

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Код и наименование дисциплины (модуля).

Гравитационно-волновая астрономия

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки:

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность программы:

01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП.

Вариативная часть ООП. Электив.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников).

| Формируемые компетенции (код компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) |
|---|--|
| УК-1 Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. | З1 (УК-1) ЗНАТЬ основные современные научные достижения в профессиональной области, основные методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских задач, в том числе и в междисциплинарных областях. У1 (УК-1) УМЕТЬ |

| | |
|---|--|
| | <p>проводить анализ литературных данных в рамках поставленной исследовательской (практической, образовательной) задачи, выявлять основные вопросы и проблемы, существующие в современной науке.</p> <p>В1 (УК-1) ВЛАДЕТЬ навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских, практических и образовательных задач в своей профессиональной области, в том числе в междисциплинарных областях.</p> |
| <p>ПК-1:01.03.02 Способность самостоятельно проводить научные исследования в области гравитационно-волновой астрономии и применять полученные результаты для решения практических задач.</p> | <p>З1 (ПК-1:01.03.02) ЗНАТЬ основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области гравитационно-волновой астрономии.</p> <p>У1 (ПК-1:01.03.02) УМЕТЬ использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области гравитационно-волновой астрономии.</p> <p>В1 (ПК-1:01.03.02) ВЛАДЕТЬ разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области гравитационно-волновой астрономии и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p> |

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

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачётные единицы, в том числе 32 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 76 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Знание основ общей теории относительности в объеме университетского (магистерского) курса.

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

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | |
|---|--------------|---|----------------------------|-------|--|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости) |
| | | Занятия лекционного типа* | Занятия семинарского типа* | Всего | |
| Специальная теория относительности. Метрика Минковского. Кинематика СТО. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Свободное движение. Безмассовые частицы. 3+1 расщепление. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Метрика в слабом гравитационном поле. Локально-инерциальные (Лоренцевы) системы | 8 | 2 | | 2 | 6 |

| | | | | | |
|---|------------|---|----------|----------|-----------|
| отсчета. Ортонормированный базис (тетрада). Координатный базис. Преобразования базисов. | | | | | |
| Геодезические. Уравнения геодезических. Символы Кристоффеля. Сохраняющиеся величины вдоль геодезических. Векторы Киллинга. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Линеаризованная гравитация. Метрика слабой гравитационной волны (ГВ). Поляризация ГВ. Энергия ГВ. Поток энергии в ГВ. Принципы детектирования ГВ. | 8 | 2 | | 2 | 6 |
| Основы ОТО. Базисы и дуальные базисы. Метрический тензор. Ковариантное дифференцирование. Свободно-падающие СО. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Кривизна. Приливной характер гравитационных сил. Уравнение отклонения геодезических. Тензор Римана в координатном базисе и в свободно-падающей СО. Тензор Риччи. Уравнения Эйнштейна в вакууме. | 8 | 2 | | 2 | 6 |
| Линеаризованные уравнения Эйнштейна в вакууме. Лоренцева калибровка возмущений. Волновое уравнение для возмущений. Переход к ТТ-калибровка. Гравитационные волны. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Текущая аттестация в форме занятия семинарского типа. | 2 | | 2 | 2 | |
| Источники кривизны. Тензор энергии-импульса и его свойства. Локальный закон сохранения энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Излучение ГВ. Решение волнового уравнения с источником. Запоздывающие потенциалы. | 8 | 2 | | 2 | 6 |
| ГВ в дальней зоне. Мультипольное разложение. Квадрупольный формализм для источников ГВ | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| ГВ от двойных систем. Астрофизические источники ГВ. | 8 | 2 | | 2 | 6 |
| Наземные ГВ-интерферометры. Принципы работы. Шумы. Принципы обнаружения ГВ-сигнала методом оптимальной фильтрации. | 7 | 2 | | 2 | 5 |
| Результаты работы ГВ-интерферометров с 2015 года. Сливающиеся двойные черные дыры, возможные каналы их образования. | 8 | 2 | | 2 | 6 |
| Многоканальная астрономия. Регистрация электромагнитных сигналов от сливающихся двойных нейтронных звезд. Новейшие результаты и перспективы. Будущие наземные и космические детекторы ГВ. | 7 | 4 | | 4 | 3 |
| Промежуточная аттестация – зачёт. | | | | | 2 |
| Итого | 108 | | | | 76 |

9. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

9.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости:

1. Задания по специальности 01.03.02.
 - 1.1. Вывести уравнения свободного движения в СТО из вариационного принципа.
 - 1.2. Вывести соотношения эффекта Доплера без применения преобразований Лоренца.
 - 1.3. Записать координатные компоненты тетрады для диагональной метрики.
 - 1.4. Оценить необходимую длину плеч ГВ-интерферометра для регистрации ГВ от двойных систем.
 - 1.5. Оценить число заполнения для гравитонов в ГВ от двойной системы.

9.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:

1. Задание для проверки З1 (ПК-1:01.03.02) из п. 5. «Вывести свойства гравитационных волн в ТТ-калибровке из линеаризованных уравнений Эйнштейна в вакууме».
2. Задание для проверки У1 (ПК-1:01.03.02) из п. 5. «Получить ограничения на скорость распространения гравитационных волн из анализа задержки ЭМ сигнала по отношению к моменту слияния ГВ-источника на примере системы GW170817/GRB170817A».
3. Задание для проверки В1 (ПК-1:01.03.02) из п. 5. «Провести сравнительный анализ возможных астрофизических ГВ-источников для наземных и космических ГВ-интерферометров».

| ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю) | | | | |
|--|-------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Оценка | незачёт | зачёт | | |
| РО и соотв. виды оценочных средств | | | | |
| Знания <i>(виды оценочных средств: устные и письменные опросы, тестирующие знание основных законов и</i> | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |

| | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--|---|
| <i>соотношений, и т. п.)</i> | | | | |
| Умения <i>(виды оценочных средств: устные и письменные опросы, тестирующие знание принципов получения основных законов и соотношений, написание и защита рефератов на заданную тему, практические контрольные задания и т. п.)</i> | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| Навыки (владения, опыт деятельности) <i>(виды оценочных средств: решение новых (не разобранных на лекциях или в литературе) задач, вывод новых соотношений и т. п.)</i> | Отсутствие навыков (владений, опыта) | Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта) | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

10. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной литературы:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. 7-е издание. М.: Наука, 1988
2. J.B. Hartle. Gravity. An introduction to Einstein's General Relativity. Addison Wesley, 2003

3. K.S. Thorne, R. Blandford. Modern Classical Physics. Princeton Univ. Press, 2017
4. Многоканальная астрономия (под ред. А.М. Черепашука). Фрязино, Век-2, 2019

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):

1. База данных <https://gracedb.ligo.org/>
2. Библиографическая система NASA ADS

Описание материально-технической базы:
аудиторный фонд физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

11. Язык преподавания.

Русский.

12. Преподаватель (преподаватели).

проф. Постнов К.А.