

**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:	Проблемы современной астрофизики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: В.П. Утробин, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 21.05.2020

Аннотация

Курс "Проблемы современной астрофизики" знакомит с основами теории строения звезд, их эволюции, строения белых карликов и нейронных звезд, физики сверхновых звёзд, ядерной астрофизики и нуклеосинтеза, космологии, горячей Вселенной и холодной материи.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области основ астрофизики и методов их исследования, а также областей их практического применения.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области 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-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
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
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины

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, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- 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;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента; научной картиной мира;
- математическим моделированием 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	Введение в астрофизику. Эволюция звезд. Космология. Пространственно-временные масштабы в астрофизике.	5	5		15
2	Введение в звездную астрофизику. Полная система уравнений эволюции звезд. Основы теории строения звезд. Поздние стадии эволюции звезд и сверхновые. Теория устойчивости звезд.	5	5		15
3	Основы релятивистской гравитации. Уравнения для гравитационного поля. Основы космологии. Горячая Вселенная и холодная материя. Открытие «Расширения» Вселенной. Метрика Шварцшильда. Уравнения для гравитационного поля. Параметр Хаббла.	5	5		15
4	Белые карлики. Строение белых карликов. Массы белых карликов. Белые карлики как конечный продукт эволюции маломассивных звезд. Строение нейронных звезд. Наблюдения нейтронных звезд.	5	5		15

5	Классификация сверхновых. Строение предсверхновых звезд. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке. Термоядерный взрыв С-О ядра звезды.	5	5		15
6	Первичный нуклеосинтез в горячей Вселенной. Распространенность элементов. Кинетика ядерных реакций. Происхождение вещества. Кругооборот вещества во Вселенной. Термоядерные реакции и генерация энергии. Реакции распада и деления.	5	5		15
Итого часов		30	30		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 4 (Весенний)

1. Введение в астрофизику. Эволюция звезд. Космология. Пространственно-временные масштабы в астрофизике.

Введение в астрофизику. Основные понятия. Пространственно-временные масштабы в астрофизике. Космология. Элементы Ньютоновской теории тяготения. Уравнение состояния звездного вещества. Перенос излучения. Система уравнений строения звезды. Ядерные реакции. Эволюция звезд.

2. Введение в звездную астрофизику. Полная система уравнений эволюции звезд. Основы теории строения звезд. Поздние стадии эволюции звезд и сверхновые. Теория устойчивости звезд.

Введение в звездную астрофизику. Простейшие модели звезд. Полная система уравнений эволюции звезд. Эволюция звезд после главной последовательности. Поздние стадии эволюции звезд и сверхновые. Элементы звездного нуклеосинтеза. Основы теории строения звезд. Теория устойчивости звезд. Процессы тепловыделения и теплоотвода. Теория подобия звездных моделей. Термоядерные процессы внутри звезд. Физика компактных объектов. Элементы звездного нуклеосинтеза.

3. Основы релятивистской гравитации. Уравнения для гравитационного поля. Основы космологии. Горячая Вселенная и холодная материя. Открытие «Расширения» Вселенной. Метрика Шварцшильда. Уравнения для гравитационного поля. Параметр Хаббла.

Основы астрометрии и космографии. Основы релятивистской гравитации. Уравнения для гравитационного поля. Основы космологии. Горячая Вселенная и холодная материя. Космография: расстояния во Вселенной. Открытие «Расширения» Вселенной. Метрика Шварцшильда. Уравнения для гравитационного поля. Уравнения движения как следствие уравнений ОТО. Основы космологии. Однородные и изотропные модели. Практическая космология. Параметр Хаббла. Равновесие сверхплотных звёзд, энергетика аккреции. Гравитационный коллапс, сверхмассивные чёрные дыры и квазары.

4. Белые карлики. Строение белых карликов. Массы белых карликов. Белые карлики как конечный продукт эволюции маломассивных звезд. Строение нейронных звезд. Наблюдения нейтронных звезд.

Белые карлики. Физика предсверхновых типа Ia. Нейтронные звезды. Строение белых карликов. Массы белых карликов. Белые карлики как конечный продукт эволюции маломассивных звезд. Строение нейтронных звезд. Наблюдения нейтронных звезд.

5. Классификация сверхновых. Строение предсверхновых звезд. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке. Термоядерный взрыв С-О ядра звезды.

Классификация сверхновых. Статистика вспышек сверхновых. Внутренняя и внешняя задачи гидродинамического моделирования вспышки сверхновой. Строение предсверхновых звезд. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке. Термоядерный взрыв С-О ядра звезды. Остатки вспышек сверхновых. Основные физические стадии вспышки сверхновой. Гидродинамические модели сверхновых разных типов.

6. Первичный нуклеосинтез в горячей Вселенной. Распространенность элементов. Кинетика ядерных реакций. Происхождение вещества. Кругооборот вещества во Вселенной. Термоядерные реакции и генерация энергии. Реакции распада и деления.

Дозвездная стадия эволюции вселенной. Первичный нуклеосинтез в горячей Вселенной. Распространенность элементов. Механизмы образования новых элементов. Кинетика ядерных реакций. Условия и особенности протекания быстрого (r) и медленного (s) нуклеосинтеза. Происхождение вещества. Классификация фундаментальных процессов нуклеосинтеза легких и тяжелых элементов. Кругооборот вещества во Вселенной. Термоядерные реакции и генерация энергии. Реакции распада и деления. Равновесный и взрывной нуклеосинтез внутри звезд. Реакции под действием нейтронов.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общая астрофизика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. В. Засов, К. А. Постнов ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Физический фак., Гос. астроном. ин-т им. П. К. Штернберга. — 2-е изд., испр. и доп. — Фрязино : Век 2, 2011. — 576 с.
2. Теоретическая физика и астрофизика. Дополнительные главы [Текст]/В. Л. Гинзбург, -М., Наука, 1987
3. Сверхновые звезды [Текст]/И. С. Шкловский, -М., Наука, 1966
4. Синтез элементов во Вселенной [Текст]/Я. М. Крамаровский, В. А. Чечев, -М., Наука, 1987
5. Шапиро С., Тьюколски С., Чёрные дыры, белые карлики, нейтронные звёзды, М., Мир, 1985
6. Г.С.Бисноватый-Коган "Физические вопросы теории звездной эволюции", Наука, Москва, 1989
7. Лукаш В.Н., Михеева Е.В. "Физическая космология" ФИЗМАТЛИТ, 2010
8. Зельдович Я.Б., Блинников С.И., Шакура Н.И. Физические основы строения и эволюции звезд. МГУ, 1981
9. В.С.Имшенник и Д.К.Надежин "Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке: наблюдения и теория", УФН, том 156, стр. 561, 1988.
10. Ишханов, Б.С., Капитонов И.М., Тутынь И.А. Нуклеосинтез во Вселенной. – М., МГУ, 1999

Дополнительная литература

1. Физические процессы внутри звезд [Текст]/Д. А. Франк-Каменецкий, -М., Физматгиз, 1959
2. Введение в теорию ранней Вселенной : Космологические возмущения. Инфляционная теория [Текст]/Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков , -М., КРАСАНД, 2010
3. А.М. Черепашук, А.Д.Чернин. Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино, Век 2, 2003.
4. Ядерная астрофизика. - сборник статей под ред. Барнса. Москва, Мир, 1986.

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

[http:// www.astronet.ru](http://www.astronet.ru), http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html,
<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>, <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

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

Для дистанционных занятий могут быть использованы zoom, google meet.

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 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	<u>2</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.П. Утробин, д-р физ.-мат. наук

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-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
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
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проблемы современной астрофизики» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- 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;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента; научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Введение в астрофизику. Основные понятия.
2. Пространственно-временные масштабы в астрофизике.
3. Космология.
4. Реликтовое излучение. Расширение Вселенной.
5. Спектральная классификация звезд.
6. Элементы Ньютоновской теории тяготения.
7. Уравнение состояния звездного вещества.
8. Система уравнений строения звезды.
9. Качественная картина эволюции звезды.
10. Понятие о диаграмме Герцшпрунга-Рессела.
11. Уравнения гидростатического равновесия.
12. Вариационный принцип в теории равновесия и устойчивости звезд.
13. Отрицательная теплоемкость звезды как целого.
14. Соотношения масса-светимость и масса-радиус.
15. Эволюция массивных звезд.
16. Эволюция в двойных системах.
17. Строение предсверхновых звезд.
18. Открытие «Расширения» Вселенной.
19. Основы релятивистской гравитации.
20. Уравнения для гравитационного поля.
21. Уравнения движения как следствие уравнений ОТО.
22. Основы космологии. Однородные и изотропные модели.
23. Практическая космология. Параметр Хаббла.
24. Горячая Вселенная и холодная материя.
25. Космография: расстояния во Вселенной.
26. Белые карлики - основные параметры.
27. Открытие и наблюдение белых карликов.
28. Соотношение масса – радиус у белых карликов.
29. Предельная масса Чандрасекара.
30. Эволюция и остывание белых карликов.
31. Открытие нейтронных звезд.
32. Образование нейтронных звезд.
33. Минимальная и максимальная массы нейтронной звезды.
34. Классификация сверхновых.
35. Статистика вспышек сверхновых.
36. Остатки вспышек сверхновых. Галактические сверхновые.
37. Крабовидная туманность. Звездные остатки вспышек сверхновых.
38. Генерация ударной волны и моделирование взрыва сверхновой.
39. Волна охлаждения и рекомбинации.
40. Гидродинамические модели.
41. Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке.
42. Первичный нуклеосинтез в горячей Вселенной.
43. Распространенность элементов в природе.
44. Ядерная астрофизика и нуклеосинтез.
45. Ядерное статистическое равновесие и равновесный процесс.
46. Термоядерные реакции. Реакции распада и деления.
47. Равновесный и взрывной нуклеосинтез внутри звезд.

48. Медленный S-процесс.

49. Основная компонента R-процесса.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Основные понятия астрофизики. Пространственно-временные масштабы в астрофизике.
2. Белые карлики - основные параметры. Открытие и наблюдение белых карликов. Соотношение масса – радиус у белых карликов. Предельная масса Чандрасекара. Эволюция и остывание белых карликов.

Билет 2.

1. Космология. Реликтовое излучение. Расширение Вселенной. Спектральная классификация звезд.
2. Открытие нейтронных звезд. Образование нейтронных звезд. Минимальная и максимальная массы нейтронной звезды.

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

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