

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра физики элементарных частиц ФФ**

академикРАН \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан ФФ  
А.Е.Бондарь  
\_\_\_\_\_ 2020 г.



**Рабочая программа дисциплины**

**ОСНОВЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФИЗИКИ. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ**

направления подготовки: **03.03.02 Физика, 03.04.02 Физика, 03.06.01 Физика и астрономия**  
направленности (профили): **все профили**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная аттестация подготовка к	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцирован	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	36	20			14			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 22 часа - в интерактивных формах 0 часов										
Компетенции ОПК-3										

Разработчик:  
д.ф.-м.н.



С. И. Блинников

Зав. кафедрой ФЭЧ ФФ НГУ  
д.ф.-м.н.



И. Б. Логашенко

Ответственный за образовательную программу,  
д.ф.-м.н., проф.



С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2020

Содержани

## Содержание

<b>Аннотация</b> .....	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	6
5. Перечень учебной литературы. ....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....	9

## Аннотация

### к рабочей программе дисциплины

### «Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы»

Направления: 03.03.02 Физика, 03.04.02 Физика, 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль): все профили

Программа курса «Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы» составлена в соответствии с требованиями СУОС по всем направлениям подготовки на физическом факультете НГУ, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики элементарных частиц физического факультета. Курс рассчитан на студентов и аспирантов, а также для всех интересующихся астрофизикой.

Развитие астрофизики приносит всё больше открытий, важных для фундаментальной физики: гравитационные волны, чёрные дыры и нейтронные звёзды, квазары, пульсары, ускоренное расширение Вселенной. Почти каждый год Нобелевские премии по физике даются теперь за такие открытия в далёкой и близкой Вселенной.

Курс «Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы» даёт необходимый минимум знаний, нужных для интерпретации открываемых явлений.

Основным теоретическим аппаратом релятивистской астрофизики является общая теория относительности (ОТО). Студенты-физики, уже изучавшие ОТО, получают подробное изложение важных в астрофизике вопросов о формировании и строении сверхплотных звезд и их коллапсов, введение в практическую космологию, а также описание основных астрономических понятий и соответствующую терминологию. Студенты, не изучавшие ОТО, получают достаточно вспомогательного материала для того, чтобы самостоятельно овладеть теоретическим минимумом, необходимым для работы в релятивистской астрофизике.

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональных компетенций:

**ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории.

- **Уметь:** определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

Курс рассчитан на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа обучающегося и её контроль преподавателем, зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контрольные вопросы.

Промежуточная аттестация: зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **36** академических часов / **1** зачетную единицу.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Программа курса «**Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы**» составлена в соответствии с требованиями СУОС по всем направлениям подготовки на физическом факультете НГУ, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики элементарных частиц физического факультета. Курс рассчитан на студентов и аспирантов, а также для всех интересующихся астрофизикой.

Развитие астрофизики приносит всё больше открытий, важных для фундаментальной физики: гравитационные волны, чёрные дыры и нейтронные звёзды, квазары, пульсары, ускоренное расширение Вселенной. Почти каждый год Нобелевские премии по физике даются теперь за такие открытия в далёкой и близкой Вселенной.

Лекционные занятия проводятся в интерактивной форме. Студенты активно участвуют в аудиторной работе: поощряется желание задать вопрос, высказать собственную точку зрения.

Профессиональная компетенция ОПК-3 - способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основы общей астрофизики и теории гравитации (ОПК 3.1).
- **Уметь:** самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области астрофизики и решать их с помощью современных информационных технологий (ОПК 3.2).

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.**

Факультативный курс «**Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы**» даёт необходимый минимум знаний, нужных для интерпретации открываемых явлений.

Основным теоретическим аппаратом релятивистской астрофизики является общая теория относительности (ОТО). Студенты-физики, уже изучавшие ОТО, получают подробное изложение важных в астрофизике вопросов о формировании и строении сверхплотных звезд и их коллапсов, введение в практическую космологию, а также описание основных астрономических понятий и соответствующую терминологию. Студенты, не изучавшие ОТО, получают достаточно вспомогательного материала для того, чтобы самостоятельно овладеть теоретическим минимумом, необходимым для работы в релятивистской астрофизике.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	36	20			14			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 22 часа - в интерактивных формах 0 часов										
Компетенции ОПК-3										

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа обучающегося и её контроль преподавателем, зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы;
- промежуточная аттестация: зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетную единицу.

- занятия лекционного типа – 20 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 14 часов;
- промежуточная аттестация (зачёт) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, зачёт) составляет 22 часа.

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

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Введение в астрофизику	1	5	2		3			
2	Строение атома и звёзды	2-4	9	6		3			
3	СТО и ОТО	5-7	9	6		3			
4	Чёрные дыры и космология	8-10	9	6		3			
5.	Самостоятельная подготовка обучающегося к зачёту	11-16	2			2			
6.	Зачёт	17	2						2
<b>Всего</b>			<b>36</b>	<b>20</b>		<b>14</b>			<b>2</b>

**Программа и основное содержание лекций (20 часов)**

- Тема 1. Основы астрометрии и космографии (2 часа)  
Релятивистские звёзды, реликтовое излучение. Установление астрономических и физических единиц. Система отсчёта и система координат.
- Тема 2. Строение атома и звёзды (2 часа)  
Классические и квантовые законы движения
- Тема 3. Открытие «Расширения» Вселенной (2 часа)  
Открытия Слайфера, Вирца, Леметра, Хаббла и других астрономов в начале 20-го века. Разбегание галактик. Красное смещение в космологии
- Тема 4. Основы релятивистской гравитации (2 часа)  
Предел Чандрасекара и масса Планка в равновесии звёзд. СТО и ОТО. Проверки Ньютоновской гравитации в лаборатории, и на масштабах галактик. Гравитационное красное смещение. Замедление времени.
- Тема 5. Введение в ОТО (2 часа)

Принцип эквивалентности (сильный и слабый). Мир как пространство-время. Искривлённый мир. Метрика, метрический тензор.

6. Тема 6. Метрика Шварцшильда (2 часа)  
Орбиты в метрике Шварцшильда. Искривление лучей света. Горизонт событий. Внешние проявления чёрных дыр. Описание метрики внутри горизонта.
7. Тема 7. Уравнения для гравитационного поля (2 часа)  
Контравариантные, ковариантные, смешанные тензоры. Символы Кристоффеля из геодезического лагранжиана. Параллельный перенос и ковариантные производные. Тензор кривизны. Вывод метрики Шварцшильда из действия Гильберта.
8. Тема 8. Основы космологии. Однородные и изотропные модели (2 часа)  
Однородные и изотропные модели. Вселенная Фридмана. Форма метрики в записи Фридмана и в записи Робертсона—Уокера. Уравнение Фридмана из вариационного принципа. Давление как источник гравитации. Связь уравнений Фридмана с термодинамикой. Ньютонов предел.
9. Тема 9. Практическая космология. Параметр Хаббла (2 часа)  
Параметр или постоянная Хала, параметр плотности. Поведение решений в моделях Фридмана. Горизонт в современной Вселенной. Рекомбинация в горячей вселенной, понятие о поверхности последнего рассеяния. Информация, содержащаяся в спектре реликтового излучения.
10. Тема 10. Космография: расстояния во Вселенной (2 часа)
  - 10.1. Фотометрическое расстояние, вывод формулы его связи с космологическим красным смещением источника.
  - 10.2. Явные формулы для частных случаев космологических моделей.
  - 10.3. Тёмная материя и тёмная энергия.

#### Самостоятельная работа студентов (14 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение проблемы в историческом аспекте с использованием лекций и обязательной литературы. Анализ периодической литературы. Подготовка к зачёту	14

#### 5. Перечень учебной литературы.

##### 5.1 Основная литература

1. Э. Ф Тейлор, Д. А. Уилер «Физика пространства-времени», М.: Мир, 1971.
2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц «Теория Поля».

##### 5.2 Дополнительная литература

3. В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин «Сборник задач по электродинамике», Спб: Лань, 2010

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

4. С.И. Блинников, «Релятивистская астрофизика»

5. Я.Б. Зельдович, С.И. Блинников, Н.И. Шакура «Физические основы строения и эволюции звезд.» Издательство МГУ, 1981.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, а также с использованием программы ZOOM, электронной почты, социальных сетей.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных:**

PDG: The Review of Particle Physics (2020)

<https://pdg.lbl.gov>

### **7.2 Информационные справочные системы**

Astrophysics Data System <https://ui.adsabs.harvard.edu>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **8.1 Перечень программного обеспечения**

*Система компьютерной алгебры Maxima с интерфейсом wxMaxima, LibreOffice*

### **8.2 Информационные справочные системы**

*Astrophysics Data System <https://ui.adsabs.harvard.edu>*

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.



Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

### Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

#### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции по двухбалльной шкале. Положительная оценка “зачёт” выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-3 сформирована не ниже порогового уровня. Решение о сформированности компетенции принимается преподавателем в ходе зачёта по результатам ответов на контрольные вопросы.

#### Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ОПК 3.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК 3.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

## Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### Список вопросов к зачёту

1. Общие представления о современной Вселенной и пути её эволюции.
2. Основные постулаты СТО.
3. Принцип эквивалентности.
4. Понятие геодезических, ньютоновский предел ОТО.
6. Метрика Шварцшильда.
7. Орбиты в поле чёрной дыры.
8. Однородность и изотропия Вселенной, метрики соответствующих многообразий, метрика Робертсона-Уокера.
9. Закон Хаббла, свободные частицы в расширяющейся Вселенной.
10. Уравнение Фридмана, его решения для однокомпонентных сред, возраст Вселенной и размер космологического горизонта.
11. Сверхновые в космографии.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Основы релятивистской астрофизики. Дополнительные главы»  
по направлениям подготовки  
03.03.02 Физика, 03.04.02 Физика, 03.06.01 Физика и астрономия  
Профиль: все профили**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного