

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физика плазмы
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.С. Бескин, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 30.03.2020

Аннотация

Дисциплину «Физика плазмы» можно смело отнести к одному из ключевых базовых курсов общефизической подготовки. На примере изучения процессов, происходящих в плазме – четвертом состоянии вещества – можно подробно, шаг за шагом, продемонстрировать мощь аналитических подходов, которые изучались на третьем курсе. При этом анализ идет от простых методов (движение отдельных частиц) до более и более сложных (гидродинамический и кинетический подходы). Тем самым, удастся проследить возможности рассматриваемых методов, а также сформулировать основные подходы и методы решения задач (метод уравнения Грэда-Шафранова в магнитной гидродинамике, метод интегрирования по траекториям в физической кинетике). Знакомство с основными процессами, происходящими в плазме, позволяют в дальнейшем уверенно себя чувствовать при решении многих задач, связанных не только с теорией плазмы, но и с другими областями современной физики.

Напомним, что основным отличием, характеризующим состояние плазмы от других состояний вещества, является кулоновское дальнее действие при взаимодействии частиц. Поэтому по своей сути задача становится многочастичной. Именно ознакомление с методами решения подобных задач, когда ключевую роль играют коллективные эффекты, и является стержнем настоящего курса. Ну и естественно значение этого курса связано с большим количеством приложений в самых различных областях физики и техники.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики плазмы, магнитной гидродинамики и космической плазменной астрофизики и методов их исследования, а также областей их практического применения.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики плазмы, магнитной гидродинамики и космической плазменной астрофизики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам теоретической физики и астрофизики;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области астрофизики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников

работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
---	---

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики плазмы, плазменной астрофизики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания.

владеть:

научной картиной мира; навыками самостоятельной работы при аналитическом и математическом моделировании физических задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Условия в космической плазме, роль магнитного поля.	2	1		4
2	Заряженные частицы в электромагнитном поле.	2	1		4
3	Уравнения идеальной и неидеальной гидродинамики.	2	1		4
4	Одножидкостная магнитная гидродинамика.	2	1		4
5	Альфвеновские и магнитозвуковые волны.	2	1		4
6	Ударные волны. Тангенциальные и вращательные разрывы.	2	1		4
7	Диэлектрическая проницаемость плазмы. Одночастичный и гидродинамический подход.	2	1		4
8	Плотность и поток энергии для волн в плазме.	2	1		4
9	Диэлектрическая проницаемость плазмы. Кинетический подход.	2	1		4
10	Двухжидкостная гидродинамика.	2	1		4
11	Качественный анализ коэффициентов переноса.	2	1		4
12	Одножидкостный предел.	2	1		4

13	Обобщенный закон Ома. Бомовская диффузия.	2	1		4
14	Стационарные решения.	2	1		4
15	Токовые слои. Пинчи.	2	1		4
Итого часов		30	15		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Условия в космической плазме, роль магнитного поля.

Элементарный вывод для сечения рассеяния, длин пробега. Коллективные колебания в плазме. Дебаевское экранирование и дебаевская сфера.

2. Заряженные частицы в электромагнитном поле.

Электрический, градиентный и центробежный дрейф. Радиационные пояса. Ускорение Ферми первого и второго рода. Проблема удержания плазмы.

3. Уравнения идеальной и неидеальной гидродинамики.

Проблема замыкания уравнений. Звуковые волны. Энтропийные волны.

4. Одножидкостная магнитная гидродинамика.

Основные уравнения. Условия применимости. Магнитное число Рейнольдса.

5. Альфвеновские и магнитозвуковые волны.

Фазовые и групповые поляры. Магниторотационная неустойчивость.

6. Ударные волны. Тангенциальные и вращательные разрывы.

Условия на разрывах. Ударные волны. Условие эволюционности.

7. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Одночастичный и гидродинамический подход.

Одночастичный и гидродинамический подход. Ленгмюровские и ионозвуковые колебания в плазме. Пучковая неустойчивость.

8. Плотность и поток энергии для волн в плазме.

Иерархия Боголюбова. Уравнение Власова.

9. Диэлектрическая проницаемость плазмы. Кинетический подход.

Кинетический подход. Затухание Ландау. Диэлектрическая проницаемость неоднородной плазмы.

10. Двухжидкостная гидродинамика.

Уравнения на моменты. Система уравнений двухжидкостной гидродинамики.

11. Качественный анализ коэффициентов переноса.

Сила трения. Термосила. Коэффициенты переноса. Вязкий нагрев. Скорость передачи энергии между электронами и протонами.

12. Одножидкостный предел.

Электронейтральность и большое отношение массы протона к массе электрона как необходимые условия для возможности одножидкостного подхода.

13. Обобщенный закон Ома. Бомовская диффузия.

Обобщенный закон Ома. Бомовская диффузия и ограничения классического подхода.

14. Стационарные решения.

Теорема Ферми-Чандрасекара.

15. Токовые слои. Пинчи.

Одномерные конфигурации (токовый слой, тета- и z- пинч). Условие Беннета. Токовые слои.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная доской. Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Осесимметричные стационарные течения в астрофизике [Текст] : учеб. пособие для вузов по направлению 010600 "Физика" и специальностям 010701 "Физика" и 010702 "Астрономия" / В. С. Бескин .— М. : Физматлит, 2005 .— 384 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006 .— 736 с.
3. Вопросы теории плазмы [Текст]. Вып. 1, сборник статей/под ред. М. А. Леонтовича, -М., Атомиздат, 1963
4. Электродинамика Плазмы. Под ред. А.И. Ахиезера. - М.: «Наука», 1974.

Дополнительная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 8 : Электродинамика сплошных сред : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1992, 2001, 2003, 2005 .— 662 с.
2. Коллективные явления в плазме [Текст]/Б. Б. Кадомцев, -М., Наука, 1988

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Астрофизические журналы (Астрономический Журнал, Письма в Астрономический Журнал, УФН, ЖЭТФ), интернет-ресурсы (<http://astrolyceum.lpi.ru>, <http://astronet.ru>), электронные конспекты лекций.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра проблем физики и астрофизики
курс: 4
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Экзамен

Разработчик: В.С. Бескин, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика плазмы» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики плазмы, плазменной астрофизики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания.

владеть:

научной картиной мира; навыками самостоятельной работы при аналитическом и математическом моделировании физических задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Контрольные вопросы:

1. Элементарный вывод для сечения рассеяния, длин пробега. Дебаевское экранирование и дебаевская сфера.
2. Электрический, градиентный и центробежный дрейф.
3. Звуковые волны. Дозвуковое и сверхзвуковое течение. Энтропийные волны.
- 4.. Вмороженность. Магнитное число Рейнольдса.
5. Альфвеновские и магнитозвуковые волны. Фазовые и групповые поляры.
6. Тангенциальные и вращательные разрывы. Условие эволюционности.
7. Ленгмюровские и ионозвуковые колебания в плазме. Пучковая неустойчивость.

8. Плотность и поток энергии для волн в плазме.
9. Затухание Ландау.
10. Система уравнений двухжидкостной гидродинамики.
11. Сила трения. Термосила. Коэффициенты переноса. Вязкий нагрев. Скорость передачи энергии между электронами и протонами.
12. Обобщенный закон Ома. Бомовская диффузия и ограничения классического подхода.
14. Условие Беннета. Токовые слои.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов

1. Условия в космической плазме, роль магнитного поля. Элементарный вывод для сечения рассеяния, длин пробега. Коллективные колебания в плазме. Простейшее описание. Дебаевское экранирование и дебаевская сфера.
2. Заряженные частицы в электромагнитном поле. Движение частиц в слабо неоднородных полях. Электрический, градиентный и центробежный дрейф. Радиационные пояса. Ускорение Ферми первого и второго рода. Лабораторная плазма. Проблема удержания плазмы.
3. Уравнения идеальной гидродинамики. Уравнения неидеальной гидродинамики. Проблема замыкания уравнений. Звуковые волны. Дозвуковое и сверхзвуковое течение. Энтропийные волны.
4. Одножидкостная магнитная гидродинамика. Основные уравнения. Условия применимости. Вмороженность. Магнитное число Рейнольдса.
5. Альфвеновские и магнитозвуковые волны. Фазовые и групповые поляры. Магниторотационная неустойчивость.
6. Ударные волны. Тангенциальные и вращательные разрывы. Условия на разрывах. Ударные волны. Условие эволюционности.
7. Диэлектрическая проницаемость плазмы: одночастичный и гидродинамический подход. Ленгмюровские и ионозвуковые колебания в плазме. Пучковая неустойчивость.
8. Плотность и поток энергии для волн в плазме. Иерархия Боголюбова. Уравнение Власова.
9. Диэлектрическая проницаемость плазмы: кинетический подход. Затухание Ландау. Диэлектрическая проницаемость неоднородной плазмы.
10. Двухжидкостная гидродинамика как следствие кинетических уравнений. Уравнения на моменты. Система уравнений двухжидкостной гидродинамики.
11. Качественный анализ коэффициентов переноса. Сила трения. Термосила. Коэффициенты переноса. Вязкий нагрев. Скорость передачи энергии между электронами и протонами.
12. Одножидкостный предел. Электронейтральность и большое отношение массы протона к массе электрона как необходимые условия для возможности одножидкостного подхода.
13. Одножидкостный предел. Обобщенный закон Ома. Бомовская диффузия и ограничения классического подхода.
14. Стационарные решения. Теорема Ферми-Чандрасекара. Одномерные конфигурации (токовый слой, тета- и z- пинч). Условие Беннета. Токовые слои.

Примеры контрольных заданий

1. Найти максимальный инкремент пучковой неустойчивости.
2. Записав уравнения идеальной магнитной гидродинамики в цилиндрических координатах, определить инкремент нарастания магниторотационной неустойчивости. Для простоты выбрать волновой вектор и магнитное поле перпендикулярно плоскости вращения плазмы.
3. Определить декремент затухания альфвеновской, энтропийной и вихревой волн.
4. В какие моды переходят вихревые волны при наложении бесконечно малого магнитного поля? Рассмотреть случай произвольной ориентации магнитного поля.
5. Для гидродинамического тензора диэлектрической проницаемости в магнитном поле записать условие на угол между волновым вектором и полем, при котором реализуется квази-поперечное распространение (поляризация волн уже не является круговой).
6. Получить выражение для нагрева холодных ($T_p = 0$) протонов горячими электронами.

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Условия в космической плазме, роль магнитного поля.
2. Плотность и поток энергии для волн в плазме.

Билет 2.

1. Заряженные частицы в электромагнитном поле. Движение частиц в слабо неоднородных полях. Электрический, градиентный и центробежный дрейф.
2. Диэлектрическая проницаемость плазмы: кинетический подход.

Билет 3.

1. Элементарный вывод для сечения рассеяния, длин пробега. Коллективные колебания в плазме. Простейшее описание.
2. Иерархия Боголюбова.

Билет 4.

1. Радиационные пояса. Ускорение Ферми первого и второго рода.
2. Затухание Ландау.

Билет 5.

1. Дебаевское экранирование и дебаевская сфера.
2. Уравнение Власова.

Билет 6.

1. Лабораторная плазма. Проблема удержания плазмы.
2. Диэлектрическая проницаемость неоднородной плазмы.

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.