнитоактивной плазме. Обсуждены основы кинетической теории волн в плазме.

Рассмотрены неустойчивости неравновесной плазмы. Исследованы электромагнитные явления в пространственно ограниченной и в неоднородной плазме. Изложена гидродинамическая теория нелинейного взаимодействия волн в плазме. Рассмотрены некоторые вопросы кинетической теории нелинейного взаимодействия волн в плазме. Изложены основы теории нелинейного взаимодействия волн и частиц в плазме.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Введение в физику плазмы» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре и относится к обязательной части программы обучения.

В результате освоения дисциплины «Введение в физику плазмы» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	<p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).	<p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области экстремальных	<p>ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p> <p>УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и</p>

<p>электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики (СПК-3).</p>	<p>аттосекундной физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области экстремальных электромагнитных полей, релятивистской плазмы и аттосекундной физики.</p>
--	--

4. **Форма обучения:** очная

5. **Язык обучения:** русский

6. **Содержание дисциплины:**

Тема 1. Общие сведения о плазме. Основные модели, используемые для описания плазмы

Основные понятия физики плазмы. Бесстолкновительное кинетическое уравнение с самосогласованным полем. Многожидкостная гидродинамика холодной плазмы. Одножидкостная гидродинамика неизотермической плазмы. Столкновения в плазме. Уравнения магнитной гидродинамики. Уравнения квантовой плазмы.

Тема 2. Основы электродинамики плазмы и плазмopodobных сред

Уравнения электромагнитного поля в плазме и плазмopodobных средах. Комплексные тензоры проводимости и диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса-Кронига. Плоские электромагнитные волны в диспергирующих средах. Энергии волн. Импульсы волн. Поток энергии.

Тема 3. Гидродинамическая теория волн в однородной изотропной плазме

Диэлектрическая проницаемость изотропной плазмы в гидродинамическом приближении. Гидродинамическая теория продольных волн в плазме. Гидродинамическая теория поперечных электромагнитных волн в плазме. Проникновение поперечного и продольного поля в плазму. Диффузия и амбиполярная диффузия в плазме.

Тема 4. Гидродинамическая теория волн в однородной магнитоактивной плазме

Тензор диэлектрической проницаемости холодной магнитоактивной плазмы. Электромагнитные волны в холодной магнитоактивной плазме. Вращение плоскости поляризации электромагнитной волны при ее распространении в плазме вдоль внешнего магнитного поля. Магнитогидродинамические волны.

Тема 5. Кинетическая теория волн в изотропной плазме

Продольная и поперечная диэлектрические проницаемости максвелловской плазмы. Продольные волны в максвелловской плазме. Затухание Ландау. Продольные волны в вырожденной плазме. Поперечные волны в максвелловской и вырожденной плазмах. Аномальный скин-эффект. Учет столкновений в кинетической теории волн в плазме. Диэлектрическая проницаемость и волны в горячей квантовой плазме.

Тема 6. Неустойчивости неравновесной плазмы

Критерии неравновесности плазмы. Волны с отрицательной энергией. Неустойчивость электронного пучка в плазме. Неустойчивость плазмы с током. Гидродинамические и кинетические неустойчивости.

Тема 7. Электромагнитные свойства пространственно ограниченной плазмы

Отражение и преломление электромагнитных волн на резкой границе плазмы. Поверхностные волны на границе плазмы. Поверхностные волны плазменного слоя. Возбуждение поверхностных волн. Плазменный конденсатор. Плазменные волноводы.

Тема 8. Электромагнитные явления в неоднородной плазме

Приближение геометрической оптики для волн В-типа. Приближение геометрической оптики для волн Е-типа. Плазменный резонанс. Правила квантования для волн в неоднородной плазме. Поверхностные волны в плазме с плавной границей.

Тема 9. Гидродинамическая теория нелинейного взаимодействия волн в плазме

Линейное взаимодействие волн. Особенности нелинейного взаимодействия волн в плазме. Уравнения резонансного трехволнового взаимодействия в плазме. Вынужденное рассеяние электромагнитных волн в плазме. Двухплазмонный распад. Вынужденное рассеяние Манделъштама-Бриллюена.

Тема 10. Некоторые вопросы кинетической теории нелинейного взаимодействия волн в плазме

Индукированное рассеяние продольных волн в плазме. Эхо в плазме

Тема 11. Нелинейное взаимодействие волн и частиц в плазме

Захват заряженных частиц волнами в плазме. Релаксация пучковой неустойчивости. Квазилинейная теория плазмы.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий				
			Общая	лекц.	семинар.	СР	
Введение в физику плазмы	2	72	36	18	18	36	

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Введение в физику плазмы» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к аудиторным занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на аудиторных занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Общие сведения о плазме. Основные модели, используемые для описания плазмы	10	3		3	5	Собеседование, опрос
2	Основы электродинамики плазмы и плазмаподобных сред	8	2		2	4	
3	Гидродинамическая теория волн в однородной изотропной плазме	6	2		1	3	
4	Гидродинамическая теория волн в однородной магнитоактивной плазме	12	1		2	3	
5	Кинетическая теория волн в изотропной плазме	8	2	-	2	4	
6	Неустойчивости неравновесной плазмы	6	2	-	1	3	
7	Электромагнитные свойства пространственно ограниченной плазмы	6	1		2	3	
8	Электромагнитные явления в неоднородной плазме	4	1		1	2	
9	Гидродинамическая теория нелинейного взаимодействия волн в плазме	8	2		2	4	
10	Некоторые вопросы кинетической теории нелинейного взаимодействия волн в плазме	4	1		1	2	
11	Нелинейное взаимодействие волн и частиц в плазме	6	1		1	3	
	Промежуточная аттестация	4				4	Экзамен в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Введение в физику плазмы» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора,

аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Введение в физику плазмы» проводится в форме зачета. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5

<p>ЗНАТЬ: основные уравнения электродинамики плазмы</p> <p>ОПК-3.Б 3-6</p>	<p>Отсутствие знаний основных уравнений электродинамики плазмы</p>	<p>В целом успешные, но не систематические знания основных уравнений электродинамики плазмы</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных уравнений электродинамики плазмы</p>	<p>Успешные и систематические знания основных уравнений электродинамики плазмы</p>
<p>УМЕТЬ: вычислять диэлектрические проницаемости плазмы</p> <p>ОПК-3.Б У-6</p>	<p>Отсутствие умения вычислять диэлектрические проницаемости плазмы</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение вычислять диэлектрические проницаемости плазмы</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять диэлектрические проницаемости плазмы</p>	<p>Успешное и систематическое умение вычислять диэлектрические проницаемости плазмы</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: методами расчета спектров частот плазменных волн</p> <p>ОПК-3.Б В-6</p>	<p>Отсутствие/фрагментарное владение методами расчета спектров частот плазменных волн</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение методами расчета спектров частот плазменных волн</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами расчета спектров частот плазменных волн</p>	<p>Успешное и систематическое владение методами расчета спектров частот плазменных волн</p>

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Вычислить ленгмюровскую частоту и дебаевский радиус электрон-ионной плазмы по заданным плотностям и температурам электронов и ионов
2. Записать систему уравнений одножидкостной гидродинамики неизотермической плазмы
3. Написать выражение для инкремента резонансной черенковской пучковой неустойчивости в плазме
4. Вычислить ионнозвуковую скорость в водородной плазме с заданными температурой и плотностью электронов

5. Оценить газовый (плазменный) параметр плазмы с заданными температурой и плотностью

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Определение плазмы. Условие квазинейтральности. Плазменный параметр.
2. Плазменные колебания и дебаевское экранирование.
3. Функции распределения равновесной плазмы.
4. Уравнение Власова с самосогласованным полем
5. Система уравнений многожидкостной гидродинамики холодной плазмы.
6. Система уравнений одножидкостной гидродинамики неизотермической плазмы.
7. Уравнения электромагнитного поля в плазме. Граничные условия.
8. Комплексные тензоры проводимости и диэлектрической проницаемости. Понятия о временной и пространственной дисперсии.
9. Соотношения Крамерса-Кронига.
10. Дисперсионная функция. Дисперсионное уравнение. Собственные волны. Дисперсионный оператор.
11. Диэлектрическая проницаемость изотропной плазмы.
12. Продольные волны в изотропной плазме.
13. Поперечные волны в изотропной плазме.
14. Проникновение продольного и поперечного поля в плазму.
15. Бесстолкновительное затухание Ландау.
16. Диффузия и амбиполярная диффузия в изотропной плазме.
17. Тензор диэлектрической проницаемости холодной магнитоактивной плазме.
18. Электромагнитные волны в магнитоактивной плазме, распространяющиеся вдоль внешнего магнитного поля.
19. Вращение плоскости поляризации электромагнитных волн в магнитоактивной плазме.
20. Продольные волны в вырожденной плазме. Нулевой звук.
21. Черенковская пучковая неустойчивость в плазме.
22. Неустойчивости при прохождении электронного тока в плазме.
23. Поверхностные волны в плазме с резкими границами.
24. Волноводы с изотропной и полностью замагниченной плазмой.
25. Плазменный конденсатор.
26. Приближение геометрической оптики в неоднородной плазме. Плазменный резонанс.
27. Уравнения резонансного трехволнового взаимодействия в плазме.
28. Двухплазмонный распад.
29. Вынужденное рассеяние электромагнитных волн в плазме.
30. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена в плазме.
31. Явление плазменного эха.
32. Нелинейный захват электронов ленгмюровскими волнами в плазме.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. А.Ф. Александров, Л.С. Богданкевич, А.А. Рухадзе. Основы электродинамики плазмы. М.: Высшая школа, 1988.
2. М.В. Кузелев. Волновые явления в средах с дисперсией. М.: ЛЕНАНД, 2018.

3. Н. Кролл, А. Трайвелпис. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.

Дополнительная литература.

1. М.В. Кузелев, А.А. Рухадзе. Методы теории волн в средах с дисперсией. М: Физматлит, 2007.
2. М.В. Кузелев, А.А. Рухадзе. Электродинамика плотных электронных пучков в плазме. М.: Физматлит, 1990; М.: ЛЕНАНД, 2018.
3. М.В. Кузелев, А.А. Рухадзе, П.С. Стрелков. Плазменная релятивистская СВЧ- электроника. М.: ЛЕНАНД, 2018.
3. А.Ф.Александров, М.В. Кузелев. Радиофизика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники. М: Изд. «Книжный дом «Университет»», 2007.
5. В.Л.Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. 1960.
6. В.Л.Гинзбург, А.А.Рухадзе. Волны в магнитоактивной плазме. М: Наука, 1975.
7. В.П.Силин, А.А.Рухадзе. Электромагнитные свойства плазмы и плазмоподобных сред. М: Атомиздат, 1961.
8. А.И. Ахиезер и др. Электродинамика плазмы. М.: Наука, 1974.
9. Б.Б.Кадоццев. Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.

Интернет-ресурсы.

- physelec.phys.msu.ru

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, управляющим компьютером, экраном и обычной учебной доской.