

**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:	Релятивистская и плазменная астрофизика
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: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 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

Дисциплина «Релятивистская и плазменная астрофизика» посвящена подробному введению в современные модели релятивистских компактных объектов – радиопульсаров и активных галактических ядер. Именно эти объекты в настоящее время находятся на переднем крае современной астрофизики, поскольку до сих пор многие ключевые процессы, ответственные за их активность, до сих пор не выяснены. Так, например, неизвестен механизм радиоизлучения пульсаров, а также механизм запуска, состав и строение релятивистских струйных выбросов из активных ядер галактик.

Важно, однако, то, что этот курс является в значительной степени теорфизическим, так как рассмотрение природы активности большого количества различных астрофизических объектов проводится как развитие одного универсального подхода, связанного с методом уравнения Грэда-Шафранова. Поэтому этот курс может быть интересен широкому кругу исследователей, которые сталкиваются с задачами физики плазмы, эффектами общей теорией относительности, ну и конечно звездной астрономии и физики радиопульсаров и активных галактик.

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 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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль релятивистской и плазменной астрофизики в научных исследованиях;
- современные проблемы релятивистской и плазменной астрофизики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в астрофизических источниках;
- новейшие открытия в астрофизике.

уметь:

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

владеть:

- навыками обработки результатов наблюдений;
- навыками самостоятельной теоретической работы по исследованию процессов, происходящих в космосе.

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	Релятивистские объекты в астрофизике.	2	2		3
2	Аккреция Бонди. Эжекция Паркера.	2	2		3
3	Подход Грэда-Шафранова. Нерелятивистская и релятивистская версии.	4	4		6
4	Аккреция пыли на вращающуюся черную дыру.	2	2		3
5	Радиопульсары.	2	2		3
6	Радиопульсары. Строение магнитосферы.	2	2		3
7	Радиопульсары. Торможение токами.	2	2		3
8	Черные дыры - астрофизический обзор.	2	2		3
9	Черные дыры.	2	2		3
10	Магнитосфера черной дыры.	2	2		3
11	Процесс Блендфорда-Знайека.	2	2		3
12	Струйные выбросы из активных галактических ядер и молодых звезд.	2	2		3
13	Полная МГД версия уравнения Грэда-Шафранова.	2	2		3
14	Цилиндрические и другие точные решения.	2	2		3
Итого часов		30	30		45
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. Релятивистские объекты в астрофизике.

Нейтронные звезды и черные дыры. Роль магнитного поля.

2. Аккреция Бонди. Эжекция Паркера.

Аккреция Бонди. Условия на звуковой поверхности. Определение темпа аккреции.

Эжекция Паркера. Условия на звуковой поверхности.

3. Подход Грэда-Шафранова. Нерелятивистская и релятивистская версии.

Нерелятивистская версия. Уравнение Грэда-Шафранова. Бессиловое приближение.

Ковариантная запись уравнения Грэда-Шафранова. Релятивистская версия – точные решения.

4. Аккреция пыли на вращающуюся черную дыру.

Аккреция пыли на вращающуюся черную дыру. Аккреция Бонди-Хойла.

5. Радиопульсары.

Астрофизический обзор. Модель полого конуса.

6. Радиопульсары. Строение магнитосферы.

Магнитосфера нейтронной звезды. Пульсарное уравнение.

7. Радиопульсары. Торможение токами.

Торможение ортогонального и наклонного ротатора.

8. Черные дыры - астрофизический обзор.

Магнитосфера черной дыры. Проблема ‘центральной машины’.

9. Черные дыры.

Теорема об отсутствии волос. Термодинамика черных дыр.

10. Магнитосфера черной дыры.

Релятивистская версия бессилового уравнения Грэда-Шафранова.

11. Процесс Блендфорда-Знайека.

Эффект Блендфорда-Знайека. Отсутствие поверхностных токов.

12. Струйные выбросы из активных галактических ядер и молодых звезд.

Астрофизический обзор.

13. Полная МГД версия уравнения Грэда-Шафранова.

Проблема прохождения особых поверхностей.

14. Цилиндрические и другие точные решения.

Анализ решений, следствия. Асимптотики. Сравнение с результатами численного моделирования.

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.

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. Липунов В.М. Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1986
3. Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. М.: Мир, 1985
4. Б.В.Сомов. Космическая электродинамика и физика Солнца. Изд. Московского Университета, 1993

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 «Релятивистская и плазменная астрофизика» обучающийся должен:

знать:

- место и роль релятивистской и плазменной астрофизики в научных исследованиях;
- современные проблемы релятивистской и плазменной астрофизики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в астрофизических источниках;
- новейшие открытия в астрофизике.

уметь:

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

владеть:

- навыками обработки результатов наблюдений;
- навыками самостоятельной теоретической работы по исследованию процессов, происходящих в космосе.

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

1. Аккреция Бонди.
2. Эжекция Паркера.
3. Бессилловое приближение Грэда-Шафранова.
4. Аккреция Бонди-Хойла.
5. Модель полого конуса радиоизлучения пульсаров.
6. Пульсарное уравнение.
7. Теорема об отсутствии волос. Термодинамика черных дыр.
8. Релятивистская версия бессиллового уравнения Грэда-Шафранова.

9. Процесс Блендфорда-Знайека.
10. Полная МГД версия уравнения Грэда-Шафранова..

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

Перечень контрольных вопросов

1. Аккреция Бонди. Определение темпа аккреции.
2. Эжекция Паркера. Условия на звуковой поверхности.
3. Подход Грэда-Шафранова. Бессилое приближение.
4. Аккреция Бонди-Хойла. Аккреция пыли на вращающуюся черную дыру.
5. Радиопульсары. Модель полого конуса.
6. Радиопульсары. Строение магнитосферы. Пульсарное уравнение.
7. Радиопульсары. Торможение ортогонального и наклонного ротатора.
8. Черные дыры – магнитосфера. Проблема ‘центральной машины’.
9. Теорема об отсутствии волос. Термодинамика черных дыр.
10. Релятивистская версия бессилового уравнения Грэда-Шафранова.
11. Процесс Блендфорда-Знайека.
12. Струйные выбросы из активных галактических ядер и молодых звезд.
13. Полная МГД версия уравнения Грэда-Шафранова..
14. Цилиндрические и другие точные решения.

Примеры контрольных заданий

1. Определить темп эжекции Паркера.
2. Показать, что при аккреции пыли на вращающуюся черную дыру движение частиц без углового момента происходит вдоль координаты Бойера-Линдквиста.
3. Найти общую связь тока и угловой скорости вращения, при которой квази-монопольная структура остается решением пульсарного уравнения.
4. Воспользовавшись бессильным уравнением Грэда-Шафранова в метрике Керра, вывести уравнение Блендфорда-Знайека для бесконечно медленного вращения черной дыры.

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.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.