Министерство просвещения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова»
(ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет физико-математического и технологического образования
Кафедра физики и технических дисциплин

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0233C9D60038B01A9E48C1A3FBB4A9D9F6
Владелец: Титов Сергей Николаевич
Действителен: с 07.07.2023 до 28.04.2038

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
С.Н. Титов

# СЛИЯНИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР И ОБРАЗОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Программа учебной дисциплины модуля
«Теоретическая и наблюдательная космология»

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы магистратуры по направлению подготовки
44.04.01 Педагогическое образование,

направленность (профиль) образовательной программы
Приоритетные направления науки в физическом образовании

(очная форма обучения)

Составитель: Червон С.В.,
доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики и технических дисциплин

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования, протокол от « 26 » мая 2023 г. № 5

Ульяновск, 2023

**Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1. Дисциплины (модули) модуля «Теоретическая и наблюдательная космология» учебного плана основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы магистратуры по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, направленность (профиль) образовательной программы «Приоритетные направления науки в физическом образовании», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на знания и навыки, приобретенные в рамках курсов «Основы теоретической физики» и дисциплин по выбору, изученного в период обучения в бакалавриате.

**1. Перечень планируемых результатов обучения (образовательных результатов) по дисциплине**

**Целью** освоения дисциплины «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн» является ознакомление обучающихся с геометрическими основами теории и практическим выходом на наблюдательные данные (регистрация гравитационных волн от слияния черных дыр).

**Задачей** освоения дисциплины являются получение магистрантами набора знаний, умений и навыков по методам исследования уравнений Эйнштейна в сферически симметричной метрике, по получению решений этих уравнений и физической интерпретации полученных решений.

В результате освоения дисциплины «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн» магистрант должен:

**знать** основные уравнения звездной структуры и гравитационного коллапса звезды;

**уметь** рассчитывать аккрецию вещества на черную дыру и изменение ее углового момента;

**владеть** квазианалитическими и численными методами расчетов.

Процесс изучения дисциплины «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн» направлен на расширение научного кругозора и понимания физических особенностей пространства-времени вблизи черных дыр.

В результате освоения программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн» (в таблице представлено соотнесение образовательных результатов обучения по дисциплине с индикаторами достижения компетенций):

| Компетенция и индикаторы её достижения в дисциплине | Образовательные результаты дисциплины (этапы формирования дисциплины) | | |
|---|---|---|---|
| | знает | умеет | владеет |
| ПК-5. Способен осуществлять поиск, анализ и обработку научной информации в целях исследования проблем образования в предметной области направленности (профиля) магистратуры.<br>ПК-5.1. Знает: источники научной информации, необходимой для обновления содержания образования по дисциплинам (курсам) предметной области направленности (профиля) магистратуры и трансформации процесса обучения; методы работы с научной информацией;<br>приемы дидактической обработки научной информации в целях ее | ОР-1 знает основные уравнения звездной структуры и гравитационного коллапса звезды; | ОР-2 умеет рассчитывать аккрецию вещества на черную дыру и изменение ее углового момента; | ОР-3 владеет квазианалитическими и численными методами расчетов. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| трансформации в учебное содержание, ПК-5.2 Умеет: вести поиск и анализ научной информации; осуществлять дидактическую обработку и адаптацию научных текстов в целях их перевода в учебные материалы<br>ПК-5.3. Владеет: методами работы с научной информацией и учебными текстами. задачи предметной области. | | | |

**2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

| Номер семестра | Учебные занятия | | | | | | Форма промежуточной аттестации |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Всего | | Лекции, час | Практические занятия, час | Лабораторные занятия, час | Самостоятельная работа, час | |
| | Трудоемк. | | | | | | |
| | Зач. ед. | Часы | | | | | |
| 3 | 3 | 108 | 4 | 8 | 0 | 96 | |
| Итого: | 3 | 108 | 4 | 20 | 0 | 84 | зачёт |

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

***3.1. Указание тем (разделов) и отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий***

| **Наименование раздела и тем** | **Количество часов по формам организации обучения** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Лекции** | **Практические занятия** | **Лабораторные занятия** | **Самостоятельная работа** |
| **3 семестр** | | | | |
| Тема 1. Эволюция одиночной звезды и двойных звезд. | **1** | **2** | | **10** |
| Тема 2. Двойные нейтронные звезды и их слияние. | **1** | **2** | **0** | **10** |
| Тема 3. Слияние смешенной системы нейтронной звезды и черной дыры. | | **2** | **0** | **10** |
| Тема 4. Генезис черной дыры. | | **2** | **0** | **10** |
| Тема 5. Двойные черные дыры: проблемы образования и развития. | | **2** | **0** | **10** |
| Тема 6. Согласование наблюдений и теории | | **2** | **0** | **10** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| слияния черных дыр. | | | | |
| Тема 7. Наблюдения LIGO и VIRGO слияния черных дыр и нейтронных звезд. | **1** | **4** | **0** | **12** |
| Тема 8. Детектирование гравитационных волн при слиянии компактных звездных объектов. | **1** | **4** | **0** | **12** |
| **Итого по семестру** | **4** | **20** | **0** | **84** |
| **Всего по дисциплине:** | **4** | **20** | **0** | **84** |

### *3.2. Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины*

**Тема 1. Эволюция одиночной звезды и двойных звезд**. Эволюция массивных звезд. Основные уравнения звездной структуры: излучение, перенос энергии и диффузия элементов. Гравитационный коллапс звезды. Тесные двойные системы нейтронных звезд и черных дыр. Масса и спин черной дыры. Два основных сценария слияния черных дыр: аналог слияния изолированных нейтронных звезд и химически однородная эволюция.

**Тема 2. Двойные нейтронные звезды и их слияние.** Пульсар Халсе-Тейлора как двойная нейтронная звезда. Детектирование LIGO и VIRGO слияния нейтронных звезд (событие GW170817). Две ситуации слияния: изолированные нейтронные звезды в галактическом поле и плотное окружение глобулярных и ядерных кластеров.

**Тема 3. Слияние смешенной системы нейтронной звезды и черной дыры**. Сравнение вероятностей слияния нейтронных звезд и смешанной системы. Главные вопросы слияния смешанной системы: различие при преобладании той или иной компоненты и возможное определение отклонения от ОТО.

**Тема 4. Генезис черной дыры.** Формирование черных дыр, их массы и место расположения. Аккреция вещества на черную дыру и изменение ее углового момента. Горизонт событий астрофизической черной дыры.

**Тема 5. Двойные черные дыры: проблемы образования и развития.** Различия диапазона масс при слиянии черных дыр и в двойной системе рентгеновского излучения. Альтернативы классическому описанию эволюции двойных звезд.

**Тема 6. Согласование наблюдений и теории слияния черных дыр.** Данные наблюдений гравитационных обсерваторий LIGO и VIRGO: слияние компактных объектов и детектирование гравитационных волн. Квазианалитические и численные методы расчетов.

**Тема 7. Наблюдения LIGO и VIRGO слияния черных дыр и нейтронных звезд.** Характеристики масс объектов слияния 2014-2017 года, частоты и энергии зарегистрированных гравитационных волн.

**Тема 8. Детектирование гравитационных волн при слиянии компактных звездных объектов.** Интерферометр Майкельсона и схема детектирования гравитационных волн обсерваториями LIGO и VIRGO. Детектирование высокочастотных гравитационных волн. Интерферометр Фабри-Перро.

## 4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Самостоятельная работа студентов является особой формой организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательно, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную на достижение конкретного результата, осуществляемую без прямой помощи преподавателя. Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям и зачёту. Она предусматривает, как правило, разработку рефератов, написание и защиту докладов или проектов, выполнение творческих, индивидуальных заданий в соответствии с

учебной программой (тематическим планом изучения дисциплины). Тема для такого выступления может быть предложена преподавателем или избрана самим студентом, но материал выступления не должен дублировать лекционный материал. Реферативный материал служит дополнительной информацией для работы на лабораторных занятиях. Основная цель данного вида работы состоит в обучении студентов методам самостоятельной работы с учебным материалом. Для полноты усвоения тем, вынесенных на лабораторные занятия, требуется работа с первоисточниками. Курс предусматривает самостоятельную работу студентов со специальной научной литературой. Следует отметить, что самостоятельная работа студентов результативна лишь тогда, когда она выполняется систематически, планомерно и целенаправленно.

Задания для самостоятельной работы предусматривают использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Общий объём самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме численного решения теоретических задач по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена методическими материалами.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в формах:

- подготовка к устным опросам по теории;
- подготовка к устным докладам по теории;
- численное решение теоретических задач;
- решение домашней контрольной работы;
- подготовка к защите реферата и научных проектов.

***Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине***

**Перечень тем рефератов**

1. Параметрический постньютоновский формализм (ППН).
2. Уравнения движения двойных не вращающихся объектов в ППН формализме.
3. Влияние вращения на динамику двойной системы и форму гравитационной волны.
4. Первый закон механики компактных двойных объектов.
5. Компактные объекты в модифицированных теориях гравитации.
6. Столкновения черных дыр при высоких энергиях.

***Для самостоятельной подготовки к занятиям по дисциплине рекомендуется использовать учебно-методические материалы:***


1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. : [учеб. пособие для физ. спец. вузов]. Т. IV : Квантовая электродинамика / В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П.Питаевский. - 4-е изд., испр. / Е. М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского. - Москва : Физматлит, 2002. - 719 с. : ил. - ISBN 5-9221-0058-0
2. Кэрролл, Ш. Частица на краю Вселенной. Как охота на бозон Хиггса ведет нас к границам нового мира / Ш. Кэрролл. - Эл. изд. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 371 с. - (Universum). - ISBN 978-5-9963-2874-1.
   URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=272854
3. Червон С.В., Аббязов Р.Р. Теоретические основы киральной космологической модели/ Червон С.В., Аббязов Р.Р. – Ульяновск, ФГБОУ ВПО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2014 – 76 с.

4. С.В. Червон, И.В. Фомин, А.С. Кубасов. Скалярные и киральные поля в космологии/ С.В. Червон, И.В. Фомин, А.С. Кубасов – Ульяновск, ФГБОУ ВПО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2015 – 216 с.
5. Кошелев Н.А., Николаев А.В., Червон С.В. Основы f(R) теории гравитаии / Кошелев Н.А., Николаев А.В., Червон С.В. – Ульяновск, ФГБОУ ВПО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2015 – 38 с.

## 5. Примерные оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Организация и проведение аттестации студента

ФГОС ВО ориентированы преимущественно не на сообщение обучающемуся комплекса теоретических знаний, но на выработку у бакалавра компетенций – динамического набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволят выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда и успешно профессионально реализовываться.

В процессе оценки аспирантов используются как традиционные, так и инновационные типы, виды и формы контроля. При этом постепенно традиционные средства совершенствуются в русле компетентностного подхода, а инновационные средства адаптированы для повсеместного применения в российской вузовской практике.

**Цель проведения аттестации** – проверка освоения образовательной программы дисциплины через сформированность образовательных результатов.

**Типы контроля**:

**Текущая аттестация**: представлена следующими работами: отчётность по лабораторным занятиям.

**Промежуточная аттестация** осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины; помогает оценить более крупные совокупности знаний и умений, формирование определённых компетенций.

Оценочными средствами текущего оценивания являются: устные опросы по теории, семинар, отзыв о прочитанной статье по данной теме, коллоквиум , эвристическая беседа по теме занятия, групповое обсуждение темы занятия, защита реферата или проекта, контрольная работа. Контроль усвоения материала ведётся регулярно в течение всего семестра на лабораторных занятиях.

| № п/п | **СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ,** используемые для текущего оценивания показателя формирования компетенции | Образовательные результаты дисциплины |
|---|---|---|
| 1 | **Оценочные средства для текущей аттестации**<br>**ОС-1** устный опрос по теории,<br>**ОС-2** отзыв о прочитанной статье по данной теме,<br>**ОС-3** семинар,<br>**ОС-4** групповое обсуждение<br>**ОС-5** Коллоквиум,<br>**ОС-6** защита реферата или проекта,<br>**ОС-7** защита докладов-презентаций | ОР-1 знает основные уравнения звездной структуры и гравитационного коллапса звезды;<br>ОР-2 умеет рассчитывать аккрецию вещества на черную дыру и изменение ее углового момента;<br>ОР-3 владеет квазианалитическими и численными методами расчетов. |
| 2 | **Оценочные средства для промежуточной аттестации**<br>**зачёт**<br>**ОС-8** зачёт в форме устного собеседования по вопросам | |

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а так же процедуры и критерии оценивания индикаторов достижения компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения образовательной программы представлены в Фонде оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине «Слияние черных дыр и образование гравитационных волн».

***Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине***

Материалы для организации текущей аттестации представлены в п. 5 программы.

***Материалы, используемые для промежуточного контроля успеваемости обучающихся по дисциплине***

**ОС-8 Зачёт в форме устного собеседования по вопросам**

**Перечень вопросов к зачёту**

1. Эволюция массивных звезд. Основные уравнения звездной структуры: излучение, перенос энергии и диффузия элементов.
2. Гравитационный коллапс звезды. Тесные двойные системы нейтронных звезд и черных дыр. Масса и спин черной дыры.
3. Два основных сценария слияния черных дыр: аналог слияния изолированных нейтронных звезд и химически однородная эволюция.
4. Пульсар Халсе-Тейлора как двойная нейтронная звезда. Детектирование LIGO и VIRGO слияния нейтронных звезд (событие GW170817).
5. Две ситуации слияния: изолированные нейтронные звезды в галактическом поле и плотное окружение глобулярных и ядерных кластеров.
6. Сравнение вероятностей слияния нейтронных звезд и смешанной системы.
7. Главные вопросы слияния смешанной системы: различие при преобладании той или иной компоненты и возможное определение отклонения от ОТО.
8. Формирование черных дыр, их массы и место расположения.
9. Аккреция вещества на черную дыру и изменение ее углового момента.
10. Горизонт событий астрофизической черной дыры.
11. Различия диапазона масс при слиянии черных дыр и в двойной системе рентгеновского излучения.
12. Альтернативы классическому описанию эволюции двойных звезд.
13. Данные наблюдений гравитационных обсерваторий LIGO и VIRGO: слияние компактных объектов и детектирование гравитационных волн. Квазианалитические и численные методы расчетов.
14. Характеристики масс объектов слияния 2014-2017 года, частоты и энергии зарегистрированных гравитационных волн.
15. Интерферометр Майкельсона и схема детектирования гравитационных волн обсерваториями LIGO и VIRGO.
16. Детектирование высокочастотных гравитационных волн. Интерферометр Фабри-Перро.

В конце изучения дисциплины подводятся итоги работы аспирантов на лекционных и лабораторных занятиях путём суммирования заработанных баллов в течение семестра.

**Критерии оценивания знаний обучающихся по дисциплине**

**Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся**

| Семестр | | Посещение лекций | Посещение лабораторных занятий | Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль | Контрольная работа (реферат) | Зачёт |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Разбалловка по видам работ | 2 * 1= 2 балла | 10* 1 = 10 баллов | 192 балла | 64 балла | 32 балла |
| | Суммарный максимальный балл | 2 балла | 12 баллов | 204 балла | 267 баллов | 300 баллов |

По результатам промежуточных аттестаций аспиранту засчитывается трудоёмкость в зачётных единицах. Магистрант по учебной дисциплине получает отметку "зачтено" согласно следующей таблице:

| | Баллы (3 зачётные единицы) |
|---|---|
| «зачтено» | 91-300 |
| «не зачтено» | 0-90 |

## 6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение курса требует от студентов посещения лекций, активной работы на лабораторных занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с базовыми учебниками, основной и дополнительной литературой.

Основной формой изложения материала курса являются лекции. Как правило, на лекции выносится основной программный материал курса. Часть материала выносятся для самостоятельного изучения магистрантами с непременным, сообщением им литературных источников и методических разработок. На практических занятиях рассматривают фрагменты теории, требующие сложных математических выкладок, различные методы решения задач и наиболее типичные задачи. Для закрепления материала, рассматриваемого на практических занятиях, студенты получают домашние задания в виде ряда задач из соответствующих задачников.

На лекциях изучается материал по основополагающим вопросам дисциплины, раскрывается их практическая значимость. В ходе проведения лекции используются приемы и методы проблемного обучения. На практических занятиях рассматриваются методы решения прикладных задач, проводится анализ полученных результатов. В ходе практического занятия одновременно преследуется цель расширения и углубления знаний, полученных на лекции.

При изложении теоретического материала на лекции, а также при решении задач на практических занятиях для демонстрации графиков, обучающих программ и т.п. рекомендуется использовать компьютерную мультимедийную установку.

Запись **лекции** – одна из форм активной самостоятельной работы магистрантов, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы студенты имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендуя ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Рекомендуется после каждой лекции оформлять конспект лекций. Перед каждой лекцией прочитывать конспект предыдущей лекции, что способствует лучшему восприятию нового материала.

Лекции имеют в основном обзорный характер и нацелены на освещение наиболее трудных и дискуссионных вопросов, а также призваны способствовать формированию навыков работы с научной литературой. Предполагается также, что студенты приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендуемым программой.

Наиболее важные разделы курса выносятся на практические занятия. На каждом занятии предлагается несколько задач. Часть задач решается на занятии с подробным обсуждением метода и полученных результатов. Остальные задачи студент решает самостоятельно. Для зачёта контрольной работы студент должен защитить все задания. Предусмотрена защита реферата.

Практическое занятие – важнейшая форма самостоятельной работы студентов над научной, учебной и периодической литературой. Именно на практическом занятии каждый студент имеет возможность проверить глубину усвоения учебного материала, показать знание категорий, положений и инструментов профессиональной деятельности. Участие в практическом занятии позволяет студенту соединить полученные теоретические знания с решением конкретных практических задач и моделей в области профессиональной деятельности. Практические занятия в равной мере направлены на совершенствование индивидуальных навыков решения теоретических и прикладных задач, выработку навыков интеллектуальной работы, а также ведения дискуссий. Конкретные пропорции разных видов работы в группе, а также способы их оценки, определяются преподавателем, ведущим занятия.

**Подготовка к практическим занятиям.**

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале практического занятия преподаватель знакомит аспирантов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задания. В течение отведенного времени на выполнение работы магистрант может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится прием выполненных заданий, собеседование с аспирантом.

Результаты выполнения практических заданий оцениваются в баллах, в соответствии с балльно-рейтинговой системой университета.

Основным методом обучения является самостоятельная работа магистров с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендованная преподавателями литература и учебные пособия служат информационной основой и позволяют регулярно занимающимся аспирантам усваивать лекционный материал. Для обеспечения терминологической однозначности учебное пособие содержит словарь основных терминов, используемых в нём. Кроме того, программа курса лекций содержит вопросы для самоконтроля.

Самостоятельная работа аспирантов подразумевает выполнение студентами домашнего задания в виде решения необходимого минимума задач из сборника для практических занятий, консультаций и анализа их решения совместно с преподавателем.

Контроль самостоятельной (внеаудиторной) работы – написание и защита реферата, выступление с докладом на практических занятиях, решение контрольной работы.

В процессе оценивания письменных контрольных и самостоятельных работ при разделении задания на действия при оценивании за основание берётся следующая процентная шкала:

90-100 % от числа пунктов – оценка "5",
74-89 % от числа пунктов – оценка "4",
60-73 % от числа пунктов – оценка "3",
40-59 % от числа пунктов – оценка "2",
0-39 % от числа пунктов – оценка "1".
Магистранту можно поставить оценку выше, если студентом оригинально выполнена работа.

Основным методом обучения является самостоятельная работа аспирантов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Основным методом обучения является самостоятельная работа аспирантов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендации для аспиранта включают в себя следующее:

- обязательное посещение лекций ведущего преподавателя; лекции – основное методическое руководство при изучении дисциплины, наиболее оптимальным образом структурированное и скорректированное на современный материал; в лекции глубоко и подробно, аргументировано и методологически строго рассматриваются главные проблемы темы; в лекции даются необходимые разные подходы к исследуемым проблемам;
- подготовку и активную работу на практических занятиях; подготовка к практическим занятиям включает проработку материалов лекций, рекомендованной учебной литературы, а также выполнение заданий на самостоятельное решение задач.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям. Практическое занятие включает в себя два вида работ: подготовку сообщения и участие в обсуждении проблемы, затронутой сообщением. Основной вид работы на занятии – участие в обсуждении проблемы.

Выступления на практических занятиях должны быть по возможности компактными и в то же время вразумительными. На практическом занятии идёт проверка степени проникновения в суть материала, обсуждаемой проблемы. Поэтому беседа будет идти не по содержанию прочитанных работ; преподаватель будет ставить проблемные вопросы.

По окончании практического занятия к нему следует обратиться ещё раз, повторив сделанные выводы, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе – для этого в течение занятия следует делать небольшие пометки. Таким образом, практическое занятие не пройдёт даром, закрепление результатов занятия ведёт к лучшему усвоению материала изученной темы и лучшей ориентации в структуре курса. Вышеприведённая процедура должна практиковаться регулярно – стабильная и прилежная работа в течение семестра будет залогом успеха на сессии.

Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы формулируются в виде заданий для самостоятельной работы, предусматривающих использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Эти задания также ориентируют на написание контрольных работ, рефератов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Подготовка к **устному докладу**.

Доклады делаются по каждой теме с целью проверки теоретических знаний обучающегося, его способности самостоятельно приобретать новые знания, работать с информационными ресурсами и извлекать нужную информацию.

Доклады заслушиваются в начале практического занятия после изучения соответствующей темы. Продолжительность доклада не должна превышать 5 минут. Тему доклада студент выбирает по желанию из предложенного списка.

При подготовке доклада студент должен изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, обязательно составить план доклада (перечень рассматриваемых им вопросов, отражающих структуру и последовательность материала),

подготовить раздаточный материал или презентацию. План доклада необходимо предварительно согласовать с преподавателем.

Выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументировано. Преподаватель следит, чтобы выступление не сводилось к простому воспроизведению текста, не допускается простое чтение составленного конспекта доклада. Выступающий также должен быть готовым к вопросам аудитории и дискуссии.

Текущий контроль успеваемости и качества подготовки обучаемых может проводиться как на практических, так и лекционных занятиях. Проверку качества усвоения материала можно проводить в виде письменного или устного опроса, теста или коллоквиума по вопросам, сформулированным на основе учебных вопросов теоретического курса дисциплины.

Самостоятельная работа предполагает: самостоятельное изучение отдельных вопросов по литературе, предложенной преподавателем; подготовку к выполнению лабораторных работ; решение задач, задаваемых на дом; подготовку к выполнению заданий в компьютерном классе.

Основными видами аудиторной работы студентов являются:

• запись, усвоение, обсуждение лекций;
• выполнение заданий лабораторных занятиях;
• защита отчётов по лабораторным занятиям;
• решение задач;
• защита реферата или проекта;
• защита самостоятельных и контрольных работ;
• сдача зачёта.

**Организация самостоятельной работы магистрантов**

Самостоятельная работа предполагает: самостоятельное изучение отдельных вопросов по литературе, предложенной преподавателем; подготовку к выполнению лабораторных работ; решение задач, задаваемых на дом; подготовку к выполнению заданий в компьютерном классе.

**Самостоятельная работа магистрантов без участия преподавателей**

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей являются:

• усвоение лекционного материала на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);
• подготовка к лабораторным работам, их оформление;
• подготовка и написание рефератов на заданные темы (студенту предоставляется право выбора темы);
• составление аннотированного списка статей из соответствующих журналов по отраслям знаний; перевод научных статей; подбор и изучение литературных источников;
• выполнение научных исследований;
• подготовка к участию в научно-технических конференциях.

**Самостоятельная работа магистрантов с участием преподавателей**

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

• текущие консультации;
• получение допуска и защита лабораторных работ (во время проведения лабораторных работ);
• выбор темы реферата (в часы консультаций);
• выполнение учебно-исследовательской работы (руководство, и консультирование).
• подготовка к участию в научно-технических конференциях (руководство, и консультирование).

**Общие сведения об организации самостоятельной работы магистрантов**

Самостоятельная работа магистрантов проводится в объёмах, предусмотренных учебным планом, и регламентируется выдачей тем рефератов или научных докладов на лекционных и лабораторных занятиях с проверкой исполнения на последующих занятиях или консультациях. При выполнении рефератов руководство самостоятельной работой аспирантов осуществляется в форме консультаций.

Основное назначение методических рекомендаций – дать возможность каждому студенту перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно, а также к полной замене контроля со стороны преподавателя самоконтролем. Цель самостоятельной работы аспирантов – научить студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию.

**Лекционный курс (3 семестр)**

Лекция 1. Эволюция одиночной звезды и двойных звезд
Лекция 2. Двойные нейтронные звезды и их слияние
Лекция 3. Наблюдения LIGO и VIRGO слияния черных дыр и нейтронных звезд.
Лекция 4. Детектирование гравитационных волн при слиянии компактных звездных объектов

**Темы практических занятий (3 семестр)**

Практическое занятие 1. Тесные двойные системы нейтронных звезд и черных дыр, и их слияние.
План:
1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 2. Две ситуации слияния: изолированные нейтронные звезды в галактическом поле и плотное окружение глобулярных и ядерных кластеров
План:
1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 3. Слияние смешенной системы нейтронной звезды и черной дыры
План:
1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 4. Генезис черной дыры
План:
1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 5. Двойные черные дыры: проблемы образования и развития
План:
1. Изучение теории по теме.

2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 6. Согласование наблюдений и теории слияния черных дыр

План:

1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 7. Наблюдения LIGO и VIRGO слияния черных дыр и нейтронных звезд

План:

1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 8. Характеристики масс объектов слияния 2014-2017 года, частоты и энергии зарегистрированных гравитационных волн

План:

1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 9. Интерферометр Майкельсона и схема детектирования гравитационных волн обсерваториями LIGO и VIRGO

План:

1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

Практическое занятие 10. Детектирование высокочастотных гравитационных волн. Интерферометр Фабри-Перро.

План:

1. Изучение теории по теме.
2. Численное решение физических задач по теме.

Обсуждение на практическом занятии тем, выделенных на лекции.

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, Интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:


1. Боголюбов, Н. Н. Квантовые поля : учебное пособие / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков. - 3-е изд., доп. - Москва : Физматлит, 2005. - 385 с. - Режим доступа: по подписке. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75464. - ISBN 5-9221-0580-9. - Текст : электронный.
2. Шапиро, С. Л. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. 2 / С.Л. Шапиро; С.**А.** Тьюколски. - Москва : Мир, 1985. - 399 с. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=45372
3. Лоскутов, Ю. В. Лекции по теоретической механике : учебное пособие / Ю.В. Лоскутов. - Йошкар-Ола : ПГТУ, 2015. - 180 с. - ISBN 978-5-8158-1563-6. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=439200

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:**

1. Червон, С. В. Скалярные и киральные поля в космологии [Текст] : монография / С. В. Червон, И. В. Фомин, А. С. Кубасов ; Мин-во обр. и наукиРФ, ФГБОУ ВПО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова". - Ульяновск : ФГБОУ ВПО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова", 2015. - 215 с. - Список лит.: с. 210-215 URL: http://lgca.ulspu.ru/Book2.pdf
2. И. В. Фомин, С. В. Червон, А. Н. Морозов,.Гравитационные волны ранней Вселенной / И. В. Фомин, С. В. Червон, А. Н. Морозов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 154, [2] с. : ил. http://lgca.ulspu.ru/Book3.pdf

**Программное обеспечение и Интернет-ресурсы, базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1) biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – электронная библиотека, обеспечивающая доступ высших и средних учебных заведений, публичных библиотек и корпоративных пользователей к наиболее востребованным материалам учебной и научной литературы по всем отраслям знаний от ведущих российских издательств. Ресурс содержит учебники, учебные пособия, монографии, периодические издания, справочники, словари, энциклопедии.
2) els.ulspu.ru – сайт ЭБС Научная библиотека Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащий ссылки на образовательные (электронно-библиотечные системы, каталог библиотечных сайтов, методические рекомендации) и научные ресурсы (научные электронные библиотеки, научные электронные издательства).
3) bibl.ulspu.ru - сайт научной библиотеки Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащие электронный каталог книг и журналов.
4) Электронная библиотека портала РФФИ http://www.rfbr.ru/,
5) Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" http://window.edu.ru/,
6) Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://lib.mexmat.ru/,
7) Образовательный проект А. Н. Варгина http://www.ph4s.ru/book_nano.html,
8) Международный научно-образовательный сайт EqWorld: http://eqworld.ipmnet.ru/, http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library.htm EqWorld – мир математических уравнений. Учебно-образовательная физико-математическая библиотека. Электронная библиотека содержит DjVu- и PDF-файлы учебников, учебных пособий, сборников задач и упражнений, конспектов лекций, монографий, справочников и диссертаций по математике, механике и физике. Все материалы присланы авторами и читателями или взяты из Интернета (из www архивов открытого доступа),
9) Электронная библиотека GOOGLE: http://books.google.ru/,
10) Электронная библиотека издательства "Венец" http://venec.ulstu.ru/lib/.
11) Интернет-версия журнала "Успехи физических наук" http://ufn.ru/.
12) Информационно-справочная и поисковая система http://www.phys.msu.ru/ официальный сайт физического факультета Московского государственного университета,
13) http://www.scirus.com/ поисковая система Scirus,
14) http://www.physics.ru/ сайт по физике интегрирует содержание учебных компьютерных курсов компании ФИЗИКОН, выпускаемых на компакт-дисках, и индивидуальное обучение через Интернет–тестирование и электронные консультации,
15) http://www.physbook.ru/ электронный учебник физики.
16) *Научная электронная библиотека*. Режим доступа: http://elibrary.ru/defaultx.asp.
17) *Журналы института физики*. Режим доступа: http://www.iop.org/EJ/.
18) Журналы американского физического общества. Режим доступа: http://publish.aps.org/.
19) *База данных научных журналов*. Режим доступа: http://www.sciencedirect.com/.

20) *Книги и журналы издательства Шпрингер*. Режим доступа: http://www.springer.com/.

Лист согласования рабочей программы
учебной дисциплины (практики)

---

**Направление подготовки:** 44.04.01 Педагогическое образование
**Профиль:** Приоритетные направления науки в физическом образовании
**Рабочая программа** Слияние черных дыр и образование гравитационных волн
**Составитель:** С.В. Червон – Ульяновск: УлГПУ, 2023.

Программа составлена с учетом федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, утверждённого Министерством образования и науки Российской Федерации, и в соответствии с учебным планом.

Составители _____ С.В. Червон
(подпись)

Рабочая программа учебной дисциплины (практики) одобрена на заседании кафедры физики и технических дисциплин "24" мая 2023г., протокол № 10 (87)

Заведующий кафедрой
_____Шишкарев В.В_____"24" мая 2023г._____
*личная подпись* *расшифровка подписи* *дата*

Рабочая программа учебной дисциплины (практики) согласована с библиотекой

Сотрудник библиотеки
_____ Марсакова Ю.Б. 24.05.23
*личная подпись* *расшифровка подписи* *дата*

Программа рассмотрена и одобрена на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования "26" мая 2023 г., протокол № 5

Председатель ученого совета факультета физико-математического и технологического образования
_____Громова Е.М._____ 26.05.2023 г._____
*личная подпись* *расшифровка подписи* *дата*