

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«09» сентября 2020г

Регистрационный № УД- 181/уч.



РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА

**Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности:**

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

направление специальности

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Минск 2020

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88; учебных планов №G31-163/уч., №G31и-174/уч. от 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Н. О. Прокопеня – старший преподаватель кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕЦЕНЗЕНТ:

И. А. Сивцов – старший научный сотрудник Центра «Фундаментальные взаимодействия и астрофизика» Государственного научного учреждения «Институт физики имени Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 19.11.2020);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 07.12.2020)

Заведующий кафедрой теоретической
физики и астрофизики
д. ф.-м. н., профессор



А.Н. Фурс

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Релятивистская астрофизика» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика, направления специальности 1-3104 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность).

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – дать представление об основных понятиях современной релятивистской астрофизики, продемонстрировать применение известных физических законов и закономерностей для моделирования астрофизических объектов, ознакомить с основными наблюдательными данными.

Главной наблюдаемой характеристикой астрофизических объектов является электромагнитное излучение, а за последнее десятилетие появилась возможность детектирования нейтрино и гравитационных волн. Это требует построения физических моделей генерации и переноса излучения различной природы в астрофизических условиях до того, как оно будет зарегистрировано наблюдателем. При этом необходимо учитывать сложную структуру источника излучения, для описания которой необходимо привлечение широкого набора теоретических методов различных дисциплин: классической механики, классической и квантовой электродинамики, равновесной и неравновесной статистической механики, гидродинамики и физики плазмы, специальной и общей теории относительности.

Задачи учебной дисциплины:

1. различные стадии эволюции одиночных звезд.
2. внутреннее строение стационарных звезд.
3. модели компактных астрофизических объектов.
4. аккреционные процессы и радиационные механизмы в астрофизике.
5. модели генерации гравитационных волн.
6. строение и эволюция двойных систем.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации (компонент учреждения высшего образования).

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Материал дисциплины основан на понятиях и методах, изложенных в следующих курсах: «Электродинамика», «Термодинамика и статистическая физика», «Физика ядра и элементарных частиц», «Общая теория относительности».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Релятивистская астрофизика» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
- ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.
- ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно- исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные ядерные реакции, протекающие в звездах;

- систему уравнений, описывающих внутреннюю структуру сферически-симметричной звезды;
- уравнение Оппенгеймера-Волкова;
- структуру нейтронной звезды и основные механизмы охлаждения нейтронной звезды;
- структуру магнитосферы пульсара;
- основные механизмы взрыва сверхновых звезд.

уметь:

- выполнять расчет внутренней структуры сферически-симметричной звезды;
- вычислять скорости основных радиационных процессов, формирующих спектр астрофизических объектов;
- вычислять светимость и спектр аккреционного диска.

владеть:

- методами магнитной гидродинамики для расчета структуры компактных астрофизических объектов;
- приемами расчета равновесных конфигураций вырожденного вещества.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 8 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Релятивистская астрофизика» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 50 часов, в том числе 30 аудиторных часов, из них: лекции – 28 часов, семинарские занятия – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 1.5 зачетные единицы.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Звезды и протозвезды

Диапазон масс, светимостей и радиусов звезд. Спектральные классы. Гравитационная неустойчивость и изотермический коллапс сферического облака. Критерий Джинса.

Тема 2. Ядерные реакции в звездах

Термоядерные реакции в ядрах звезд. Система уравнений для эволюции сферически симметричных звезд. Пример расчета для Солнца.

Тема 3. Равновесие в звездах

Политропное уравнение состояния и устойчивость звезды в нерелятивистском случае. Предел Чандрасекара. Эволюция звезд на главной последовательности и конечные продукты эволюции.

Тема 4. Нейтронные звезды

Уравнение Оппенгеймера-Волкова и максимальная масса нейтронной звезды. Зависимость массы от радиуса. Структура нейтронной звезды. Уравнение состояния Бейма-Бете-Петика. Остывание нейтронной звезды.

Тема 5. Ускорение частиц и радиационные механизмы

Космические лучи. Механизмы ускорения Ферми. Теория Ландау-Ромера. Основные радиационные механизмы. Взаимодействие частиц с реликтовым фоном. Предел Грайзена-Зацепина-Кузьмина.

Тема 6. Пульсары

Структура магнитосферы пульсара. Модель Джулиана-Голдрайха. Потери энергии. Звездотрясения.

Тема 7. Сверхновые

Типы сверхновых. Механизмы взрыва. Ударные волны и нейтрино. Остатки сверхновых.

Тема 8. Аккреция на черную дыру

Сферически симметричная аккреция Бонди. Модель аккреционного диска Шакуры-Сюняева. Светимость и спектр излучения диска. Предел Эддингтона. Звездный ветер.

Тема 9. Аккреция на нейтронную звезду

Сферически-симметричная и дисковая аккреция на нейтронную звезду. Аккреционная колонка.

Тема 10. Двойные системы

Полость Роша и аккреция в двойной системе. Гипераккреция. Эволюция двойных систем.

Тема 11. Гравитационные волны

Механизмы излучения гравитационных волн. Средняя за период интенсивность излучения двойной системы. Замедление периода вращения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Звезды и протозвезды	2						
2	Ядерные реакции в звездах	2						учебная дискуссия
3	Равновесие в звездах	2						коллоквиум
4	Нейтронные звезды	2						
5	Ускорение частиц и радиационные механизмы	4						
6	Пульсары	2						учебная дискуссия
7	Сверхновые	2						коллоквиум
8	Аккреция на черную дыру	4						
9	Аккреция на нейтронную звезду	2						
10	Двойные системы	2		2				учебная дискуссия
11	Гравитационные волны	4						
	Итого	28		2				

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Засов А. В., Постнов К. А., Общая астрофизика, Фрязино, 2006.
2. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Релятивистская астрофизика, М.: Наука, 1967.
3. Beech M., Introducing the stars. Formation, structure and evolution, Springer, 2019.
4. Бисноватый-Коган Г. С., Физические вопросы теории звездной эволюции, М.: Наука, 1989.
5. Бисноватый-Коган Г. С., Релятивистская астрофизика и физическая космология, КРАСАНД, 2011.
6. Шапиро С., Тьюкольски С., Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды, ч. 1, 2, М.: Мир, 1985.
7. Саакян Г. С., Физика нейтронных звезд, Дубна, 1995.
8. Липунов В.М., Астрофизика нейтронных звезд, М.: Наука, 1987.
9. Padmanabhan T., Theoretical Astrophysics: Volume 2, Stars and Stellar Systems, CUP, 2000.
10. Спитцер Л. (мл.), Физические процессы в межзвездной среде. М.: Мир, 1981.
11. Лонгейр М., Астрофизика высоких энергий. М.: Мир, 1984.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теоретическая физика в 10 томах. Том 02. Теория поля, ФМЛ, 2003.

Перечень дополнительной литературы

13. Camenzind M., Compact objects in astrophysics, Springer, 2007.
14. Бескин В. С., Осесимметричные стационарные течения в астрофизике, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
15. Соболев В.В., Курс теоретической астрофизики, М.: Наука, 1985.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать коллоквиумы.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с

преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Коллоквиумы проводятся в письменной форме и включают в себя от 2 до 5 заданий. Каждое задание в соответствии с его сложностью оценивается от 2 до 3 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной работе равна 10). Количество баллов за каждое выполненное задание выставляется в зависимости от правильности и полноты ответа. Невыполненное задание оценивается в 0 баллов. Оценка за коллоквиум рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждое задание.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое контрольное мероприятие. При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к зачету. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к зачету, и им назначается срок выполнения контрольных мероприятий.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

Рекомендуемые темы коллоквиумов

Тема коллоквиума № 1: Термодинамическое и гравитационное равновесие в звездах

Примерный перечень вопросов:

1. Ядерные реакции в звездах
2. Система уравнений для эволюции сферически симметричных звезд.
3. Уравнение состояния

Тема коллоквиума № 2: Нейтронные звезды, радиационные механизмы, пульсары.

Примерный перечень вопросов:

1. Структура нейтронной звезды. Остывание нейтронной звезды.
2. Рассеяние Комптона, тормозное излучение и перенос нейтрино.
3. Структура магнитосферы пульсара.

Примерная тематика семинарских занятий

Тема 10. **Двойные системы.**

Строение и эволюция двойных систем. Использование приближения Роша при моделировании двойных систем.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный* подход, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;

- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса используется также *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности:
 - коллоквиумов по изучаемому материалу;
- для дополнительного развития творческих способностей одаренных студентов организуются:
 - студенческие научно-практические конференций, конкурсы;

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Космология и астрофизика	Кафедра теоретической физики и астрофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 4от 19.11.2020)
Общая теория относительности	Кафедра теоретической физики и астрофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 4от 19.11.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на 2021/2022 учебный год

№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики и астрофизики (протокол № ____ от ____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой
доктор ф.-м.н., профессор _____ А.Н. Фурс

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
доцент _____ М.С.Тиванов